



© Bettina Brodersen

Klimaplan 2035

Potenzialanalyse und Zielszenario
für ein klimaneutrales Neumünster

Mai 2022

Projektpartner

Dieses Projekt wurde unter Zusammenarbeit der Stadt Neumünster und der energielenker projects GmbH durchgeführt.

Auftraggeber:in

Stadt Neumünster

Großflecken 59

24534 Neumünster

Ansprechpartner:in:

Julia Schirmmacher

Thomas Rothmund

Auftragnehmer:in

energielenker projects GmbH

Hüttruper Heide 90

48268 Greven

Ansprechpartner:in:

Reiner Tippkötter,

Daniel Kruckelmann,

Christoph Hanrott



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
1 Einleitung	9
2 Hintergrund und Motivation	10
3 Energie- und Treibhausgasbilanz der Stadt Neumünster	11
3.1.1 Grundlagen der Bilanzierung nach BSKO	12
3.1.2 Bilanzierungsprinzip im stationären Bereich	12
3.1.3 Bilanzierungsprinzip im Sektor Verkehr	13
3.2 Datenerhebung	14
3.3 Endenergiebedarf der Stadt Neumünster	16
3.3.1 Endenergiebedarf nach Sektoren und Energieträgern	16
3.3.2 Endenergiebedarf nach Energieträgern der Gebäude und Infrastruktur	19
3.3.3 Endenergiebedarf der kommunalen Einrichtungen	20
3.4 THG-Emissionen der Stadt Neumünster	21
3.4.1 THG-Emissionen pro Einwohner:in	21
3.4.2 THG-Emissionen nach Sektoren und Energieträgern	21
3.4.3 THG-Emissionen nach Energieträgern der Gebäude und Infrastruktur	24
3.4.4 THG-Emissionen der kommunalen Einrichtungen	24
3.5 Regenerative Energien der Stadt Neumünster	26
3.5.1 Strom	26
3.5.2 Wärme	27
4 Potenzialanalyse der Stadt Neumünster	28
4.1 Wärmesektor	29
4.1.1 Gebäudesanierung	29
4.1.2 Produzierendes Gewerbe und Industrie	33
4.1.3 Wärmeerzeugung	33
4.2 Verkehrssektor	34
4.3 Stromsektor	35
4.4 Erneuerbare Energien	35

4.4.1	Windenergie	35
4.4.2	Sonnenenergie	36
4.4.2.1	Dachflächenphotovoltaik.....	36
4.4.2.2	Freiflächenphotovoltaik	37
4.4.2.3	Solarthermie	39
4.4.3	Bioenergie	40
4.4.4	Geothermie	41
4.4.4.1	Einschränkungen der Bohrtätigkeit	43
4.4.4.2	Oberflächennahe Geothermie	45
4.4.4.3	Technik der oberflächennahen Geothermie	45
4.4.4.4	Karten der Wärmeleitfähigkeit als Planungshilfe für die Auslegung von Erdwärmesonden.....	47
4.4.4.5	Wärmespeicherung im oberflächennahen Untergrund.....	49
4.4.4.6	Kaltes Nahwärmenetz	50
4.4.4.7	Potenzial oberflächennaher Geothermie.....	51
4.4.4.8	Mitteltiefe Geothermie	52
4.4.4.9	Potenziale mitteltiefer Geothermie	52
4.4.4.10	Tiefengeothermie.....	52
4.4.4.11	Potenziale Tiefengeothermie	57
4.4.5	Power-to-Heat	59
4.4.6	TEV (Thermische Ersatzbrennstoff-Verwertungsanlage)	60
4.4.6.1	Konzeptansatz regenerativer Kohlenstoffkreislauf.....	60
4.4.6.2	Skizze eines technischen Modells zur Kohlenstoffgewinnung	62
4.4.6.3	Wasserstoffversorgung mit Elektrolyse	64
4.4.6.4	Energiebilanz	65
4.5	Übersicht der Potenziale.....	66
5	Fernwärmenetz	68
6	Zielszenario 2035.....	69
6.1	Einsparpotenziale und Potenziale an Erneuerbaren Energien	69
6.1.1	Endenergiebedarf (ohne Darstellung von Solarthermie und Umweltwärme)	69
6.1.2	Energiebereitstellung	71
6.2	Treibhausgasemissionen im Zielszenario 2035	72
6.2.1	Bilanzgrenzen THG-Bilanzierung	72

6.2.2	THG-Emissionen.....	73
6.2.3	Definition Klimaneutralität 2035.....	74
6.3	Diskussion Zielszenario 2035	75
7	Sofortmaßnahmen („Top-Maßnahmen“).....	78
8	Zusammenfassung	84
	Literaturverzeichnis.....	88
	Abkürzungsverzeichnis.....	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Entwicklung der CO ₂ -Konzentration in der Atmosphäre (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018).....	9
Abbildung 2-1: Auszug aus den Aktivitäten im Kontext „Klimastrategie“ - Stadt Neumünster	11
Abbildung 3-1: Endenergiebedarf nach Sektoren - Stadt Neumünster.....	16
Abbildung 3-2: Prozentualer Anteil der Sektoren am Endenergiebedarf - Stadt Neumünster	17
Abbildung 3-3: Endenergiebedarf nach Energieträgern - Stadt Neumünster	18
Abbildung 3-4: Endenergiebedarf der Gebäude und Infrastruktur nach Energieträgern - Stadt Neumünster.....	19
Abbildung 3-5: Endenergiebedarf der kommunalen Einrichtungen nach Energieträgern - Stadt Neumünster.....	20
Abbildung 3-6: THG-Emissionen nach Sektor - Stadt Neumünster	22
Abbildung 3-7: Prozentualer Anteil der Sektoren an den THG-Emissionen - Stadt Neumünster	22
Abbildung 3-8: THG-Emissionen nach Energieträger – Stadt Neumünster	23
Abbildung 3-9: THG-Emissionen der Gebäude und Infrastruktur nach Energieträgern – Stadt Neumünster	24
Abbildung 3-10: THG-Emissionen der kommunalen Einrichtungen nach Energieträgern – Stadt Neumünster.....	25
Abbildung 3-11: Prozentualer Anteil der Energieträger an den THG-Emissionen der kommunalen Einrichtungen – Stadt Neumünster	25
Abbildung 3-12: Installierte elektrische Leistung erneuerbarer Stromproduktionsanlagen gemäß Marktstammdatenregister – Stadt Neumünster.....	26
Abbildung 3-13: Anteile an der erneuerbarer Stromproduktion – Stadt Neumünster.....	27
Abbildung 3-14: Verteilung der erneuerbaren Wärme	28
Abbildung 4-1: Verteilung des flächenbezogenen Endenergieverbrauches heute und des Einsparpotenzials 2050 (BMW, 2014)	29
Abbildung 4-2: Anzahl der Gebäude mit einem Baujahr bis 1978 – Stadt Neumünster.....	31
Abbildung 4-3: Anzahl der Gebäude mit einem Baujahr von 1979 bis 2000 – Stadt Neumünster.....	32
Abbildung 4-4: Energieeinsparpotenziale in der Wirtschaft nach Querschnittstechnologien (dena, 2014)	35
Abbildung 4-5: PV-Freiflächen- und Windpotenzial	36
Abbildung 4-6: Landschaftsschutzgebiete in Neumünster	39
Abbildung 4-7: Zunahme der Temperatur mit der Tiefe.....	41
Abbildung 4-8: Technische Lösungen zur geothermischen Energiegewinnung: links offenes System mit Nutzung von Thermalwasser, rechts geschlossene Systeme mit U- und Koaxialrohr.....	42
Abbildung 4-9: Wasserschutzgebiet Neumünster mit Schutzzonen II und III, nicht dargestellt ist Schutzzone I im unmittelbaren Brunnenbereich.	44
Abbildung 4-10: Temperatur-Tiefenprofil für den oberflächennahen Bereich	45

Abbildung 4-11: Erdwärmesonde (a) und Erdwärmekollektor (b). Die Wärmegewinnung aus dem Untergrund erfolgt über eine zirkulierende Wärmeträgerflüssigkeit in den Sonden- und Kollektorrohren.	46
Abbildung 4-12: Arbeitsweise einer Wärmepumpe zur Erreichung der erforderlichen Heiztemperatur.	46
Abbildung 4-13: Karte der effektiven Wärmeleitfähigkeiten für den Tiefenbereich 0 – 50 m (LLUR)	48
Abbildung 4-14: Karte der effektiven Wärmeleitfähigkeiten für den Tiefenbereich 0 – 100 m (LLUR)	48
Abbildung 4-15: Schnitt durch eine Tonlage im Gewerbegebiet Neumünster Süd. (Kartengrundlage BGR Bohrpunktkarte, Bohrinformation LLUR)	50
Abbildung 4-16: Prinzip kaltes Nahwärmenetz und Erdeisspeicher.....	51
Abbildung 4-17: Geothermisch nutzbare Reservoirkomplexe in Schleswig-Holstein.....	53
Abbildung 4-18: Tiefbohrungen und seismische Messprofile im Raum Neumünster, farbkodiert ist die Basistiefe des oberen Keupers (=Rhät) (LLUR 2022).	54
Abbildung 4-19: Salzstrukturen (blau) im Raum Neumünster, übrige Farbkodierung siehe Abb. 4.2. (LLUR 2022).	55
Abbildung 4-20: Tiefenlage des Rhätsandsteins im oberen Keuper im Raum Neumünster (LLUR 2022)	55
Abbildung 4-21: Mächtigkeit des Mittelrhätsandsteins im oberen Keuper im Raum Neumünster (LLUR 2022)	56
Abbildung 4-22: Links: Porositäts-Tiefenrelation für Reservoirsandsteine aus Dänemark und Norddeutschland (Thomsen 2013), rechts: Porositäts-Permeabilitätsrelation für Reservoirsandsteine aus Dänemark (Mathiesen et al. 2011)	57
Abbildung 4-23: Schematische Funktionsweise des Heizkraftwerks Thisted (DK).	58
Abbildung 4-24: Potenzielle Bohrlokation und Thermalwasserleitung im östlichen Bereich Neumünsters.	59
Abbildung 4-25: Prinzipschema der TEV Neumünster ohne Qualifizierung der Ströme.....	61
Abbildung 4-26: Prozesskette TEV CCU.....	62
Abbildung 4-27: Detaillierte Prozesskette TEV CCU	64
Abbildung 4-28: Erweiterter Prozess TEV CCU	65
Abbildung 4-29: Theoretisches und technisches Potenzial von PV-Dach- und Freiflächenanlagen	66
Abbildung 4-30: Vergleich des Potenzials der jährlichen erneuerbaren Stromproduktion und dem Strombedarf 2035	67
Abbildung 4-31: Vergleich des Wärmepotenzials mit dem Wärmebedarf 2035	67
Abbildung 6-1: Energieeinsparung und erneuerbares Potenzial 2035 (Umweltwärme und Solarthermie nicht dargestellt).....	70
Abbildung 6-2: Energieeinsparung und erneuerbares Potenzial 2045 (Umweltwärme und Solarthermie nicht dargestellt).....	71

<i>Abbildung 6-3: Endenergie und Energiebereitstellung</i>	72
<i>Abbildung 6-4: Bilanzgrenze Treibhausgasneutralität</i>	73
<i>Abbildung 6-5: THG-Emissionen 2035 mit/ohne CCU</i>	74
<i>Abbildung 6-6: THG-Emissionen nach 2035</i>	75
<i>Abbildung 6-7: Brenn- & Kraftstoffbedarf und verbleibende Emissionen 2035</i>	76

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Emissionsfaktoren (ifeu)</i>	13
<i>Tabelle 2: THG-Emissionen pro Einwohner:in – Stadt Neumünster</i>	21
<i>Tabelle 3: Verteilung der Gebäude auf die Stadtteile nach Baujahr - Stadt Neumünster (ALKIS)</i> ...	30
<i>Tabelle 4: Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes (VDI 4640)</i>	47

1 Einleitung

Die Herausforderungen des Klimawandels sind allgegenwärtig. Temperaturanstieg, schmelzende Gletscher und Pole, ein steigender Meeresspiegel, Wüstenbildung und Bevölkerungswanderungen – viele der vom Ausmaß der Erwärmung abhängigen Szenarien sind zum jetzigen Zeitpunkt kaum vorhersagbar. Hauptverursacher der globalen Erderwärmung sind nach Einschätzungen der Expertinnen und Experten, die Emissionen von Treibhausgasen (THG) wie Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (Lachgas: N₂O), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Fluorkohlenwasserstoffe.

Diese Einschätzungen wurden bereits durch den Intergouvernemental Panel on Climate Change (IPCC)-Report aus dem Jahr 2014 gestützt sowie mit dem Bericht aus 2018 bestärkt. Die Aussagen des Berichtes deuten auf einen hohen anthropogenen Anteil an der Erhöhung des Gehaltes von Treibhausgasen in der Atmosphäre hin. Auch ein bereits stattfindender Klimawandel, einhergehend mit Erhöhungen der durchschnittlichen Temperaturen an Land und in den Meeren, wird bestätigt und ebenfalls zu großen Teilen menschlichem Handeln zugeschrieben. Das Schmelzen der Gletscher und Eisdecken an den Polen, das Ansteigen des Meeresspiegels sowie das Auftauen der Permafrostböden in Russland werden durch den Bericht bestätigt. Dies scheint sich sogar im Zeitraum zwischen 2002 und 2011, im Vergleich zur vorigen Dekade, deutlich beschleunigt zu haben. Der menschliche Einfluss auf diese Prozesse wird im IPCC-Bericht, der jüngst im Jahr 2021 eine Erderwärmung um 1,5 Grad bis 2030 prognostiziert hat, als sicher angesehen. Auch in Deutschland scheint der Klimawandel spürbar zu werden, wie die steigende Anzahl extremer Wetterereignisse (z. B. „Pfungsturm Ela“ im Jahr 2014, „Sturmtief Frederike“ und trockener Hitzesommer 2018 und 2019, Flutkatastrophe im Sommer 2021 entlang der Ahr und in der Eifel) oder auch die Ausbreitung von wärmeliebenden Tierarten (z. B. tropische Mückenarten am Rhein) verdeutlichen.

Die US-amerikanische Ozean- und Atmosphärenbehörde (NOAA) gibt für den Zeitraum Februar 2014 (397 ppm) bis Juli 2018 (408 ppm) den schnellsten Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre seit Beginn der Messungen an. Im Januar 2017 waren es bereits 406,13 ppm (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018). In vorindustriellen Zeiten lag der Wert bei etwa 280 ppm. Zu Beginn der Messungen in den 1950er Jahren bei etwa 320 ppm. Die Entwicklung in den letzten Jahren wird in folgender Abbildung 1-1 dargestellt.

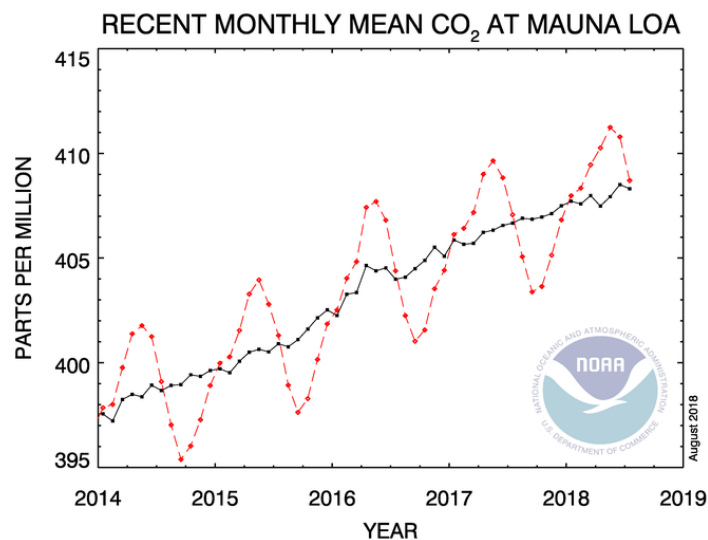


Abbildung 1-1: Entwicklung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018)

Um die Außergewöhnlichkeit und Einzigartigkeit des in der Abbildung 1-1 dargestellten CO₂-Anstiegs sichtbar zu machen, muss dieser im Zusammenhang über die Zeit betrachtet werden. Ein Anstieg der CO₂-Emissionen und der Temperatur ist in der Erdgeschichte kein besonderes Ereignis. Die Geschichte ist geprägt vom Fallen und Ansteigen dieser Werte. Das Besondere unserer Zeit ist die Geschwindigkeit des CO₂-Anstiegs, welcher nur auf anthropogene Einwirkungen zurückgeführt werden kann.

Um die Auswirkungen des Klimawandels möglichst weitreichend zu begrenzen, hat sich die Bundesregierung mit Beschluss vom 24.06.2021 das Ziel gesetzt, den bundesweiten Ausstoß von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen bis 2030 um 65 %, bis 2040 um 88 % und bis 2045 um 100 % (angestrebte THG-Neutralität) in Bezug auf das Ausgangsjahr 1990 zu senken. Aus dieser Motivation heraus wird seit 2008 im Rahmen der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) die Erstellung von kommunalen Klimaschutzkonzepten gefördert. Hintergrund ist, dass die ehrgeizigen Ziele der Bundesregierung nur gemeinschaftlich, mit einer Vielzahl lokaler Akteur:innen erreicht werden können.

Im Falle eines ungebremsten Klimawandels ist im Jahr 2100 in Deutschland z. B. durch Reparaturen nach Stürmen oder Hochwassern und Mindereinnahmen der öffentlichen Hand mit Mehrkosten in Höhe von 0,6 bis 2,5 %¹ des Bruttoinlandsproduktes zu rechnen. Von diesen Entwicklungen wird auch die Stadt Neumünster nicht verschont bleiben. Der Klimawandel ist also nicht ausschließlich eine ökologische Herausforderung, insbesondere hinsichtlich der Artenvielfalt, sondern auch in ökonomischer Hinsicht von Belang.

2 Hintergrund und Motivation

Mit dem Ziel, die von der Politik im Jahr 2019 beschlossene Klimaneutralität 2035 zu erreichen, hat sich die Stadt Neumünster dazu entschlossen, dem Klimaschutz ggü. den nationalen und europäischen Anforderungen eine höhere Priorität zu geben und die Bemühungen zu verstärken. Es wurden viele Prozesse angestoßen und über die Fortschreibung der Energie- und Treibhausgasbilanz ein wichtiges Controllinginstrument zur Erfolgskontrolle aufgebaut. Abbildung 2-1 zeigt einen Auszug aus wichtigen Konzepten und Projekten der Stadt Neumünster aus den letzten Jahren.

- 2015 Integriertes Klimaschutzkonzept mit konkretem Maßnahmenprogramm (24 Maßnahmen)
- 2018 Klimaschutzmanagement
- 2019 Klimanotstandsbeschluss
- 2019 Aktualisierung Maßnahmenprogramm Klimaschutzkonzept
- 2019 Beschluss zur Klimaneutralität bis 2035
- 2020 Gründung der Abteilung 63.4 Klima und Umweltqualität
- 2020 Beschluss ökologische Leitlinie für die Bauleitplanung und kommunale Projekte
- 2020 Beschluss zur Erstellung einer Klimaanpassungsstrategie (KAS)
- 2020 Neue Startbilanz zur Energie- und THG-Bilanzierung
- 2020 Start des European Energy Award-Prozesses
- 2021 Klimaplan 2035 als Gesamtstrategie zur Erreichung der Klimaneutralität
- 2021 Beginn Konzepterstellung Stadtklimaanalyse
- 2021 Fortschreibung der Energie- und THG-Bilanzierung

¹ Ergebnisse einer im Auftrag des Bundesministeriums der Finanzen von Ecologic Institut und Infas erhobenen Studie.

Abbildung 2-1: Auszug aus den Aktivitäten im Kontext „Klimastrategie“ - Stadt Neumünster

Mit dem integrierten Klimaschutzkonzept besteht eine Grundlage für eine lokale Klimaschutzarbeit von hoher Qualität, die eine nachhaltige Zukunft gestaltet. Wesentlicher Grundgedanke ist es, kommunales Handeln mit den Aktivitäten und Interessen aller weiteren Akteur:innen in der Stadt zu verbinden. Mit der Unterstützung von Akteur:innen soll zielgerichtet auf die eigenen Klimaschutzziele hingearbeitet werden.

Um die zur Erreichung der Ziele aus dem Klimaschutzkonzept verfügbaren Potenziale aufzuzeigen, hat die Stadt Neumünster diese Potenzial- und Szenarienanalyse in Auftrag gegeben. Potenziale in den verschiedenen Verbrauchssektoren (Haushalte, Verkehr, Wirtschaft und Verwaltung) sollen aufgedeckt werden und in ein langfristig umsetzbares Handlungskonzept zur Reduzierung der THG-Emissionen münden. Die Potenziale zur Einsparung und erneuerbaren Produktion von Energie werden untersucht und in Szenarien ins Verhältnis zum prognostizierten Verbrauch gestellt.

Die identifizierten Potenziale fließen in die weitere Bearbeitung des Klimaschutzes der Stadt ein. Darin werden Maßnahmen beschrieben, die zur näheren Definition und Festlegung des Klimaschutzkonzeptes wesentlich sind. Mit der Potenzial- und Szenarienanalyse erhält die Stadt Neumünster ein Werkzeug, die Energie- und Klimaarbeit sowie die zukünftige Klimastrategie konzeptionell, vorbildlich und nachhaltig zu entwickeln.

Neumünster hat wie viele Städte auch eine begrenzte Flächenausdehnung, die die städtische Bebauung umrahmt und damit wenig Platz für die Produktion von Windstrom. Der größte Einflussbereich der Stadt liegt im Verhalten der Bürger:innen und der Gebäude, also in der Reduzierung von Energieverbräuchen und der erneuerbaren Versorgung von Raumwärme zur Beheizung und Produktion von Solarstrom auf den Gebäuden. Die Potenzialanalyse legt folglich neben vielen Aspekten aller Verbrauchssektoren einen Schwerpunkt auf den Bereich der klimaneutralen Wärmeversorgung und zeigt Potenziale auf, die die Besonderheit des verhältnismäßig großen Fernwärmenetzes in Neumünster aufgreifen.

Der Betrieb eines Fernwärmenetzes bringt über die großen Oberflächen des weitverzweigten Rohrleitungsnetzes allgemein große Wärmeverluste und Betriebs- sowie Instandhaltungskosten mit sich, zu deren Rechtfertigung es eine große, günstige und zukünftig auch klimaneutrale Wärmequelle bedarf. Dies gilt für Neumünster in besonderer Weise, da große Anstrengungen zur Transformation des alten Dampf-Fernwärmenetzes in ein zukunftsgerichtetes Heizwassersystem erforderlich sind.

Mit der großflächigen Netzstruktur bietet das Fernwärmenetz ein hervorragendes Potenzial für eine schnelle und effektive Wärmewende in der Stadt Neumünster. Andere Kommunen legen aus diesem Grund viel Engagement in den Aufbau einer Fernwärmeversorgung, die in Neumünster bereits besteht. Die vorliegende Potenzialanalyse betrachtet unter anderem die Frage nach der Klimaneutralität der das Fernwärmenetz speisenden Wärmequellen und bewertet mögliche Systemansätze der erforderlichen Wärmewende.

3 Energie- und Treibhausgasbilanz der Stadt Neumünster

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanz der Stadt Neumünster dargestellt. Der tatsächliche Energiebedarf der Stadt ist für die Bilanzjahre 2017 bis 2020 erfasst und bilanziert worden. Die Energiebedarfe werden auf Basis der Endenergie und die THG-Emissionen auf Basis der Primärenergie anhand von Life Cycle Analysis (LCA)-Parametern beschrieben. Die Bilanz ist vor allem als Mittel der Selbstkontrolle zu sehen. Die Entwicklung auf dem eigenen Stadtgebiet lässt sich damit gut nachzeichnen. Ein interkommunaler Vergleich ist

häufig nicht zielführend, da regionale und strukturelle Unterschiede einen hohen Einfluss auf die Energiebedarfe und THG-Emissionen von Landkreisen und Kommunen haben.

Im Folgenden werden zunächst die Grundlagen der Bilanzierung nach BSKO erläutert und anschließend die Endenergiebedarfe und die THG-Emissionen der Stadt Neumünster dargestellt. Hierbei erfolgt eine Betrachtung des gesamten Stadtgebiets sowie der einzelnen Sektoren.

3.1.1 Grundlagen der Bilanzierung nach BSKO

Im Rahmen der Bilanzierung der Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen der Stadt Neumünster wird der vom Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) entwickelte „Bilanzierungs-Standard Kommunal“ (BSKO) angewandt. Leitgedanke des vom BMU geförderten Vorhabens ist die Entwicklung einer standardisierten Methodik, welche die einheitliche Berechnung kommunaler THG-Emissionen ermöglicht und somit eine Vergleichbarkeit der Bilanzergebnisse zwischen den Kommunen erlaubt (ifeu, 2019). Weitere Kriterien waren unter anderem die Schaffung einer Konsistenz innerhalb der Methodik, um insbesondere Doppelbilanzierungen zu vermeiden sowie einen weitestgehenden Bestand zu anderen Bilanzierungsebenen zu erhalten (regional, national).

Zusammengefasst ist das Ziel des Systems die Erhöhung der Transparenz energiepolitischer Maßnahmen und durch eine einheitliche Bilanzierungsmethodik einen hohen Grad an Vergleichbarkeit zu schaffen. Zudem ermöglicht die Software, durch die Nutzung von hinterlegten Datenbanken (mit deutschen Durchschnittswerten), eine einfachere Handhabung der Datenerhebung (ifeu, 2019).

Es wird im Bereich der Emissionsfaktoren auf national ermittelte Kennwerte verwiesen, um deren Vergleichbarkeit zu gewährleisten (TREMODO, Bundesstrommix). Hierbei werden, neben Kohlenstoffdioxid (CO₂), weitere Treibhausgase in die Berechnung der Emissionsfaktoren mit einbezogen und betrachtet. Dazu zählen beispielsweise Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxide (Lachgas oder N₂O). Zudem findet eine Bewertung der Datengüte in Abhängigkeit der jeweiligen Datenquelle statt. So wird zwischen Datengüte A/1,0 (Regionale Primärdaten), B/0,5 (Hochrechnung regionaler Primärdaten), C/0,25 (Regionale Kennwerte und Statistiken) und D/0,0 (Bundesweite Kennzahlen) unterschieden (ifeu, 2019).

Im Verkehrsbereich wurde bisher auf die Anzahl registrierter Fahrzeuge zurückgegriffen. Basierend darauf, wurden mithilfe von Fahrzeugkilometern und nationalen Treibstoffmischen die THG-Emissionen ermittelt. Dieses sogenannte Verursacherprinzip unterscheidet sich deutlich gegenüber dem im BSKO angewandten Territorialprinzip (siehe genauere Erläuterung im folgenden Text). Im Gebäude- und Infrastrukturbereich wird zudem auf eine witterungsbereinigte Darstellung der Verbrauchsdaten verzichtet (ifeu, 2019).

3.1.2 Bilanzierungsprinzip im stationären Bereich

Unter BSKO wird bei der Bilanzierung das sogenannte Territorialprinzip verfolgt. Diese, auch als endenergiebasierte Territorialbilanz bezeichnete Vorgehensweise betrachtet alle im Untersuchungsgebiet anfallenden Verbräuche auf der Ebene der Endenergie, welche anschließend den einzelnen Sektoren zugeordnet werden. Dabei wird empfohlen, von witterungskorrigierten Daten Abstand zu nehmen und die tatsächlichen Verbräuche für die Berechnung zu nutzen, damit die tatsächlich entstandenen Emissionen dargestellt werden können. Standardmäßig wird eine Unterteilung in die Bereiche private Haushalte, Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (GHD), Industrie/Verarbeitendes Gewerbe, Kommunale Einrichtungen und den Verkehrsbereich angestrebt (ifeu, 2019).

Anhand der ermittelten Verbräuche und energieträgerspezifischen Emissionsfaktoren (siehe hierzu Tabelle 1) werden anschließend die THG-Emissionen berechnet.

Die THG-Emissionsfaktoren beziehen neben den reinen CO₂-Emissionen weitere Treibhausgase (bspw. N₂O und CH₄) in Form von CO₂-Äquivalenten (CO₂e), inklusive energiebezogener Vorketten, in die Berechnung mit ein (LCA-Parameter). Das bedeutet, dass nur die Vorketten energetischer Produkte, wie etwa der Abbau und Transport von Energieträgern oder die Bereitstellung von Energieumwandlungsanlagen, in die Bilanzierung einfließen. Sogenannte graue Energie, beispielsweise der Energieaufwand von konsumierten Produkten sowie Energie, die von den Bewohner:innen außerhalb der Stadtgrenzen verbraucht wird, findet im Rahmen der Bilanzierung keine Berücksichtigung (ifeu, 2019). Die empfohlenen Emissionsfaktoren beruhen auf Annahmen und Berechnungen des ifeu, des GEMIS (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme), welches vom Öko-Institut entwickelt wurde, sowie auf Richtwerten des Umweltbundesamtes. Allgemein wird empfohlen, den Emissionsfaktor des Bundesstrommixes heranzuziehen und auf die Berechnung eines lokalen bzw. regionalen Strommixes zu verzichten.

Tabelle 1: Emissionsfaktoren (ifeu)

Emissionsfaktoren je Energieträger - LCA-Energie für das Jahr 2019			
Energieträger	gCO ₂ e/kWh	Energieträger	gCO ₂ e/kWh
Strom	478	Flüssiggas	276
Heizöl	318	Braunkohle	411
Erdgas	247	Steinkohle	438
Fernwärme	261	Heizstrom	478
Holz	22	Nahwärme	260
Umweltwärme	150	Sonstige Erneuerbare	25
Sonnenkollektoren	25	Sonstige Konventionelle	330
Biogase	110	Benzin	322
Abfall	27	Diesel	327
Kerosin	322	Biodiesel	118

3.1.3 Bilanzierungsprinzip im Sektor Verkehr

Zur Bilanzierung des Sektors Verkehr findet ebenfalls das Prinzip der endenergiebasierten Territorialbilanz Anwendung. Diese umfasst sämtliche motorisierten Verkehrsmittel im Personen- und Güterverkehr (ifeu, 2019).

Generell kann der Verkehr in die Bereiche „gut kommunal beeinflussbar“ und „kaum kommunal beeinflussbar“ unterteilt werden. Als gut kommunal beeinflussbar werden Binnen-, Quell- und Zielverkehr im Straßenverkehr (MIV, LKW, LNF) sowie der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) eingestuft. Emissionen aus dem Straßendurchgangsverkehr, öffentlichen Personennahverkehr (ÖPFV, Bahn, Reisebus, Flug) sowie aus dem Schienen- und Binnenschiffsgüterverkehr werden als kaum kommunal beeinflussbar eingestuft (ifeu, 2019).

Durch eine Einteilung in Straßenkategorien (innerorts, außerorts, Autobahn) kann der Verkehr differenzierter betrachtet werden. So ist angeraten, die weniger beeinflussbaren Verkehrs- bzw. Straßenkategorien herauszurechnen, um realistische Handlungsempfehlungen für den Verkehrsbereich zu definieren (ifeu, 2019). Um die tatsächlichen Verbräuche auf Stadtgebiet darzustellen, inkludiert die nachfolgend dargestellte Bilanz jedoch alle Verkehrs- bzw. Straßenkategorien. Erst in der Potenzialanalyse wird der Autobahnanteil aus der Berechnung ausgeschlossen, da die Stadt auf diesen Bereich keinen direkten Einfluss nehmen kann.

Harmonisierte und aktualisierte Emissionsfaktoren für den Verkehrsbereich stehen in Deutschland durch das TREMOD-Modell zur Verfügung. Diese werden in Form von nationalen Kennwerten differenziert nach Verkehrsmittel, Energieträger und Straßenkategorie bereitgestellt. Wie bei den Emissionsfaktoren für den stationären Bereich, werden diese in Form von CO₂-Äquivalenten inklusive Vorkette berechnet. Eine kommunenspezifische Anpassung der Emissionsfaktoren für den Bereich erfolgt demnach nicht (ifeu, 2019).

3.2 Datenerhebung

Die Stadt Neumünster nutzt zur Bilanzierung der Treibhausgasemissionen im Rahmen ihrer Aktivitäten zum Klimaschutzkonzept das Bilanzierungsportal Klimanavi und hat dazu bereits relevante Daten erhoben und dokumentiert. Diese Daten standen für die Erarbeitung dieser Potenzialanalyse zur Verfügung. Dabei liegen große Differenzen in der Datenqualität vor, die teilweise eine eingehende Qualifizierung der vorliegenden Daten erfordert. Die Datenqualität wird auf einer Skala von 0 bis 5 wie folgt eingeteilt, wobei 0 die geringste und 5 die höchste Datengüte bedeutet. Der sogenannte Datengüteindex (DGI) wird im Klimanavi folgendermaßen definiert:

- 0 Datenquelle unbekannt
- 1 Daten auf Bundesebene und Hochrechnungen
- 2 Daten auf Bundesebene und Herleitung anhand von Messdaten
- 3 Daten auf Amts- oder Kreisebene
- 4 ungeprüfte, gemessene Daten auf mindestens Gemeindeebene
- 5 geprüfte und gemessene Daten mindestens auf Gemeindeebene

Die Daten zur leitungsgebundenen Energieversorgung weisen im Klimanavi eine hohe Datenqualität der Kategorie 5 auf. Dagegen liegen im Klimanavi die Daten der nicht-leitungsgebundenen Energieversorgungen und auch Verkehrsaufkommen lediglich mit einem Datengüteindex 1 oder 2 vor.

Der Endenergiebedarf der Stadt Neumünster ist in der Bilanz differenziert nach Energieträgern berechnet worden. Die Verbrauchsdaten der leitungsgebundenen Energieträgern Strom und Erdgas sind vom Netzbetreiber über das Bilanzierungsportal Klimanavi bereitgestellt worden. Das beinhaltet auch die Daten für die Umweltwärme, die im Wesentlichen den Strombedarf für den Betrieb von Wärmepumpen beinhalten. Diese Daten weisen im Klimanavi eine Datengüte der Kategorie 5 auf und sind damit gemessene und geprüfte Daten. Wärmepumpen nutzen die thermische Energie, welche in Luft, Erde und Wasser gespeichert ist und heben („pumpen“) diese mit Hilfe elektrischer Energie auf ein höheres Temperaturniveau zur Nutzung in Heizungsanlagen.

Nicht-leitungsgebundene Energieträger werden, abgesehen von Kraftstoffen wie Diesel oder Benzin aus dem Sektor Verkehr, zur Erzeugung von Wärmeenergie genutzt. Zu nicht-leitungsgebundenen Energieträgern im Sinne dieser Betrachtung zählen etwa Heizöl, Biomasse, Flüssiggas, Steinkohle und Solarthermie sowie Diesel und Benzin. Die Erfassung der

Bedarfsmengen dieser Energieträger und aller nicht durch die Stadtwerke bereitgestellter Daten erfolgte durch Hochrechnungen von Bundesdurchschnitts-, Landes- und Regionaldaten. Auf der Basis lokalspezifisch erhobener Daten der Schornsteinfegerinnung Neumünster konnten die Datensätze der Energieträger Heizöl, Biomasse, Flüssiggas und Stein- sowie Braunkohle korrigiert werden und entsprechend mit einem verbesserten Datengüteindex 3 in diesen Bericht einfließen. Für die Bewertung des Feuerungstättenbestandes haben die Schornsteinfeger:innen aller 6 Kehrbezirke in Neumünster ausgewählte statistische Daten zur Verfügung gestellt. Mit dieser Information wurde die niedrige Datenqualität der nicht-leitungsgebundenen Energieversorgung auf ein erheblich höheres und damit genaueres Datenniveau gehoben.

Der Sektor kommunale Einrichtungen erfasst die gemeindeeigenen Liegenschaften und Zuständigkeiten. Die Verbrauchsdaten sind in den einzelnen Fachabteilungen der Stadtverwaltung erhoben und über das Portal Klimanavi bereitgestellt worden. Zudem ist eine Datei mit gemessenen und geprüften Verbräuchen (DGI 5) der einzelnen kommunalen Liegenschaften berücksichtigt worden, die aus dem eea-Prozess der Stadt Neumünster vorliegt.

Die Angaben zum Ausbau erneuerbarer Stromproduktion stützen sich auf die EEG-Einspeisedaten und wurden ebenfalls über das Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur bereitgestellt. Darin aufgeführt sind die Stromproduktionsanlagen mit den Leistungskennwerten, die an das Stromnetz in Deutschland angeschlossen sind. Für die Ermittlung der proproduzierten Energie aus den erneuerbaren Stromproduktionsanlagen werden für die jeweilige Anlagenart übliche Volllaststunden verwendet.

Für die Produktion erneuerbarer Wärme mittels Solarthermie stehen über das Klimanavi ab dem Jahr 2019 Daten der Güteklasse 3 zur Verfügung, - Daten auf Amts- und Kreisebene, die den Bestand ausreichend repräsentativ abbilden.

Über Akteursinterviews bei der Stadt und den Stadtwerken wurden gezielt Informationen für eine spezifische Erarbeitung der Potenzial- und Szenarienanalyse erhoben. Insbesondere Daten zu den Wärmequellen des Fernwärmenetzes wurden auf diese Weise erhoben, da die Daten im Klimanavi mit dem Datengüteindex 2 nur von der Bundesebene abgeleitet vorliegen. Die vorliegenden Daten werden in den betrachteten Jahren einheitlich gleich angesetzt. Für Angaben zu Energiebedarfen der kommunalen Liegenschaften stand eine Datei mit Verbräuchen und Angaben zu den Energieträgerarten aus dem eea-Prozess der Stadt Neumünster zur Verfügung.

Des Weiteren wurden geologische Daten von Institutionen auf Landesebene wie bspw. dem LLUR und der Uni Kiel angefragt und bereitgestellt, um die geothermischen Potenziale mit Beratung von Marktakteuren sowie des erfahrenen und bundesweit bekannten Experten Dr. Reinhard Kirsch zu ermitteln und zu bewerten.

Für die Interpretation der nachfolgend dargelegten Ist-Analyse ist die Berücksichtigung der Datengüte und deren Entwicklung über die betrachteten Jahre von wesentlicher Bedeutung. Durch geänderte Datengüteindizes sind Angaben teilweise nur mit Erläuterung vergleichbar. Entwicklungen von einem zum anderen Jahr sind teilweise durch die Änderung der Datengüte beeinflusst und an diesen Stellen ist eine Erfolgskontrolle der Klimaschutzmaßnahmen nur mit differenzierter Bewertung der Erläuterungen möglich. Das betrifft insbesondere die Veränderung vom Jahr 2019 zum Jahr 2020, da für das Bilanzjahr 2020 einige Datensätze mit niedriger Datengüte aus dem Klimanavi durch die während der Bearbeitung dieses Berichtes erhobenen Informationen korrigiert worden sind. Damit stehen diesem Bericht für das Jahr 2020 teilweise neue Datensätze mit einer relevant verbesserten Datengüte zur Verfügung.

3.3 Endenergiebedarf der Stadt Neumünster

Der Endenergiebedarf der Stadt Neumünster liegt im Bilanzjahr 2020 bei insgesamt knapp 1.770 GWh. Dagegen weisen die vorangegangenen Jahre einen höheren und jährlich steigenden Endenergiebedarf in Höhe von 1.850 GWh im Jahr 2017 und bis zu 1.940 GWh im Jahr 2019 aus. Die deutliche Reduzierung des Endenergiebedarfs um etwa 9 % ist durch die im Jahr 2020 verbesserte Güte der vorliegenden Daten der Schornsteinfeger:innen zu erklären und zeigt, dass die Daten auf Bundesebene höhere Endenergiebedarfe beinhalten als die gemessenen Istwerte für die Stadt Neumünster. Dieses Bild zeigt sich in der nachfolgenden Betrachtung der stationären Sektoren und wird im Weiteren jeweils detailliert beschrieben.

3.3.1 Endenergiebedarf nach Sektoren und Energieträgern

In der nachfolgenden Abbildung 3-1 werden die Endenergiebedarfe für die Bilanzjahre 2017 bis 2020 in den unterschiedlichen Sektoren Haushalte, Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD), Verkehr und für die kommunalen Einrichtungen dargestellt. Der Sektor Haushalte zeigt mit dem anteilig höchsten Energiebedarf in Höhe von annähernd 700 GWh im Bezugsjahr 2020, kurz gefolgt vom Wirtschaftssektor mit knapp 640 GWh als Zusammenfassung von Industrie (210 GWh) und GHD (420 GWh). Der Endenergiebedarf in den vorangegangenen Jahren 2017 bis 2019 liegt im Haushaltssektor auf einem deutlich höheren Niveau, die anderen Sektoren sind auf vergleichbarem Niveau. Die Entwicklung vor 2020 und die Veränderungen in 2020 wird im Rahmen der nachfolgenden energieträgerweisen Beschreibung analysiert.

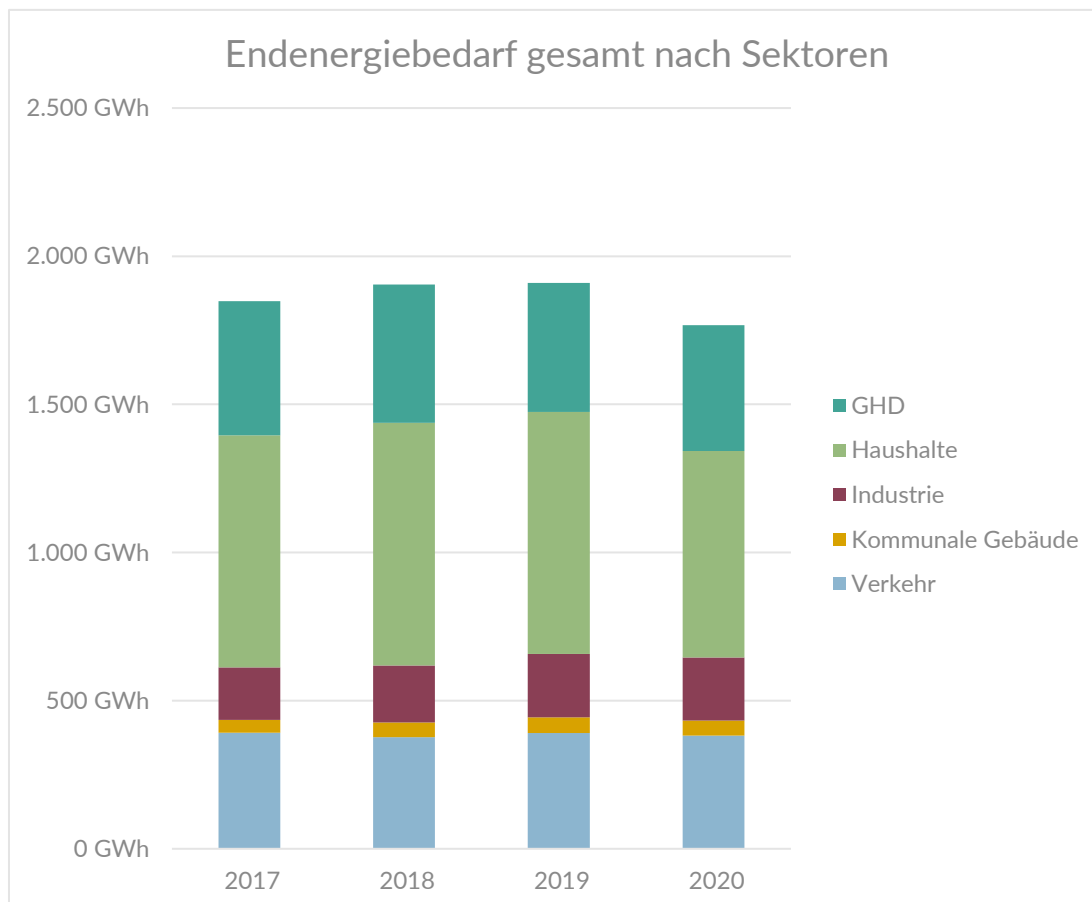


Abbildung 3-1: Endenergiebedarf nach Sektoren - Stadt Neumünster

Die nachfolgende Abbildung 3-2 zeigt, dass der Sektor Haushalte mit 39 % den größten Anteil am Energiebedarf ausmacht. Direkt dahinter liegt der Sektor Wirtschaft (Zusammenfassung der Bereiche GHD und Industrie), welchem insgesamt 36 % des Gesamtbedarfs zuzuschreiben sind. Dem Verkehrssektor können 22 % des Endenergiebedarfs zugeordnet werden, während der Endenergiebedarf der kommunalen Einrichtungen lediglich 3 % ausmacht.

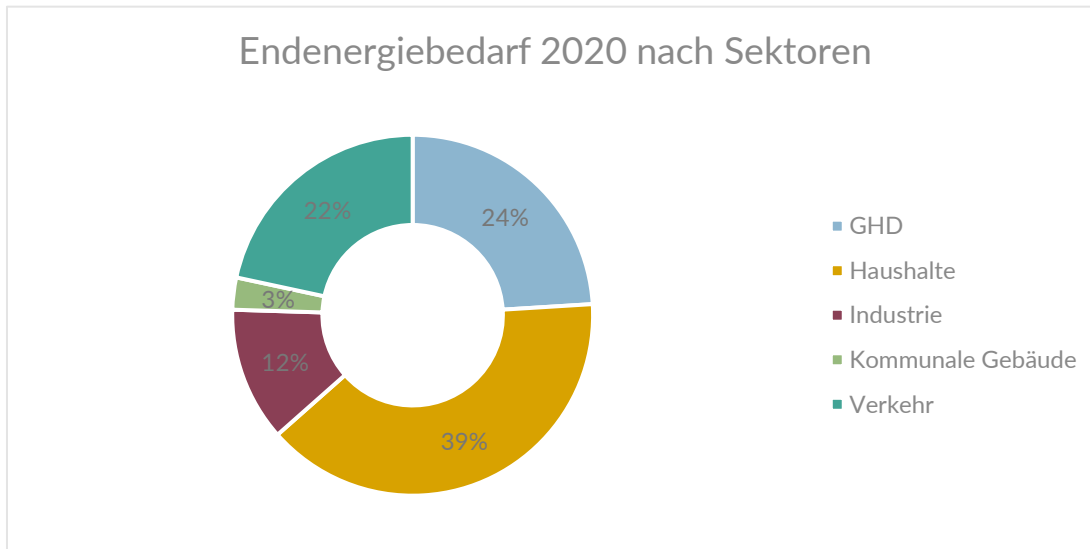


Abbildung 3-2: Prozentualer Anteil der Sektoren am Endenergiebedarf - Stadt Neumünster

Im Sektor Verkehr werden überwiegend Kraftstoffe wie Benzin und Diesel bilanziert. Es liegen aber auch geringe Verbräuche an Strom und Flüssiggas innerhalb des Stadtgebiets vor. Die nachfolgende **Abbildung 3-3** zeigt den Endenergiebedarf der Stadt Neumünster aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Energieträgern.

Die Energieträger Erdgas und Strom mit der höchsten Datengüte zeigen eine gegenläufige Tendenz. Während der Strombedarf im betrachteten Zeitraum von 390 GWh im Jahr 2017 auf 370 GWh im Jahr 2020 sinkt, steigt der Erdgasbedarf kontinuierlich von jährlich 430 auf 480 GWh.

Die Daten für Umweltenergie und Solarthermie liegen ebenfalls mit einer guten Datengüte im Klimanavi vor, leisten jedoch mit unter 2 GWh/a noch einen sehr geringen Beitrag zur Endenergieversorgung in der Stadt Neumünster.

Auch die Fernwärme zählt zu den leitungsgebundenen Energieträgern, ist jedoch im Klimanavi nur mit Daten des Güteindex 2 auf Bundesebene vertreten. Da uns ein repräsentativer Datensatz aus dem Bewertungszeitraum für die Fernwärmeversorgung in Neumünster von den Stadtwerken auf dem Niveau des Datengüteindex 5 zur Verfügung gestellt worden ist und dieser maßgeblich von den Daten aus dem Klimanavi abweicht, ist die Fernwärme für alle Jahre einheitlich in Höhe von 320 GWh in die Abbildungen eingegangen.

Die nicht-leitungsgebundenen Energieträger Heizöl, Flüssiggas, Biomasse und Braun- sowie Steinkohle können dem Klimanavi nur mit geringem Datengüteindex auf der Basis von Daten auf Bundesebene entnommen werden und sind insofern nur bedingt auf Entwicklungen auf dem Stadtgebiet Neumünster zurückzuführen. Diese Daten sind in der Darstellung zu den Jahren 2017 bis 2019 enthalten. Im Bilanzjahr 2020 sind die Energieträger des Wärmesektor mittels statischer Daten der Schornsteinfeger:innen korrigiert eingeflossen. Aus dieser Korrektur rührt auch die Hauptursache für das veränderte Abbild der Endenergiebedarfe im Jahr 2020.

Der Heizölbedarf sinkt über die Jahre 2017 bis 2019 moderat von jährlich 200 GWh auf unter 180 GWh. Dieser Trend spiegelt die Bemühungen auf Bundesebene wider, Heizöl durch andere Energieträger zu ersetzen und kann in Relation zu dem vorgenannten leicht steigenden Erdgasbedarf gesetzt werden, weil häufig Erdgas als Ersatzbrennstoff gewählt wird. Im Jahr 2020 sinkt der Heizölbedarf auf ca. 125 GWh durch die Korrektur über die Schornsteinfegerdaten. In der Stadt Neumünster liegt der Heizölbedarf folglich bereits deutlich unter dem Bundesdurchschnitt.

Beim Flüssiggas, bei der Biomasse und für Kohle verhält es sich analog zum Heizöl. Der Endenergiebedarf an Flüssiggas in Höhe von jährlich ca. 20 GWh zwischen 2017 und 2019 fällt durch die Korrektur mit den Schornsteinfegerdaten auf gut 5 GWh im Jahr 2020. Die Biomasse verzeichnet auf der Basis der Daten auf Bundesebene einen Zuwachs von einem Endenergiebedarf in Höhe von 55 GWh im Jahr 2017 auf 120 GWh in 2019. Über die Schornsteinfegerdaten korrigiert liegt der Bedarf für 2020 auf einem Niveau von nur noch 55 GWh. Bei Kohle (Summe aus Stein- und Braunkohle) fallen die Bedarfe von einem Niveau in Höhe von jährlich bis zu 30 GWh in den Jahren 2017 bis 2019 auf Null im Jahr 2020. Damit liegen die Bedarfe der vorgenannten Energieträger in der Stadt Neumünster ebenfalls unterhalb der Daten auf Bundesebene.

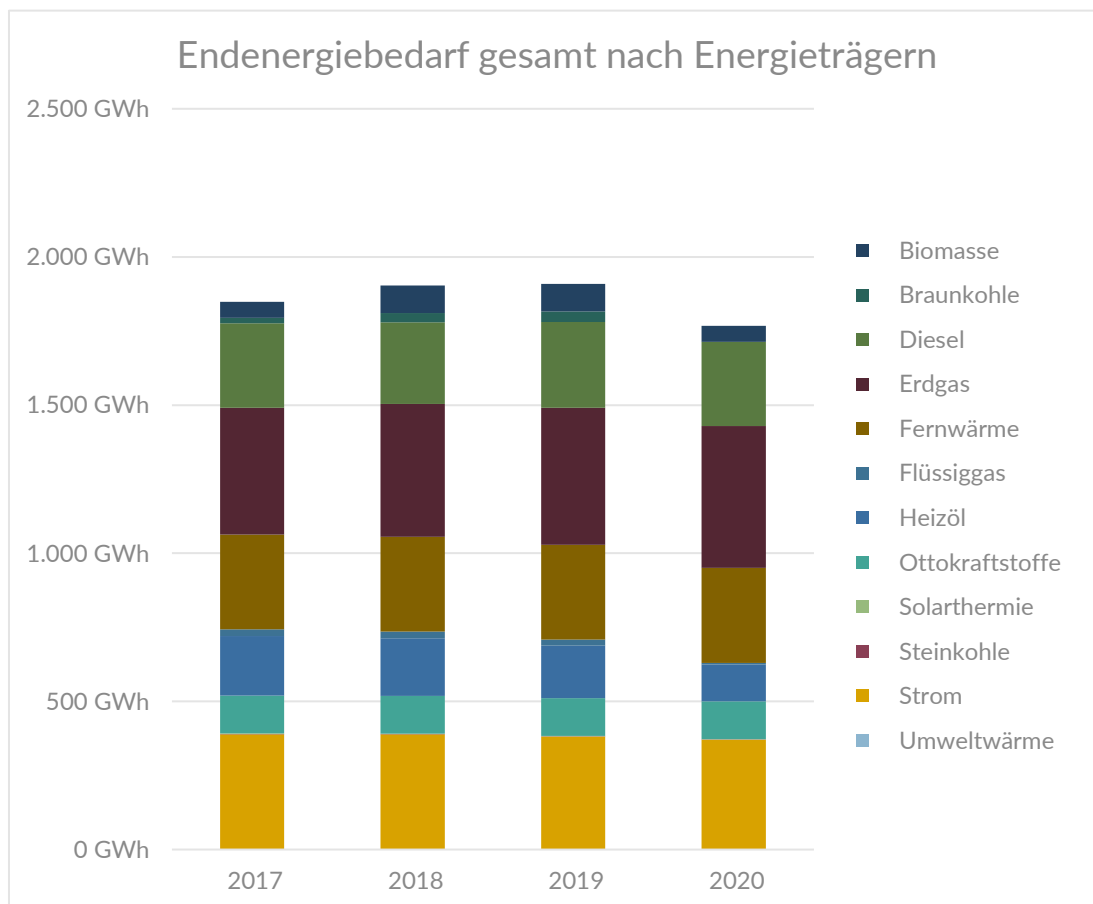


Abbildung 3-3: Endenergiebedarf nach Energieträgern - Stadt Neumünster

Die Energieversorgung Neumünster beinhaltet einige prägende Energieträger. Erdgas macht mit 27 % am Gesamtbedarf den größten Anteil aus und auch Strom hat mit 21 % einen großen Anteil. Eine Besonderheit für Neumünster ist, dass der drittgrößte Beitrag mit 18 % auf die Fernwärme entfällt. Der hohe Anteil des Verkehrssektors am Endenergiebedarf zeigt sich durch die

Anteile von Diesel mit 16 % und Benzin mit 7 % bei den Energieträgern. Heizöl stellt ebenfalls noch einen Anteil von 7 % am Endenergiebedarf der Stadt Neumünster dar. Alle anderen Energieträger nehmen aktuell eine untergeordnete Rolle im Portfolio der Energieversorgung auf dem Stadtgebiet Neumünster ein.

Zur Erläuterung der Endenergiebedarfe muss unter anderem auch auf den Einfluss des Verhaltens der Bewohner:innen in der Corona-Pandemie verwiesen werden. Seit März 2020 wird vermehrt im Home-Office gearbeitet, wodurch folglich mehr Energie Zuhause verbraucht wird. Laut einer Studie ist der Stromverbrauch pro Haushalt im Jahr 2020 um knapp 160 kWh angestiegen. Dies entspricht einem Anstieg von ca. 5 %. Circa drei Viertel der ausgewerteten Haushalte verbrauchten mehr Strom. Im Sektor Industrie wurde im ersten Lockdown 2020 ein Rückgang von knapp 6 % verbucht. Gleiches kann auch auf die Energieträger des Wärmemarktes übertragen werden, für den allen voran Erdgas zu nennen wäre.²

3.3.2 Endenergiebedarf nach Energieträgern der Gebäude und Infrastruktur

Der Energieträgereinsatz zur Strom- und Wärmeversorgung von Gebäuden und Infrastruktur wird nachfolgend detaillierter dargestellt. Die Gebäude und Infrastruktur umfassen die Sektoren Wirtschaft, Haushalte und Kommune (ohne Verkehrssektor).

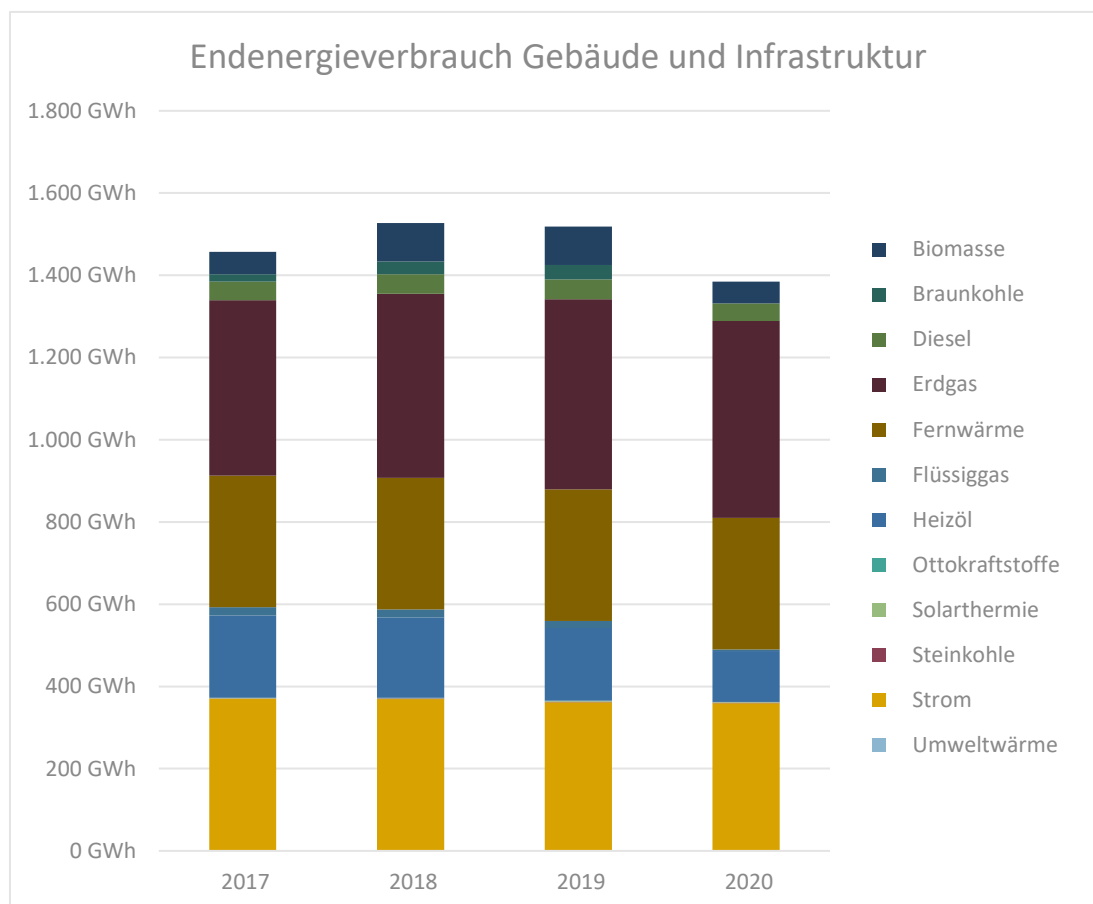


Abbildung 3-4: Endenergiebedarf der Gebäude und Infrastruktur nach Energieträgern - Stadt Neumünster

² <https://www.energieverbraucherportal.de/energie-magazin/verbraucherthemen/verbraucherthemen-detail/stromkosten-in-zeiten-von-corona>

In der Stadt Neumünster summiert sich der Endenergiebedarf der Gebäude und Infrastruktur im Jahr 2020 auf knapp 1.400 GWh. Die Abbildung 3-4 schlüsselt diesen Bedarf nach Energieträgern auf, sodass deutlich wird, welche Energieträger überwiegend im Stadtgebiet Neumünster zum Einsatz kommen. Im Unterschied zur vorherigen Darstellungsweise werden hier nicht mehr die Energiebedarfe aus dem Verkehrssektor betrachtet, sodass sich die prozentualen Anteile der übrigen Energieträger gegenüber dem Gesamtenergiebedarf verschieben.

Der Energieträger Strom hat nach dieser Aufstellung im Jahr 2020 einen Anteil von ca. 26 % am Endenergiebedarf. Als Brennstoff kommt vorrangig Erdgas mit einem Anteil von 34 % zum Einsatz, gefolgt von der Fernwärme mit 23 % am Endenergiebedarf in Gebäuden und Infrastruktur. Weitere eingesetzte Energieträger sind Heizöl (9 %) und Biomasse (4 %). Die restlichen 4 % entfallen auf Umweltwärme, Solarthermie und Flüssiggas.

3.3.3 Endenergiebedarf der kommunalen Einrichtungen

Die kommunalen Einrichtungen machen am Gesamtendenergiebedarf zwar lediglich rund 3 % aus, aufgrund der Wichtigkeit für die Stadt Neumünster und deren Vorbildwirkung werden die Energiebedarfe nachfolgend im Detail dargestellt. Dabei werden die kommunalen Einrichtungen der Stadt Neumünster – wie Abbildung 3-5 zu entnehmen ist – im Wesentlichen über drei Energieträger versorgt.

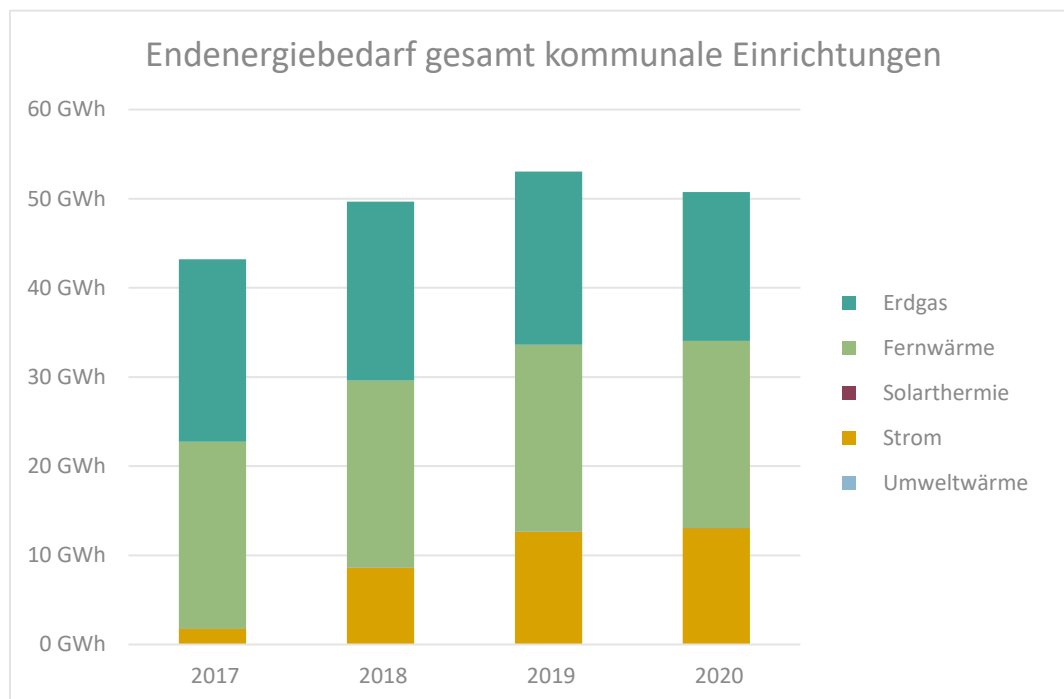


Abbildung 3-5: Endenergiebedarf der kommunalen Einrichtungen nach Energieträgern - Stadt Neumünster

In Ergänzung zu den gemessenen und geprüften Daten der Erdgas- (18 GWh) und Stromversorgung (13 GWh) aus dem Klimanavi liegen für die kommunalen Liegenschaften zusätzlich detaillierte Fernwärmeverbräuche (21 GWh) von der Stadt Neumünster vor. Da weitere Energieträger keine Rolle für die Endenergieversorgung der kommunalen Einrichtungen spielen, ist die Situation für das Jahr 2020 sehr eindeutig in Abbildung 3-5 beschrieben.

Fernwärme mit 39 % und Erdgas mit 35 % machen den überwiegenden Anteil aus, während Umweltenergie und Solarthermie noch einen auf vernachlässigbar niedrigem und

stagnierendem Niveau aufweisen. Der Strombedarf nimmt einen Anteil von 26 % des Energiebedarfs der kommunalen Gebäude und Infrastruktur ein.

3.4 THG-Emissionen der Stadt Neumünster

Im Bilanzjahr 2020 sind in der Stadt Neumünster Treibhausgase in Höhe von knapp 580.000 Tonnen Kohlenstoffdioxid-Äquivalente (t CO₂e) emittiert worden. Im zeitlichen Verlauf über die Jahre 2017 bis 2020 zeigt sich eine deutliche Analogie zu den Entwicklungen im vorbeschriebenen Kapitel der Endenergiebedarfe. Die Reduzierung der Endenergiebedarfe im Jahr 2020 aufgrund einer erheblichen Verbesserung der Datengüte führt in der Folge zu einer deutlich geringeren Emission im Jahr 2020 gegenüber den vorangegangenen Jahren.

3.4.1 THG-Emissionen pro Einwohner:in

Gegenüber den absoluten Werten in Abbildung 3-6 werden die sektorspezifischen THG-Emissionen in Tabelle 2 auf die Einwohner:innen der Stadt Neumünster bezogen.

Tabelle 2: THG-Emissionen pro Einwohner:in – Stadt Neumünster

THG-Emissionen pro Einwohner:in in [tCO ₂ e] nach Sektoren	2017	2018	2019	2020
Haushalte	2,2	2,2	2,2	2,0
Industrie	0,1	0,2	0,2	0,2
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	3,0	3,2	3,2	2,6
Verkehr	0,8	0,8	0,9	0,9
Kommune	1,5	1,5	1,5	1,5
Summe	7,6	8,0	8,0	7,2
Bevölkerungsstand	79.335	79.487	80.196	79.905

Der Bevölkerungsstand ist im zeitlichen Verlauf von 2017 bis 2019 insgesamt leicht angestiegen, fällt im Jahr 2020 jedoch wieder auf 79.905 Einwohner:innen. Bezogen auf die Einwohner:innen der Stadt betragen die THG-Emissionen pro Person demnach gut 7 Tonnen im Bilanzjahr 2020. Damit liegt die Stadt Neumünster seit 2020 unter dem bundesweiten Durchschnitt, der je nach Methodik und Quelle zwischen 7,9 t und 11 t pro Einwohner:in variiert. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass die BSKO-Methodik keine graue Energie und sonstige Energieverbräuche (z. B. aus Konsum) berücksichtigt, sondern vor allem auf territorialen und leistungsgebundenen Energiebedarfen basiert. Die mit BSKO ermittelten Pro-Kopf-Emissionen sind damit tendenziell geringer als die geläufigen Pro-Kopf-Emissionen.

3.4.2 THG-Emissionen nach Sektoren und Energieträgern

In Abbildung 3-6 werden die Emissionen in CO₂-Äquivalenten nach Sektoren aufgeteilt dargestellt und Abbildung 3-7 ist die prozentuale Verteilung der THG-Emissionen auf die Sektoren zu entnehmen.

Es wird darauf verwiesen, dass die deutliche Reduzierung der Emissionen im Bilanzjahr 2020 gegenüber den vorangegangenen Jahren auf eine deutliche Steigerung der der Bilanzierung zugrundeliegenden Datengüte und damit teilweise anderer Datensätze. Insofern kann nicht

von einer faktischen Reduzierung der Emissionen zwischen den Jahren 2019 und 2020 gesprochen werden, sondern im Jahr 2020 ein sehr viel präziseres Abbild der Emissionen dargestellt werden.

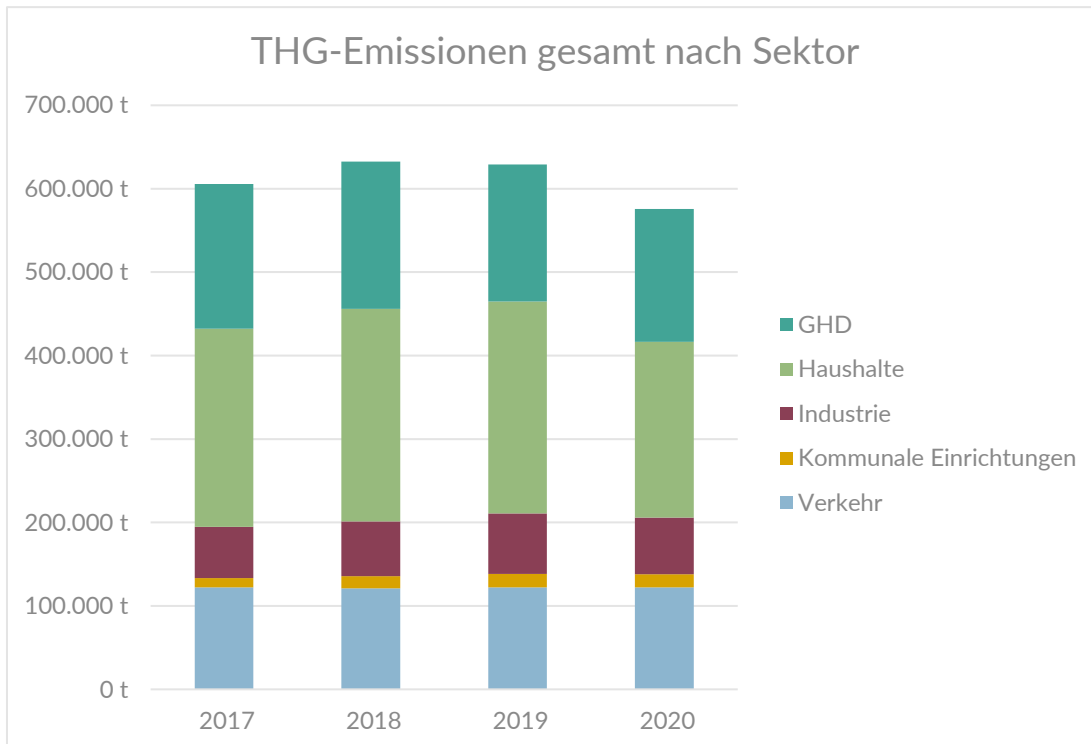


Abbildung 3-6: THG-Emissionen nach Sektor - Stadt Neumünster

Im Bilanzjahr 2020 entfällt der größte Anteil von 36 % bzw. 210.000 t CO₂e der THG-Emissionen auf den Sektor Haushalt. Es folgt der Sektor GHD mit 160.000 t CO₂e (28 %), Verkehr mit gut 120.000 t CO₂e (21 %) als drittgrößter Emittent und die Industrie mit einem Anteil von knapp 70.000 t CO₂e (12 %) an den THG-Emissionen der Stadt Neumünster. Die geringsten THG-Emissionen werden mit ca. 16.000 t CO₂e (3 %) den kommunalen Einrichtungen zugeschrieben.

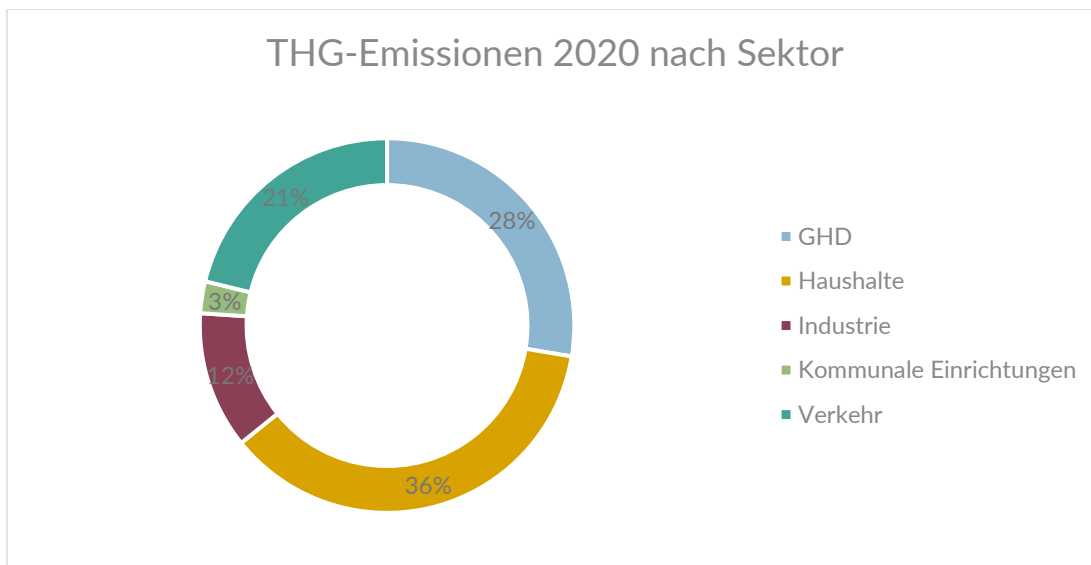


Abbildung 3-7: Prozentualer Anteil der Sektoren an den THG-Emissionen - Stadt Neumünster

Die THG-Emissionen der Stadt Neumünster sind nach Energieträgern differenziert in Abbildung 3-8 über die Zeit dargestellt. Im Bilanzjahr 2020 bewirkt der Energieträger Strom die mit Abstand meisten Emissionen in Höhe von knapp 180.000 t CO_{2e}, gefolgt von den Kraftstoffen Diesel und Benzin mit in Summe 130.000 t, Erdgas mit knapp 120.000 t, Fernwärme mit etwa 85.000 t, Heizöl mit 40.000 t und Biomasse mit 25.000 t Kohlendioxid-Äquivalente.

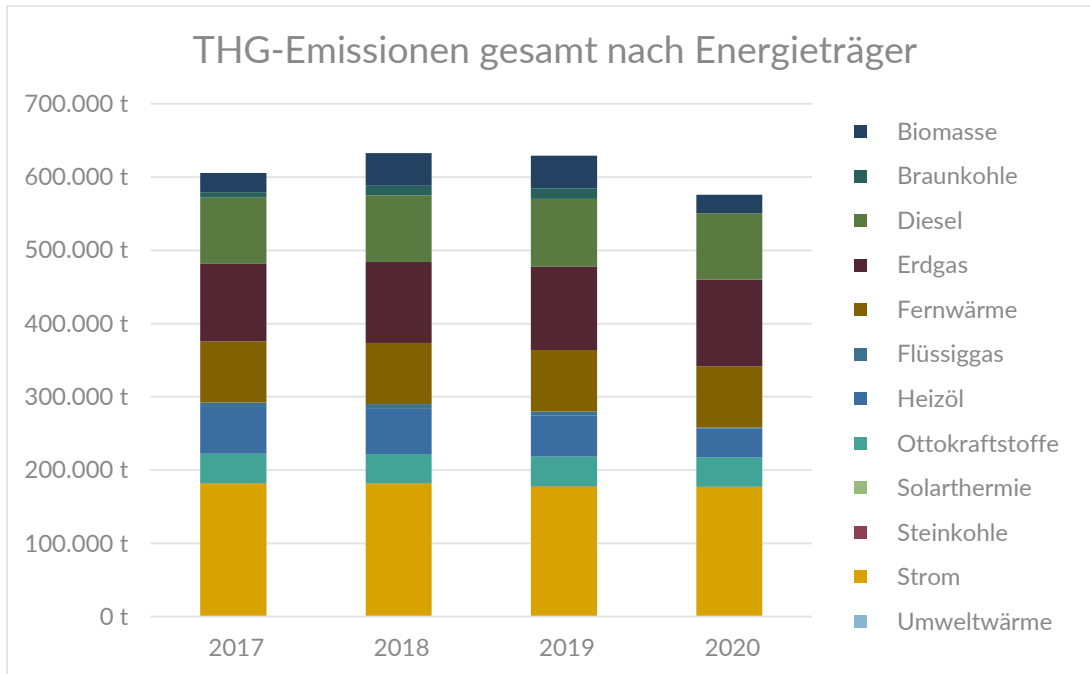


Abbildung 3-8: THG-Emissionen nach Energieträger – Stadt Neumünster

3.4.3 THG-Emissionen nach Energieträgern der Gebäude und Infrastruktur

In Abbildung 3-9 werden die aus den Energiebedarfen resultierenden THG-Emissionen nach Energieträgern für die Gebäude und Infrastruktur dargestellt. Die THG-Emissionen der Gebäude und Infrastruktur betragen im Bilanzjahr 2020 rund 450.000 t CO₂e. Das bedeutet eine Absenkung von rund 12 % gegenüber dem Jahr 2019, die auf eine verbesserte Datengüte zurückzuführen ist.

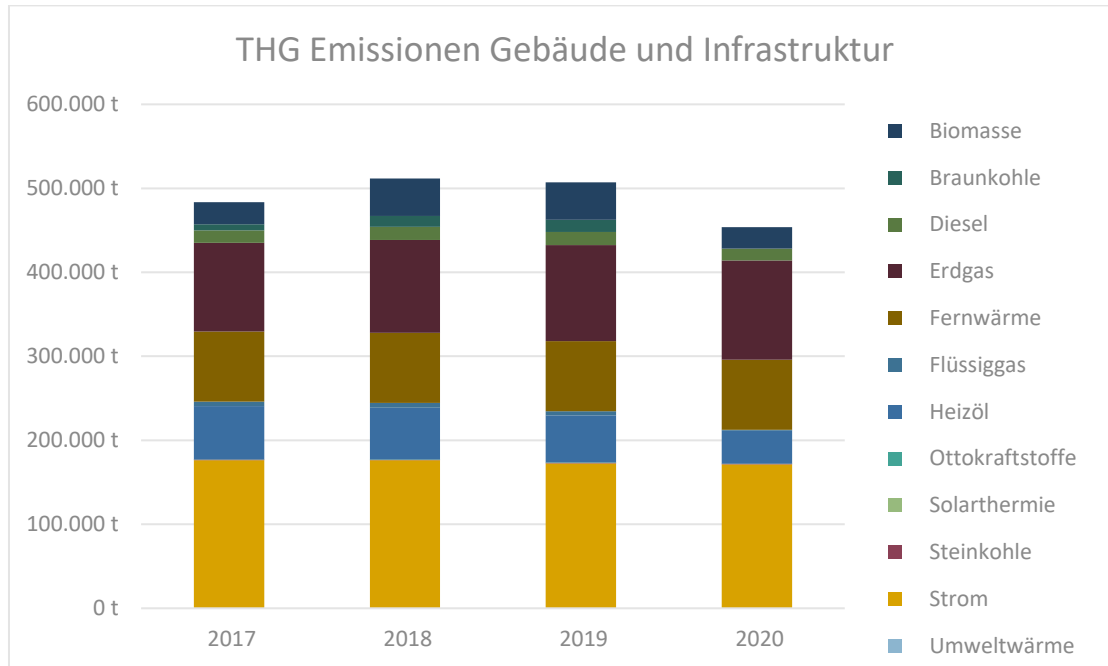


Abbildung 3-9: THG-Emissionen der Gebäude und Infrastruktur nach Energieträgern – Stadt Neumünster

In der Auswertung des Bilanzjahres 2020 wird die Relevanz des Energieträgers Strom mit einem Beitrag von gut 170.000 t CO₂e sehr deutlich: Während der Stromanteil am Endenergiebedarf der Gebäude und Infrastruktur rund 26 % beträgt, so beträgt hingegen die THG-Emission rund 38 %. Ein bundesweit klimafreundlicherer Strommix mit einem höheren Anteil an erneuerbaren Energien und einem somit insgesamt geringeren Emissionsfaktor würde sich reduzierend auf die Höhe der THG-Emissionen der Stadt Neumünster auswirken.

3.4.4 THG-Emissionen der kommunalen Einrichtungen

Bei der Betrachtung der Emissionen durch die kommunalen Einrichtungen in nachfolgender Abbildung 3-10 und Abbildung 3-11 wird erneut die Relevanz des Energieträgers Strom deutlich. Im Jahr 2020 macht Strom 26 % des gesamten Endenergiebedarfs der kommunalen Einrichtung aus. Der hohe Emissionskennwert durch noch verhältnismäßig geringe erneuerbare Anteile im Stromnetz bewirkt einen überproportional hohen Beitrag an den THG-Emissionen von 39 %.

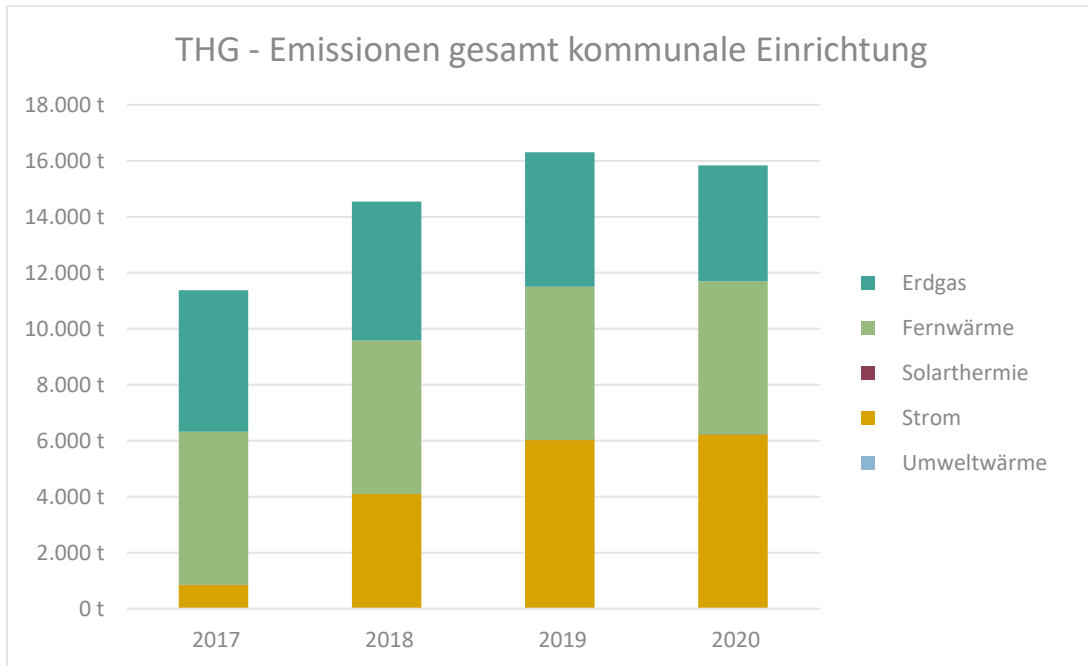


Abbildung 3-10: THG-Emissionen der kommunalen Einrichtungen nach Energieträgern – Stadt Neumünster

Des Weiteren ist die Fernwärme mit 39 % am Energiebedarf ebenfalls sehr relevant. Diese macht jedoch im Gegensatz zum Strom lediglich 35 % an den THG-Emissionen aus und hat somit spezifisch geringe Emissionen. Auch der Energieträger Erdgas kommt in den kommunalen Einrichtungen mit 35 % am Energiebedarf zum Tragen. Dieser verursacht 26 % an den gesamten THG-Emissionen.

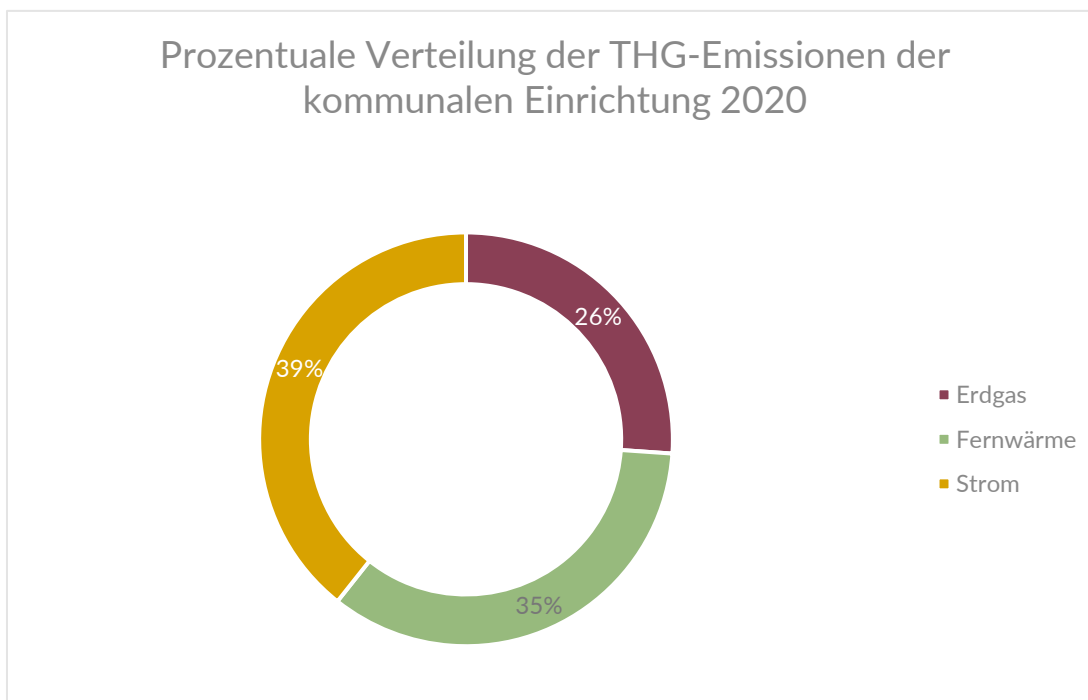


Abbildung 3-11: Prozentualer Anteil der Energieträger an den THG-Emissionen der kommunalen Einrichtungen – Stadt Neumünster

3.5 Regenerative Energien der Stadt Neumünster

Neben den Energiebedarfen und den THG-Emissionen sind auch die erneuerbaren Energien und deren Erzeugung im Gemeindegebiet von hoher Bedeutung. Im Folgenden wird auf regenerativ erzeugten Strom sowie Wärme in der Stadt Neumünster eingegangen.

3.5.1 Strom

Zur Ermittlung der Strommenge, die aus erneuerbaren Energien hervorgeht, wurden die Daten zur installierten Leistung aus dem Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur herangezogen und mit üblichen Volllastbetriebsstunden je Anlagentyp verrechnet. Die nachfolgende Abbildung 3-12 zeigt die installierte elektrische Leistung von erneuerbaren Stromproduktionsanlagen im Stadtgebiet Neumünster. Diese beschränken sich auf die solare Strahlungsenergie, sogenannter Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) mit einer Leistung von 16 MW und die Biomasse mit einer halben Megawatt Leistung. Andere erneuerbare Energiequellen zur Stromproduktion wie bspw. Wind sind auf dem Stadtgebiet Neumünster nicht registriert.

Die Leistung der solaren Strahlungsenergie verteilt sich auf 705 Photovoltaikanlagen mit einer mittleren Leistung in Höhe von gut 25 kW pro Anlage. 532 kleine Photovoltaikanlagen (75 %) mit Leistungen von jeweils 10 kWp oder kleiner stellen insgesamt 3,1 MW und damit 19 % der PV-Leistung bereit. Dagegen bilden 28 große PV-Anlagen mit einer Leistung von über 100 kW kumulierte einen Anteil von insgesamt 58 % der PV-Leistung ab. Den restlichen Anteil von 23 % übernehmen 145 mittelgroße PV-Anlagen.

Bei der Biomasse handelt es sich um zwei BHKW, die mit biogenen Gasen betrieben werden. Im ersten Fall handelt es sich dabei um Klärgas und im zweiten Fall um Biomethan.

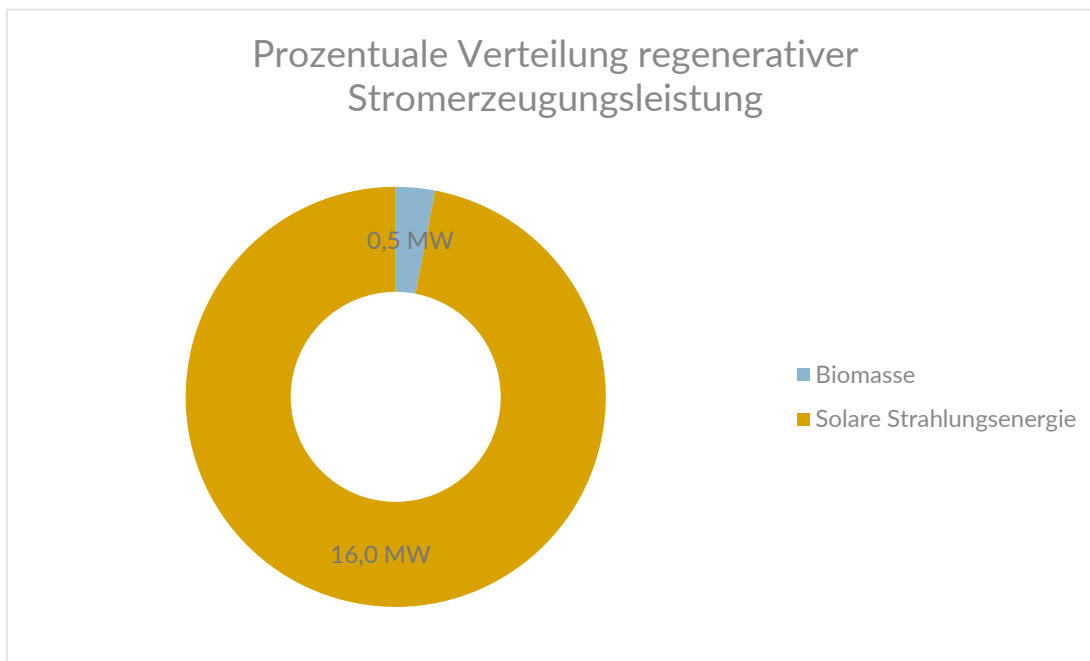


Abbildung 3-12: Installierte elektrische Leistung erneuerbarer Stromproduktionsanlagen gemäß Marktstammdatenregister – Stadt Neumünster

Die erneuerbar produzierte elektrische Energie wurde für das Bezugsjahr 2020 in Höhe von insgesamt 19 GWh ermittelt. Obwohl die installierte Leistung aus solarer Strahlung 32-mal größer ist, stellt die Biomasse gemäß Abbildung 3-13 in etwa 1/6 der regenerativen

Stromproduktion zur Verfügung. Dies machen die besonderen Eigenschaften von Grundlastfähigkeit und Regelbarkeit der Biomasse möglich.

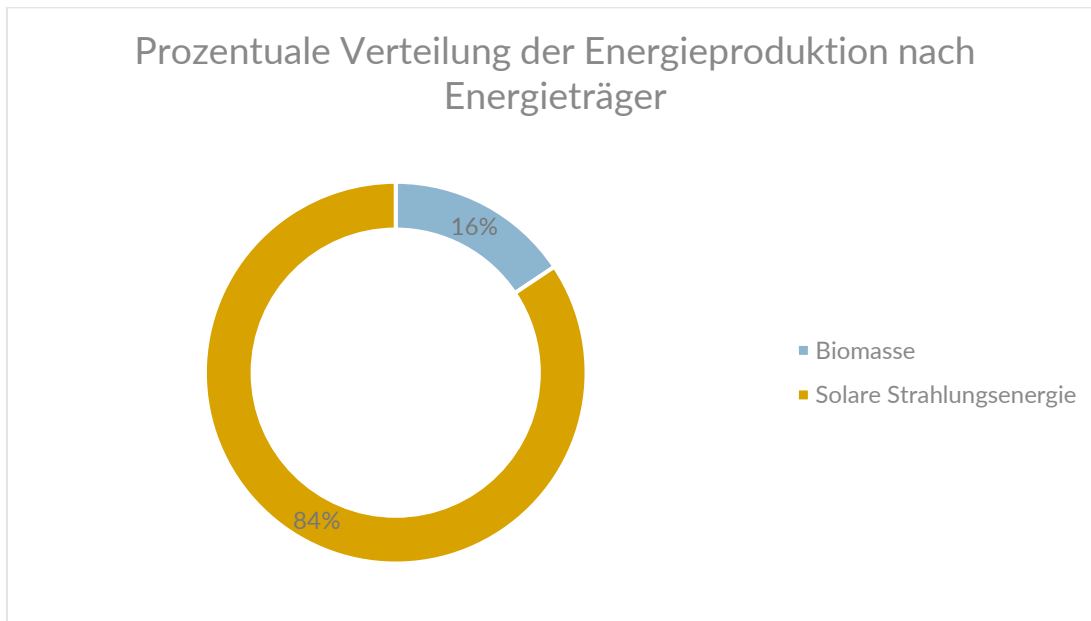


Abbildung 3-13: Anteile an der erneuerbarer Stromproduktion – Stadt Neumünster

Das Verhältnis von erneuerbarer Stromproduktion zum Strombedarf in der Stadt Neumünster beträgt damit 5 %. Zur Deckung des Bedarfes der Stadt besteht folglich noch ein hohes Potenzial, das in den Kapiteln 4 ff. behandelt wird.

3.5.2 Wärme

Für die regenerative Wärmeversorgung enthält das Klimanavi Daten über Energie aus Umweltwärme (Wärmepumpen), Solarthermie und Biomasse. Weitere regenerative Wärmeträger sind nicht dokumentiert. Die Datengüte für Umweltwärme ist mit einem Index von 5 maximal hoch, für Solarthermie mit einem Index von 3 ausreichend verwendbar und der Index von 2 für Biomasse wurde über die Schornsteinfegerdaten auf einen Index von 3 gehoben.

Die regenerative Wärmeversorgung mit einem jährlichen Endenergiebeitrag in Höhe von ca. 55 GWh deckt einen Anteil von 3 % bezogen auf den gesamten Endenergiebedarf der Stadt Neumünster ab. Reduziert man den bezogenen Endenergiebedarf um die Kraftstoffe Diesel und Benzin sowie um den Energieträger Strom, so verdoppelt sich der Anteil annähernd auf gut 5 %.

Wie der Abbildung 3-14 entnommen werden kann, gründet sich die Erzeugungsstruktur im Jahr 2020 mit einem Anteil von 79 % im Wesentlichen auf Biomasse, gefolgt von der Solarthermie mit 15 % und der Umweltwärme mit 6 %.

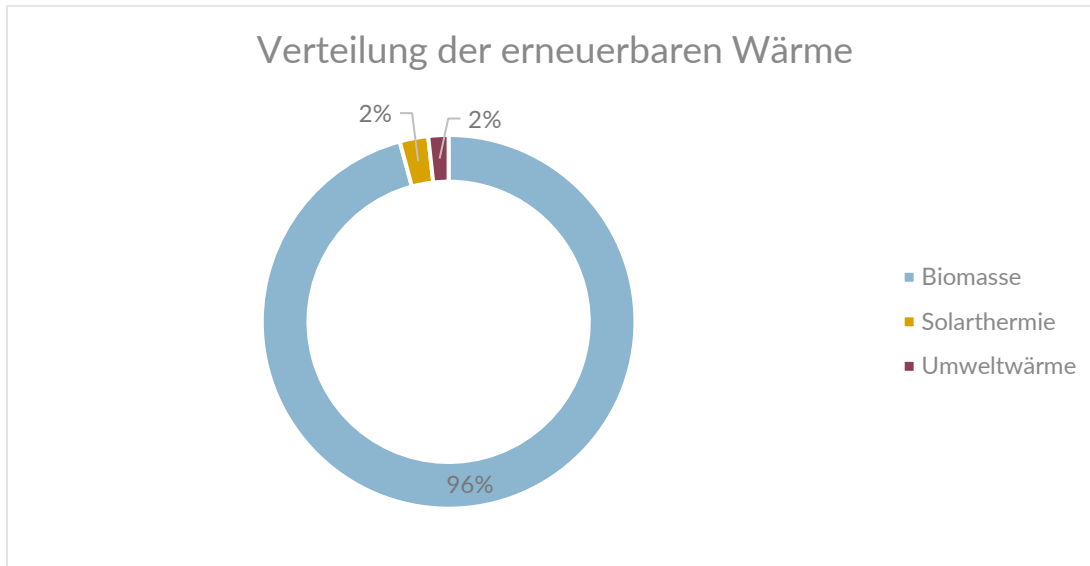


Abbildung 3-14: Verteilung der erneuerbaren Wärme

Der erneuerbare Anteil am Endenergiebedarf ist in der Wärme- wie Stromversorgung in der Stadt Neumünster gleichfalls mit etwa 5 % auf niedrigem Niveau und damit können beide Bereiche noch als „schlafender Riese“ bezeichnet werden. Der massive Ausbau der erneuerbaren Energieproduktion ist für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen von großer Bedeutung. Zudem reduziert die Förderung des Zubaus erneuerbarer Energieproduktionskapazitäten den Ersatz von Heizöl durch Ausweichbewegung hin zum Erdgas, die wiederum eine Nutzung des fossilen Energieträgers Erdgas für längere Zeit bedeuten würde.

4 Potenzialanalyse der Stadt Neumünster

Die Potenzialanalyse der Stadt Neumünster betrachtet die Einsparpotenziale in den verschiedenen Sektoren durch Effizienz und Suffizienz. Hierzu gehört der Wärmesektor, welcher fast 60 % des Endenergiebedarfes im Jahr 2020 ausmacht. Hier kann durch die energetische Gebäudesanierung und durch die Umstellung der Wärmeerzeuger Energie eingespart und der Anteil an CO₂-armer Energie erhöht werden. Der Verkehr und der Strombezug (ohne Wärme und Verkehr) machen jeweils ca. 20 % des Endenergiebedarfs aus. Beim Verkehr kann der Energiebedarf insbesondere durch die Verlagerung des PKW-Verkehrs auf den ÖPNV verringert werden (Suffizienz). Der größere Hebel im Verkehr liegt in der Elektrifizierung des Verkehrs, da ein batterieelektrischer Antrieb wesentlich effizienter als ein Verbrennungsmotor ist. Der konventionelle Strombedarf ohne die Sektoren Verkehr und Wärme kann durch effizientere Geräte reduziert werden.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Einsparpotenziale genauer erläutert. Für die Berechnung der Entwicklung der Energiebedarfe bis 2035 wurden insbesondere die Erkenntnisse aus der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut, 2021) und aus dem Maximalszenarien der Studie des Öko-Instituts (Öko-Institut, 2015) berücksichtigt. Für die Berechnung der Energieverbräuche wurden dabei die Besonderheiten der Stadt Neumünster, insbesondere der hohe Fernwärmeanteil berücksichtigt.

Neben den Einsparpotenzialen ist der Ausbau der erneuerbaren Energien von entscheidender Bedeutung. Nach der Untersuchung der Einsparpotenziale wird deshalb das Ausbaupotenzial von Sonnen-, Wind- und Bioenergie sowie Geothermie auf dem Stadtgebiet untersucht.

4.1 Wärmesektor

Gemäß der Energiebilanz der Stadt Neumünster entfallen im Jahr 2020 ungefähr die Hälfte des gesamten Endenergiebedarfes des Wärmesektor auf die Haushalte und ein Drittel entfällt auf das Gewerbe, den Handel und die kommunalen Gebäude. Nur ca. 16 % des Endenergiebedarfes wird von der Industrie verbraucht. Der Großteil dieser Bedarfe wird für die Raumwärme benötigt. Kleinere Anteile werden für die Erzeugung von Warmwasser und Prozesswärme benötigt.

4.1.1 Gebäudesanierung

Das größte Potenzial im Sektor der privaten Haushalte liegt im Wärmebedarf der Gebäude. Durch die energetische Sanierung des Gebäudebestands können der Endenergiebedarf und damit der THG-Ausstoß reduziert werden. Die nachfolgende Abbildung 4-1 stellt exemplarisch die allgemeinen Einsparpotenziale von Gebäuden nach Baualtersklassen dar.

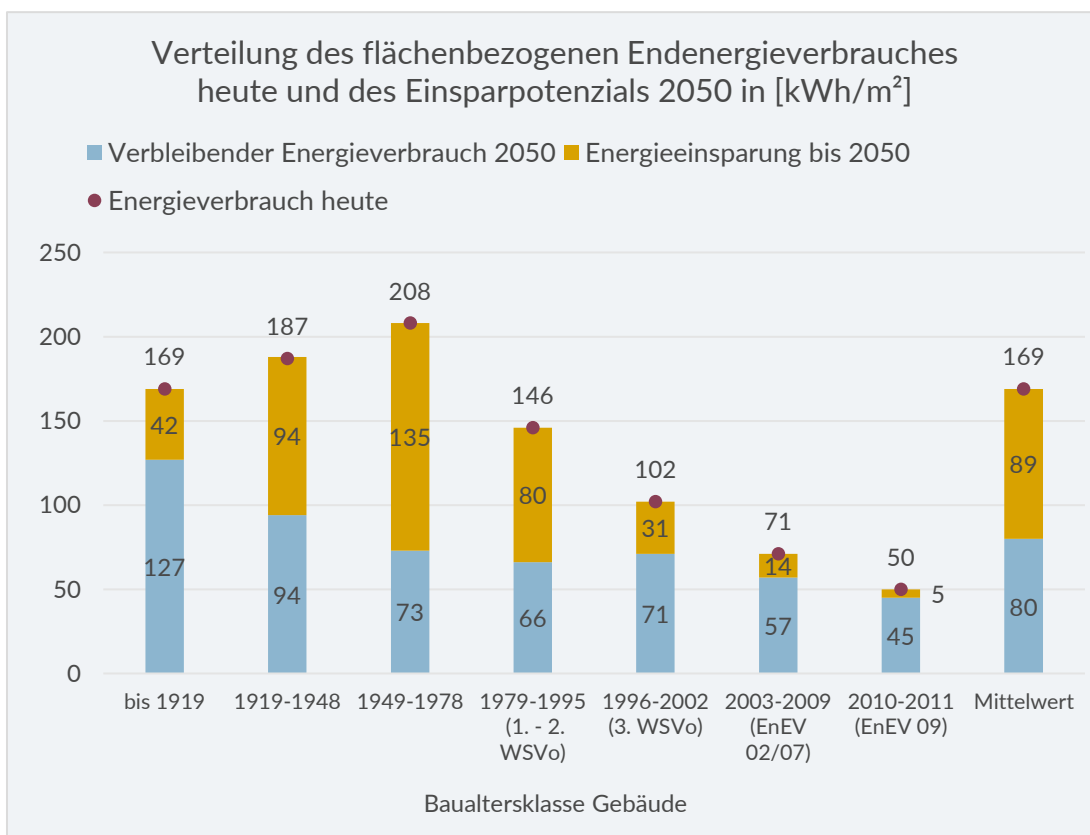


Abbildung 4-1: Verteilung des flächenbezogenen Endenergieverbrauches heute und des Einsparpotenzials 2050 (BMWi, 2014)

Um die Potenziale zu heben, muss die Sanierungsquote stark gesteigert werden. Da hier kein direkter Zugriff durch die Stadt Neumünster möglich ist, müssen die Eigentümer:innen zur Sanierung motiviert werden. Dies geht vor allem über Öffentlichkeits- und Netzwerkarbeit sowie über die Ansprache von Akteur:innen (Handwerker:innen, Berater:innen, Wohnungsgesellschaften). Einen weiteren Ansatzpunkt stellt die finanzielle Förderung von privaten Sanierungsvorhaben dar. In diesem Bereich sind jedoch eher Land oder Bund (über die KfW) tätig und zur Absenkung bürokratischer Hürden bei Antragstellung und Förderung gefordert. Die Rahmenbedingungen der Förderungen können auch die Sanierungstiefe beeinflussen, wenn hohe Sanierungsstandards deutlich attraktiver bezuschusst werden.

Das größte energetische Einsparpotenzial besteht in der Sanierung der Gebäude mit einem Baujahr bis zum Jahr 1978. Das trifft auf knapp die Hälfte der Gebäude in Neumünster zu. Insofern sollte in der Priorisierung der Maßnahmenbearbeitung die Stadtteile mit einem hohen Anteil der Gebäude bis zum Baujahr 1978 vorrangig bearbeitet werden. Die Abbildung 4-2 zeigt die Verteilung der Gebäude mit einem Baujahr bis 1978 auf dem Stadtgebiet Neumünster und Abbildung 4-3 stellt die Gebäude mit einem Baujahr von 1979 bis 2000 farblich dar. Gebäude mit einem Baujahr ab 2001 werden in diesem Zusammenhang nicht bewertet, da für diese Gebäude grundsätzlich das energetische Sanierungspotenzial als gering eingestuft werden muss und der bauliche Wärmeschutz seine Lebensdauer noch nicht erreicht hat, so dass eine Erneuerung zum jetzigen Zeitpunkt allgemein als nicht nachhaltig bewertet werden kann. Informationen zum energetischen Sanierungsstand der Gebäude lagen nicht vor und konnten für diesen Bericht nicht berücksichtigt werden, Nähere Bewertungen der Stadtteile sollten diesen Aspekt untersuchen und berücksichtigen.

Tabelle 3 fasst die Anzahl der Gebäudealter je Stadtteil zusammen. Tungendorf und Brachenfeld / Ruthenberg fallen jeweils für einen Zeitraum mit der höchsten Anzahl an Gebäuden auf und insofern kann in diesen Stadtteilen ein besonders hohes Einsparpotenzial erwartet werden.

Tabelle 3: Verteilung der Gebäude auf die Stadtteile nach Baujahr - Stadt Neumünster (ALKIS)

Stadtteil	Baujahre bis 1978	Baujahre von 1979 bis 2000
Böcklersiedlung / Bughagen	1.111	24
Faldera	1.467	357
Wittorf	1.298	150
Gadeland	1.025	393
Brachenfeld / Ruthenberg	1.331	807
Tungendorf	2.305	360
Einfeld	1.602	282
Gartenstadt	1.200	221
Innenstadt	1.846	182

Die Gebäude mit einem Baujahr vor 1978 sind in vielen Stadtteilen stark vertreten wobei Tungendorf im Nord-Osten von Neumünster flächig den höchsten Anteil aufweist, gefolgt von der Innenstadt. In den Stadtteilen Einfeld und Faldera kann ein lokal deutlich konzentrierter Anteil aus den Abbildungen abgeleitet werden. Für die Baujahre 1979 bis 2000 zeigen zudem die Stadtteile Brachenfeld / Ruthenberg und Gadeland einen hohen Anteil.

Für die Berechnung des Wärmebedarf in 2035 wurde für den Zeitraum 2020 bis Ende 2035 in Anlehnung an die Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ eine mittlere energetische Sanierungsrate von 2 % jährlich angenommen. Die Sanierungsrate schließt Abriss und Neubau von Gebäuden mit ein. Da die heutige Sanierungsrate niedriger liegt (deutscher Mittelwert 1-1,5 %) muss die Sanierungsrate kontinuierlich erhöht werden und in 2035 einen Wert von bis zu 3 %

erreichen. Je Sanierung wurde eine hohe Sanierungstiefe von 65 % berücksichtigt, der Endenergiebedarf des sanierten Gebäudes (oder des neuen Gebäudes) sinkt also um 65 %.

Anzahl der Gebäude mit Baujahr bis 1978 nach Zensus 2011

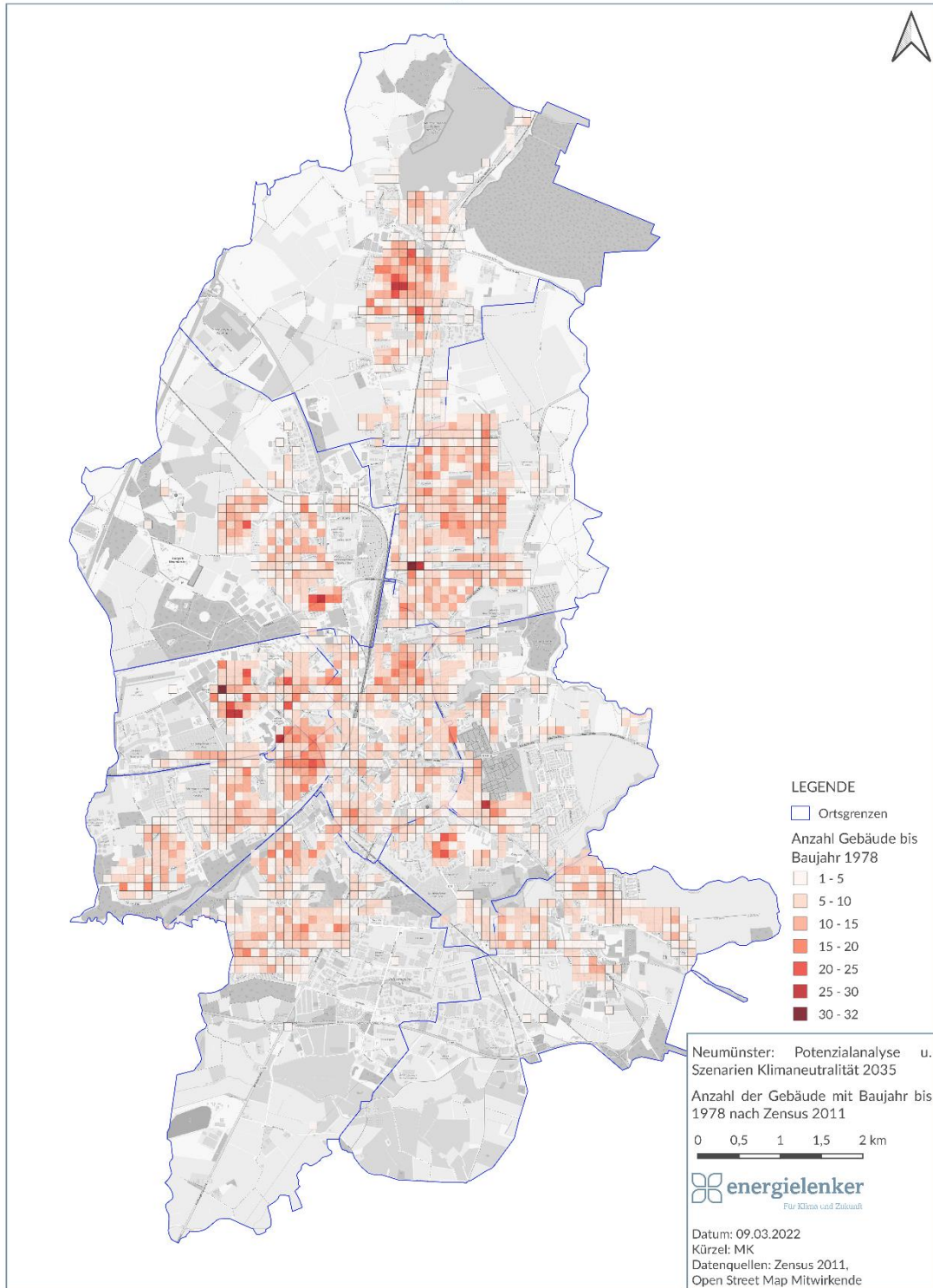


Abbildung 4-2: Anzahl der Gebäude mit einem Baujahr bis 1978 – Stadt Neumünster

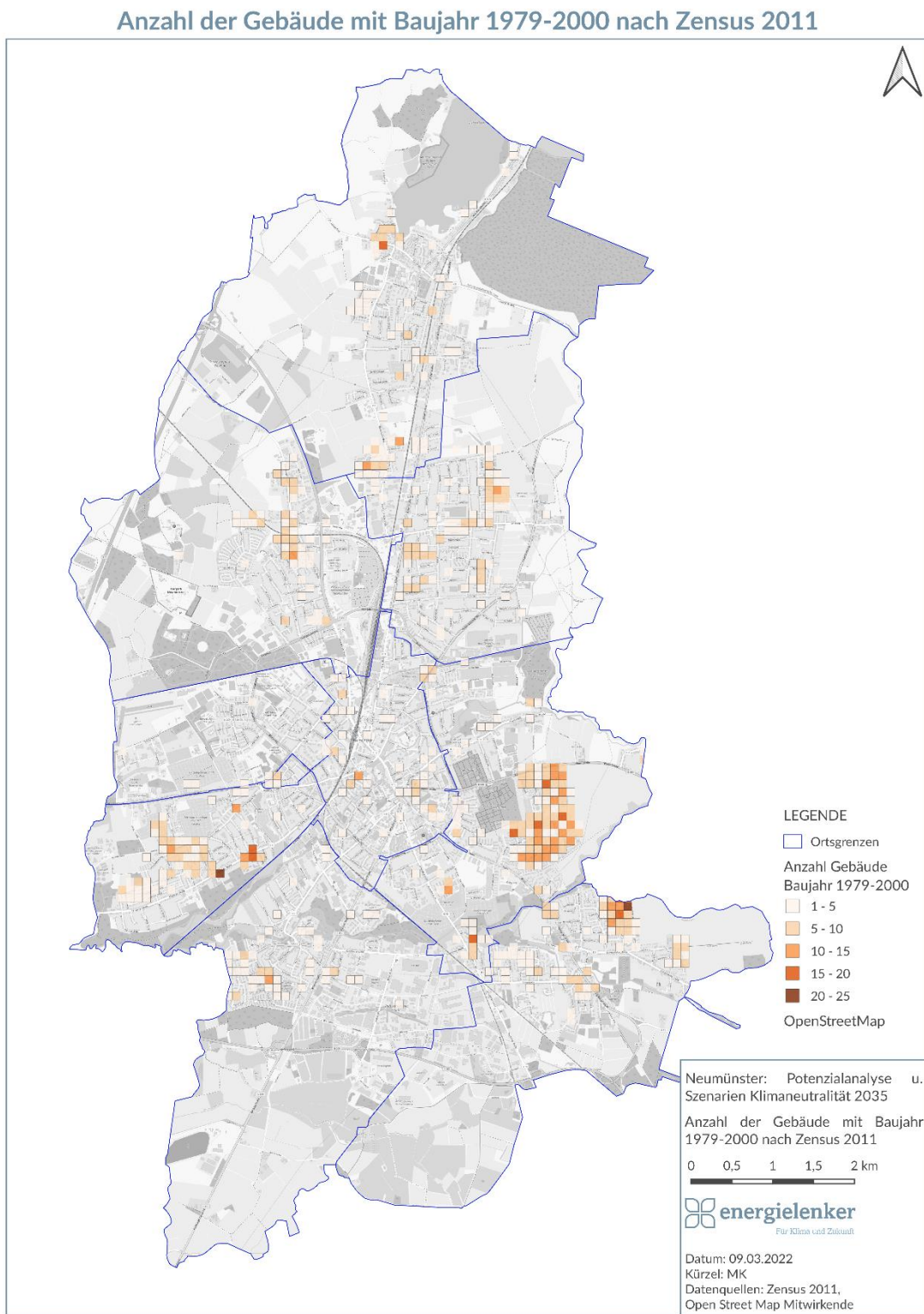


Abbildung 4-3: Anzahl der Gebäude mit einem Baujahr von 1979 bis 2000 – Stadt Neumünster

Mit diesen Annahmen wird bis Ende 2035 der Wärmebedarf der Gebäude um 20 % reduziert (Endenergie 18 %). Da der Wärmebedarf der Gebäude nur ca. 50 % des Gesamtenergiebedarfs ausmacht, liegt die Einsparung bezogen auf ganz Neumünster nur bei knapp 10 %. Das Zielszenario geht folglich von einer ungefähren Verdoppelung in der Gebäudesanierung ggü. der heutigen Sanierungsquote auf Bundesebene.

Eine noch deutlich höhere Sanierungsquote von 3 % bewirkt Einsparungen von knapp 30 % im Wärmesektor und damit knapp 15 % am Gesamtenergiebedarf. Das Erreichen einer hohen Gebäudesanierungsquote ist eine sehr wichtige Voraussetzung für die Wärmewende und das Erreichen der Klimaneutralität. Damit werden Gebäude „niedertemperatur-ready“ gemacht, also für den effizienten Einsatz von Wärmepumpen mit niedriger Heizungsvorlauftemperatur geeignet. Eine Sanierungsrate von 3 % mit einer gleichen Falls hohen Sanierungstiefe setzt sehr große und sehr schnelles Handeln in Politik, Verwaltung und Gesellschaft voraus. Zur Erreichung einer Sanierungsrate von im Mittel 3 % über die verbleibende Zeit bis 2035, muss die Sanierungsrate auf bis zu 5 % im letzten Jahr ansteigen. Bis Ende 2035 wären dann 40-45 % aller Gebäude in Neumünster vollsaniert. Für die im Szenario angesetzten Sanierungsrate von 2 % für das Zielszenario müssen 20-25 % aller Gebäude vollsaniert werden.

4.1.2 Produzierendes Gewerbe und Industrie

Bei dem produzierenden Gewerbe und insbesondere in der Industrie spielt der Energiebedarf für die Gebäudewärme meist eine untergeordnete Rolle. Sofern Prozesswärme benötigt wird, kann diese den Großteil des Wärmebedarfes ausmachen. Der Prozesswärmebedarf kann durch Umstellung der Anlagentechnik minimiert werden. So können thermische Verfahren auf elektrische Verfahren umgestellt werden (z.B. Lasergravur anstatt Einbrennen). Eine weitere Möglichkeit ist eine Dampferzeugung mit geringeren Verlusten, niedrigeren Dampfdrücken oder eine Umstellung auf Heißwasser.

Da keine Informationen zur Energieverwendung in der Industrie und im produzierenden Gewerbe vorliegen, können für die Einsparpotenziale nur allgemeine Einsparpotenziale angenommen werden. Bis Ende 2035 wird von einer Reduzierung von 24 % ausgegangen.

4.1.3 Wärmeerzeugung

Im Jahr 2020 wurden fast zwei Drittel des Wärmebedarf mittels fossiler Heizkessel gedeckt. Nur gut 5 % des Wärmebedarfs erfolgte mittels erneuerbarer Energien. Dafür hat Neumünster mit gut 30 % einen außergewöhnlichen hohen Anteil an Fernwärme. Die Fernwärme wird zu ca. 70 % aus der Abwärme der thermischen Ersatzbrennstoff-Verwertungsanlage gespeist. Der verbleibende Teil wird über mit Erdgas sowie Heizöl befeuerte Gaskessel gedeckt. Die Fernwärme versorgt hauptsächlich Wohngebäude und Abnehmer aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung. Die Versorgung der Industrie spielt eine untergeordnete Rolle.

Bis 2035 wird die Fernwärme eine noch bedeutendere Rolle einnehmen. Es wird davon ausgegangen, dass der Wärmeabsatz auf heutigem Niveau bleibt. Die Sanierung der Gebäude reduziert den Wärmebedarf, auch von Gebäuden, welche bereits heute an dem Fernwärmenetz angeschlossen sind. Um diesen sinkenden Wärmebedarf auszugleichen, müssen weitere Gebäude an das Wärmenetz angeschlossen werden. Dies bedeutet, dass ab 2036 die Hälfte der Gebäudewärme (ohne Industrie) über das Fernwärmenetz bereitgestellt wird. Dies bedeutet aber nicht, dass die Hälfte aller Gebäude an das Wärmenetz angeschlossen sein werden. Größere Gebäude oder Gebäude mit hohem Wärmebedarf werden sich eher an das Wärmenetz anschließen und kleinere Gebäude mit geringem Wärmebedarf werden eher eine dezentrale Lösung wählen. Die Anforderung aus dem EWKG (Energiewende- und Klimaschutzgesetz) eines erneuerbaren Anteils an der Wärmeversorgung wird zukünftig ein gewichtiges Argument für den Anschluss an das Fernwärmenetz sein und die Motivation zum Anschluss erhöhen. Das setzt jedoch die Erfüllung der Anforderungen an den erneuerbaren Anteil auch im Fernwärmenetz voraus.

Bei den dezentralen Wärmeerzeugern wird in Zukunft die Wärmepumpe dominieren und zunehmend die Heizkessel verdrängen. Aufgrund der hohen Bedeutung der Fernwärme fällt der Wärmeanteil aus Wärmepumpen im Jahr 2035 in Neumünster (19 %) geringer aus als im bundesdeutschen Durchschnitt (ein Drittel der Wärme). Da Wärmepumpen eher in kleineren energieeffizienten Gebäuden eingesetzt werden, wird der Anteil von Gebäuden mit Wärmepumpen bei über einem Drittel liegen.

Der Anteil der verbleibenden Gas- und Ölkessel wird deutlich sinken. Ab 2036 werden nur noch ca. 17 % der Gebäudewärme über Heizkessel bereitgestellt. Ein kleiner Teil des verbleibenden Gasbedarf kann über Biomethan gedeckt werden. Die Wärmeerzeugung aus Holz (8 %), Solarthermie (2 %) und Heizstrom (1 %) spielen ebenfalls eine kleinere Rolle.

Für die Entwicklung der Wärmeerzeugung in der Industrie gibt es keine Prognosen. Voraussichtlich wird im Gegensatz zu den Gebäuden noch ein hoher Teil mit Gaskesseln gedeckt. Hochtemperaturwärmepumpen oder der direkte Einsatz von Strom können eine wichtige Rolle zu Reduzierung des Erdgasbedarfes spielen. Zudem wird die Wärmeerzeugung aus Holz eine wichtigere Rolle als bei der Gebäudewärme spielen, da hiermit höhere Temperaturen erzielt werden. Je nach Temperaturanforderung der Industrie kann auch die Fernwärme eine zunehmende Rolle spielen. Für die Berechnungen wurde ein geringer Anteil von 5 % angenommen.

4.2 Verkehrssektor

Der Sektor Verkehr bietet langfristig hohe Einsparpotenziale. Ein Ausbau des öffentlichen Nah- und Fernverkehrs sowie die Digitalisierung des Berufslebens können den PKW-Verkehr deutlich reduzieren (Einsparpotenzial 17 % gemäß Öko-Institut, 2015). Die Stadt Neumünster kann hierfür neben der Öffentlichkeitsarbeit zur Nutzung des ÖPNV und eine höhere Auslastung von Pendlerfahrzeugen auch planerische und strukturelle Rahmenbedingungen zur Umgestaltung des inner- und außerörtlichen Verkehrs schaffen. Auf der anderen Seite wird der Güterverkehr weiter zunehmen (+5 %). Durch das steigende Verkehrsaufkommen beim Güterverkehr und beim öffentlichen Nah- und Fernverkehr werden die Einsparung beim PKW-Verkehr wieder aufgehoben.

Eine deutliche Reduzierung des Endenergiebedarfes des Verkehrssektors wird erst durch die Umstellung auf effizientere Antriebe möglich. Neuere PKW können den Verbrauch um bis zu 20 % reduzieren, z.B. durch Hybridantriebe und effizientere Motoren. Der typische Diesel-PKW im Bestand dürfte also z.B. anstatt 6 Liter/100km nur noch 4,9 Liter/100km verbrauchen (Benzin 5,7 statt 7 Liter/100km). Dies setzt voraus, dass der Trend sich zu immer größeren und schweren PKW nicht fortsetzt. Bei den LKWs ist das Einsparpotenzial geringer (ca. 11 %) da bereits die heutigen Dieselmotoren sehr effizient sind.

Batterieelektrische Antriebe haben eine deutlich höhere Effizienz und reduzieren den Energiebedarf der PKW um ~2/3 und den Energiebedarf der LKW um ~50 %. Ein Diesel-PKW mit einem Verbrauch von 6 Liter/100km (entspricht etwa einem Energiegehalt von 60 kWh) benötigt somit als Elektroauto etwa 20 kWh Strom je 100 km.

Aktuelle Studien gehen von einem exponentiellen Wachstum der Elektromobilität bei den Neufahrzeugen aus. Bereits kurz nach 2025 werden die meisten Neuwagen eine Batterie haben und im Jahr 2035 werden keine Fahrzeuge mehr mit Verbrennungsmotor verkauft. Im Bestand wird die Umstellung eine längere Zeit benötigen. In 2035 werden ca. 42 % der PKW und Nutzfahrzeuge einen elektrischen Antrieb haben. Wasserstoff spielt bei den PKW eine absolut untergeordnete Rolle (0,2 %). Wasserstoff-LKW sollen bis 2035 einen Anteil von 5 % erreichen. Die genannten Zahlen sind lediglich die Anteile im Fahrzeugbestand. Für die Berechnung des

Zielszenarios wird davon ausgegangen, dass die Fahranteile der batterieelektrischen Fahrzeuge aufgrund vorteilhafter Kostenstruktur höher sind (52 %) als ihr Anteil am Bestand.

Ein großer Teil der Fahrzeuge wird 2035 noch einen Verbrennungsmotor haben und Kraftstoffe tanken. Die Anteile von Biokraftstoffen bei den Kraftstoffen werden deutlich erhöht (9 %) und auch die strombasierten Kraftstoffe sollen einen Anteil von 9 % erreichen. Die Anteile der strombasierten Kraftstoffe werden nach 2035 noch deutlich ansteigen während die Biokraftstoffanteile wieder sinken werden.

4.3 Stromsektor

In den privaten Haushalten ergibt sich ein Einsparpotenzial durch den Einsatz von energieeffizienteren Geräten („A+“ Geräte). Im industriellen Bereich liegen die Einsparpotenziale vor allem im effizienteren Umgang mit mechanischer Energie, die über Strommotore erzeugt wird. Hier kann der Strombedarf insbesondere durch effizientere Pumpen, Druckluftsysteme, Kälte- und Lüftungsanlagen und allgemein durch effizientere elektrische Antriebe erreicht werden. Im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) wird dagegen ein großer Teil des Stroms zur Beleuchtung und Kommunikation eingesetzt. Abbildung 4-4 zeigt die unterschiedlichen Einsparpotenziale nach Querschnittstechnologien. Bis Ende 2035 wird ein Einsparpotenzial von 14 % für den Stromsektor angesetzt.

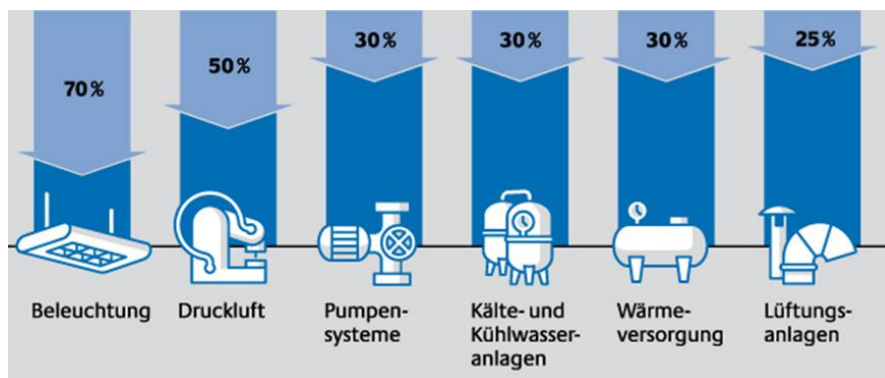


Abbildung 4-4: Energieeinsparpotenziale in der Wirtschaft nach Querschnittstechnologien (dena, 2014)

4.4 Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien spielen eine wichtige Rolle in der zukünftigen Energieversorgung der Stadt Neumünster. Nachfolgend werden die Potenziale für regenerative Energien dargestellt. Dabei stellen die Potenziale theoretische Maximalwerte dar, deren Umsetzbarkeit im Einzelfall zu prüfen und weiter zu konkretisieren ist.

Um die Potenziale für die Errichtung von erneuerbare Energien-Anlagen zu ermitteln, wurde die Stadt mittels Expertenbefragung mit einbezogen. Ebenfalls wurden verschiedene andere Quellen verwendet, welche in den jeweiligen Kapiteln genannt werden.

4.4.1 Windenergie

Wie dem Marktstammdatenregister (MaStR) zu entnehmen ist, sind derzeit weder Windkraftanlagen in dem Stadtgebiet von Neumünster errichtet noch geplant.

Abbildung 4-5 veranschaulicht neben dem Windpotenzial (blau eingefärbt) auch das PV-Freiflächenpotenzial (gelb eingefärbt), welches in Kapitel 4.4.2.2 beleuchtet wird. Als Datengrundlage wurde dafür der Agora PV- und Windflächenrechner verwendet.

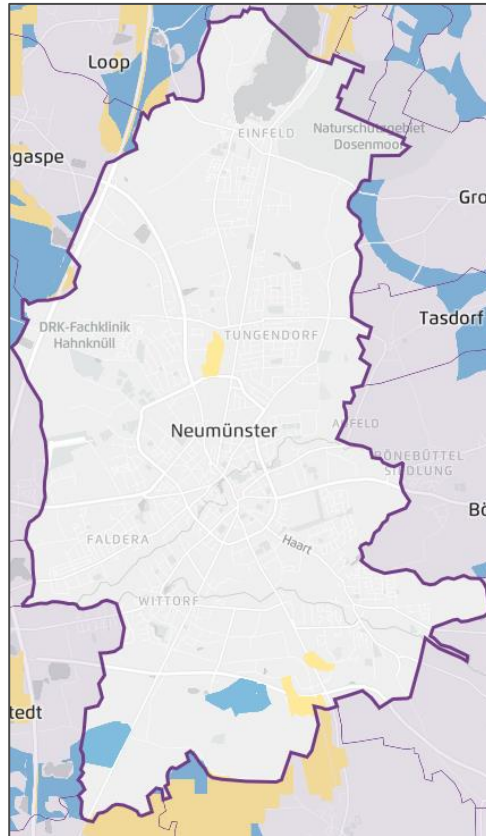


Abbildung 4-5: PV-Freiflächen- und Windpotenzial

Es ist zu erkennen, dass lediglich im Süden des Stadtgebietes zwei Flächen ein mögliches Windpotenzial besitzen. Mit Blick auf Satellitendaten (Google Maps/Earth) ist allerdings zu erkennen, dass diese Flächen sowohl durch die MBA Neumünster (links) als auch durch ein kleineres Gewerbegebiet (rechts) bereits versiegelt sind.

Somit kann festgehalten werden, dass auf Basis der angegebenen Datenquelle in Neumünster **kein Windpotenzial** vorhanden ist.

4.4.2 Sonnenenergie

Die Stromerzeugung durch Sonnenenergie spielt in der Stadt Neumünster die bisher größte Rolle in der Produktion erneuerbarer Energien (vgl. Kapitel 33.5.1). Zieht man die Perspektiven der Solarenergie für den urbanen Raum hinzu, so wird schnell klar, dass ein wesentlicher Erfolgsfaktor einer klimaneutralen Stadt in der Nutzung der solaren Potenziale liegt. Zu den Potenzialen der Solarenergie in Neumünster liegt noch kein Solarkataster vor, sodass die Potenziale in den nachfolgenden Kapiteln in Dachflächen- und Freiflächenphotovoltaik sowie Solarthermie unterteilt eigens ermittelt und beschrieben wurden.

4.4.2.1 Dachflächenphotovoltaik

Das Dachflächenpotenzial ist die symbolische Galionsfigur der urbanen erneuerbaren Energieproduktion, deren Erschließung durch die hohe gesellschaftliche Akzeptanz unkompliziert und gleichzeitig durch wirtschaftliche sowie strukturelle Hürden aufwändig zu erschließen ist. Erfahrungsgemäß sind hohe Sanierungsraten im Gebäudebestand ebenfalls ein guter Impuls zur Errichtung einer Solaranlage auf dem Dach des Gebäudes.

Da kein Solarkataster für Neumünster besteht, wurden aus dem betreffenden ALKIS-Datensatz die Gebäudegrundfläche ohne Nebengebäude, Gartenlauben, Garagen und Carports ausgelesen und über einen mittleren Faktor in Dachfläche umgerechnet. Neumünster verfügt über knapp 26.000 Gebäude, darunter 22.180 Wohngebäude und knapp 3.300 industriell genutzte, sowie ca. 500 öffentliche Gebäude. Diese bieten eine gesamte Dachfläche von 522 ha.

Aus vergleichbaren städtischen Projekten mit Solarkataster kann ein Anteil von ca. 30 % der Dachfläche abgeleitet werden, die zur Belegung von PV-Anlagen geeignet ist. Dieser Abschlag wird insofern als ein Erfahrungswert vorgenommen und damit steht in der Stadt Neumünster eine erschließbare Solarpotenzialfläche von ungefähr 170 ha zur Verfügung. Das bedeutet im arithmetischen Mittel eine Solarpotenzialfläche von 60 m² je Gebäude.

Somit besteht, bei einer angenommenen Leistungsdichte von 1,7 MW pro Hektar, ein Dachflächenphotovoltaik-Potenzial in Höhe von rund **290 MW**, was einer jährlichen Stromproduktion von 260 GWh entspricht.

4.4.2.2 Freiflächenphotovoltaik

Zumeist stehen Freiflächenphotovoltaikanlagen in Konkurrenz zu landwirtschaftlich genutzten Flächen. Auch in der Stadt Neumünster besteht eine derartige Flächenkonkurrenz. Doch neben landwirtschaftlich genutzten Flächen bieten auch die Randstreifen entlang der Autobahnen und Schienenwege hohe Potenziale für Freiflächenphotovoltaik. Zudem sind diese im EEG 2021 vom Gesetzgeber als förderungswürdige Standorte für PV-Freiflächenanlagen festgelegt. Dabei können große Freiflächenanlagen seit dem EEG 2021 zukünftig eine Leistung von bis zu 20 MWp besitzen (vorher 10 MWp). Hierzu wurde etwa auch der Korridor erweitert: Während bislang 110 m Randstreifen an Autobahn- und Eisenbahn-Rändern galten, können nun 200 m genutzt (dabei muss jedoch ein Streifen von 15 m freigehalten werden).

Die Flächen entlang der Autobahnen und Schienenwege eignen sich vor allem deshalb, da das Landschaftsbild bereits vorbelastet ist, es kaum Nutzungskonkurrenz gibt und die Flächen häufig geböscht sind, so dass die Module in einem günstigen Neigungswinkel stehen und daher mit weniger Abstand zueinander aufgestellt werden können als auf ebenen Flächen. Prinzipiell sind folgende Flächen unproblematisch als Potenzialflächen für Solarfreiflächenanlagen geeignet:

- 200 m Randstreifen von Autobahnen oder Bundesstraßen (beidseitig, gemessen vom äußeren Rand der Fahrbahn), welche als Acker- oder Grünland ausgewiesen sind.
- 200 m Randstreifen von Bahntrassen (beidseitig), welche als Acker- oder Grünland ausgewiesen sind.

Siedlungs- und Waldflächen sowie folgende Schutzgebiete werden als ungeeignet für die Solarfreiflächen bewertet:

- Naturschutzgebiete
- Biotope
- Naturdenkmale
- FFH-Gebiete
- Wasserschutzgebiete (Zone I + II)
- Überschwemmungsgebiete
- Vogelschutzgebiete

Potenziale nach Agora-Flächenrechner

Abbildung 4-5 im Kapitel 4.4.1 der Windenergie zeigt die PV-Freiflächenpotenziale auf. Bei einer Betrachtung der ausgewiesenen Potenzialflächen wird allerdings deutlich, dass diese teilweise oder sogar komplett bebaut sind. So befindet sich im Zentrum von Neumünster ein

Schrebergarten, wodurch ein PV-Freiflächenpotenzial entfallen würde. Gleichmaßen ist das Potenzial im Süden durch hinzugebaute Straßen und Wege eingeschränkt.

Werden alle dargestellten Flächen berücksichtigt, so würde sich das PV-Freiflächenpotenzial auf etwa 31 MW belaufen. Abzüglich der zentral gelegenen Fläche beträgt das Potenzial in etwa 17 MW. Mit einem angenommenen Ausnutzungsgrad von 50% reduziert sich das Potenzial erneut auf knapp **8 MW**.

Potenziale entlang Autobahnen, Bahnschienen und Bundesstraßen

In dieser ersten Annahme wurden mögliche Flächen entlang Autobahnen, Bundesstraßen und Schienen zunächst vernachlässigt, da diese beinahe ausschließlich in Landschaftsschutzgebieten liegen (vgl. Abbildung 4-6, *hellgrün*). Eine Bebauung dieser Flächen würde aufwändige Ausgleichsmaßnahmen mit sich bringen. Bei einer Vernachlässigung dieser Restriktionen könnte das PV-Freiflächenpotenzial, unter Berücksichtigung der Autobahn A7, aller Schienenwege im Stadtgebiet sowie den Bundesstraßen 203 und 430, auf 166 MW erhöht werden. Da die Bundesstraßen allerdings nicht 4-spurig sind, würde bei einer Vernachlässigung dieser Flächen das PV-Freiflächenpotenzial auf 118 MW reduziert werden. Zzgl. eines Abschlags von 50% für die Umsetzungswahrscheinlichkeit beträgt das Potenzial innerhalb des 200m-Korridors **59 MW** (Innovative Technologien wie bspw. Agri-PV wurden dabei nicht berücksichtigt.)

Potenziale außerhalb des 200m-Korridors

Weitere Potenziale in Höhe von rund 140 MW befinden sich auf den umliegenden Flächen der Kläranlage Bullenbek und der MBA im Süden von Neumünster. Südlich des Wasserschutzgebietes Einfeld-Kom und westlich des Dosenmoores stehen ebenfalls ausreichend Flächen zur Verfügung, um knapp 160 MW PV-Freiflächenanlagen zu installieren.

Die meisten Flächen befinden sich allerdings nicht im 200m-Korridor entlang der Autobahn oder Bahnschienen angesiedelt, sodass die Wahrscheinlichkeit der tatsächlichen Nutzung eher gering ist. Sollten allerdings etwa 20 % des Potenzials tatsächlich realisiert werden können, so beläuft sich das PV-Freiflächenpotenzial auf **60 MW**.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, an bspw. landwirtschaftlich genutzten oder wiedervernässelten Flächen Agri-PV-Anlagen zu errichten. In behördlicher Abstimmung kann eine genauere Identifikation dieses Potenzials ermittelt werden.

In Summe ergibt sich somit für PV-Freiflächenanlagen ein technisches Potenzial von **127 MW**.

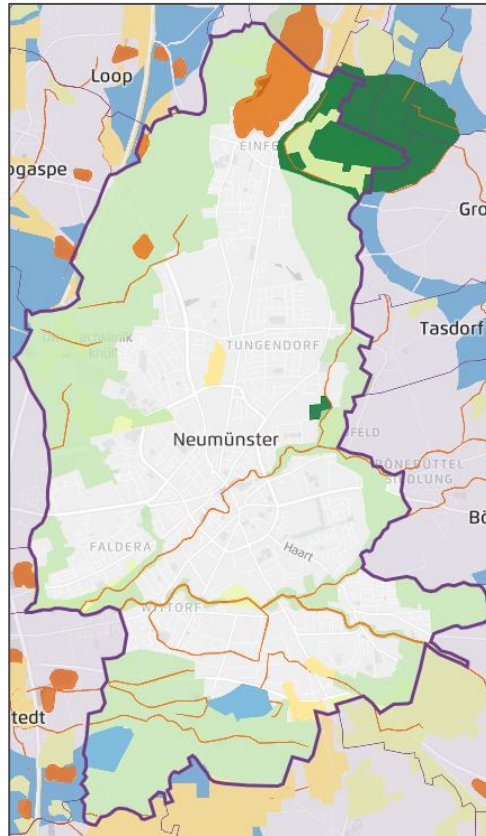


Abbildung 4-6: Landschaftsschutzgebiete in Neumünster

4.4.2.3 Solarthermie

Neben der Stromerzeugung ist die Sonnenenergie auch für die Warmwasserbereitung durch Solarthermie geeignet. Ein 4-Personen-Haushalt benötigt etwa 4-6 m² Kollektorfläche zur Deckung des Warmwasserbedarfes außerhalb der Heizperiode (Mai bis September). Insgesamt können so über das Jahr gesehen rund 60 % des Warmwasserbedarfes durch Solaranlagen abgedeckt werden.

In sogenannten Kombi-Solaranlagen kann darüber hinaus, neben der Warmwasserbereitung, auch Energie zum Heizen der Wohnfläche genutzt werden. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichend große Dachfläche, da die Kollektorfläche ungefähr doppelt so groß sein muss, wie bei reinen Solaranlagen für die Warmwasserbereitung. Dies führt zu einer Flächenkonkurrenz mit Photovoltaikanlagen.

Ein Speicher im Keller sorgt dabei durch seine Pufferwirkung dafür, dass die Solarwärme auch nutzbar ist, wenn die Sonne nicht scheint. Im Vergleich zu Anlagen, die lediglich der Warmwasserbereitung dienen, ist das Speichervolumen bei Kombi-Anlagen zwei- bis drei-mal so groß. Zudem ist der Speicher im Gegensatz zu einfachen Anlagen zum überwiegenden Teil mit Heizungswasser gefüllt.

Durch Kombi-Solaranlagen lassen sich bis zu 25 % des jährlichen Wärmeenergiebedarfs decken. Eine zusätzliche herkömmliche Heizung ist in jedem Fall erforderlich. Die Kombination von Solaranlagen mit einem herkömmlichen Heizungssystem ist vom Fachmann durchzuführen, da Solaranlagen, bestehende Heizung und Wärmeenergiebedarf aufeinander abgestimmt sein müssen, um eine optimale Effizienz zu erzielen.

Nachfolgend wird das Potenzial für Solarthermie anhand eines angenommenen Warmwasserbedarfs von 40 Litern pro Kopf und Tag errechnet. Bei knapp 80.000 Einwohnern entspricht dies einem jährlichen Energiebedarf von 51 GWh, wobei 30 % davon bereits durch die Fernwärme gedeckt wird.

Unter der Annahme, dass 60 % des verbleibenden Warmwasserbedarfs durch Solarthermie gedeckt werden kann, beträgt das technische Potenzial von Solarthermie, abzüglich der bereits installierten Solarthermieanlagen, etwa **20 GWh/a**, wobei das Potenzial bei Kombi-Solaranlagen deutlich höher liegt.

Durch die Flächenkonkurrenz mit PV-Anlagen sowie Gebäudesanierungen, welche einen verringerten Warmwasserbedarf zur Folge haben, ist das tatsächliche Potenzial von Solarthermie nur schwer zu beziffern.

4.4.3 Bioenergie

Unter den erneuerbaren Energien ist die Bioenergie die Technologie, die am flexibelsten eingesetzt werden kann. Im Gegensatz zu Wind und Sonne kann Biomasse „gelagert“ bzw. gespeichert werden und folglich als Ausgleichslast eingesetzt werden, wenn Sonne und Wind zu wenig Energie liefern. Dabei kann Biomasse sowohl bei der Strom- als auch bei der Wärmeerzeugung zum Einsatz kommen.

Biomasse ist allerdings mit Abstand die flächenintensivste unter den erneuerbaren Energien. Die Energieerträge aus verschiedenen Substraten variieren dabei zum Teil stark, z. B.:

- 5 MWh/(ha a) aus extensivem Grünland,
- 20 MWh/(ha a) aus Zuckerrüben,
- 60 MWh/(ha a) aus Silomais.

So gibt es viele kritische Stimmen zur Nutzung von Biomasse als Energielieferant. Hier ist beispielsweise die „Teller oder Tank“-Debatte zu nennen, in der häufig kritisiert wird, dass Biomasse nicht primär zur energetischen Nutzung angebaut, sondern eher auf Reststoffe zurückgegriffen werden sollte. Zukünftig wird vor allem die verstärkte stoffliche Nutzung von Biomasse, beispielsweise zur Herstellung von Kunststoffen, gegen den Einsatz dieser zur Energiegewinnung sprechen.

Im Rahmen dieser Analyse wird daher nur das Potenzial aus Bioabfällen in der Szenarien-Berechnung berücksichtigt. Der Einschätzung aus dem Abfallwirtschaftsbereich der Stadtwerke Neumünster entsprechend werden aktuell Bioabfälle aus Neumünster und den umliegenden Kreisen in Höhe von ca. 50.000 Tonnen pro Jahr kompostiert, die für eine energetische Verwertung über eine Vergärung geeignet sind. Diese Bioabfallmasse hat das Potenzial für eine Biogasproduktion in Höhe von ca. 25 GWh (Brennwert) pro Jahr und kann für die kostengünstige Produktion erneuerbaren Biogases ausreichen, selbst wenn nur 2/3 dieses Potenzials realisiert würde. Bei 500 Volllaststunden pro Jahr ergibt sich ein Leistungspotenzial von 50 MW und damit knapp 1/3 der maximal in das Fernwärmenetz eingespeisten thermischen Leistung in Höhe von 160 MW, die im Jahr 2012 gemessen wurde.

Sowohl die Stadt als auch die Stadtwerke Neumünster haben eigene und langjährig erfahrene Expertise, Kompetenz und Strukturen zur Sammlung, Logistik, Aufbereitung und Verwertung von Abfall. Auf dem Standort der MBA im Wittorferfeld besteht die Möglichkeit zum Aufbau einer Abfallvergärungsanlage. Zur Erschließung dieses Potenzials ist die Klärung der Rahmenparameter notwendig und das Interesse der in der sogenannten BAV (Bio-Abfall-

Verwertungsgesellschaft mbH) mit den Stadtwerken Neumünster zusammenarbeitenden Nachbarkreisen Segeberg und Plön an einer Bioabfallvergärung in Neumünster zu gewinnen.

Dieses Potenzial der Biomassennutzung ist sehr vielfältig einsetzbar und kann grundsätzlich in vielen Sektoren in Form von Gas, Strom oder Wärme interessante Beiträge leisten. Der größte Nutzen in Neumünster ergibt sich durch den Einsatz des Abfall-Biogases zur Bereitstellung von verhältnismäßig günstiger Spitzenlast für das Fernwärmenetz im Winterbetrieb. Das beschriebene Abfall-Biogaspotenzial beträgt ca. 7 % der über das Fernwärmenetz umgesetzten thermischen Energie. Das produzierte Biogas kann gereinigt, in das Erdgasnetz eingespeist und dort saisonal „gelagert“ und nahezu beliebig „transportiert“ werden.

4.4.4 Geothermie

Der Untergrund stellt eine gewaltige Menge an Wärmeenergie bereit, die ohne negative Folgen für die Umwelt genutzt werden kann. Wärmequellen sind die Restwärme vom flüssigen Urzustand der Erde sowie radioaktiver Zerfall von Isotopen innerhalb des Gesteins. Als Folge nimmt die Temperatur im Erdinneren zu. Im für die Nutzung der Erdwärme interessanten Tiefenbereich beträgt der Temperaturgradient im Mittel $3^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ (Abbildung 4-7).

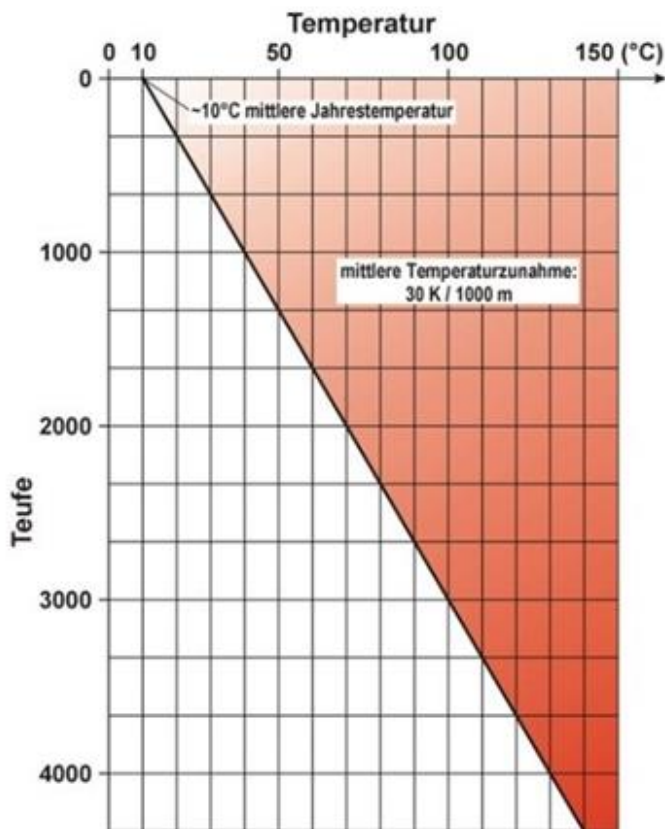


Abbildung 4-7: Zunahme der Temperatur mit der Tiefe

Für die ausreichend sichere Beurteilung des geothermischen Potenzials reicht die verfügbare Datenlage für das Stadtgebiet Neumünster bedauerlicher Weise noch nicht aus. Die nachfolgenden Kapitel beschreiben im Einzelnen die unterschiedlichen Nutzungsoptionen der oberflächennahen und mitteltiefen Geothermie sowie der Tiefengeothermie, die jeweils vorliegende Datenlage, mögliche Restriktionen sowie Risiken und das jeweilige Potenzial soweit möglich. Eine Übersicht der Potenziale wird im Kapitel 4.5 gegeben.

Für das Erreichen einer ausreichenden Datenlage werden erforderliche Maßnahmen vorgestellt, die im Kapitel 7 „Sofort-Maßnahmen“ zusammengefasst aufgeführt werden. Aufgrund der geringen Datenlage wird in den folgenden Kapiteln die Geothermie ausführlich beschrieben, Informationen aus den vorliegenden Daten diskutiert und die systemischen Nutzungspotenziale vor dem Hintergrund der Bedarfs- und Versorgungsstruktur in Neumünster dargelegt.

Die Gewinnung von Erdwärme erfordert Bohrungen und ist mit offenen und geschlossenen Systemen möglich (Abbildung 4-8). Bei offenen Systemen wird Thermalwasser gefördert, das bis in Tiefen von mehreren Kilometern vorkommen kann. Die Wärme des Thermalwassers wird mit Wärmetauschern an ein Heizsystem übertragen und das dadurch abgekühlte Thermalwasser wird über eine zweite Bohrung in etwa 1 km Abstand wieder in den Thermalwasserhorizont eingeleitet. Bei geschlossenen Systemen wirkt die Bohrung als Wärmetauscher, die Wärmeübertragung aus dem Gestein erfolgt hier durch Wärmeleitung.

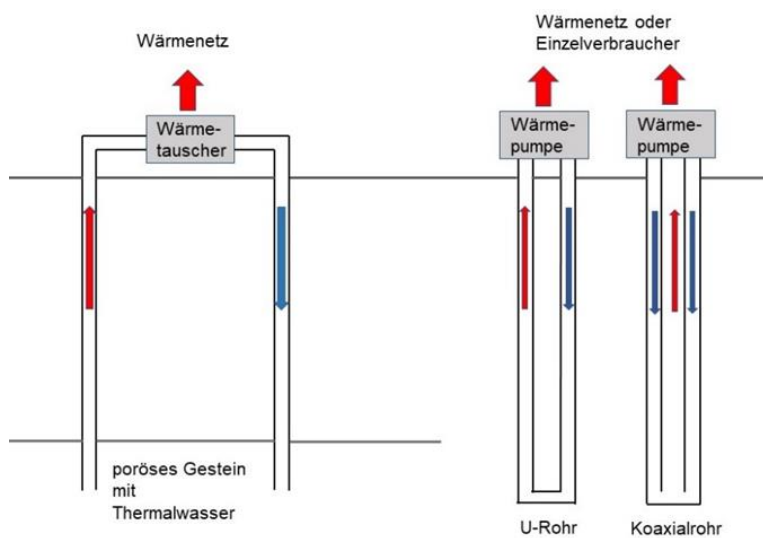


Abbildung 4-8: Technische Lösungen zur geothermischen Energiegewinnung: links offenes System mit Nutzung von Thermalwasser, rechts geschlossene Systeme mit U- und Koaxialrohr.

Je nach genutztem Tiefenbereich erfolgt eine Einteilung in oberflächennahe Geothermie und Tiefengeothermie. Dazwischen steht die Mitteltiefe Geothermie, die Grenzen zwischen den Nutzungsformen sind fließend.

Die oberflächennahe Geothermie (meist mit Bohrtiefen um 100 m, jedoch maximal 200 m) nutzt die im oberflächennahen Bereich gespeicherte solare Wärme. Im Regelfall wird mit geschlossenen Systemen (Erdwärmesonden) gearbeitet, hier ist zur Temperaturanpassung eine Wärmepumpe erforderlich. Die Mitteltiefe Geothermie nutzt Tiefen bis ca. 1000 m. Dabei macht sich bereits der Temperaturgradient bemerkbar, dennoch ist meistens auch in diesem Fall eine Wärmepumpe nötig. Bei der Mitteltiefen Geothermie wird in den meisten Fällen mit geschlossenen Systemen gearbeitet (Tiefe Erdwärmesonde). Die Tiefenbeschränkung bis ca. 1000 m ergibt sich aus den Bohrkosten, die ab dieser Tiefe stark ansteigen, da größere Bohrgeräte eingesetzt werden müssen. Die Tiefengeothermie umfasst den sich anschließenden Tiefenbereich bis über 3000 m. Meistens erfolgt hier die Nutzung von Thermalwasser aus porösen Gesteinsformationen wie z.B. Sandstein. Bei ausreichender Thermalwassertemperatur ist eine direkte Wärmenutzung möglich, aber auch bei der Tiefengeothermie ist der Einsatz einer Wärmepumpe eine interessante Option.

4.4.4.1 Einschränkungen der Bohrtätigkeit

Die zur Nutzung von Erdwärme abgeteufte Bohrungen stellen einen Eingriff in den Untergrund dar, daher gibt es lokale Beschränkungen zur Vermeidung von Umweltgefahren. Es geht hierbei im Wesentlichen um den Grundwasserschutz sowie um Altlasten wie z.B. alte Müllablagerungen. Eine Grundwassergefährdung durch Bohrungen ist nur bei nicht fachgerechter Ausführung möglich. Durch Leckagen der Verrohrung kann salzhaltiges Thermalwasser oder Wärmeträgerflüssigkeit austreten und zu einer Kontamination des Grundwassers führen. Außerdem kann durch eine schadhafte Zementation der Bohrung nach Einbringen der Verrohrung kontaminiertes Oberflächenwasser entlang der Bohrung ins Grundwasser gelangen. Daher ist die Bohrtätigkeit in Wasserschutzgebieten stark eingeschränkt.

Das Wasserschutzgebiet Neumünster wird zurzeit überarbeitet, die augenblickliche Ausdehnung der Schutzzonen I – III ist in Abbildung 4-9 dargestellt. Laut Schutzgebietsverordnung ist es selbst in der Schutzzone III verboten:

- (6) Erdaufschlüsse vorzunehmen, durch die die das Grundwasser abdeckenden Bodenschichten wesentlich vermindert werden
- (10) Wärmepumpenanlagen zu errichten, bei denen als Wärmequelle die Benutzung von Grundwasser oder Erdwärme vorgesehen ist.

Daher ist beim gegenwärtigen Wasserschutzgebiet die Nutzung von Erdwärme in einem großen Teil des Stadtgebietes ausgeschlossen bzw. nur durch eine Ausnahmeregelung möglich.

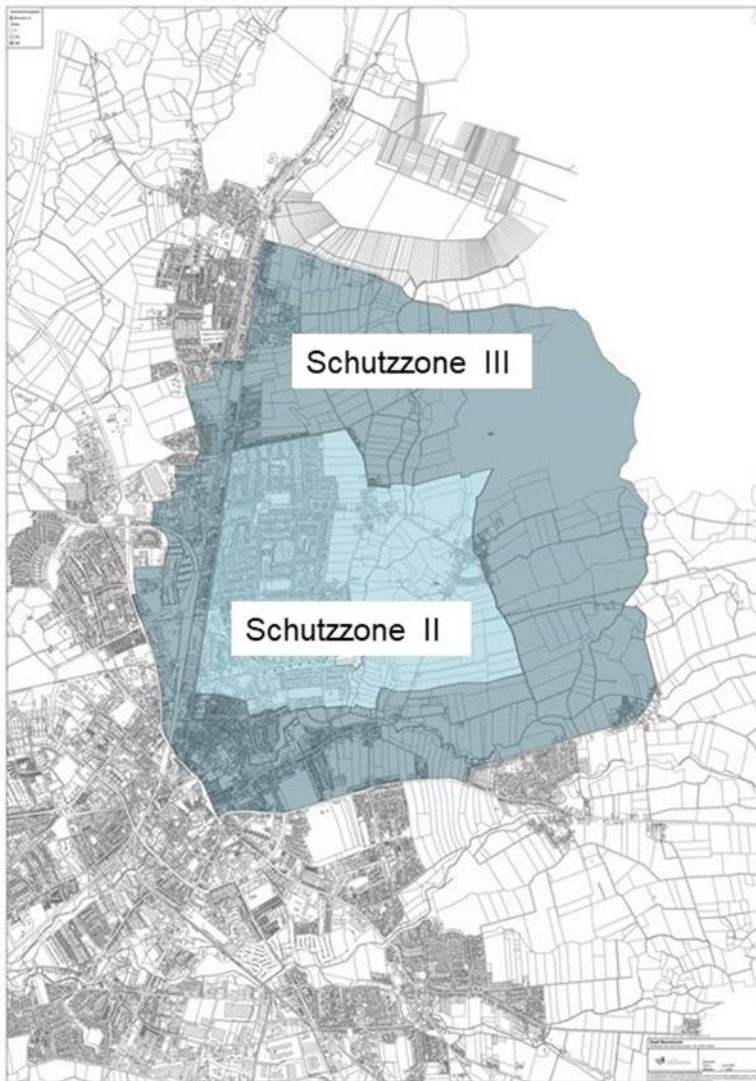


Abbildung 4-9: Wasserschutzgebiet Neumünster mit Schutzzonen II und III, nicht dargestellt ist Schutzzone I im unmittelbaren Brunnenbereich.

Neumünster ist ein Industriestandort, der z.B. früher durch Textil- und Lederindustrie dominiert wurde. Es gibt daher ca. 350 Lokationen, an denen Kontaminationen des Bodens oder des Untergrundes (Altlasten) erfasst sind beziehungsweise vermutet werden. Bei Bohrtätigkeit besteht die Befürchtung, dass dadurch Kontaminationen mobilisiert werden und eventuell ins Grundwasser gelangen können.

Darüber hinaus muss nach dem Standortauswahlgesetz (StandAG) für die Lagerung radioaktiver Abfälle bei Bohrungen über 100 m Tiefe ein Einvernehmen des Bundesamtes für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) nach Stellungnahme des Geologischen Dienstes Schleswig-Holstein (LLUR) erteilt sein. Dies erfolgt über die untere Wasserbehörde.

Daher sollte die Planung von Erdwärmenutzung in Neumünster in frühzeitiger enger Absprache mit der Umweltbehörde (Stadt Neumünster, Abteilung Natur und Umwelt) und den behördlichen Stellen für Trinkwasserschutz erfolgen. Die Möglichkeiten der Nutzung von Umweltwärme über Wärmepumpen ist für die Wärmewende von entscheidender Bedeutung und vor diesem Hintergrund sind die Grundsätze der Erdwärmenutzung in Neumünster mit den betreffenden Behörden abzustimmen und festzulegen.

4.4.4.2 Oberflächennahe Geothermie

Der oberflächennahe Untergrund Neumünsters besteht aus eiszeitlichen Sanden und Kiesen, in die lagen- oder blockweise Geschiebemergel eingelagert ist. Die Unterkante der eiszeitlichen (Quartären) Ablagerungen liegt bei 50 – 80 m uNN, im westlichen Stadtgebiet im Bereich einer eiszeitlichen Rinne auch tiefer. Darunter folgen Tertiäre Ablagerungen, die ebenfalls überwiegend sandig ausgeprägt sind, ab Tiefen von 150 – 200 m uNN dann Glimmerton und nachfolgend Tonlagen des Alttertiär. Tiefere Grundwasserleiter sind in den Tertiären Ablagerungen nicht zu erwarten. Teilweise sind die Tertiären Schichten durch den Aufstieg von Salzstrukturen schräggestellt.

4.4.4.3 Technik der oberflächennahen Geothermie

Die oberflächennahe Geothermie nutzt den Tiefenbereich bis ca. 200 m zur Wärmegewinnung und -speicherung. In diesem Tiefenbereich ist überwiegend Solarwärme gespeichert, die obersten 10 m unterliegen außerdem saisonalen Einflüssen (Abbildung 4-10).

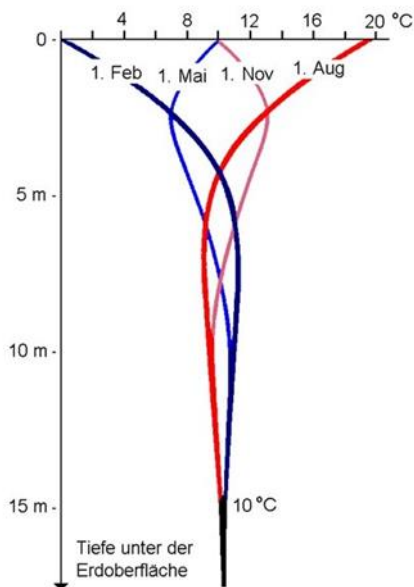


Abbildung 4-10: Temperatur-Tiefenprofil für den oberflächennahen Bereich

Zur Wärmenutzung wird dem Untergrund mit in Bohrlöchern installierten Erdwärmesonden oder mit Erdwärmekollektoren Wärmeenergie entzogen, die nach Temperaturerhöhung durch eine Wärmepumpe für Heizzwecke genutzt werden kann (Abbildung 4-11, Abbildung 4-12). Für eine günstige Energiebilanz muss die Effizienz der Wärmepumpe (Leistungszahl, coefficient of performance COP) möglichst hoch sein. Der COP ist definiert durch das Verhältnis der von der Wärmepumpe abgegebenen Heizleistung zur erforderlichen Antriebsleistung (meistens elektrische Energie zum Antrieb des internen Kompressors). Der COP hängt ab vom Temperaturhub der Wärmepumpe, also der Temperaturdifferenz zwischen der Wärmeträgerflüssigkeit der Erdwärmesonde(n) und der Heiztemperatur. Stand der Technik ist ein $COP > 4$.

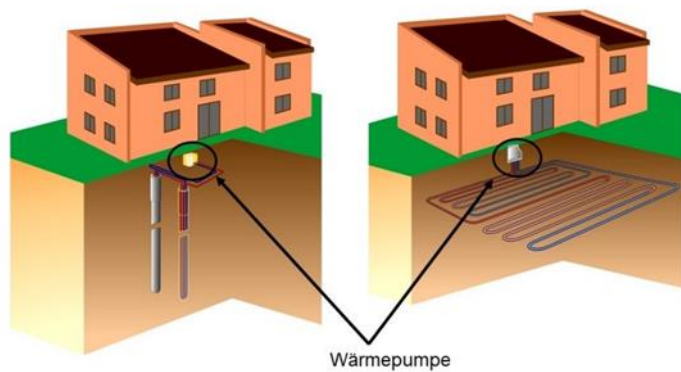


Abbildung 4-11: Erdwärmesonde (a) und Erdwärmekollektor (b). Die Wärmegewinnung aus dem Untergrund erfolgt über eine zirkulierende Wärmeträgerflüssigkeit in den Sonden- und Kollektorrohren.

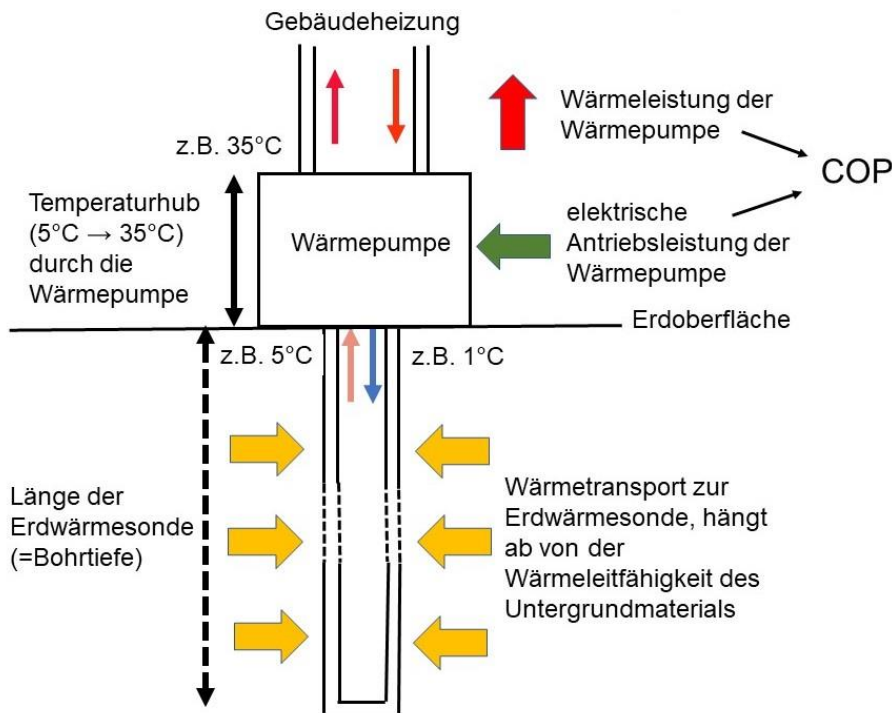


Abbildung 4-12: Arbeitsweise einer Wärmepumpe zur Erreichung der erforderlichen Heiztemperatur.

Die Auslegung, d.h. die Bestimmung der erforderlichen Länge der Erdwärmesonde, erfolgt daher mit dem Ziel einer möglichst hohen Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit am Eingang der Wärmepumpe (im Beispiel Abb. Abbildung 4-12 also 5°C, nach längerer Betriebszeit sind auch tiefere Temperaturen möglich). Die Temperatur ist abhängig von der Wärmelast des zu versorgenden Gebäudes, der Wärmeleitfähigkeit der Untergrundschichten und der Länge der Erdwärmesonde.

Dabei muss berücksichtigt werden, dass der Untergrund bei Betrieb der Erdwärmesonde durch den Entzug von Wärmeenergie abgekühlt wird und sich die Untergrundtemperatur außerhalb der Heizperiode nicht vollständig regeneriert. Die Untergrundtemperatur und damit auch die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit nimmt daher während der Betriebsjahre ab, bis nach etwa 25 Jahren ein neuer stationärer Zustand erreicht ist.

Für die Auslegung von Erdwärmesonden gibt es spezielle Software, näherungsweise kann auch die VDI 4640 herangezogen werden. Die Auslegung erfolgt so, dass auch nach 25 Betriebsjahren eine ausreichende Temperatur (z.B. 3°C) am Eingang der Wärmepumpe gewährleistet ist. Hierbei ist die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes ein wichtiger lokationsspezifischer Untergrundparameter.

4.4.4.4 Karten der Wärmeleitfähigkeit als Planungshilfe für die Auslegung von Erdwärmesonden

Die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes ist abhängig vom jeweiligen Schichtenaufbau. Der folgenden Tabelle sind Erfahrungs- und Tabellenwerte für regional vorkommende Untergrundmaterialien zu entnehmen.

Tabelle 4: Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes (VDI 4640)

	wassergesättigt	teilgesättigt, oberhalb des Grundwasserspiegels
Kies	1,8 W/mK	0,8 W/mK
Sand	2,4 W/mK	0,8 W/mK
Schluff	1,9 W/mK	0,8 W/mK
Geschiebemergel	2,4 W/mK	1,7 W/mK
Ton	1,5 W/mK	1,0 W/mK

Es handelt sich hierbei lediglich um mittlere Wärmeleitfähigkeiten, im konkreten Fall sind Abweichungen, z.B. durch eine höhere oder geringere Porosität des Untergrundmaterials, möglich.

Das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) hat zur Planung von Erdwärmesonden eine landesweite Karte der effektiven Wärmeleitfähigkeit herausgegeben. Die Karte beruht auf Bohrergebnissen und den in der Tabelle gezeigten Wärmeleitfähigkeiten. Daraus wurde für jede Bohrlokation die effektive Wärmeleitfähigkeit für Bohrtiefen von 50 m und 100 m berechnet und zwischen den Bohrungen interpoliert. Die Ergebnisse für den Untersuchungsraum Neumünster sind in Abbildung 4-13 und Abbildung 4-14 dargestellt.

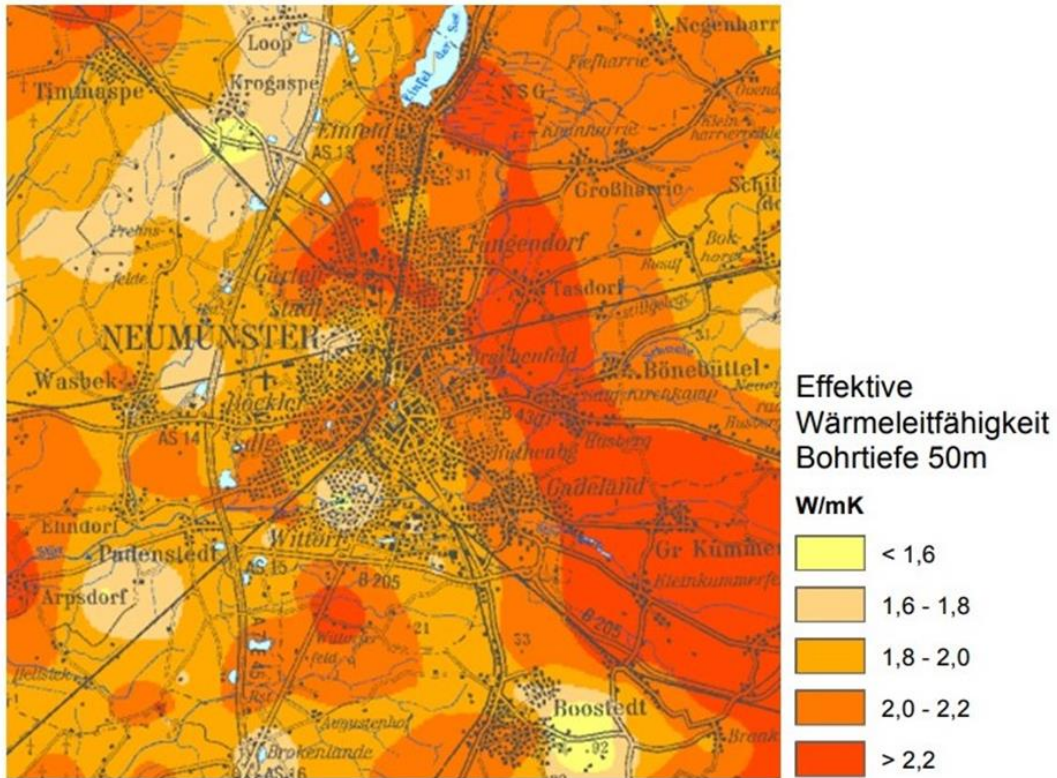


Abbildung 4-13: Karte der effektiven Wärmeleitfähigkeiten für den Tiefenbereich 0 - 50 m (LLUR)

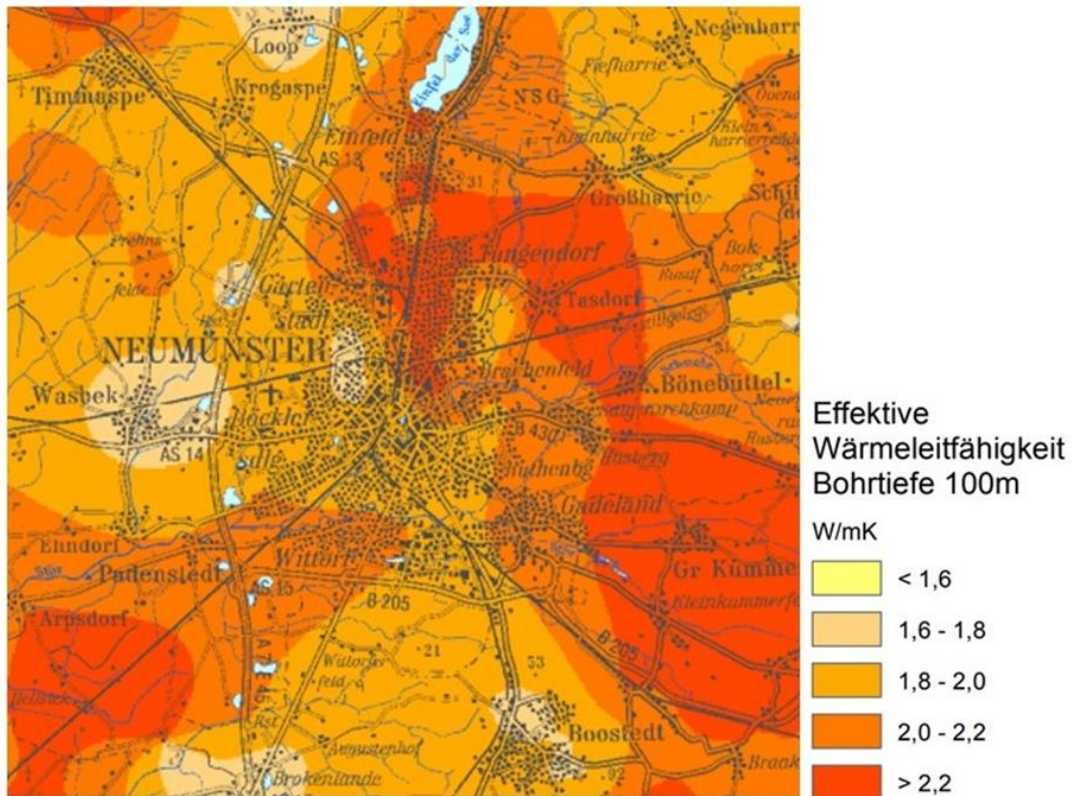


Abbildung 4-14: Karte der effektiven Wärmeleitfähigkeiten für den Tiefenbereich 0 - 100 m (LLUR)

Die effektive Wärmeleitfähigkeit im Stadtgebiet Neumünster liegt sowohl für Bohrtiefen von 50 m als auch für 100 m im Wesentlichen im Bereich von 1,8 – 2,2 W/mK. Jedoch können im östlichen Stadtbereich geringfügig höhere effektive Wärmeleitfähigkeiten erwartet werden als im westlichen. Die Untergrundbedingungen für den Einsatz von Erdwärmesonden können somit als gut eingeschätzt werden. Allerdings sind die in den Karten dargestellten effektiven Wärmeleitfähigkeiten lediglich für eine überschlägige Auslegung der Erdwärmesonden verwendbar. Bei Bauvorhaben mit erhöhter Heizleistung, für die z.B. ein Erdwärmesondenfeld erforderlich ist, kann nach Ausbau der ersten Erdwärmesonde ein Thermal Response Test (TRT) zur genaueren Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit erfolgen, auf deren Basis das gesamte Erdwärmesondenfeld dimensioniert werden kann.

4.4.4.5 Wärmespeicherung im oberflächennahen Untergrund

Analog zum Wärmeentzug aus dem Untergrund mit Erdwärmesonden kann saisonal überschüssige Wärme, z.B. aus Solarthermie oder Raumklimatisierung, im Untergrund gespeichert werden. Ein integriertes Heiz- und Kühlsystem für kleinere Einzelanlagen wird von einigen Herstellern kommerziell angeboten. Der Vorteil besteht darin, dass die dem Untergrund zugeführte Wärmeenergie eine schnellere Regenerierung der während der Heizperiode abgesunkenen Untergrundtemperatur ermöglicht. Es muss allerdings beachtet werden, dass nach VDI 4640 das Grundwasser nicht über 20°C erwärmt werden darf.

Größere Wärmemengen fallen saisonal bei Gewerbebauten an, z.B. durch die Abwärme von Kühltruhen in Supermärkten oder von Serverräumen und PCs in Bürobauten. Durch Wärmetauscherrohre in grundberührenden Gebäudeteilen wie z.B. Gründungspfählen kann die überschüssige Wärme in den Untergrund abgeleitet und im Winter zu Heizzwecken wieder genutzt werden. Hierbei ist eine ausgeglichene Energiebilanz wichtig, um eine Aufheizung des Untergrundes zu vermeiden. So wurden z.B. in Köln bereits „Wärmeinseln“ mit oberflächennahen Untergrundtemperaturen von bis zu 18°C beobachtet.

Eine Speicherung überschüssiger Wärme in größerem Umfang ist mit einem Feld von Erdwärmesonden möglich. So wird z.B. in Braedstrup (DK) die gewonnene Wärme eines 18.000 m² großen Solarthermiefeldes mit 48 jeweils 45 m tiefen Erdwärmesonden saisonal im Untergrund gespeichert. Die maximale thermische Leistung des Solarthermiefeldes beträgt 7 MW_{th}. Der Speicher wird mit 80°C beladen, die Temperatur im Speicher liegt zwischen 20 und 60°C. Die Entladeleistung beträgt bis zu 600 kW bei einer Speichereffizienz von 70 %. Der geothermische Wärmespeicher ist in das Fernwärmenetz von Braedstrup integriert.

Damit von einem Erdwärmespeicher keine thermische Belastung des Grundwassers ausgeht, muss die Speicherung in einer grundwassergeringleitenden Schicht erfolgen, z.B. Geschiebemergel oder Ton. Im sanddominierten oberflächennahen Untergrund von Neumünster sind nur wenige Lokationen geeignet, z.B. im Gewerbegebiet Eichhof an der BAB A7 und im Gewerbegebiet Neumünster Süd. Aber auch dort gibt es ausgeprägte laterale Unterschiede in Tiefenlage und Mächtigkeit der oberflächennahen Tonlage, wie ein Schnitt durch das Gewerbegebiet Neumünster-Süd zeigt (Abbildung 4-15). Die Tiefenlage des Tons liegt zwischen 10 m und 30 m. Zur Vermeidung von Wärmeverlusten beim Ein- und Ausspeichern von Wärme sowie einer zu starken Erwärmung des Grundwasserleiters müssen die Erdwärmesonden oberhalb des Tons thermisch isoliert werden.

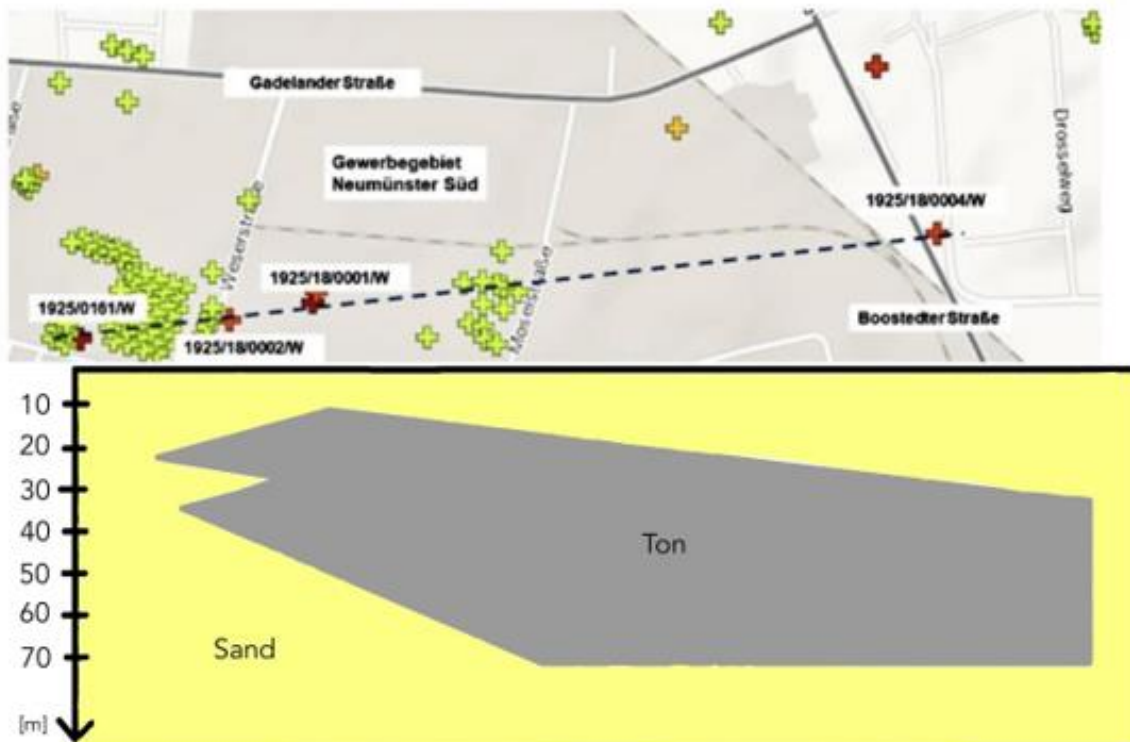


Abbildung 4-15: Schnitt durch eine Tonlage im Gewerbegebiet Neumünster Süd. (Kartengrundlage BGR Bohrpunktkarte, Bohrinformation LLUR)

4.4.4.6 Kaltes Nahwärmenetz

Ein kaltes Nahwärmenetz ist eine Erdwärmennutzung mit nur geringfügigem Eingriff in den Untergrund. Jede zu versorgende Wohneinheit verfügt über eine eigene Wärmepumpe, welche im Betrieb einem Wasserkreislauf Wärme entnimmt und das Wasser dadurch abkühlt (Abbildung 4-16). Die Wärmeregeneration des Wasserkreislaufs erfolgt über die Rohrleitung aus dem Erdreich (wenn die Wassertemperatur des Rücklaufs unter der Untergrundtemperatur liegt) sowie über ein System von Erdwärmekollektoren. Es sind auch weitere Wärmequellen wie z.B. industrielle Abwärme denkbar. Fällt die Rücklauftemperatur unter den Gefrierpunkt, so kommt es im Bereich der Erdwärmekollektoren zur Eisbildung (gefrierendes Porenwasser bei Sand und Ton). Hierbei wird die latente Wärme des Phasenwechsels Wasser/Eis nutzbar, welcher dem Untergrund weitere Wärme entziehen kann, ohne dass die Temperatur absinkt. Die Wassertemperatur im Vorlauf des kalten Nahwärmenetzes wird dabei nicht unter 0°C absinken, dadurch werden die Wärmepumpen mit ausreichender Leistungszahl betrieben. Dieses Prinzip wird als Erdeisspeicher bezeichnet.

Ein kaltes Nahwärmenetz kann nahezu überall in Neumünster betrieben werden.

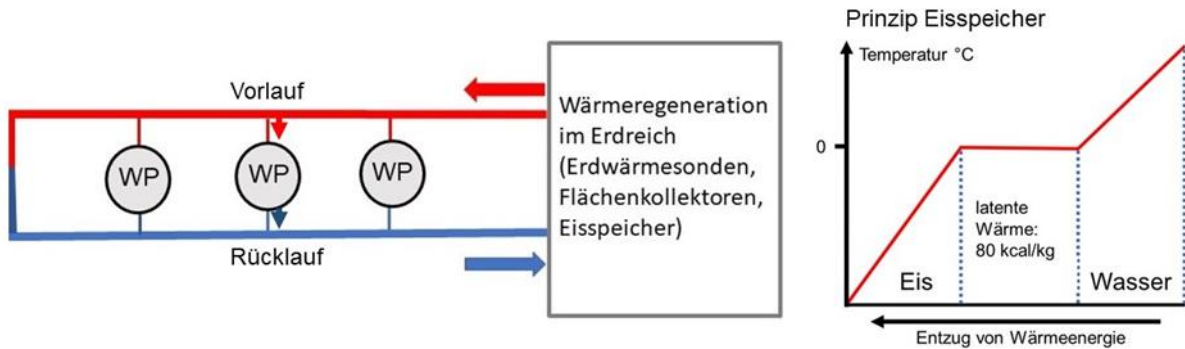


Abbildung 4-16: Prinzip kaltes Nahwärmenetz und Erdeisspeicher

Kalte Nahwärmenetze, zum Teil mit Erdeisspeichern, werden zur Zeit von den Stadtwerken Schleswig in Schleswig und in Gelting errichtet. So sollen z.B. in Schleswig im Neubaugebiet Berender Redder 250 Wohneinheiten mit kalter Nahwärme versorgt werden.

4.4.4.7 Potenzial oberflächennaher Geothermie

Das theoretisch thermische Potenzial der oberflächennahen Geothermie wird bezogen auf das Stadtgebiet Neumünster deutlich größer als der Wärmebedarf bewertet. Hier liegt folglich eine der größten Handlungsoptionen für die Stadt Neumünster, um die Wärmebedarfe abseits der mit dem bestehenden Fernwärmesystem versorgten Areale zu dekarbonisieren und den Einsatz von Gas und Öl für die Herstellung von Raumwärme zu verdrängen.

Das erschließbare Potenzial oberflächennaher Geothermie und der dafür erforderliche Aufwand wird jedoch maßgeblich von der Wärmebedarfsdichte bestimmt und bedarf einer genaueren Untersuchung. Hierfür steht das vom Land finanzierte Instrument der kommunalen Wärmeplanung zur Verfügung und sollte kurzfristig genutzt werden. In diesem Rahmen kann eine Zielstruktur der Wärmeversorgung erarbeitet werden, die allen Akteuren Orientierung in der Umsetzung der Wärmewende gibt.

Die oberflächennahe Geothermie ist in Neumünster aufgrund der hohen effektiven Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes gut einsetzbar. Im Bereich des Wasserschutzgebietes ist hierzu eine Einzelfallgenehmigung bzw. eine grundsätzliche Abstimmung der Nutzungsmöglichkeiten mit den Behörden erforderlich. Da in vielen Lokationen keine oberflächennahen Grundwasserdeckschichten vorhanden sind, muss dort keine zusätzliche Gefährdung nutzbarer Grundwasservorkommen durch die Bohrungen befürchtet werden.

Oberflächennahe Geothermie kann sowohl für eine Einzelhausversorgung als auch im Rahmen größerer Bauvorhaben oder Quartierslösungen eingesetzt werden. Bei Quartierslösungen kann die kalte Nahwärme eine sinnvolle Option darstellen. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass durch den Einsatz von Wärmepumpen hohe Vorlauftemperaturen der Heizung aufwändig sind und zu höheren Stromverbräuchen der Wärmepumpen führen. Daher bedingt der Einsatz in älteren Bestandsbauten eine Vorplanung und ggf. Sanierungsmaßnahmen. Als Wärmequelle für die Speisung des bestehenden Fernwärmesystems eignet sich die mitteltiefe Geothermie aufgrund relativ niedriger Temperaturen nicht.

Saisonale Wärmespeicher im oberflächennahen Untergrund sind sinnvolle Komponenten von Wärmenetzen. Die geologische Voraussetzung (oberflächennahe Ton- oder Geschiebemergellage mit ausreichender Mächtigkeit) ist im Stadtgebiet nur an einigen Lokationen vorhanden. Derartige Lokationen müssen bei der Planung sorgfältig durch Bohrungen, geophysikalische Untersuchungen oder direct push Sondierungen erkundet werden.

4.4.4.8 Mitteltiefe Geothermie

Die mitteltiefe Geothermie nutzt den Tiefenbereich bis ca. 1000 m. Hier wirkt sich bereits deutlich der geothermische Gradient, also die Temperaturzunahme mit der Tiefe aus. Durch den Einsatz einer Koaxialsonde ist die Nutzung dieses Tiefenbereichs unabhängig vom Vorkommen eines tiefen Grundwasserleiters. Falls während des Bohrens ein derartiger Thermalwasserleiter angetroffen wird, kann das Projekt in Richtung eines offenen Systems mit Förder- und Injektionsbohrung umgeplant werden. Die höheren Investitionskosten werden dann durch eine höhere thermische Leistung kompensiert. Nachteilig im Vergleich zur oberflächennahen Geothermie ist, dass aufgrund der höheren Untergrundtemperatur keine Möglichkeit zur Kühlung besteht.

Es gibt nur wenige Praxisbeispiele zur mitteltiefen Geothermie. Gut untersucht und dokumentiert ist das Projekt Heubach (Hessen). Die dort installierte tiefe Erdwärmesonde ist ein Koaxialrohr von 770 m Länge. Die thermische Leistung beträgt ca. 70 kW, also etwa 9 kW pro 100 m Sondenlänge. Sie ist damit fast doppelt so hoch wie bei einer oberflächennahen Erdwärmesonde, allerdings entstehen höhere Kosten für Bohrung und Installation der Sonde. Die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit sinkt selbst in kalten Wintertagen nicht unter 7°C (Steiner et al 2015), wodurch ein guter Wirkungsgrad der nachgeschalteten Wärmepumpe erreicht wird. Für eine Übertragung der Ergebnisse auf Neumünster muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Sonde Heubach in einen Untergrund aus kristallinem Festgestein mit einer effektiven Wärmeleitfähigkeit von ca. 2,9 W/mK abgeteuft wurde. Die effektive Wärmeleitfähigkeit im Raum Neumünster für den Tiefenbereich von 800 m ist nicht bekannt, sie dürfte aber aufgrund der mächtigen tertiären Tonlagen geringer sein, z.B. als Schätzwert 2,5 W/mK.

4.4.4.9 Potenziale mitteltiefer Geothermie

Der Einsatz mitteltiefer Geothermie ist (abgesehen von Einschränkungen durch den Grundwasserschutz) in Neumünster aus geologischer Sicht überall machbar. In Wärmenetzen oder bei der Versorgung größerer Einzelobjekte kann eine mitteltiefe Erdwärmesonde ca. zehn oberflächennahe Erdwärmesonden ersetzen, jedoch ohne die Option auf Raumkühlung und saisonale Wärmespeicherung. In Abhängigkeit von der geologischen Untergrundstruktur kann es lokal vorteilhafter sein, eine mitteltiefe Erdwärmesonde, statt zehn oberflächennahe Erdwärmesonden abzuteufen.

Die mitteltiefe Geothermie ist eine ergänzende Alternative zur oberflächennahen Geothermie, deren Vorzüge im Einzelfall genutzt werden kann. Das Potenzial ist ähnlich der oberflächennahen Geothermie als sehr groß zu bewerten und bedarf ebenfalls einer detaillierten Wärmebedarfsdichteverteilung auf dem Stadtgebiet. Als Wärmequelle für die Speisung des bestehenden Fernwärmesystems eignet sich die mitteltiefe Geothermie aufgrund relativ niedriger Temperaturen nicht.

4.4.4.10 Tiefengeothermie

In Schleswig-Holstein als Teil des Norddeutschen Beckens sind thermalwasserführende Schichten, die für eine tiefengeothermische Nutzung mit offenen Systemen geeignet sind, im Wesentlichen in Sandsteinen vorhanden, die in Tiefen von 1000 – 4000 m vorkommen. Diese Schichten wurden vor 150 – 250 Millionen Jahren über Flusssysteme aus den Hochlagen Skandinaviens bei uns abgelagert. Hydrothermal nutzbare Sandsteinlagen in Schleswig-Holstein sind Dogger-, Rhät- sowie Buntsandstein (Abbildung 4-17). Die Sandsteine bestehen nicht nur aus verfestigten Sanden und Kiesen, es können auch Zwischenlagen aus Tonsteinen vorhanden sein. Obwohl ein Sandstein äußerlich kompakt erscheint, kann er bis zu 30 % Porenraum

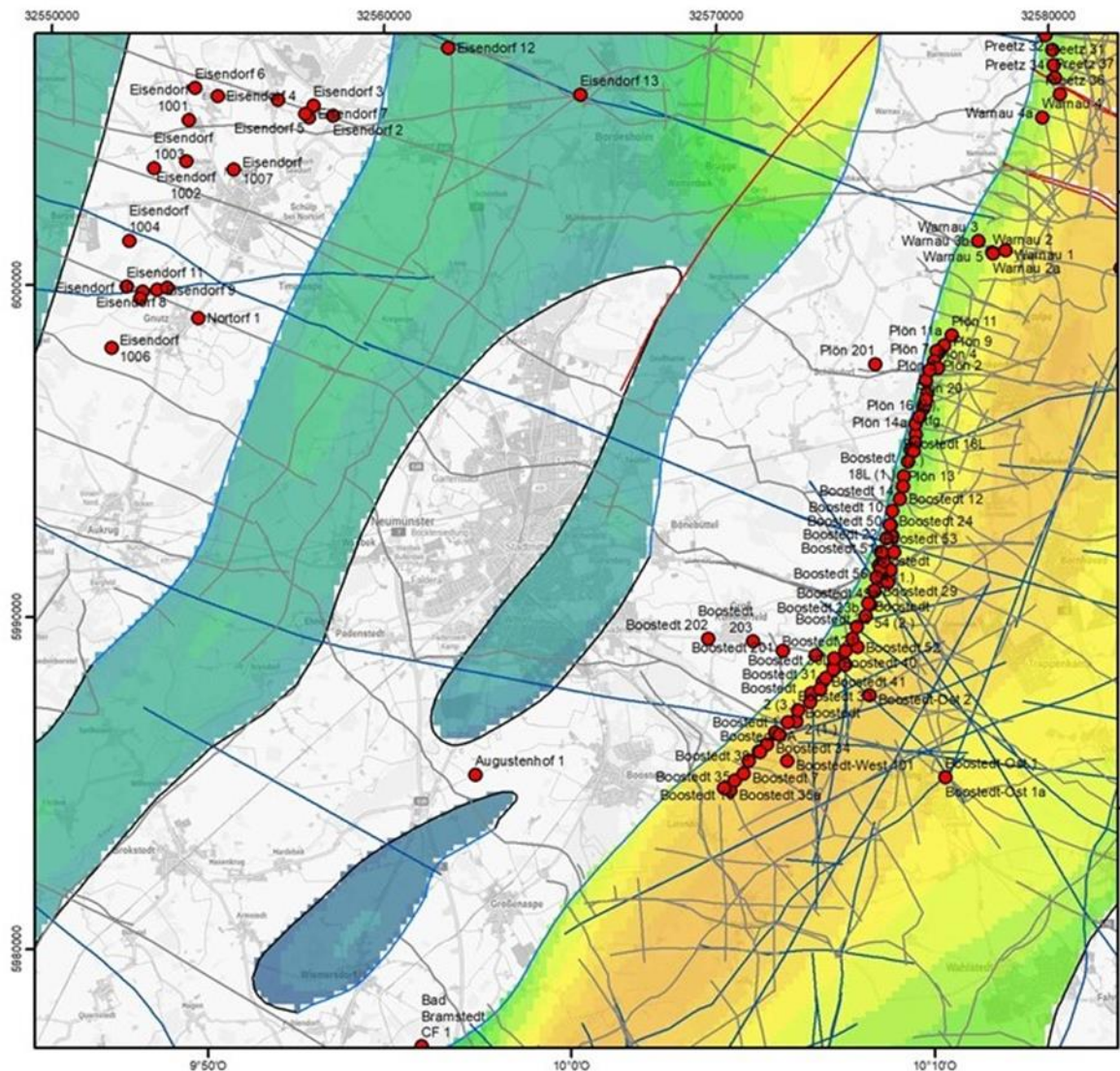


Abbildung 4-18: Tiefbohrungen und seismische Messprofile im Raum Neumünster, farbkodiert ist die Basis-tiefe des oberen Keupers (=Rhät) (LLUR 2022).

Die geologische Untergrundstruktur Neumünsters ist kompliziert aufgebaut. Neumünster liegt zwischen zwei Salzstöcken, dazu kommt noch ein tieferes Salzkissen, die durch ihren Aufstieg die Lagerungsverhältnisse der Untergrundschichten und damit auch die Sandsteininformationen beeinflusst haben (Abbildung 4-19).

Als Folge ist im Raum Neumünster lediglich der Reservoirsandstein Rhät an einigen Lokationen erhalten (Abbildung 4-20 und Abbildung 4-21). Innerhalb der Stadt ist Rhätsandstein lediglich im südöstlichen Bereich vorhanden, ein weiteres Vorkommen (allerdings außerhalb der Stadt) erstreckt sich vom Einfelder See in südwestliche Richtung über Wasbek und Padenstedt nach Brockstedt. Die Tiefenlage liegt zwischen 1000 m und 1200 m. Zwischen dem Einfelder See und Wasbek können Tiefen bis 1500 m erwartet werden. Die Mächtigkeiten liegen im östlichen Bereich zwischen 20 m und 50 m. Größere Mächtigkeiten sind lediglich nördlich und westlich des Einfelder Sees zu erwarten, dagegen liegt im Raum Wasbek – Padenstedt die Mächtigkeit unterhalb von 20 m.

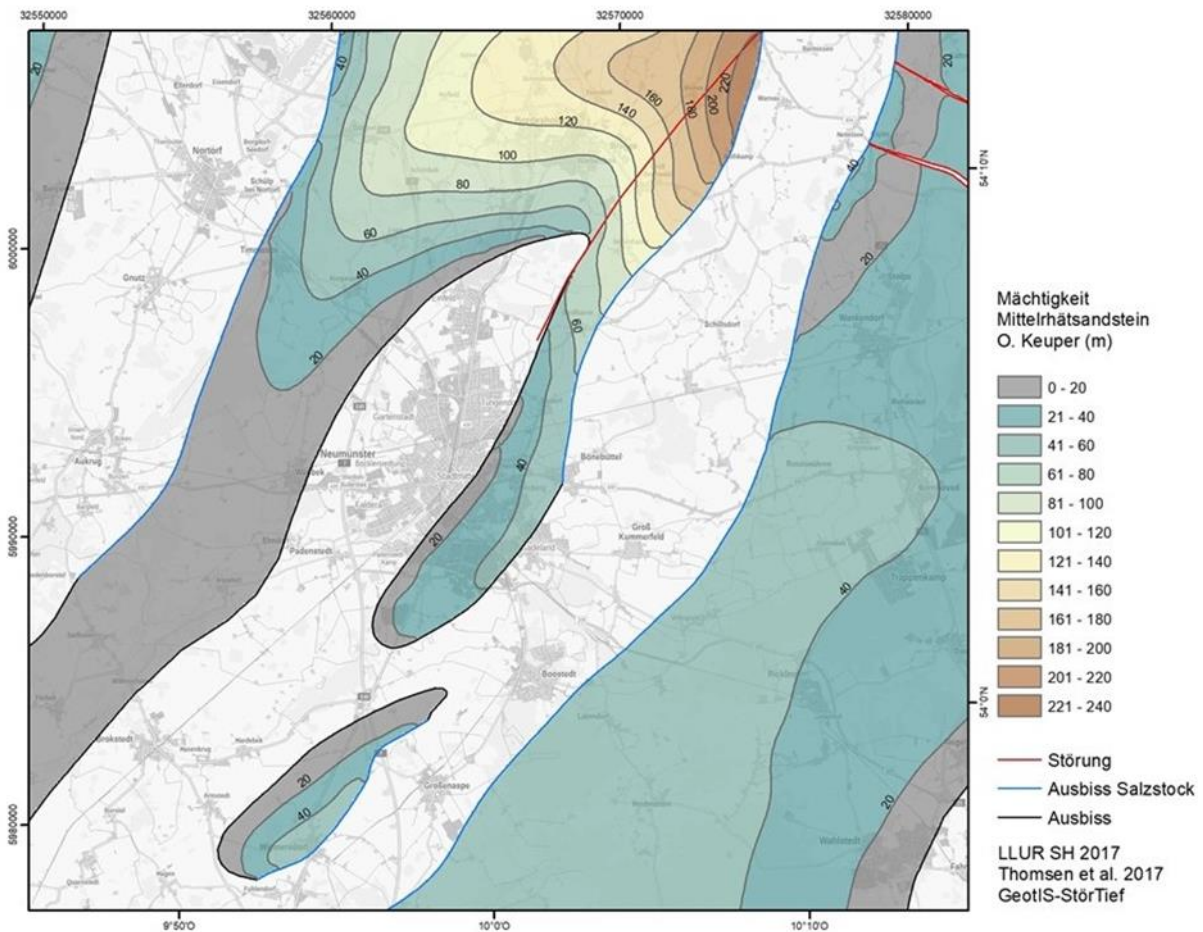


Abbildung 4-21: Mächtigkeit des Mittelrhätsandsteins im oberen Keuper im Raum Neumünster (LLUR 2022)

Nachfolgend einige Kriterien für die wirtschaftliche Nutzung eines geothermalen Reservoirs nach Schulz (2008)

- Die Mächtigkeit muss größer 20 m sein
- Die Porosität muss größer 20 % sein
- Die Permeabilität muss größer 250 mD sein
- Die Pumprate soll sich auf über 50 l/s bzw. 180 m³/h belaufen

Nach Abbildung 4-22 sind bei der flachen Lagerungstiefe des Mittelrhätsandsteins von maximal 1500 m die Porositäts- und Permeabilitätsbedingungen erfüllt. Mächtigkeiten von mehr als 20 m können im östlichen Bereich von Neumünster sowie nördlich des Einfelder Sees erwartet werden, allerdings außerhalb des Stadtgebietes von Neumünster.

Jedoch muss berücksichtigt werden, dass nutzbare Mächtigkeit und die Porosität des Mittelrhätsandstein verringert sein kann. Dieses kann durch Einlagerungen von Tonstein erfolgen, wie es an anderen Lokationen in Schleswig-Holstein nachgewiesen wurde. Außerdem ergab sich bei einem (nicht erfolgreichen) Geothermieprojekt in Hamburg-Allermöhe, dass der Porenraum durch Ausfällung von Anhydrit aus einem benachbarten Salzstock reduziert war.

Zu beiden Effekten liegen aufgrund der schlechten Datenlage keine Informationen vor. Bohrergebnisse aus dem Raum Boostedt (Abbildung 4-18) können hierzu nicht verwendet werden, da diese Bohrungen auf der entgegengesetzten Flanke der Salzstruktur bei anderen

geologischen Bedingungen liegen. Das Zementationsrisiko kann dennoch als gering eingeschätzt werden, da die Bohrung in Hamburg-Allermöhe bedeutend tiefer (>3000 m) mit erheblich höherer Porenwassertemperatur war.

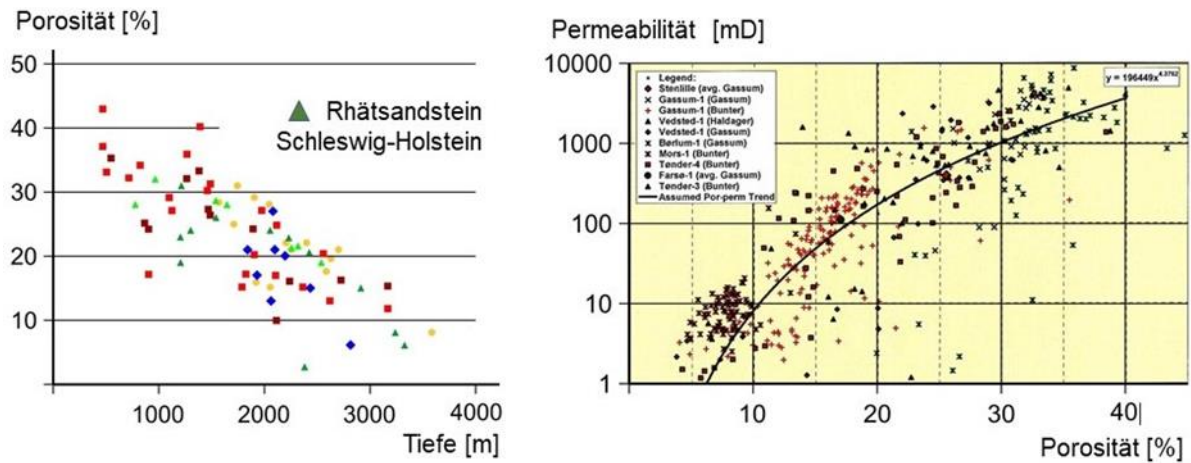


Abbildung 4-22: Links: Porositäts-Tiefenrelation für Reservoirsandsteine aus Dänemark und Norddeutschland (Thomsen 2013), rechts: Porositäts-Permeabilitätsrelation für Reservoirsandsteine aus Dänemark (Mathiesen et al. 2011)

4.4.4.11 Potenziale Tiefengeothermie

Nutzbare Reservoirkomplexe sind im Raum Neumünster vorhanden, jedoch nur in Tiefen von 1000 - 1500 m, was Temperaturen von 40 - 55°C entspricht. Diese Temperaturen sind für eine direkte Einbindung in das bestehende Fernwärmenetz zu gering. Hier muss wie auch bei der oberflächennahen und mitteltiefen Geothermie mit Wärmepumpen gearbeitet werden. Die Tiefengeothermie eignet sich als einzige Geothermiezone als Wärmequelle und Speicher für das bestehende Fernwärmenetz wie im Folgenden dargelegt.

Aufgrund der Informationen aus den vorliegenden Karten wird das nutzbare Potenzial mit 4 bis 5 möglichen Bohrdubletten und einer Brunnenleistung von jeweils 100 m³/h Thermalwasser abgeschätzt. Die thermische Leistung wird bei ca. 5 MW pro Bohrdublette vermutet, die jedoch von der Förderleistung des Brunnens abhängig ist und erst nach einer ersten Probebohrung näher beschrieben werden kann.

Dieser Systemansatz hat das Potenzial der saisonalen Speicherung und Bereitstellung von jährlich 60 bis 75 GWh. Die thermische Entnahmelistung ist abhängig von den Systemtemperaturen im Thermalwasser. Aufgrund der großen überschüssigen Abwärme, die im Sommer aus der TEV zur Verfügung steht, kann der Rücklauf des Thermalwassers zur Einlagerung von thermischer Energie bspw. auf ein Temperaturniveau von 90 °C gebracht werden. Das erwärmt in den Rhät sandstein einströmende Thermalwasser verdrängt das darin auf einem Temperaturniveau bei ca. 40 °C lagernde Thermalwasser und strömt über den Entnahmehrinnen wieder zurück zur TEV.

Der Ansatz für die Einlagerung thermischer Energie gilt gleichermaßen für die Entnahme. Die Durchströmungsrichtung des Rhät sandsteins mit Thermalwasser wird umgekehrt und das erwärmt eingelagerte Thermalwasser mit einer nach Wärmeverlusten leicht abgekühlten Temperatur von im Mittel 80 bis 85 °C wieder ausgelagert.

Die Höhe der Wärmeverluste ist von mehreren Faktoren abhängig und wird auf der Basis von Berichten aus anderen Projekten mit 15 % abgeschätzt. Über eine Hochtemperatur-

Wärmepumpe besteht die Möglichkeit, dass in den Rhätsandstein zurückgeführte Thermalwasser unter das vorherrschende Temperaturniveau in Höhe von 40 bis 55 °C zu kühlen und darüber zum einen die thermische Leistung des Systems zu erhöhen und zum anderen in dem Bereich thermische Zuströme aus den umliegenden Erdmassen in den genutzten Rhätsandstein zu erzielen.

Ein Beispiel hierfür ist Thisted (Dänemark), wo bei ähnlichen geologischen Verhältnissen seit 1984 Thermalwasser aus einem ca. 140 m mächtigem Reservoirsandstein in 1200 m Tiefe genutzt wird. Gefördert werden 200 m³/h Thermalwasser bei 42°C, die thermische Leistung beträgt 7 MW. Die Anhebung des Temperaturniveaus auf die für das Fernwärmenetz erforderlichen 72°C erfolgt über eine Absorptionswärmepumpe, deren Antriebsleistung von einem Biomasse-/Müllkraftwerk geliefert wird. Die hierfür erforderlichen 10 MW fließen mit in die Wärmeversorgung ein (Abbildung 4-23). Es wurde während der Betriebszeit keine Verringerung der geförderten thermischen Leistung festgestellt. Allerdings hatte sich die Leistung der Injektionsbohrung verschlechtert, so dass eine weitere Injektionsbohrung abgeteuft wurde. Eine ähnliche Anlage in Sonderborg war jedoch nicht erfolgreich und steht seit 2019 still. Weitere Geothermiekraftwerke in Norddeutschland wie z.B. Neustadt-Glewe oder die geplante Anlage in Hamburg-Wilhelmsburg nutzen tiefere Thermalwasserhorizonte, deren Betriebsergebnisse sind daher nicht auf den Raum Neumünster übertragbar.

Das Konzept Thisted ist ebenfalls eine Option für die Nutzung von Tiefengeothermie in Neumünster, wobei die Müllverbrennungsanlage am Kraftwerksstandort Bismarckstraße als Wärmequelle für die Absorptionswärmepumpe dienen könnte. Von einer Bohrlokation nördlich Bönebüttel bis zum Kraftwerksstandort wäre eine ca. 5 km lange Thermalwasserleitung (Vor- und Rücklauf) erforderlich (Abbildung 4-23). Hierdurch wäre auch eine Speicherung überschüssiger Wärme aus der Müllverbrennung außerhalb der Heizsaison möglich.

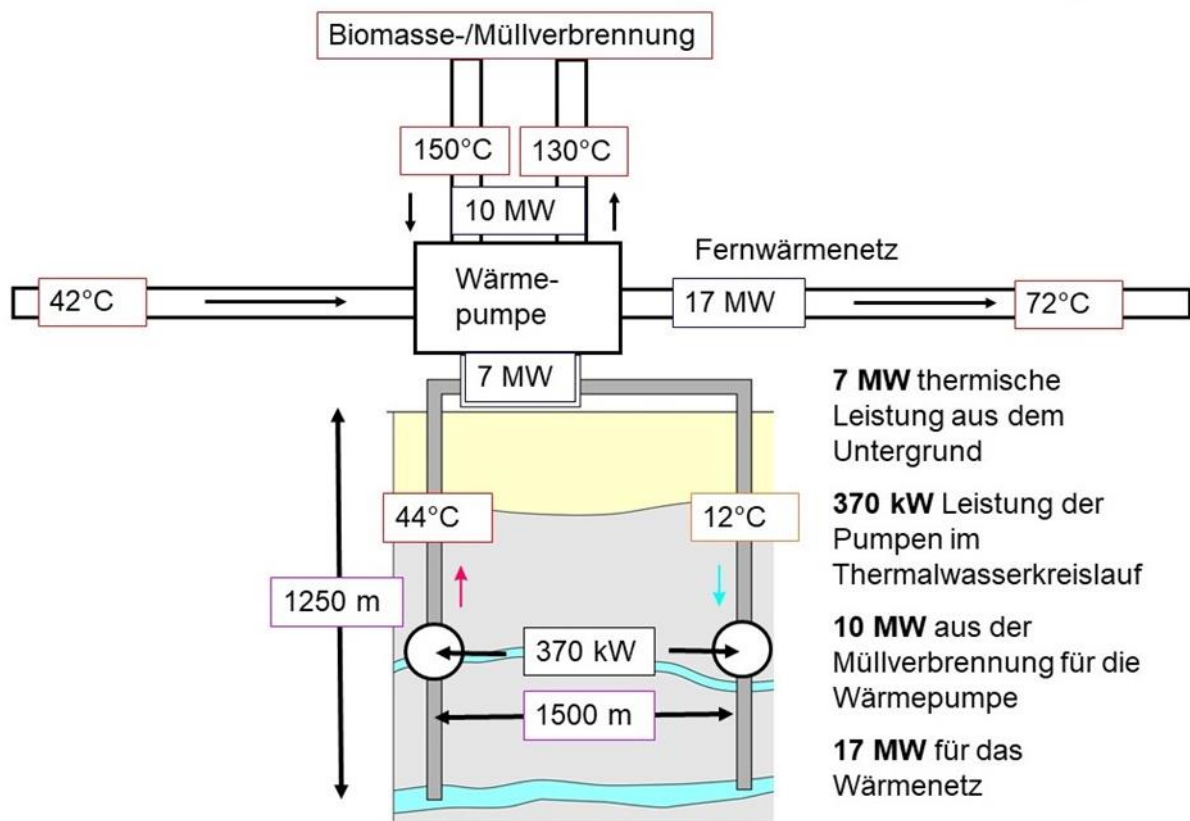


Abbildung 4-23: Schematische Funktionsweise des Heizkraftwerks Thisted (DK).



Abbildung 4-24: Potenzielle Bohrlokation und Thermalwasserleitung im östlichen Bereich Neumünsters.

Als vorbereitende Arbeiten sind Modellrechnungen zur Abschätzung der Entnahme/-Speicherqualität eines lediglich geringmächtigen Reservoirsandsteins sowie reflexionsseismische Messungen im Bereich der potenziellen Bohrlokation zur Detailerkundung der Untergrundstruktur erforderlich. Jedoch besteht auch dann noch ein Restrisiko zu den Eigenschaften des Rhätsandsteins zur Durchlässigkeit von Thermalwasser, die erst mit einer Probebohrung geklärt werden können. Eine solche Probebohrung kann so ausgeführt werden, dass sie bei unbrauchbaren Bedingungen für ein offenes Thermalwassersystem trotzdem noch als geschlossenes System mit einer Erdsonde ausgestattet und genutzt werden kann. Insofern kann das Kostenrisiko für die erste Bohrung umgangen werden.

4.4.5 Power-to-Heat

Die Stadtwerke haben bereits im Jahr 2016 in einem Pionierprojekt gemeinsam mit einem Projektpartner und Systemanbieter einen Power-to-heat-Kessel (PtH-Kessel) am Kraftwerksstandort der TEV errichtet. Leider sind die Marktbedingungen für den Betrieb des PtH-Kessels bislang noch nicht für einen wirtschaftlich auskömmlichen Betrieb gegeben, so dass der PtH-Kessel nicht betrieben werden kann.

Insbesondere der in den zurückliegenden Jahren unplanmäßig schleppende Ausbau erneuerbarer Stromproduktionskapazitäten und die hohe Abgaben- sowie Umlagenlast auf die eingesetzte elektrische Energie können als Hauptfaktoren dafür betrachtet werden. Die Einsatzbedingungen sind dann gegeben, wenn über einen ausreichend langen Zeitanteil im Jahr überschüssige erneuerbare Energie den Strompreis sehr günstig macht und gleichzeitig die Abgabenlast keinen hohen Mindestpreissockel bewirkt. Beide Bedingungen werden sich absehbar auf dem Weg bis zur angestrebten Klimaneutralität im Jahr 2035 einstellen und erste Schritte wie bspw. die Umfinanzierung der EEG-Umlage erfolgen dazu noch dieses Jahr, um

zudem auch den Markthochlauf von Anlagen zur Produktion grünen Wasserstoffes zu ermöglichen.

In dem zeitlichen Horizont bis 2035 wird das Potenzial zur Nutzung von PtH bei mindestens 500 Volllaststunden pro Jahr erwartet. Mit der installierten Leistung des Bestands-PtH-Kessel der Stadtwerke Neumünster in Höhe von 20 MW ergibt sich damit ein jährlicher Beitrag in Höhe von mindestens 10 GWh.

4.4.6 TEV (Thermische Ersatzbrennstoff-Verwertungsanlage)

Mit der MBA (Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage) und der TEV (Thermische Ersatzbrennstoff-Verwertungsanlage) betreiben die Stadtwerke Neumünster ein geschlossenes Abfallverwertungssystem. Die Abfälle werden von der Stadt Neumünster und von überregionalen Sammlern zugeleitet, in der MBA am Standort Wittorferfeld sortiert sowie aufbereitet und in der Wirbelschichtfeuerung der TEV thermisch verwertet. Mit der thermischen Verbrennungsenergie wird Dampf erzeugt, der über Turbinen Strom produziert und in Heizkondensatoren Abwärme an das Fernwärmenetz abgibt.

Die Thermische Ersatzbrennstoff-Verwertungsanlage hat im Jahr 2020 eine Abfallmenge von gut 200.000 Tonnen thermisch behandelt. Daraus produzierte die TEV mit einem Brennstoffnutzungsgrad von 67 % an gut 8.100 Betriebsstunden ca. 95 GWh Strom und 285 GWh Fernwärme (Stadtwerke Neumünster, Veröffentlichung der Emissionsdaten 2020). Über die vorbenannten Eckdaten ergibt sich ein Wärmepotenzial der TEV in Höhe von knapp 350 GWh pro Jahr, sodass aktuell aufgrund des unterjährigen Wärmebedarfslastgang ca. 60 GWh ungenutzt bleiben.

Messdaten zum CO₂-Ausstoß der TEV waren nicht verfügbar und mussten insofern über Hochrechnungen aus den vorliegenden Daten ermittelt werden. In dem Hintergrundpapier „Das Brennstoff-Emissionshandelsgesetz (BEHG) - mögliche Kostenauswirkungen der Einbeziehung der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen (TAB) in den nationalen Emissionshandel auf Bürger, Gewerbe und Industrie und die Abfallwirtschaft“ der ITAD (Interessensgemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.) aus dem Jahr 2019 wird die Auswirkung einer Aufnahme der Müllverbrennungsanlagen in den Emissionshandel bewertet. Darin wird eine spezifische CO₂-Emission in Höhe von 484 kg pro Tonne Abfall beziffert. Über die Abfallmenge ergibt sich aus der TEV eine THG-Emission in Höhe von 96.800 t CO₂. Auf den einzelnen Bürger bezogen bedeutet dies eine spezifische Emission von gut 1,2 t CO₂ pro Jahr.

In einer Plausibilitätsprüfung konnte die oben hergeleitete Kohlendioxidemission der TEV mit einem ingenieurmäßigen Ansatz bestätigt werden. Nach Abzug des Wassergehaltes und der unorganischen Fracht im Abfall kann die organische Fraktion im Abfall ermittelt werden, die aus Kohlenstoffverbindungen besteht und thermisch verwertbar ist. Nur die organische Fraktion liefert den Kohlenstoff der CO₂-Emission. Der Wassergehalt am Abfall beträgt ca. 30 % bzw. 60.000 t/a. Der unorganische Anteil im Abfall wird über den Aschegehalt in der Veröffentlichung der Jahresemissionsdaten 2020 von den Stadtwerken auf knapp 49.000 t/a bemessen. Nach Abzug von Wasser und Asche verbleiben Kohlenstoffverbindungen in einer Menge von 91.000 t/a CO₂, die auf vergleichbarem Niveau wie die über den Kennwert aus dem Hintergrundpapier der ITAD ermittelten 96.800 t/a CO₂ liegen.

4.4.6.1 Konzeptansatz regenerativer Kohlenstoffkreislauf

Die thermische Verarbeitung von Restmüll wird auch in den kommenden Jahren nicht substituiert werden können. Dadurch entstehen unvermeidbare CO₂-Emissionen (vgl. Abbildung

4-25). Es stellt sich im Sinne der Klimaneutralität die Frage, wie mit dieser Problemstellung zukünftig umgegangen werden soll. Dazu bieten sich zunächst zwei Möglichkeiten an:

- CCS (Carbon Capture and Storage)
 - Speicherung von Kohlenstoff(-dioxid)
- CCU (Carbon Capture and Utilization)
 - Speicherung und Weiterverarbeitung von Kohlenstoff(-dioxid)

In diesem Bericht wird der Konzeptansatz CCU in den Grundzügen einer möglichen Einbindung in die TEV zur Abscheidung Kohlenstoff in Form von sogenanntem black carbon technisch diskutiert. CCU erzeugt mit dem black carbon ein Produkt, das bspw. in der chemischen Industrie zur stofflichen Verwertung genutzt werden kann. CCS beinhaltet weiterhin den Umgang mit dem treibhauswirksamen Problemstoff Kohlendioxid, ohne einen regenerativen Kohlenstoffnutzungskreislauf geschaffen zu haben.

Dieser ist jedoch mit dem CCU-Ansatz sehr gut möglich. Produkte, die heute auf der Basis von Kohlenstoff aus Erdöl hergestellt werden, müssen zukünftig aus klimaneutral in einer Kreislaufwirtschaft geführtem Kohlenstoff hergestellt werden. In unserem Fall bedeutet das: der Kohlenstoff aus dem in der TEV verbrannten Abfall wird dem Abgas entzogen, als black carbon auf eine stabile und klimaunwirksame Form gebracht und der Industrie zur stofflichen Verwertung zugeführt. Diese stellt daraus Produkte wie bspw. Kunststoffe her, die im Anschluss an ihre Nutzungsdauer als Abfall wiederum die thermische Abfallverwertung erreichen und damit der Kohlenstoffkreislauf geschlossen wird. Durch den geschlossenen Kohlenstoffkreislauf wird die Strom- und Wärmeproduktion der TEV regenerativ und damit annähernd klimaneutral.

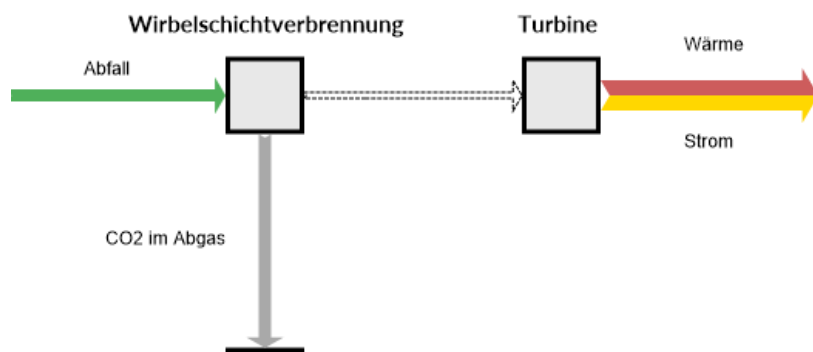


Abbildung 4-25: Prinzipschema der TEV Neumünster ohne Qualifizierung der Ströme

Wirtschaftliche Fragestellungen konnten aufgrund der niedrigen Entwicklungsstufe des Systems im Rahmen dieses Berichtes nicht bewertet werden, der sich auf die Analyse der Energie- und Stoffströme sowie deren Treibhausgasemissionen konzentriert. Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden neben den Kosten für die Errichtung und den Betrieb des CCU-Systems zudem vom Emissionshandelspreis, dem Preis für regeneratives black carbon und der Entwicklung der Energiepreise beeinflusst. Das vorgenannte Hintergrundpapier der ITAD aus 2019 beziffert den Anstieg der Abfallentsorgungskosten durch den Emissionshandel (ohne CCU) auf 130 € pro Tonne Abfall, also um ca. 100 % der heutigen Kosten, basierend auf der gesetzlich festgelegten CO₂-Besteuerung von bis zu 65 €/t CO₂ im Jahr 2026. Das Bundesumweltministerium führt in ihrer online veröffentlichten Studie „Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen“ vom 10.08.2021 aus, dass ein Leben nachfolgender Generationen ohne klimawandelverursachter Wohlstandseinbußen tatsächlichen Kosten in Höhe von 698 € pro Tonne Kohlendioxid verursacht. Diese einzelnen Fakten sollen zeigen, dass die Suche nach einem regenerativen Systemansatz für die Zukunft der TEV wichtig sein kann.

Die nähere Bewertung des CCU-Ansatzes wird in einer weiteren Maßnahme vorgeschlagen. Das in diesem Bericht vorgestellte System zur Kohlenstoffabscheidung aus der TEV gibt eine Idee über die Notwendigkeiten und Konsequenzen im Umgang mit Abfall für die Zukunft und soll als Anregung für weitere Aktivitäten dienen.

4.4.6.2 Skizze eines technischen Modells zur Kohlenstoffgewinnung

Der CCU-Ansatz befindet sich in dieser Applikation noch auf dem Niveau eines unerprobten Modellvorhabens. Ein vergleichbares Vorhaben ist in einem Zusammenschluss aus Entsorgungswirtschaft, Anlagenbau und Wissenschaft in der Entwicklung. Vergleichbare Referenzen eines betriebenen Systems können nicht benannt werden. Insofern wird in diesem Bericht auf im Wesentlichen bekannte und erprobte Technik aus anderen Anwendungsfeldern zurückgegriffen.

Das Ziel der Produktion von black carbon, also reinem Kohlenstoff in Form von Ruß, wird vereinfacht ausgedrückt mittels Abtrennung des Kohlenstoffatoms vom CO₂ der Abgase, Verbindung mit Wasserstoff zu Methan und unvollständiger Verbrennung zu Ruß erreicht. Dieser Prozess ist relativ aufwändig und wird nachfolgend dargestellt. Der Vollständigkeit halber sei jedoch darauf hinweisen, dass der Prozess zur Gewinnung von black carbon nur deshalb über die Methanisierung gewählt wird, weil eine unvollständige Verbrennung (Pyrolyse) des Abfalls direkt nicht bekannt ist und somit kein Ansatz zur Bewertung gegeben ist. Unter der Berücksichtigung des aufwändigen Systems über die Methanisierung liegt die Vermutung nahe, dass die direkte Pyrolyse von Abfall, also exotherme Zerlegung in Kohle und Wasserstoff zukünftig erforscht und entwickelt werden könnte.

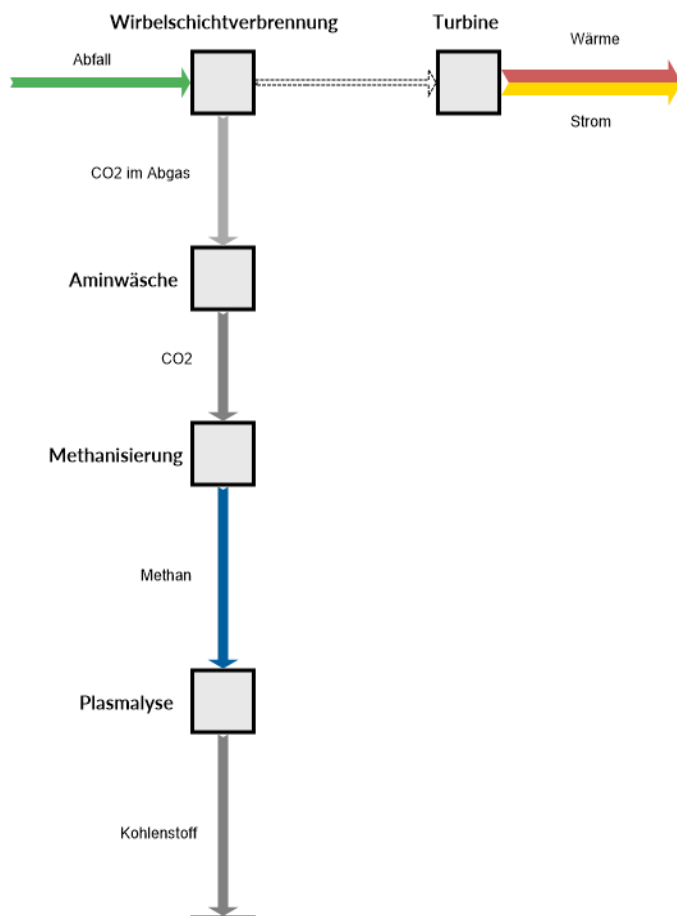


Abbildung 4-26: Prozesskette TEV CCU

Abbildung 4-26 veranschaulicht zunächst die konzeptionelle Prozesskette. Mittels Aminwäsche wird das CO₂ im Abgas der Wirbelschichtverbrennung abgeschieden. Das reine CO₂ wird anschließend per Methanisierung in CH₄ umgewandelt und anschließend plasmalytisch gespalten. Durch diese Verarbeitung von Kohlendioxid entsteht am Ende der Prozesskette elementarer Kohlenstoff, welcher beispielsweise in Form von Pellets oder Granulat weiterverarbeitet und -vermarktet werden kann. Der Kohlenstoff kann u.a. zur regenerativen Kunststoffherstellung verwendet werden.

Nachfolgend werden die eingangs beschriebenen Prozessschritte inklusive ein- und ausgehender Energie- und Stoffströme veranschaulicht. Die TEV besitzt jährliche Emissionen von aufgerundet 100.000 t_{CO2}. Bei einem angenommenen Abscheidungsgrad der **Aminwäsche** von 90 % können 90.000 t_{CO2}/a vom Abgasmassenstrom getrennt werden. Die übrigen Kohlendioxidmengen verbleiben im Abgas. Die Aminwäsche benötigt für ihren Betrieb hochtemperierte Wärme (HT-Wärme) zur Regeneration des Waschmittels Amin. Aus praktischen Erfahrungswerten aus der Aufbereitung von Biogas mittels Aminwäsche wird ein spezifischer Wärmebedarf von 0,6 kWh/kg_{CO2} angesetzt, sodass eingangsseitig 60 GWh_{th} benötigt werden³. Diese Wärmemenge fällt anschließend als niedertemperierte Abwärme (NT-Wärme) an.

Die nachgeschaltete **Methanisierung** benötigt Kohlendioxid und Wasserstoff als Eingangsstoffe. Durch Zugabe von 16.500 t_{H2} können in Kombination mit dem abgeschiedenen CO₂-Massenstrom rund 32.500 t Methan erzeugt werden. Neben der freigesetzten HT-Wärme in Höhe von ca. 94 GWh entsteht als Nebenprodukt zudem Wasser (nicht dargestellt). Methan besitzt im Gegensatz zu CO₂ eine deutlich geringere Bindungsenergie.

Die thermische Spaltung von Methan wird Methanpyrolyse genannt. Die Plasmalyse kann als das elektrische Pendant bezeichnet werden. Aufgrund einer besseren Datengrundlage zur Plasmalyse wird im Folgenden die Plasmalyse betrachtet.

Bei der Methanplasmalyse werden mittels Hochfrequenzfeld Prozesse ausgelöst, welche die Bindungen zwischen den Kohlenstoff- und den Wasserstoffatomen trennt. Um ein Kilogramm Wasserstoff herzustellen werden 10 kWh_{el} sowie 4 kg Methan benötigt. Aus den 32.500 t_{CH4} lassen sich somit rund 8.250 t_{H2} herstellen⁴. Der Wasserstoff kann der Methanisierung zugeführt werden, um ~50 % des H₂-Bedarfs zu decken.

Bei der Plasmalyse fallen 22,5 GWh Wärme an. Da das Temperaturniveau der Abwärme zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes nicht bekannt ist, kann diese Wärmemenge nicht der HT- oder NT-Wärme zugeordnet und keine Aussage zu einer möglichen Nutzung gemacht werden.

Aus den emittierten 100.000 t_{CO2} können am Ende der Prozesskette knapp 24.000 t reiner Kohlenstoff gewonnen werden.

³ https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7062/file/7062_CO2-Abtrennung.pdf ; https://www.vivis.de/wp-content/uploads/EaA14/2017_EaA_145-166_Karpf

⁴ <https://www.graforce.com/leistungen/wasserstoff-produktion>

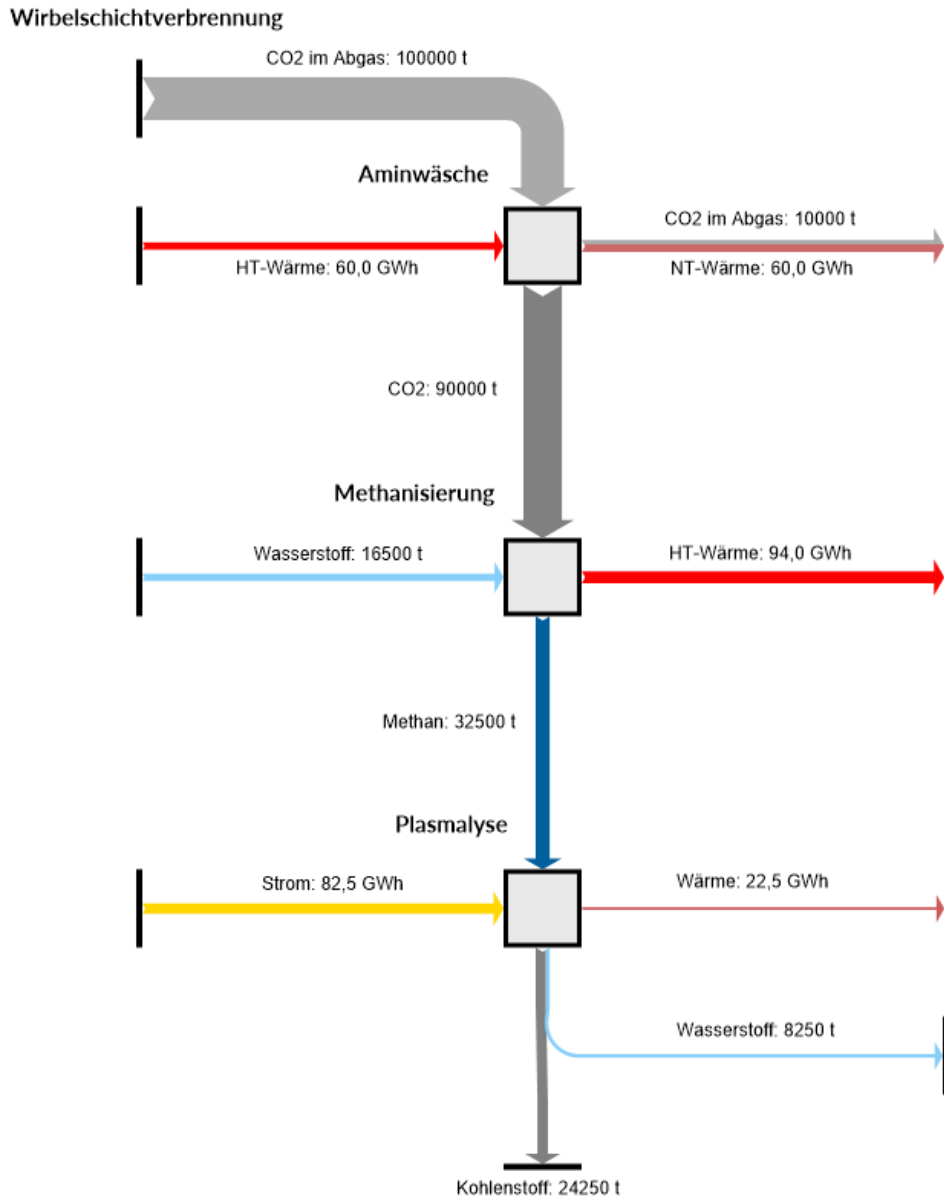


Abbildung 4-27: Detaillierte Prozesskette TEV CCU

Das bei der Methanisierung entstehende Wasser, ca. 74.000 t (nicht dargestellt) ist zunächst ein Nebenprodukt. Dieses kann einem **Elektrolyseur** zugeführt werden, um Wasserstoff zu erzeugen und dadurch einen geschlossenen Wasserstoffkreislauf zu schaffen. Aus der genannten Wassermenge könnten, wie bei der Plasmalyse, rund 8.250 t_{H₂} erzeugt werden, wodurch der Wasserstoffbedarf der Methanisierung genau gedeckt werden würde.

4.4.6.3 Wasserstoffversorgung mit Elektrolyse

Der vorbeschriebene Prozess zur Kohlenstoffabscheidung birgt erhebliche Verluste in Form von Abwärme. Diese Verluste resultieren aus den Energieträgern Strom, Wärme oder Wasserstoff. In der Methanisierung wird in etwa die Hälfte des zugeführten Wasserstoffs unerwünscht in Bindung mit Sauerstoff zu Wasser gebracht. Dieser im Wasser gebundene Wasserstoff ist ein Verluststrom, der zur Aufrechterhaltung des Prozesses von außen in das Systems nachgeliefert werden muss.

Die Versorgung mit Wasserstoff kann entweder über ein noch nicht existierendes Wasserstoffnetz, über Fahrzeugtransporte oder über eine Elektrolyse am Standort der TEV erfolgen. Schleswig-Holstein bereitet sich als Bundesland zwischen der Ost- und Nordsee auf eine zukünftig stark wachsende Rolle von Wasserstoff aus Windstromüberschüssen vor. Ob ein zukünftiges Wasserstoffnetz über Neumünster führt und wann es ggf. zur Verfügung steht, kann heute noch nicht abgesehen werden. Da die Wasserstofftransporte mit Fahrzeugen aufgrund der verhältnismäßig kleinen Einheiten und hohen Betriebskosten für die Kühlung und Verdichtung des Wasserstoffs auch erhebliche Kosten bergen, wird in diesem Bericht der Ansatz mit einem Elektrolyseur am Standort der TEV dargestellt.

Auch wenn sich die Hochtemperatur-Elektrolyse (HT-Elektrolyse) noch im Übergang vom Forschungsstadium zur industriellen Reife befindet, wird sie aufgrund des erheblich besseren Wirkungsgrads in diesem Konzept zur Wasserstoffproduktion herangezogen. Dabei kann die für die Wasserstoffherstellung benötigte elektrische Energie im Vergleich zu der bereits etablierten alkalischen Elektrolyse gesenkt werden, benötigt im Gegenzug allerdings Wasserdampf zwischen 150°C und 200°C. Bei einem angenommenen elektrischen Wirkungsgrad von 80 % sind zur Herstellung der benötigten Wasserstoffmenge von 8.250 t/a ist eine immer noch sehr große Menge elektrische Energie von jährlich 345 GWh erforderlich. Hinzu kommen 85 GWh HT-Wärme in Form von Dampf.

Neben dem Wasserstoff als Produkt der Elektrolyse fällt zudem Abwärme i.H.v. 155 GWh/a an, welche vereinfacht aus dem Verlust des elektrischen Wirkungsgrads (20 % Verlustwärme) und der zugeführten HT-Wärme errechnet wurde. Auch das Temperaturniveau dieses Abwärmestroms konnte noch nicht eindeutig geklärt werden und wurde dementsprechend in Abbildung 4-28 nicht näher spezifiziert. Die bei der Elektrolyse entstehenden 65.000 t Sauerstoff spielen in diesem Zusammenhang keine Rolle und werden in der Darstellung nicht aufgeführt.

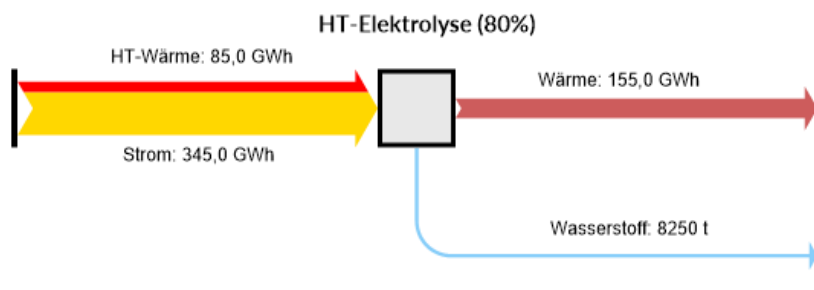


Abbildung 4-28: Erweiterter Prozess TEV CCU

4.4.6.4 Energiebilanz

Der Energiebedarf zur Herstellung des black carbon ist erheblich und besteht aus 430 GWh Strom pro Jahr, die dem System zugeführt werden müssen. Entsprechend groß ist das Abwärmepotenzial des CCU-Systems. Die kaskadische Verschaltung der Abwärmennutzung kann in diesem Stadium der Bewertung nur ansatzweise konzeptioniert werden. Sie führt dazu, dass die Wärmebedarfe von insgesamt knapp 145 GWh pro Jahr durch interne Abwärmeströme gedeckt werden können und keine zusätzliche Wärmeversorgung in das CCU-System von außen hineingeführt werden muss.

In der Methanisierungsstufe fällt die Abwärme auf dem höchsten Niveau an und hat ausreichend Potenzial zur Deckung des Dampfbedarfes in der HT-Elektrolyse. Die Abwärme aus der Elektrolyse kann wiederum ihrerseits die Aminwäsche mit Wärme versorgen.

Aus dem CCU-System muss ein Abwärmepotenzial in Höhe von jährlich ungefähr 170 GWh herausgeführt werden, das für eine externe Nutzung zur Verfügung steht. Davon könnten ca. 110 GWh pro Jahr aufgrund des ausreichend hohen Temperaturniveaus direkt in das Fernwärmenetz eingespeist werden. Die Abwärme aus der Aminwäsche in Höhe von 60 GWh pro Jahr liegt auf einem zu niedrigen Temperaturniveau und müsste dem Fernwärmenetz mit einer Wärmepumpe nutzbar gemacht werden.

4.5 Übersicht der Potenziale

Das kumulierte technische Potenzial für Photovoltaik liegt bei rund **360 MW**, wobei hier die PV-Dachanlagen den größten Anteil mit 65% besitzen. Sollte das gesamte theoretische Potenzial erschlossen werden, was eine Bebauung aller möglichen Flächen voraussetzt, könnten PV-Dach- und -Freiflächenanlagen mit einer Gesamtleistung von **730 MW** installiert werden. Bei dem theoretischen Potenzial dominieren die PV-Freiflächen.

Wie in Kapitel 4.4.1 bereits erörtert, besteht im Stadtgebiet Neumünster kein relevant nutzbares Potenzial für Windenergie.

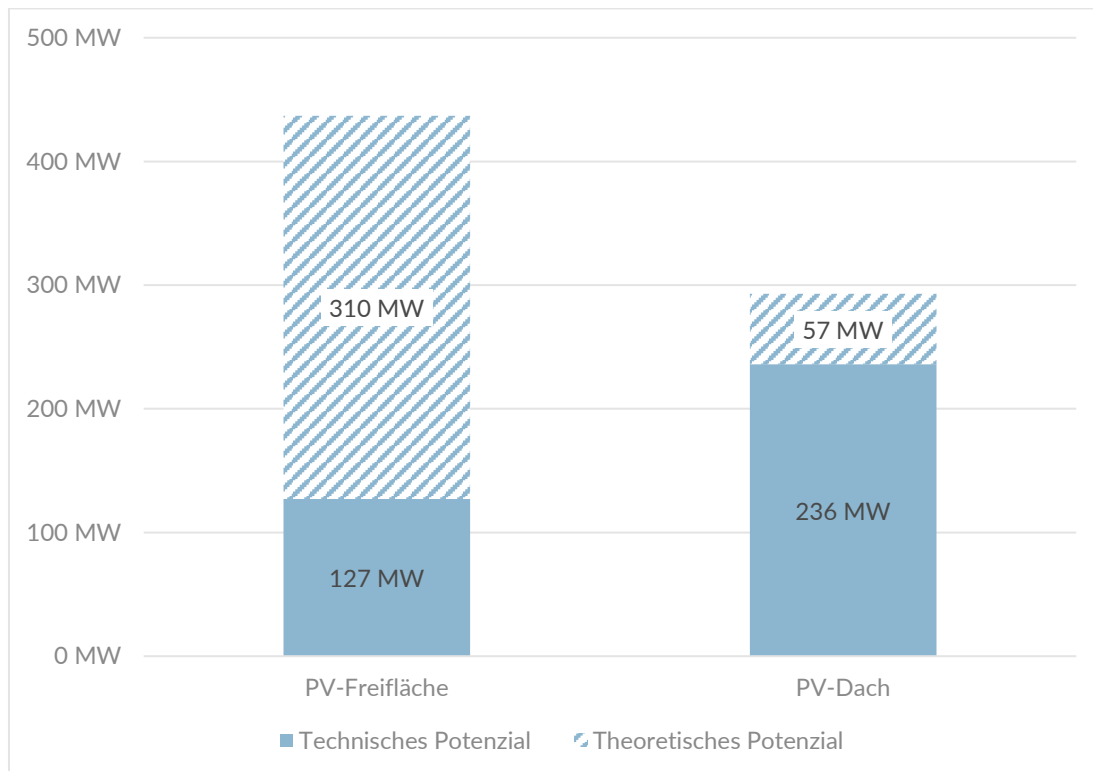


Abbildung 4-29: Theoretisches und technisches Potenzial von PV-Dach- und Freiflächenanlagen

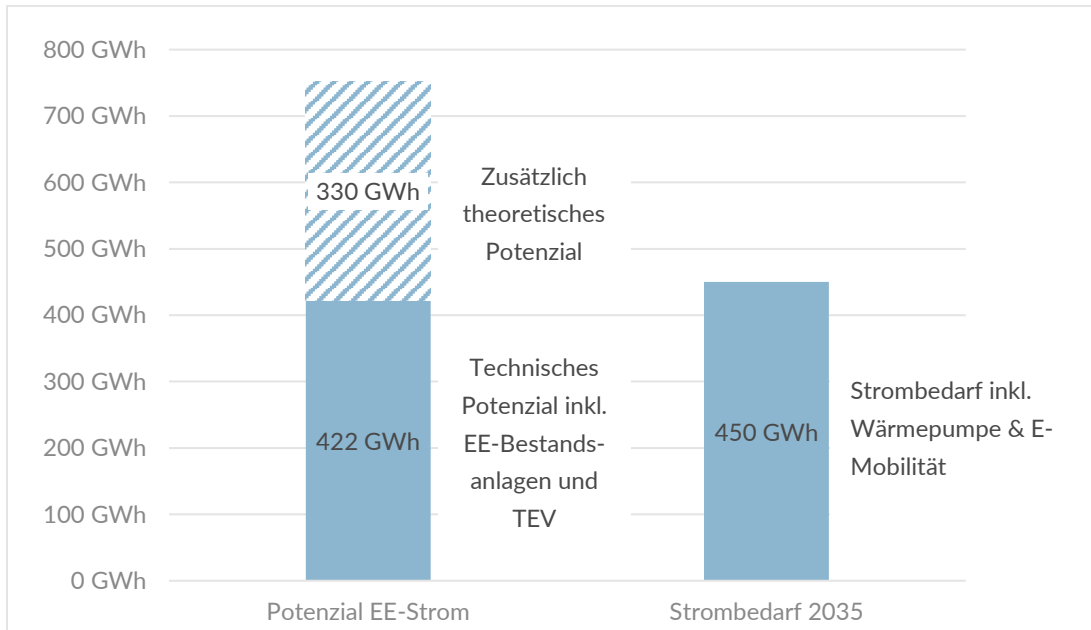


Abbildung 4-30: Vergleich des Potenzials der jährlichen erneuerbaren Stromproduktion und dem Strombedarf 2035

Verglichen mit dem im Jahr 2035 vorherrschenden Strombedarf, welcher sowohl den Bedarf für die Wärmepumpen und die Elektromobilität beinhaltet, kann allein durch den Ausbau von PV-Anlagen (Dach & Freifläche) der Strombedarf nahezu gedeckt werden. Eine weitergehende Erschließung von Flächen für die Errichtung von PV-Anlagen, welche auch über den 200m-Korridor hinausgehen, ist somit erforderlich und wird unbedingt angeraten.

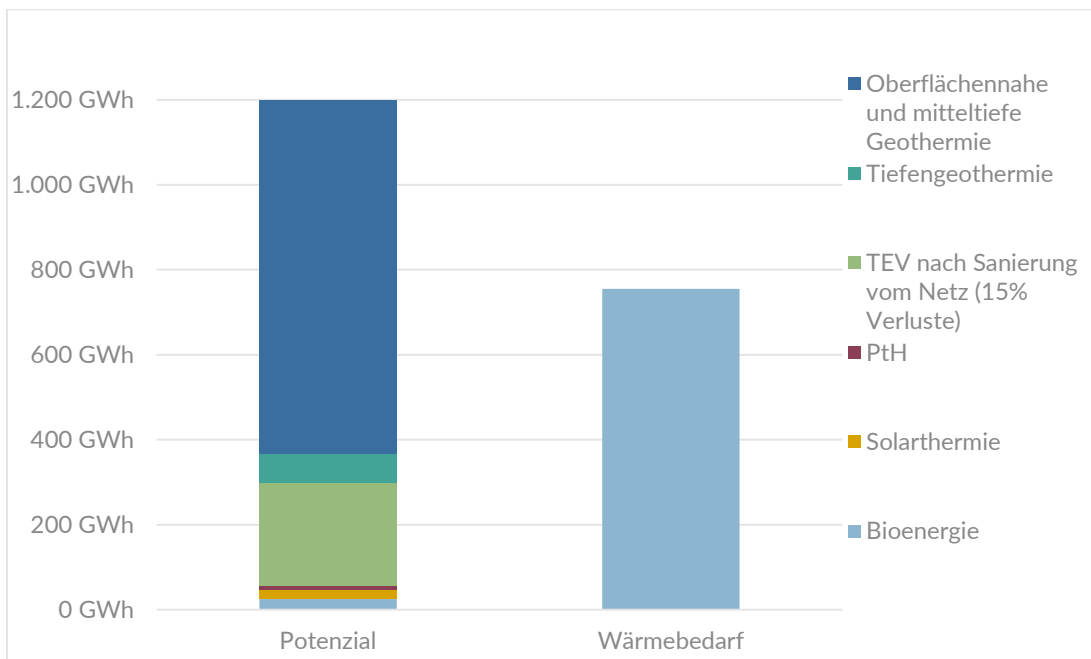


Abbildung 4-31: Vergleich des Wärmepotenzials mit dem Wärmebedarf 2035

Abbildung 4-31 veranschaulicht den Wärmebedarf im Jahr 2035 sowie das Wärmepotenzial. Bei dem Potenzial wurden die derzeit installierten Solarthermieanlagen mitberücksichtigt. Weiterhin wurde ein bereits saniertes Fernwärmenetz angenommen, wodurch die aus der TEV ausgespeiste thermische Endenergie von derzeit 214 GWh auf **243 GWh** erhöht wird.

Der Tiefengeothermie konnte ein Potenzial von 60 bis 75 GWh zugesprochen werden. Zusammen mit der Bioenergie (25 GWh), der Solarthermie (21 GWh) sowie dem Power-to-Heat-Kessel (10 GWh) und dem von der TEV versorgten Wärmenetz (243 GWh) verbleibt eine **Lücke von rund 390 GWh** zu dem Wärmebedarf im Jahr 2035. Diese Lücke muss und kann mittels Wärmepumpen aus der oberflächennahen und mitteltiefen Geothermie geschlossen und damit erhebliche Emissionen aus der Verbrennung von Erdgas vermieden werden. Das theoretische Potenzial dieser Technologie ist lediglich durch den benötigten Abstand der in den Boden eingelassenen Erdwärmesonden und der Gesamtfläche des Stadtgebiets begrenzt und reicht problemlos aus, um den zukünftigen Wärmebedarf zu decken. Eine lokal exakte Aussage dazu kann jedoch erst über eine kommunale Wärmeplanung im Detail gegeben werden.

5 Fernwärmenetz

Als Besonderheit der aktuellen Energieversorgungsstruktur besteht in Neumünster ein großflächig aufgespanntes Fernwärmenetz, das in der Bewertung von zukünftigen Potenzialen berücksichtigt werden muss. Das Fernwärmenetz ist historisch bedingt mit dem Arbeitsmedium Dampf in einer Zeit ausgebaut worden, als bspw. die Tuch- und Lederindustrie in Neumünster noch Dampf verbraucht hat. Da der Dampfbedarf schon lange rückläufig ist und im Jahr 2020 nur noch ein Kunde mit Dampf versorgt wurde, sind bereits gut 40 % der Fernwärmekapazität von insgesamt ca. 160 MW (max. Leistung im Jahr 2012) auf Heizwasser umgestellt worden. Die Planung der Stadtwerke Neumünster sehen vor, das Fernwärmenetz bis zum Jahr 2035 vollständig auf Heizwasser umzurüsten, da mit dem alten Dampfnetz insbesondere große Verluste an thermischer Energie und Kondensat verbunden sind, die durch eine erneuerte Heizwasserverrohrung deutlich reduziert werden können.

Das Fernwärmenetz versorgt insbesondere das Stadtzentrum und angrenzende Stadtteile mit rund 320 GWh Wärme pro Jahr und hält damit einen Anteil von gut 30 % der stadtweiten Wärmeversorgung von Neumünster in Höhe von ca. 1.000 GWh/a Endenergiebedarf der Gebäude und Infrastruktur exklusive Strom und Diesel. Die aktuell noch hohen Wärmeverluste des Fernwärmenetzes in Höhe von jährlich knapp 100 GWh machen 25 % der in das Netz eingespeisten thermischen Energie aus. Die Wärmeverluste sind über die Geometrie des weit verzweigten Fernwärmenetzes mit einer großen Systemoberfläche bedingt und können nicht vollständig vermieden, sondern nur minimiert werden.

Als Wärmequelle dient dem Fernwärmesystem die sogenannte TEV (thermische Ersatzbrennstoffverwertung) und Erdgas- sowie Heizölfeuerungsanlagen. Eine bestehende Steinkohlefeuerung ist stillgelegt und wird zurückgebaut. Die TEV verbrennt überregional gesammelten und aufbereiteten Müll in einer Wirbelschichtfeuerung, erzeugt Dampf für Turbinen sowie für das Fernwärmenetz, Strom und Abwärme aus der Dampfkondensation und Kühlung für das Heizwassersystem des Fernwärmenetzes.

Die TEV stellt ca. 70 % der in das Fernwärmenetz eingespeisten thermischen Energie. Die restlichen 30 % und damit entsprechend rund 130 GWh werden jährlich über die Erdgas- und Erdölfeuerungen erzeugt, die für die mittelfristig durch regenerative Energieträger klimaneutral ersetzt werden müssen.

6 Zielszenario 2035

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Einsparpotenziale und die Potenziale an Erneuerbaren Energie ermittelt. Auf Basis dieser Daten wird nachfolgend das Zielszenario der Energieversorgung für das Jahr 2035 dargestellt. Dafür wird in einem ersten Schritt die Entwicklung des Endenergiebedarfs betrachtet, also der Energiebedarf der Gebäude und des Verkehrs sowie der Strombedarf. Im zweiten Schritt wird die notwendige Energiebereitstellung in 2035 untersucht. Bei der Energiebereitstellung werden zusätzlich zum Endenergiebedarf noch die Verluste für die Bereitstellung der Endenergie berücksichtigt. Der notwendige Energiebedarf wird jeweils den Potenzialen auf dem Stadtgebiet gegenübergestellt.

6.1 Einsparpotenziale und Potenziale an Erneuerbaren Energien

6.1.1 Endenergiebedarf (ohne Darstellung von Solarthermie und Umweltwärme)

Die Einsparungen durch die Sanierung der Gebäude und durch die Elektrifizierung des Verkehrs reduzieren den Bedarf an Brennstoff (Erdgas, Diesel, Benzin, Holz) deutlich. Gleichzeitig führt dies zu einem Anstieg des Strombedarfs. Der zusätzliche Strombedarf durch Wärmepumpen und durch Elektrofahrzeuge ist deutlich höher als die Einsparungen beim konventionellen Strombedarf. Auf der anderen Seite stehen die erneuerbaren Potenziale auf dem Stadtgebiet. Die größten Potenziale liegen in den PV-Anlagen auf den Dächern und Freiflächen und in der bereits heute genutzten Abwärme und Stromerzeugung der TEV.

Die Bedarfe und Potenziale sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Hierbei sind nur Endenergieträger und nicht die lokal genutzten Potenziale aus Solarthermieanlagen und Umweltwärme (Luft, Erdreich, Wasser) für die Beheizung von Gebäuden enthalten⁵.

Abbildung 6-1 zeigt, dass bis 2035 nur ein Teil des gesamten Potenzials gehoben werden kann. Der verbleibende Endenergiebedarf ist im Jahr 2035 nach Einsparungen mit rund 1.200 GWh noch deutlich höher als die im Stadtgebiet bis 2035 erschließbaren erneuerbaren Energien (~760 GWh). **Der Strombedarf in 2035 (450 GWh) kann hingegen bilanziell fast vollständig durch die Potenziale gedeckt werden (410 GWh).**

⁵ Erläuterung: Solarthermie und Umweltwärme stehen theoretisch unbegrenzt zur Verfügung. Für die tatsächliche Einsparung ist jedoch entscheidend, wie groß das Potenzial an umsetzbaren Anlagen ist. Des Weiteren werden Solarthermie und Umweltwärme üblicherweise nicht als Endenergie angegeben. Siehe z.B. Berechnung Energieausweis gemäß EnEV (Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V., 2015).

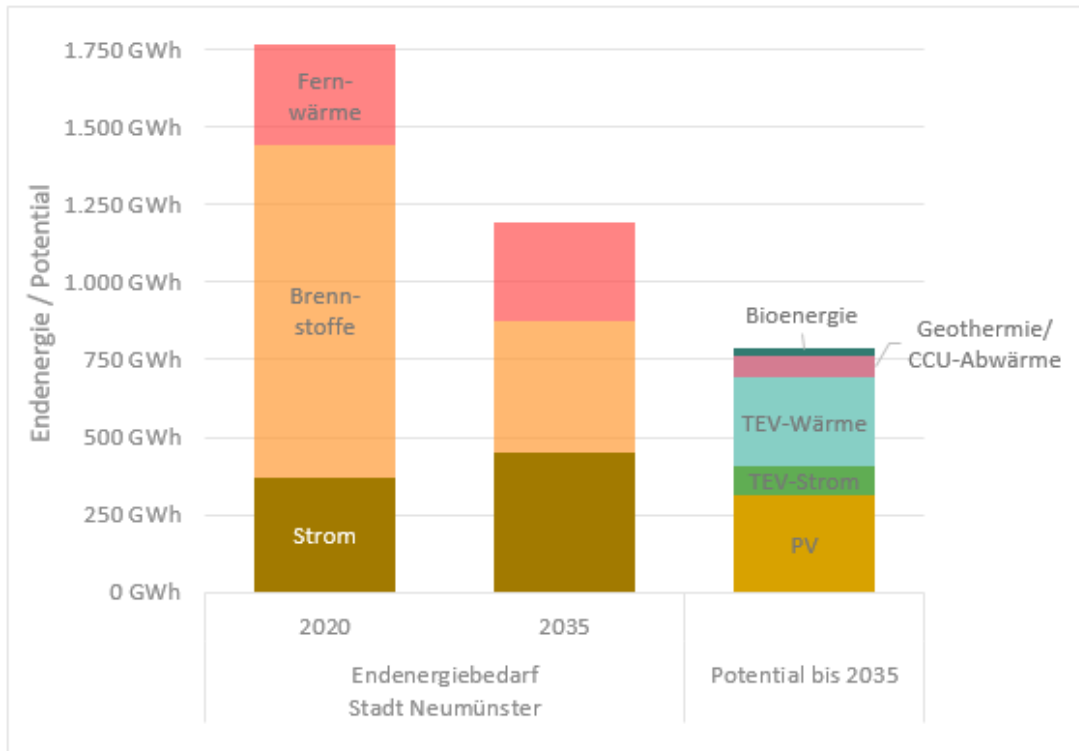


Abbildung 6-1: Energieeinsparung und erneuerbares Potenzial 2035 (Umweltwärme und Solarthermie nicht dargestellt)

Der Einsatz kohlenstoffhaltiger Brennstoffe muss den nationalen und internationalen Vorgaben entsprechend bis 2045 vollständig durch klimaneutrale Energieträger ersetzt werden. Das geschieht sowohl im Verkehr als auch in der Wärmeversorgung mittels Elektrifizierung und bewirkt deutliche Energieeinsparungen durch den großen Effizienzsprung vom Verbrennungsmotor zum Elektromotor als auch von der Gasheizung zur elektrisch betriebenen Wärmepumpe zur Nutzung von Umweltwärme.

Gemäß Abbildung 6-2 beträgt der Endenergiebedarf im Jahr 2045 noch rund 900 GWh und könnte unter idealen Bedingungen und bei der Erschließung aller Potenziale in Höhe von knapp 1.200 GWh durch die erneuerbarer Energieproduktion auf dem Stadtgebiet bilanziell gedeckt werden.

Da die Erschließung jedes einzelnen Potenzials eine sehr große gesellschaftliche Unterstützung sowie politische Entschlossenheit erfordert, muss aus heutiger Sicht mit Kompromissen für Teilerfolge gerechnet werden, die zur unvollständigen Erschließung der Potenziale führen.

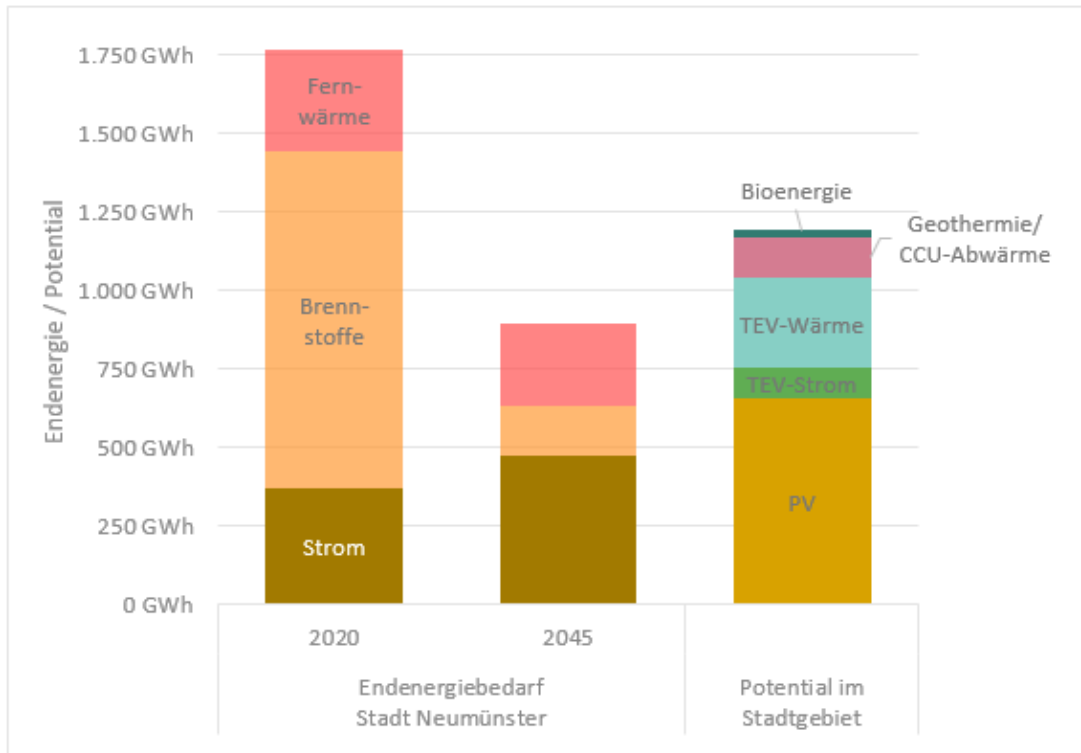


Abbildung 6-2: Energieeinsparung und erneuerbares Potenzial 2045 (Umweltwärme und Solarthermie nicht dargestellt)

6.1.2 Energiebereitstellung

Bei der Bereitstellung von Strom und Fernwärme entstehen Verluste. Das Stromnetz in Neumünster hat kleinere Verluste und auch das Wärmenetz wird trotz Reduzierung noch ca. 15 % Wärmeverluste haben. Zudem werden im Verkehrssektor erste kleinere Mengen von Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen eingesetzt. Würden diese im Stadtgebiet erzeugt werden, so entstünden Verluste von 30 % bis 50 %. Verluste bei Aufbereitung oder Raffinierung von Brennstoffen wurden in der nachfolgenden Abbildung nicht berücksichtigt.

Die Verluste führen dazu, dass mehr erneuerbare Energie benötigt als Endenergie verbraucht wird. Zudem wird für die angedachte Abscheidung des Kohlenstoffes aus dem Abgas der TEV nochmal fast genauso viel Strom (~428 GWh) wie im Stadtgebiet selbst benötigt (~470 GWh). Ein Teil der eingesetzten Strommenge fällt jedoch als Abwärme wieder an und kann für das Wärmenetz genutzt werden. **Insgesamt reicht das umsetzbare Energiepotenzial bis 2035 nicht aus, um den Bedarf zu decken.** Die Brennstoffe müssen fast vollständig importiert werden (bis auf einen kleinen Anteil Biomethan). Gleiches gilt für über die Hälfte des notwendigen Stroms (inkl. CCU).

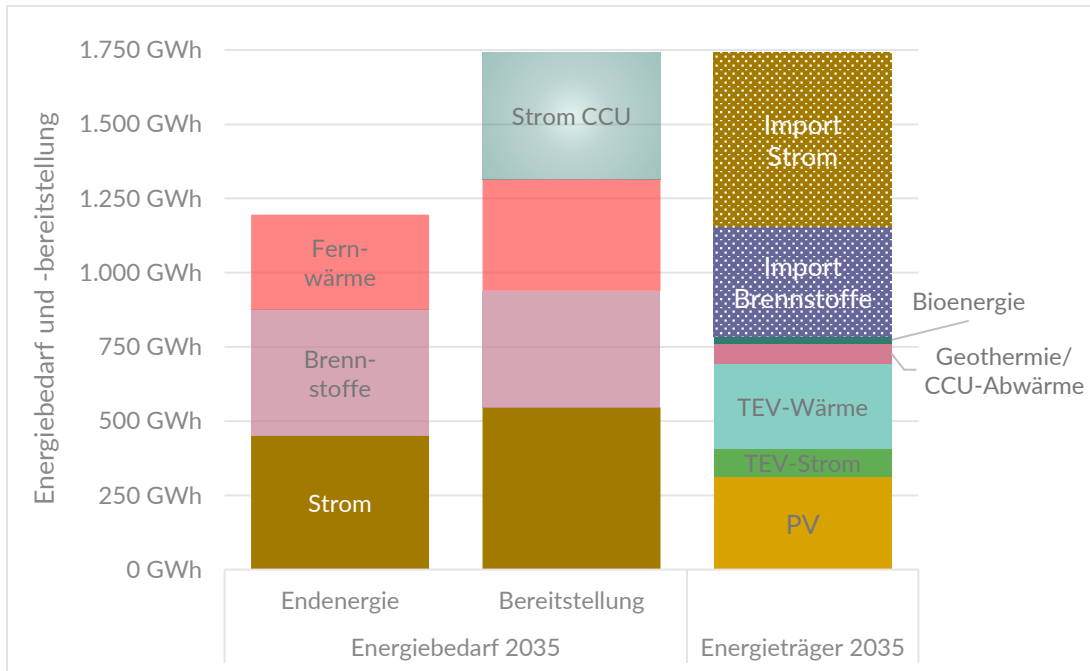


Abbildung 6-3: Endenergie und Energiebereitstellung

6.2 Treibhausgasemissionen im Zielszenario 2035

Die in Kapitel 6.1 ermittelten Energiemengen stellen die Grundlage für die Berechnung der Treibhausgasemissionen des Zielszenarios dar. Die Höhe der Treibhausgasemissionen hängen neben der Art und der Mengen der Energieträger auch von den Bilanzgrenzen ab. Die Bilanzgrenzen werden deshalb im nachfolgenden Kapitel zuerst beschrieben.

6.2.1 Bilanzgrenzen THG-Bilanzierung

Bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen werden die energiebedingten Emissionen untersucht. Die nicht-energiebedingten Emissionen z.B. aus der Landwirtschaft werden nicht betrachtet. Für die Bilanzierung wurde der Scope 1 und Scope 2 des Greenhouse Gas Protocol (ghgprotocol.org, 2022) berücksichtigt. Bei den Energieträgern werden die Vorkettenemissionen wie z.B. Verluste in der Raffinerie und für die Herstellung von Bioenergie bzw. Energie aus Abfällen berücksichtigt. Die Emissionen aus der Herstellung von Produkten wie z.B. Solarkollektoren, Photovoltaikanlagen und Windanlagen wurden vernachlässigt (siehe Abbildung 6-4). Diese Emissionen in den Fabriken können nur bedingt durch die Auswahl der Anlagen beeinflusst werden. Die Emissionen aus der Herstellung von PV- und Windanlagen werden für heutige Anlagen bezogen auf den Strom mit 40 bzw. 10 g/kWh angegeben (Gemis 4.9, Gemis 5.0). Für eine Erreichung einer Klimaneutralität müssen auch PV-Module und Windanlagen klimaneutral produziert werden, also nur mit erneuerbarem Strom und Wärme und mit Kompensation von eventuell verbleibenden Emissionen. Diese Aufgabe liegt nicht in der Bilanzierungsgrenze von Neumünster, sollte aber bei der Anschaffung forciert werden.

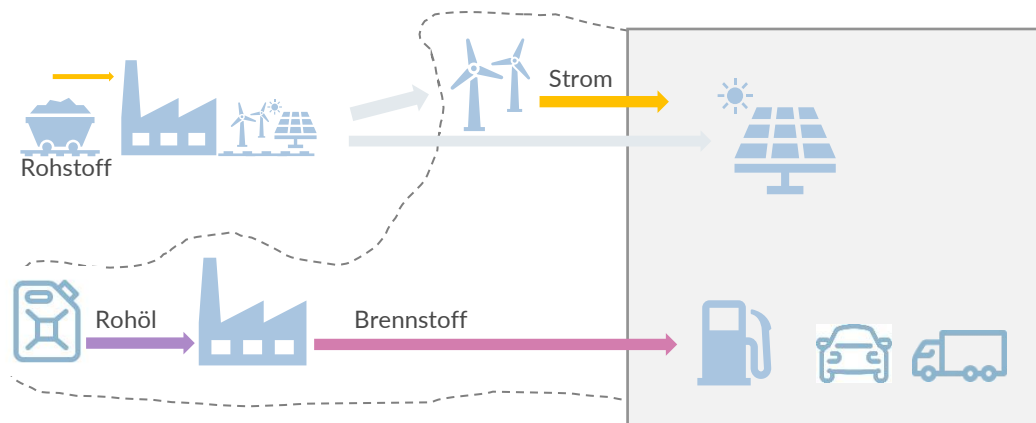


Abbildung 6-4: Bilanzgrenze Treibhausgasneutralität

6.2.2 THG-Emissionen

In 2035 werden Erdgas, Diesel und Benzin mit jährlich 80.000 tCO_{2e} die Hauptverursacher der energiebedingten Emissionen im Stadtgebiet sein. Die Energieträger Holz, Biomethan und Biokraftstoff haben aufgrund des geringeren Energieanteils und aufgrund der geringen Emissionen nur einen sehr geringen Anteil an den Gesamtemissionen. Es wurden Biomethan und Biokraftstoffe aus Reststoffen und Nebenprodukten berücksichtigt. Insgesamt fallen energiebedingte Emissionen von jährlich 82.800 t bzw. 1,0 t je Einwohner an.

Werden die Emissionen der thermischen Verwertungsanlagen (TEV) mit in die Betrachtung eingeschlossen, so führt dies zu mehr als einer Verdopplung der Emissionen. Diese Emissionen entstehen aus der notwendigen thermischen Verwertung von Abfällen, welche nicht vermieden bzw. anders genutzt werden können. Die Abfälle kommen nur zu einem kleinen Teil aus dem Stadtgebiet. Der Konzeptansatz der Kohlenstoffabscheidung würde die Emissionen der TEV um 90.000 t jährlich reduzieren. Diese Einsparung ist größer als die gesamten energiebedingten Emissionen in 2035.

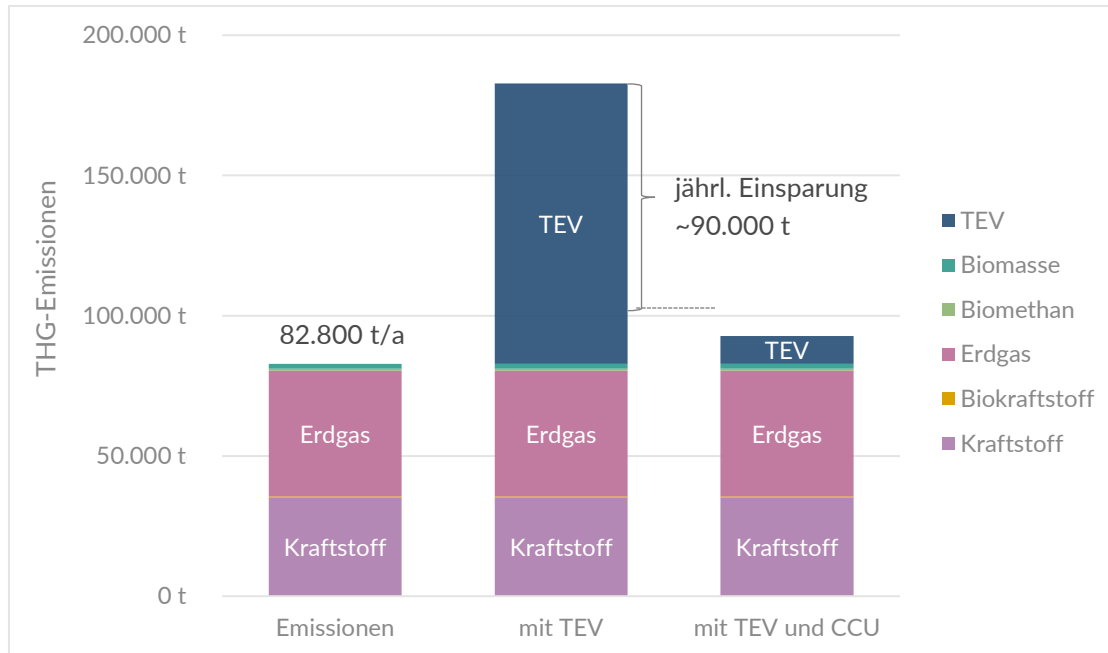


Abbildung 6-5: THG-Emissionen 2035 mit/ohne CCU

6.2.3 Definition Klimaneutralität 2035

Trotz des exponentiellen Wachstums der Elektromobilität und der Umstellung eines Großteils der fossilen Heizungen werden im Jahr 2035 noch fossile Energieträger benötigt. **Eine klimaneutrale Energieversorgung von Neumünster ist somit ohne Kompensationsmaßnahmen oder Technologiesprünge bis Ende 2035 nicht möglich.**

Deutschland hat das Ziel, bis 2045 über alle Sektoren hinweg klimaneutral zu werden, also inkl. der Landwirtschaft und Produkte. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen auch zu Teilen die Prozessemissionen wie z.B. aus der Stahlerzeugung oder aus der Abfallverwertung abgeschieden werden. Hierfür eignen sich insbesondere große Punktquellen. Die Technologien und die Rahmenbedingungen (CO₂-Preis) befinden sich noch in der Entwicklung (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut, 2021). Je früher die Technologien zur CO₂-Abscheidung eingesetzt werden und eine Serienreife erhalten, umso größer ist die CO₂-Einsparung. Mit der TEV hat Neumünster eine große Punktquelle, welche sich gut für die Abscheidung von CO₂ eignet. Mit einer Umsetzung der CCU-Anlage bereits bis Ende 2035 würde Neumünster einen großen Beitrag zur Reduzierung der THG-Emissionen leisten (90.000 tCO_{2e}/a). Bei einer späteren Umsetzung in 2040 oder 2045 würden zusätzliche CO₂-Emissionen in Höhe von 450.000 bzw. 900.000 t emittiert, welche mit einer vorzeitigen Errichtung der CCU hätten vermieden werden können. Diese vermiedenen CO₂-Emissionen könnten als Kompensation angerechnet werden, um die Restemission bis zur Erreichung der klimaneutralen Energieversorgung zu kompensieren.

Die Stadt kann somit zum einen aktiv Emissionen vor Ort durch die Errichtung der CCU-Anlage vermeiden. Zum anderen unterstützt die frühzeitige Planung und Umsetzung dieser Technik, dass Anlagen zur CO₂-Abscheidung sich schneller entwickeln und verbreiten. Somit könnte Neumünster indirekt zu einer weiteren Reduzierung der Emissionen beitragen.

Geht man von einer linearen Reduktion der verbleibenden Emissionen im Sektor Wärme und Verkehr aus, so werden nach 2035 bis 2045 noch ca. 380.000 t ausgestoßen. Dies entspricht ungefähr der CO₂-Menge, welche eine CO₂-Abscheidung dem Abgasstrom der TEV in 4,5 Jahren entziehen würde (siehe Abbildung). Eine frühe Inbetriebnahme der CO₂-Abscheidung,

mindestens 4,5 Jahre früher als im deutschen Mittel, führt zu einer effektiven Vermeidung von CO₂-Emissionen.

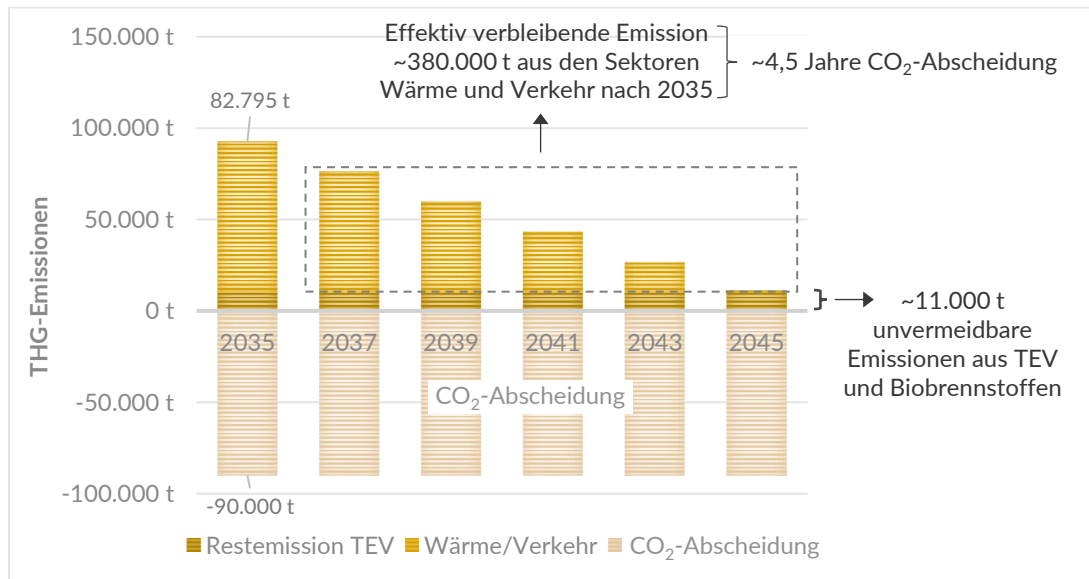


Abbildung 6-6: THG-Emissionen nach 2035

Nach 2045 werden weiterhin Restmengen an Treibhausgasen verursacht. Der Großteil von ca. 10.000 t jährlich kommt weiterhin aus TEV, da die CO₂-Abscheidung zwar einen Großteil der CO₂-Menge abscheidet, aber ein kleiner Teil nicht abgefangen werden kann. Die verbleibende Nutzung von Bioenergie verursacht weitere kleine Mengen von Treibhausgasen. Die verbleibend jährlichen Emissionen von gut 11.000 t müssen durch natürlich Senken wie Aufforstung, Wiedervernässung, Humusaufbau oder Biokohle ausgeglichen werden. Dies muss nicht allein auf dem Stadtgebiet von Neumünster geschehen. Die Kompensation und Vermeidung der Emissionen von Abfallanlagen ist eine gesamtdeutsche Aufgabe.

6.3 Diskussion Zielszenario 2035

Das Zielszenario zeigt, dass die Klimaneutralität bis zum Jahr 2035 mit den aus heutiger Sicht üblichen Maßnahmen nicht erreicht wird und ca. 15 % der heutigen THG-Emissionen verbleiben. In diesem Kapitel werden die Rest-THG-Emissionen bewertet und erforderliche Zusatzanforderungen diskutiert, die zur Erreichung einer Klimaneutralität erforderlich werden. Insbesondere die Sektoren Verkehr und Wärme erreichen die Klimaneutralität zum Jahr 2035 nicht (vgl. Abbildung 6-7). Der verbleibende Brenn- und Treibstoffbedarf beträgt insgesamt 425 GWh und verursacht Restemissionen von rund 83.000 t CO₂.

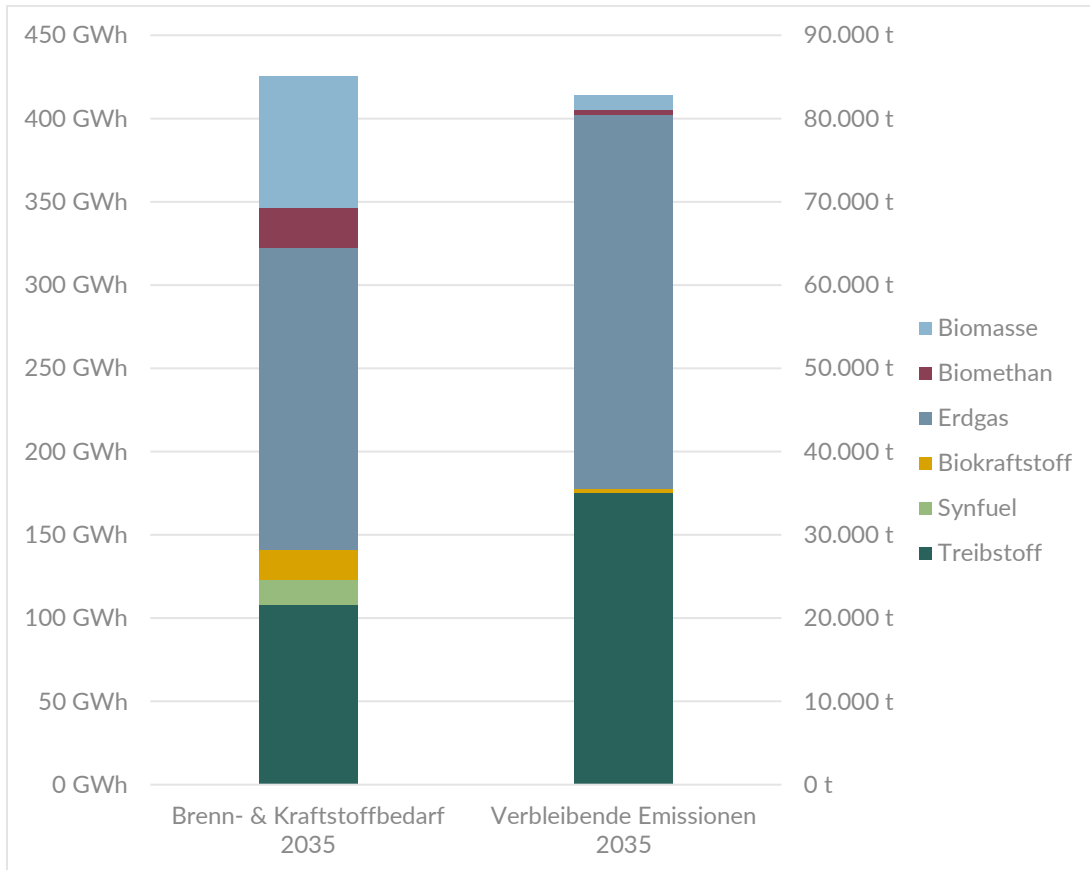


Abbildung 6-7: Brenn- & Kraftstoffbedarf und verbleibende Emissionen 2035

Der größte Anteil der verbleibenden Emissionen in Höhe von rund 47.000 t CO₂ und damit 57 % ist dem Erdgasverbrauch im Wärmesektor zuzuschreiben. Die anderen 43 % der Rest-THG-Emissionen entstehen im Wesentlichen bei der Verbrennung von Treibstoffen im Verkehr. Auf beide Emissionsquellen kann die Stadt Neumünster über zusätzliche Anstrengungen bei der Erschließung der PV-Potenziale im Sinne des Klimaschutzes Einfluss nehmen. PV-Anlagen auf Gebäuden unterstützen durch das Interesse nach Eigenstromnutzung die Umstellung vom Verbrennungsmotor zum Elektromotor im Verkehr wie auch vom Verbrennungskessel zur Wärmepumpe im Wärmebereich gleichermaßen.

Im Verkehrssektor sind die Prämissen bei der Elektrifizierung im Zielszenario 2035 bereits weitergehend gefasst als es in Leitstudien der Fall ist und die Einflussmöglichkeiten der Stadt Neumünster sind allein zur Erreichung der vollständigen Klimaneutralität bis 2035 aufgrund von langen Nutzungszeiträumen der Verkehrsmittel aus heutiger Sicht vermutlich nicht ausreichend (vergl. Kap. 4.2). Es bedarf einer großen Anstrengung von Bund, Land Schleswig-Holstein und der Stadt Neumünster in der Verkehrswende für den vollständigen Ersatz fossiler Treibstoffe wie Diesel und Benzin.

Für eine sehr intensive Bearbeitung der Wärmewende sind der Kommune umfassende Fördermittel gegeben (vgl. Kapitel 7 Sofortmaßnahmen, Quartierskonzept, Sanierungsmanagement). Es ist also vorstellbar, über diese Maßnahmen annähernd alle Akteure zu erreichen und über gute Angebote zum Mitmachen bei der Energiewende zu gewinnen. Dazu sind riesige und un-nachgiebige Anstrengungen in drei Bereichen erforderlich.

Zum Ersten ist die **Gebäudesanierungsquote** auf im Mittel 3 % deutlich zu erhöhen. Dadurch kann der Rest-Erdgasbedarf im Zielszenario 2035 ungefähr halbiert werden (vergl. Kap. 4.1.1 Gebäudesanierung).

Als Zweites sind im **Wärmebereich** die großen in Abbildung 4-31, Kapitel 4.5 aufgezeigten geothermischen Potenziale über effiziente Systeme mit Wärmepumpen deutlich forciert zu erschließen. Der verbleibende Rest-Erdgasbedarf in Höhe von ca. 90 GWh besteht überwiegend in der Raumwärmeversorgung und kann auf dem Wege ersetzt werden. Das entspricht je nach Bebauungsstruktur und Sanierungsstand dem Wärmebedarf von etwa 10.000 bis 20.000 Haushalten.

Die dritte außergewöhnlich große Anstrengung ist im Bereich der Erschließung des **PV-Strompotenzials** erforderlich. Allein für den zusätzlichen Ersatz von Erdgasverbrennung durch Wärmepumpen wird eine um ungefähr 30 GWh erhöhte PV-Stromproduktion erforderlich und entspricht bezogen auf das theoretische PV-Potenzial einer Nutzungssteigerung von knapp 5 % bzw. ungefähr 10 % bezogen auf das technische PV-Potenzial aus dem Zielszenario 2035. Diese Ausweitung der Potenzialerschließung darf insofern mit deutlich verstärkten Anstrengungen als machbare Perspektive bewertet werden. Jedoch sollte der Fokus dabei auf das PV-Potenzial auf Gebäudedächern gerichtet werden, um damit die Motivation zur Eigenstromnutzung und infolgedessen Aktivitäten zum Umstieg auf E-Mobilität und auf Wärmepumpen auszulösen.

Die Stadt Neumünster hat Möglichkeiten, den Rest-Erdgasverbrauch bis 2035 annähernd vollständig zu verdrängen. Sie hat auch Handlungsoptionen zur weitergehenden Reduzierung fossiler Treibstoffe im Verkehr. Beide Ziele erfordern unverzüglich massive Anstrengungen von Politik, Verwaltung und Gesellschaft.

TEV-Transformation ist als wichtiger Baustein zur Klimaneutralität

In der TEV entstehen heute rund 15 % der THG-Emissionen, die im Zielszenario 2035 durch das Abscheiden von Kohlenstoff ab 2035 vermieden werden. Diese Emissionen müssen mit vollständig anderen, neuartigen und aufwändigen Maßnahmen vermieden werden und diese besondere Herausforderung betrifft nur verhältnismäßig wenige Kommunen mit thermischer Abfallverbrennung. **Daher erfordert die TEV besonders nachdrückliche Bearbeitung, um der Gefahr zu begegnen, dass der wesentliche Beitrag im Zielszenario 2035 der TEV zur Energieversorgung und zur THG-Emissionsvermeidung nicht erreicht wird. Zum Zielkonzept der TEV drängt mit Blick auf den großen Aufwand und den kurzen Zeitraum bis 2035 die Zeit ein Konsens als Grundlage für die Weiterentwicklung des TEV-Standortes ist auf breiter Ebene von Betreiber, Politik, Verwaltung und Bürger:innen im Jahr 2022 zu treffen.** Eine frühzeitige Umsetzung eines CCU-Konzeptes (vergl. Kap. 4.4.6) birgt jedoch die Chance von THG-Gutschriften sowie regenerativer Strom- und Wärmeproduktion und gleichzeitig werden auf einen Schlag etwa 15 % der THG-Emissionen aus dem Bezugsjahr 2020 vermieden.

7 Sofortmaßnahmen („Top-Maßnahmen“)

Die Stadt Neumünster hat sich ambitionierte Zielsetzungen im Klimaschutzkonzept gesetzt. Um das Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2035 zu erreichen, werden 10-Sofortmaßnahmen vorgeschlagen, die für die Zielerreichung einer Klimaneutralität kurzfristig gestartet werden und handlungsleitend fungieren sollen.

10 Sofortmaßnahmen zur erfolgreichen Klimaneutralität im Jahr 2035

(„Top-Maßnahmen“)

- Top 1 Akteursbeteiligung intensivieren und gezielt Formate zur Beteiligung von Bürger:innen schaffen
- Top 2 „Masterplan“ sowie Strukturen für die Umsetzung der Wärmewende erarbeiten (kommunale Wärmeplanung, Quartierskonzepte, Sanierungsmanagement)
- Top 3 Schärfung des Zielbildes einer klimaneutralen TEV
 - a. CCU-Konzeptansatz detaillieren
 - b. Konsens in Neumünster herstellen
 - c. Verwendung des Kohlenstoffs analysieren
 - d. Förder- und Finanzierungsoption erschließen
- Top 4 Öffentliche Gebäude für Vorbildwirkungen nutzen (Energiesparen, erneuerbare Energieversorgung)
- Top 5 Leitlinie zur PV-Freiflächenentwicklung mit Akteuren erstellen und in Handbuch veröffentlichen
 - e. Genehmigung (Grundsatzklärung mit Stadtplanung und Naturschutz)
 - f. Grundstück
 - g. Potenziale Agri-PV
- Top 6 Daten erheben und Leitlinie zur Nutzung von Geothermie erarbeiten (Wärmepumpen)
- Top 7 Förderstruktur zur Erreichung der Gebäudesanierungsquote aufbauen (Quartierskonzepte, Sanierungsmanagement)
- Top 8 Förderung des Handwerks zur Errichtung von PV-Dachanlagen sowie Wärmepumpen mit hoher lokaler Wertschöpfung (Aus-/Weiterbildung, Umschulung, Netzwerk, Forum für Anbieter und Kunden)
- Top 9 Erarbeitung eines energetischen Nutzungskonzeptes für den Bioabfall der Stadt und der benachbarten Kreise
- Top 10 Aufbau einer Förderstruktur zur Verkehrswende (vermeiden, verlagern, elektrifizieren)

Top 1: Bürger:innenbeteiligung

Die Klimaneutralität bis 2035 ist ohne erheblich größeren Einsatz ggü. den gängigen Annahmen von Leitstudien nicht erzielbar. Das betrifft natürlich die Bereitschaft auch der Neumünsteraner Bürger:innen, den erforderlichen Beitrag zu leisten. Auch bedingt die Zielsetzung einen steilen Reduktionspfad der THG-Emissionen, der nur mit schnellen und einschneidenden Veränderungen im Ressourcenverbrauch erreicht werden kann.

Für die Akzeptanz von Klimaschutzmaßnahmen und für das Vertrauen in das Handeln von Politik und Verwaltung ist Transparenz und Teilhabe notwendige Voraussetzung. Dazu sollten die

Neumünsteraner Bürger:innen auf breiter Ebene informiert und beteiligt werden. Bürger:innen können bspw. zur Ausgestaltung von Maßnahmen und Leitlinien (vgl. Top 5 und Top 6) beitragen, an richtungsweisenden Debatten teilnehmen und somit zur öffentlichen Meinungsbildung beitragen. Zudem sollte Bürger:innen ein überwachendes Mandat übertragen werden, um auf Fehlentwicklungen hinzuweisen und Einfluss für den Klimaschutz zu nehmen.

Im Sinne des Vertrauens von Bürger:innen ist eine breite Beteiligung unabhängig von gesellschaftlichen Position erforderlich und es muss dem Eindruck vorgesorgt werden, nur Privilegierte würden für alle entscheiden. Die Kombination aus dem Vorhaben der Stadt Neumünster, eine Lenkungsgruppe Klima und einen Zukunftsrat mit der Leitfrage zu geeigneten Pfaden hin zur Klimaneutralität 2035 einzurichten (Drucksache Nr.: 0996/2018/DS vom 24.02.2022), ist sehr zu begrüßen und entspricht der in Top 1 avisierten Beteiligung.

Es gilt, in einen kontinuierlichen Dialog mit den Neumünsteraner Bürger:innen einzutreten und den Weg der Klimaneutralität 2035 gemeinsam zu gehen.

Top 2. „Masterplan“ Wärmewende

Derzeit liegt der Anteil erneuerbarer Energien im Wärmebereich sowohl bundesweit als auch in der Stadt Neumünster deutlich unter dem des Strombereichs. Um aus der Strom- auch eine Energiewende zu machen, bedarf es großer Veränderungen im Wärmesektor. Die Erreichung der Klimaziele der Stadt Neumünster (sowie des Bundes) bedarf der großflächigen Nutzung von Strom als Primärenergieträger zum Beispiel in Wärmepumpen, um eine signifikante Reduzierung der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2035 zu erreichen.

Damit die Umsetzung der Wärmewende zielgerichtet erfolgt, bedarf es eines „Masterplans“, der allen Akteuren und insbesondere den Bürger:innen für Ihr Handeln und die damit einhergehenden Investitionen Orientierung und Verlässlichkeit gewährt. Hierzu wird im EWKG vom Land Schleswig-Holstein das Instrument der kommunalen Wärmeplanung gegeben. Leider kommt dieses Instrument aus heutiger Sicht einige Jahre zu spät, was jedoch zu der dringenden Empfehlung führt, die kommunale Wärmeplanung mit oberster Priorität zu beginnen und voranzutreiben.

Die Stadt sollte parallel zur kommunalen Wärmeplanung über geförderte Formate Impulse in die Stadtteile bringen, die im ersten Schritt außerhalb des Fernwärmeversorgungsgebietes liegen und damit Veränderungen anstoßen und organisieren. Das betrifft bspw. die Gebäudesanierung, Versorgungskonzepte über kalte Netze, die gemeinsam errichtete Erdwärmesonden als günstige Wärmequelle für die jeweilige hauseigene Wärmepumpe nutzen, PV-Anlagen oder Mobilität. Hierzu stehen der Stadt Neumünster umfangreiche Förderprogramme des Bundes für Quartierskonzepte und für Sanierungsmanagement zur Verfügung. Dazu gehört auch die Förderung von Mitarbeitern der Stadt (bspw. Sanierungsmanager).

Zudem kann die Stadt innerhalb des Fernwärmeversorgungsgebietes mit gezielten Informationskampagnen und Veranstaltungen die Anschlussquote an das Fernwärmenetz erhöhen. Für die Attraktivität des Fernwärmeanschlusses ist jedoch ein klarer Dekarbonisierungsfahrplan des Fernwärmenetzes als überzeugendes Argument essenziell. Für die Planung und Umsetzung der Transformation von Fernwärmenetzen stehen Fördermittel des Bundes bereit.

Top 3: klimaneutrale TEV

Für die energetische Abfallverwertung ist ein Zukunftskonzept zu entwickeln, das die Frage nach dem nachhaltig klimaneutralen Umgang mit dem im Abfall enthaltenen Kohlenstoff

beantwortet. Übertragen auf den in dieser Potenzial- und Szenarienanalyse vorgestellten CCU-Ansatz bedeutet dies unter anderem die Erarbeitung folgender Schritte.

a) CCU-Konzeptansatz detaillieren

Der CCU-Konzeptansatz bedarf einer umfassenden technischen Recherche und Bewertung zur Verfügbarkeit geeigneter und erprobter Technik aus übertragbaren Einsatzgebieten. Zudem sollte das Entwicklungspotenzial von Technik im Forschungsstadium ermittelt und bewertet werden. Aus dem sich daraus ergebenden Bild kann ein technischer Konzeptansatz erarbeitet werden, die Kostenstruktur analysiert und die Genehmigungsfähigkeit geprüft werden.

b) Konsens herstellen

Die Entwicklung eines Zielkonzeptes einer annähernd klimaneutralen TEV bedeutet einen enorm großen Aufwand und bedarf einer Planungssicherheit, die durch einen breiten Konsens von Bürger:innen, Politik und Verwaltung verbindlich hergestellt werden muss. Dazu sind die Vorteile der TEV im Zielkonzept für die Stadt Neumünster öffentlich darzulegen und die betreffenden Aspekte zu Technik, Betrieb, Umweltschutz und Finanzierung zu diskutieren. Neben der Politik sollte die Lenkungsgruppe Klima und der Zukunftsrat eine wesentliche Rolle übernehmen.

c) Verwendung des Kohlenstoffs analysieren

Ein liquider Markt für regenerativ hergestellten und verwendeten Kohlenstoff besteht heute noch nicht und insofern ist das Marktpotenzial im direkten Gespräch mit potenziellen Kunden im Rahmen eines Zukunftsszenario zu klären.

d) Förder- und Finanzierungsoption erschließen

Parallel zur technischen Konzepterarbeitung kann die Erarbeitung eines Finanzierungsmodells erfolgen. Dafür sollte frühzeitig auch unter Einbindung der Politik und Behörden auf Stadt-, Land- und Bundesebene ein Fördermittelkonzept erarbeitet werden. Zudem ist seitens der Stadt mit dem Betreiber der TEV der Rahmen für Kooperationen und Beteiligungen zu klären und in den Prozess zur Herstellung des Konsenses einzusteuern (vgl. Top 3b). Mit einer Wirtschaftlichkeitsanalyse können mögliche Finanzierungspartner näher eingebunden werden.

Top 4: Öffentliche Gebäude als Vorbild

Auf dem Weg zur Klimaneutralität soll die Stadt Neumünster stets vorbildhaft vorgehen und im eigenen Handlungs- und Einflussbereich das vorhandene Potenzial zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen voll ausschöpfen. So sollen bis zum Jahr 2035 die kommunalen Gebäude vollends energetisch saniert und mit regenerativen Energien versorgt werden. Die Vorhaben sollen als Best-Practice-Beispiele fungieren und weitere Akteure zum eigenen Handeln motivieren. Dazu sollten kurzfristig erste Gebäude mit hoher öffentlicher Wirkung identifiziert werden, an denen die Möglichkeiten zur Energieeinsparung und Dekarbonisierung aufgezeigt und die erforderliche Ausarbeitung des energetischen Sanierungsfahrplans beauftragt werden. Auf Basis dieses Sanierungsfahrplans kann die Stadt beraten durch die Lenkungsgruppe Klima und den Zukunftsrat die jeweils beste Sanierungsoption identifizieren und die Ausführung beauftragen. Sowohl für die Planung als auch für die Ausführung stehen Fördermittel zur Verfügung.

Top 5: Leitlinie zur PV-Freiflächenentwicklung

Für einen beschleunigten und zielgerichteten Ausbau von Photovoltaik-Freiflächenkraftwerken ist die Erarbeitung und Vereinbarung eines Leitfadens hilfreich. Damit dieser Leitfaden nachhaltig einen gesellschaftlichen Konsens repräsentiert und Auseinandersetzungen

vermeidet, sollten die Lenkungsgruppe Klima, der Zukunftsrat, die betreffenden Fachbehörden aus Neumünster sowie Experten der PV-Branche an der Erarbeitung beteiligt werden.

a) Abstimmung mit Behörden

Die Errichtung einer Photovoltaikanlage ist ein Eingriff in die Natur und muss insofern Naturschutzbelangen berücksichtigen. Auf der anderen Seite ist die Energiewende grundsätzliche Voraussetzung dafür, dem anthropogenen Klimawandel zu begegnen und das Leben auf der Erde zu schützen. Ein mit den Behörden Stadtplanung und Naturschutz vorabgestimmter Entwicklungsplan für PV-Freiflächen auf dem Stadtgebiet Neumünster hat das Ziel, Planungssicherheit und insgesamt eine erhöhte Geschwindigkeit in der Umsetzung zu bringen. Dabei sollten geeignete Bereiche für die Errichtung von PV-Anlagen identifiziert, nach Naturschutzanforderungen klassifiziert und jeweils mögliche Formen der Umsetzung von PV-Anlage sowie ggf. erforderliche Ausgleichsmaßnahmen definiert werden.

b) Grundstück

Die Kommunikation von geeigneten Flächen für PV und damit einhergehend von Ausbauplanungen kann aus Ungewissheit Angst und starke Abwehrreaktionen bei den Eigentümer:innen der betreffenden Grundstücke führen. Zur Ansprache der Grundstückseigentümer:innen bedarf es eine gut vorbereitete und umgesetzte Kommunikation, die darauf ausgerichtet ist, die Gesprächsbereitschaft zu erhalten und das Interesse zu wecken, die Ausbaupläne gemeinsam zu erörtern und die Potenziale zu erschließen.

c) Potenziale Agri-PV

Es gibt bereits diverse Konzeptansätze zur Ausgestaltung des Aufbaus von Freiflächen-PV. Auf landwirtschaftlichen Flächen ist eine Doppelnutzung möglich, in dem die PV-Module so aufgebaut werden, dass mit etwas angepasster Mechanisierung die Flächen landwirtschaftlich genutzt werden können. Die Ausarbeitung einer Leitlinie zur Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für die Produktion von Solarstrom kann ein hilfreiches Instrument zur großflächigen Erschließung von PV-Potenzialen sein. Eine Handreichung mit Empfehlungen und Richtlinien zur Umsetzung, die mit der Verwaltung, der Gesellschaft und den Behörden abgestimmt ist, gibt allen Akteuren Orientierung im Sinne einer schnellen und zielgerichteten Entwicklung.

Top 6: Datenerhebung und Leitlinie zur Geothermienutzung

Die Stadt benötigt eine Leitlinie mit grundsätzlichen Rahmenbedingungen für die Erschließung und Nutzung von Geothermie. Diese sollte in einem breit angelegten Konsens mit einer breiten Allianz aus den Bürger:innen, Behörden und Verwaltung sowie Interessensverbänden aufgestellt und veröffentlicht werden. Zentral dafür eingerichtete Institutionen wie bspw. die Lenkungsgruppe Klima und der Zukunftsrat sollten eine maßgebliche Rolle übernehmen. Insbesondere die Nutzungsmöglichkeit der oberflächennahen Erdwärme sollte gut vorbereitet und geklärt sein, da diese u. a. auch für den Einsatz in vielen kleinen Einzelanlagen geeignet ist und sowohl das Handwerk als auch die Eigentümer:innen einen klar definierten Handlungsrahmen für einen schnellen Ausbau brauchen können. Als Bestandteil dieser Leitlinie sollten die Karten zur Wärmeleitfähigkeit überarbeitet werden, da deren Berechnungsgrundlage zu ungenau ist. Zudem ist die Klärung erforderlich, ob und ggf. welche Restriktionen auf dem Stadtgebiet zu beachten sind (Trinkwasserschutzgebiete, Altlasten etc., vergl. Kap. 4.4.4.2 – 4.4.4.7).

Die Datenlage zur mitteltiefen und tiefen Geothermie ist für das Stadtgebiet Neumünster außergewöhnlich dünn, so dass für eine Vertiefung und Detailerkundung reflexionsseismische Messungen im Bereich der potenziellen Bohrlokation vorab durchgeführt werden müssen. Für die Ermittlung der saisonalen Speicherqualität (Ein- und Auslagerungsverhalten) im Reservoirsandsteins sind Modellsimulationen anzustellen. Am Ende könnte eine Probebohrung

erforderlich werden, um nach den positiv abgeschlossenen Vorerkundungen die tatsächliche Leistungsfähigkeit zu testen.

Top 7: Förderstruktur für Gebäudesanierung

Für den Klimaschutz ist die energetische Sanierung von Gebäuden unabdingbar. Deshalb sollen neben der energetischen Sanierung der städtischen Gebäude auch die Bürger:innen im Rahmen unterschiedlicher Beratungsformate über Möglichkeiten der Sanierung ihres Eigentums aufgeklärt werden. Neben technischer Expertise sollen vor allem auch Informationen zum Klimaschutz, zu aktuellen Förderkulissen und wirtschaftlichen Zusammenhängen bereitgestellt werden, um Investitionen in Energieeffizienz und die Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt zu unterstützen.

Erwiesenermaßen erfolgreiche Formate zur Umsetzung dieses Tops sind die Eigentümer:innenberatung, Akteursbeteiligung und Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen der Erstellung eines geförderten Quartierskonzeptes. Auf diesem Weg werden erfahrungsgemäß viele Bürger:innen erreicht und zum Mitwirken motiviert. Zudem stehen Fördermittel für die zwei- bis dreijährige Unterstützung der Umsetzung durch das Sanierungsmanagement zur Verfügung.

Die Stadt Neumünster hat die Möglichkeit, geförderte Quartierskonzepte ohne wesentliche Reibungsverluste oder zeitliche Abhängigkeiten von anderen Prozessen ausarbeiten zu lassen und mit dem geförderten Sanierungsmanagement umzusetzen. Diese Möglichkeiten sollte die Stadt umgehend in Anspruch nehmen, um die für die Klimaneutralität erforderliche Quote im langwierigen und aufwändigen Prozess der Gebäudesanierung anzustreben (vgl. Kap. 4.1.1 und 4.5).

Top 8: Förderung des Handwerks

Motivierte und handlungswillige Bürger:innen benötigen eine Anlaufstelle für die unabhängige Beratung ihrer Fragen sowie zur Vermittlung von passenden Angeboten des Handwerks über die bauliche Ausführung. Die Klimastelle der Stadt Neumünster kann hierzu eine Lotsenfunktion übernehmen und eine Informationsplattform einrichten. Die Stadt kann bspw. über das geförderten Sanierungsmanagement Sprechstunden anbieten und Handwerksfirmen aus Neumünster vorstellen, die bspw. PV-, Solarthermieanlagen oder Wärmepumpen errichten sowie Gebäude energetisch sanieren. Die Plattform sollte Bedarfe und Angebote übersichtlich und unkompliziert vernetzen und eine hohe lokale Wertschöpfung im Sinne des Klimaschutzes schaffen.

Für das Handwerk sollten Aus- und Weiterbildungsangebote aufgebaut und vermittelt werden. Auch Umschulungen von Berufen wie bspw. KfZ-Mechaniker:innen zu Solarteuren oder Expert:innen für Wärmepumpen können einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Energiewende leisten.

Die Schornsteinfeger:innen sind bei geeigneter Ausbildung ein wichtiger Multiplikator in der Stadt. Sie kennen die Bewohner:innen und können im Erstkontakt zu Perspektiven für die Gebäudesanierung sowie erneuerbare Energieversorgung beraten, Ideen geben und bei entsprechender Ausbildung eine weiterführende Beratung anbieten oder vermitteln.

Top 9: Energetische Bioabfallverwertung

Die Bioabfallmenge aus der Stadt Neumünster reicht für die kosteneffektive Errichtung und den Betrieb einer eigenen Vergärungsanlage nicht aus und die Zusammenfassung der Bioabfälle aus mehreren Kreisen und Städten kann die erforderliche Mengenschwelle erreichen.

Dafür sind eingehende Vereinbarungen mit den Nachbarkreisen erforderlich, die bspw. über den bestehenden Zusammenschluss der Stadtwerke Neumünster, des WZV (Wegezweckverband) vom Kreises Segeberg und dem Kreis Plön in der BAV (Bio-Abfall-Verwertungsgesellschaft mbH) erreicht werden könnten.

Neben dem Interesse an einer interkommunalen Zusammenarbeit sind gesellschaftsrechtliche Fragestellungen im Hinblick auf private Gesellschaftsanteile an den beteiligten kommunalen Entsorgungsunternehmen zu klären, die für eine kommunale Sammlung und Verwertung des Bioabfalls entscheidend sind.

Die Stadt Neumünster sollte einen Gesprächsprozess zur Erschließung des wertvollen Bioenergiepotenzials über die Stadtwerke Neumünster mit den in der BAV betroffenen Kreisen anstoßen und moderieren. Flankierend werden Planungen zur Standortbewertung angeraten, um die Vorzüge des Standorts Neumünster herauszuarbeiten.

Top 10: Aufbau einer Förderstruktur zur Verkehrswende (vermeiden, verlagern, elektrifizieren)

Der Sektor Verkehr ist in Neumünster einer der größten Verursacher von Treibhausgasen. Um eine Klimaneutralität bis 2035 zu erreichen, müssen die Emissionen hier schnellstmöglich reduziert werden. Übergeordnetes Ziel ist hierbei die Vermeidung und Verlagerung von Verkehr. Hierbei gilt es, den Fahrrad- und Fußverkehr zu fördern, Bus und Bahn attraktiver zu gestalten, den Verkehr intelligent zu vernetzen und den privaten PKW-Verkehr ökologisch zu lenken.

Der Verkehr, der sich nicht vermeiden oder verlagern lässt, soll auf alternative Antriebe umgestellt werden. Besonders im Bereich der privaten PKW ist die Elektromobilität voranzutreiben, die bei kontinuierlichem Ausbau der erneuerbaren Energien zu einer signifikanten Minderung der Treibhausgasemissionen im Stadtgebiet Neumünster beitragen kann. Um die Bürger:innen bei der Umstellung von konventionellen auf alternative Antriebe zu unterstützen, soll kontinuierlich über aktuelle Marktentwicklungen sowie Förderprogramme informiert werden. Die Stadt Neumünster sollte mit der Elektrifizierung der eigenen Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2035 beispielhaft vorausgehen. Zudem besteht eine Korrelation zwischen Käufern einer PV-Anlage und E-Autos. Laut einer Umfrage (siehe nachstehenden Link⁶) sind rund 47 % der Elektroauto-Nutzer ebenfalls Besitzer einer PV-Anlage. Das bedeutet, dass die Anschaffung eines E-Autos mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls zum Kauf einer PV-Anlage anregen kann und umgekehrt. Durch geeignete Förderungen im Bereich E-Mobilität können die Bürger:innen ebenso zum Kauf einer PV-Anlage bewegt werden.

Der im Jahr 2020 initiierte Masterplan Mobilität sollte unter Einbeziehung der Lenkungsgruppe Klima und des Zukunftsrates weiterentwickelt werden und über kurzfristige Umsetzung erster Maßnahmen das Bewusstsein für erforderliche Verhaltensänderungen anstoßen. Erste Maßnahmen sind im Masterplan Mobilität bereits adressiert wie bspw. eine geänderter Verkehrsführung zugunsten von Fußgängern und Radfahrern, Geschwindigkeitsreduzierung im motorisierten Verkehr, Aufwertung öffentlicher Räume, Änderungen im Parkraumangebot und deren Preisen sowie der entsprechenden Anpassung des ÖPNV und von On-Demand-Angeboten.

⁶ <https://www.solarville.ch/uber-uns/news/pv-anlage-interessant-fur-elektroauto-nutzer-und-umgekehrt/>

8 Zusammenfassung

Die Stadt Neumünster hat den Beschluss gefasst, bis zum Jahr 2035 klimaneutral zu werden, sowohl im eigenen Handlungsbereich als auch gesamtstädtisch. Diese ambitionierte Zielsetzung resultiert aus dem Verständnis eines dringenden Handlungsbedarfs, um das 1,5 Grad-Ziel des Pariser Klimaschutzabkommens noch zu erreichen. Dass diese Ambitionen gerechtfertigt und erforderlich sind, ist eine wesentliche Aussage des jüngsten Weltklimaratberichts „Climate Change 2022“, in dem eine neue Dynamik des Temperaturanstieges dargelegt und die Grenzen der Klimawandelfolgenanpassung thematisiert werden. Es ist bereits aus heutiger Sicht eine sehr wichtige Entscheidung der Stadt Neumünster, bis 2035 klimaneutral werden zu wollen und sehr zielstrebig und frühzeitig zu handeln.

Auch der Blick dieses Berichtes auf die erforderlichen Entwicklungen zwischen dem aktuellen Stand und der Klimaneutralität im Jahr 2035 zeigt deutlich, wieviel mehr im Schnitt der verbleibenden Jahre umgesetzt werden muss als bis heute erfolgt sowie im Vergleich zu üblichen Prognosen vorgesehen ist und dass mit wichtigen Maßnahmen dringend begonnen werden muss. Die Potenziale der Entwicklung stützen sich auf aktuelle Leitstudien, in denen jedoch die jüngste Preisentwicklung an den Energiemärkten seit Ende letzten Jahres und seit dem russischen Angriffskrieg auf die Ukraine aufgrund der Aktualität noch nicht berücksichtigt ist. Aus aktueller Sicht ist eine außergewöhnliche gesellschaftliche Anstrengung für eine sehr schnelle Energiewende und Energieunabhängigkeit ausgelöst durch Verknappung, Preisanstieg und exponentieller Klimaerwärmung realisierbar. In diesem Umfeld könnten wesentliche Voraussetzungen der Vergangenheit wie gesellschaftliche Akzeptanz, politischer Wille und Rentabilität den bevorstehenden Weg zur Klimaneutralität begünstigen.

Energie- und THG-Bilanz

Das Bilanzjahr 2020 stellt für die Darstellung der Ist-Situation das Bezugsjahr dar, in dem im gesamten Stadtgebiet Neumünster insgesamt rund 1.770 GWh Endenergie verbraucht wurden. Den größten Anteil daran machen mit 39 % die privaten Haushalte aus und gemeinsam mit dem Sektor GHD beträgt der Anteil 63 %. Im Haushalts- und GHD-Sektor überwiegt der Energieeinsatz für Raumwärme, so dass Maßnahmen zur energetischen Gebäudesanierung und zur Wärmewende einen großen Wirkungskreis und Einfluss haben. Betrachtet man die Verteilung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern, so deckt Erdgas mit 27 % den höchsten Teil ab, gefolgt von Strom (21 %), Fernwärme (18 %) und Diesel (16 %) auf einem ähnlichen Niveau. Erneuerbare Energie trägt mit gut 4 % im Jahr 2020 noch einen geringen Anteil zur Deckung des Endenergiebedarfs bei.

Der Endenergiebedarf in den vorgelagerten Jahren 2017 bis 2019 war höher als im Jahr 2020 und hatte eine steigende Tendenz. Entsprechend sank der Endenergiebedarf vom Jahr 2019 auf 2020 deutlich um 9 %. Der Grund für diese Reduzierung ist im Wesentlichen in Korrekturen von Daten im Jahr 2020 mit niedriger Datengüte mittels Information aus der Datenerhebung im Rahmen dieser Potenzialanalyse (bspw. Schornsteinfegerdaten) zu finden. Im Ergebnis sind die Angaben zum Endenergiebedarf aus den Jahren 2017 bis 2019 durch Daten mit geringerer Güte, die von der Bundesebene hochgerechnet wurden, zu hoch und der Datensatz für das Jahr 2020 mit den vorgenommenen Korrekturen deutlich zutreffender.

Die resultierende THG-Emission für das Stadtgebiet Neumünster ergibt im Bezugsjahr 2020 eine Menge von knapp 580.000 Tonnen CO₂-Äquivalente. Dies entspricht einer Emission pro Bürger:in in Höhe von 7,2 t. Damit liegt die Stadt Neumünster bereits unter dem Bundesdurchschnitt, der je nach vergleichbarer Methodik mindestens 7,9 t pro Bürger:in beträgt. Für die

THG-Emissionen in den Jahren 2017 bis 2019 gelten die gleichen Aussagen wie vor beschrieben beim Endenergiebedarf.

Potenziale

In Neumünster ist die Besonderheit einer energetischen Abfallverwertung (TEV) mit Stromproduktion und Abwärmenutzung im Fernwärmenetz zu berücksichtigen, die gut 17 % der gesamten THG-Emissionen im Basisjahr 2020 emittiert. Daher sind für eine Klimaneutralität im Stadtgebiet Neumünster zusätzliche Anforderungen zu berücksichtigen. Das Fernwärmenetz in Neumünster bietet die Chance, mit großen Maßnahmen in der Einflussosphäre der Stadtwerke Neumünster große und schnelle Schritte zur Wärmewende zumachen. Jedoch steht noch ein erheblicher Instandsetzungsaufwand für die Transformation der restlichen knapp 60 % des Fernwärmenetzes vom Dampfsystem zum Heizwassersystem an. Der Betrieb eines Fernwärmenetzes erfordert allgemein aufgrund des hohen Betriebsaufwands und der verhältnismäßig hohen Wärmeverluste drei wesentliche Voraussetzung für eine zukunftsfähige Perspektive: eine große, stabil günstige und klimaneutrale Wärmequelle. Die Klimaneutralität in der Fernwärmelieferung ist ein entscheidendes Argument in der Bewerbung einer deutlichen Anschlussverdichtung im bestehenden Netzgebiet. Diese Voraussetzungen wurden in der vorliegenden Potenzialanalyse betrachtet, da sie für die Klimaneutralität in Neumünster von entscheidender Bedeutung sind.

Zielszenario für die TEV

Im Rahmen der Szenarienanalyse dieses Berichtes wird ein Modell für die TEV vorgestellt, das das generelle Problem einer klimaneutralen Abfallentsorgung behandelt und dabei eine klimaneutrale Energieproduktion ermöglicht. Diese Problemstellung muss auf nationaler wie internationaler Ebene gelöst werden und ist für die Zukunft des Industrie- und Chemiestandorts Deutschland voraussichtlich bedeutend. Das Modell wird „Carbon Capture and Utilization“, kurz CCU genannt. Es sieht die Abtrennung des Kohlendioxids aus dem Abgas der Verbrennung, dessen Umwandlung in elementaren festen Kohlenstoff, sogenannten black carbon und die stoffliche Wiederverwendung des black carbon in der Industrie bspw. für die Herstellung von Kunststoffen vor. Dadurch entsteht ein regenerativer und damit näherungsweise klimaneutraler Kohlenstoffkreislauf aus Verarbeitung des Kohlenstoffes in Werkstoffen, energetischer Verwertung des Abfalls nach deren Nutzungsende, Abtrennung und Aufbereitung des Kohlenstoffes aus den Verbrennungsgasen und Wiederverwendung zur Erzeugung von Werkstoffen. Referenzprojekte zu diesem Modell sind nicht bekannt und insofern bestehen hierzu noch viele offene Fragen, die in weiteren Untersuchungen geklärt werden müssen.

Prämissen und Anforderungen

Mit den üblichen Prämissen der relevanten Leitstudien kann im Zielszenario 2035 dieses Berichts die Klimaneutralität nicht erreicht werden und es verbleibt im Jahr 2035 eine Rest-THG-Emission in Höhe von rund 83.000 Tonnen CO₂-Äquivalente aus den Sektoren Wärme und Verkehr mit einer Restnutzung von Erdgas, Diesel und Benzin. Zur Erreichung dieses Emissionsniveaus ist die Abscheidung und dauerhafte Wiederverwendung von 90 % der CO₂-Emissionen aus der TEV berücksichtigt worden. Sollte die Kohlenstoffemission der TEV nicht abgetrennt und in die Atmosphäre emittiert werden, so würde sich die Emission im Jahr 2035 auf 173.000 Tonnen CO₂-Äquivalente mehr als verdoppeln. Diese von 2045 auf Bundesebene auf 2035 in Neumünster vorgezogene Emissionsreduzierung in der TEV in Höhe von ca. 90.000 Tonnen CO₂-Äquivalente wird Neumünster in der THG-Bilanz zwischen 2035 und 2045 gutgeschrieben.

Bei den Potenzialen der erneuerbaren Energieproduktion kann die Deckung der Bedarfe durch eigene Produktion auf dem Stadtgebiet im Zielszenario 2035 annähernd erreicht werden. Mit Blick auf die starken Abschläge bei der Ermittlung des realisierbaren Potenzials in Bezug auf das theoretische Potenzial ist die vollständige Deckung der Bedarfe realistisch erzielbar (vergl. Kapitel 4.5). Voraussetzung dafür ist, den Endenergiebedarf der CCU-Anlage zur Kohlenstoffabtrennung in der TEV unberücksichtigt zu lassen. Durch die Berücksichtigung des Endenergiebedarfs der CCU-Anlage wird der Strombedarf in etwa verdoppelt und liegt damit außerhalb jeder Chance, diesen durch erneuerbare Quellen auf dem Stadtgebiet zu produzieren. Da die Abfallentsorgung jedoch eine nationale Aufgabe ist und der Abfall größtenteils überregional geliefert wird, sind auch ein Energiebezug von außen für das CCU-Modell gerechtfertigt. Zudem können die Systembedingungen und damit auch der Energiebedarf des skizzierten CCU-Modells vorerst nur mit einer großen Unsicherheit abgeschätzt werden und müssen insofern offenbleibend bewertet und im weiteren Prozess hinterfragt und konkretisiert werden.

Eine Auswahl elementarer Prämissen für das in diesem Bericht beschriebene Zielszenario 2035 in der Stadt Neumünster ist:

- jährliche Gebäudesanierungsquote in Höhe von 2 % mit einer hohen Sanierungstiefe von 65 %,
- deutliche Elektrifizierung der Wärmeversorgung (etwa 1/3 der Gebäude),
- klimaneutrale TEV mit Strom und Wärmeproduktion (CCU-Konzept),
- Reduzierung der Verluste im Fernwärmenetz von ca. 25 auf 15 %,
- Verdichtung der Fernwärmeanschlüsse im Netzgebiet zum Ausgleich der Verbrauchsreduzierung durch energetische Gebäudesanierung (konstanter Wärmeabsatz)
- Elektrifizierung des Straßenverkehrs auf 42 %,
- Belegung von 30 % der Dachflächen mit Photovoltaik (Zubau im Schnitt ca. 20 MW/a entspricht im Mittel 2.000 PV-Anlagen pro Jahr)
- Errichtung von gut 210 MW Freiflächen-PV (Zubau von gut 15 MW/a bzw. 2-3 Anlagen pro Jahr mit einer Fläche von jeweils 5 ha im Mittel)
- Erschließung 20 MW Tiefengeothermie als Quelle und Saisonalwärmespeicher
- Aufbau von oberirdischen Spitzenlastspeichern für das Fernwärmenetz
- Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Kraftstoffen (biogen und synt.) auf 18 %

Um die Zielstellung der Stadt Neumünster einer Klimaneutralität im Jahr 2035 zu erreichen, sind noch deutlich höhere Anstrengungen zu leisten, als dies mit den vorbeschriebenen Prämissen üblicher Weise angesetzt wird. Den größten Einfluss hat die Stadt Neumünster auf den Rest-Erdgasbedarf, um diesen über folgende Maßnahmen und Rangfolge zu verdrängen:

- 1. Energieträgerwechsel in der Wärmeversorgung** (siehe Top 2 der Sofortmaßnahmen)
 - a) Verdichtung der Fernwärmeanschlussquote im Versorgungsareal des Fernwärmenetzes,
 - b) konsequente Umsetzung von einer auf Wärmepumpen basierenden Wärmeversorgung außerhalb des Fernwärmeversorgungsareals,
- 2. Erhöhung der Gebäudesanierungsquote auf 3 %.**

Insbesondere die geförderten Instrumente des Quartierskonzepts mit anschließendem Sanierungsmanagement stehen dafür zur Verfügung (siehe Top 7 der Sofortmaßnahmen).

Der Einfluss der Stadt Neumünster auf die Rest-THG-Emissionen im Verkehr ist hingegen mit größeren Hürden verbunden. Geeignete Maßnahmen werden im Masterplan Mobilität erarbeitet. Die Verdrängung der im Zielszenario verbleibenden THG-Emissionen aus der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Treibstoffe erfordert nochmals wesentlich größere Anstrengungen u. a. bei der Elektrifizierung der Verkehre. Die Bereitschaft dafür kann über eine massive

Solardachoffensive unterstützt werden. Jede Photovoltaikanlage auf einem Gebäudedach generiert das Interesse, Eigenstrom zu nutzen und damit das Auto oder eine Wärmepumpe zu versorgen. Eine Solardachoffensive ist ohnehin für die Produktion des Stroms für die zusätzlichen Wärmepumpen erforderlich. Demnach müssen jährlich ca. 2.200 statt wie vor beschriebenen 2.000 PV-Anlagen pro Jahr im Zielszenario errichtet werden (vergl. Kapitel 6.3).

Fazit

Das Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2035 ist nur mit sehr großen Anstrengungen realisierbar, die aus heutiger Sicht außergewöhnlich schnelles und konsequentes Handeln erfordern. Es verbleibenden nur noch 13 Jahre, in denen es erheblich auf eine schnelle und konkrete Maßnahmenumsetzung in den ersten Jahren 2022 und 2023 in allen Handlungsbereichen ankommt. Dafür wurden 10 Sofortmaßnahmen beschrieben, welche eine handlungsleitende Strategie bereitstellt und die Stadt Neumünster auf ihrem Weg zur Klimaneutralität unterstützt. Es bedarf top-down-Ansätzen, in deren Rahmen die Stadt Neumünster Maßnahmen im eigenen Handlungsbereich umsetzt und so ihre direkten THG-Emissionen reduziert oder über Festsetzungen, Anreize und Angebote zur Eigeninitiative schafft. Mit bottom-up-Ansätzen wird die Gesellschaft aktiv in die Gestaltung der Klimaneutralität einbezogen, denn das ambitionierte Ziel der Klimaneutralität ist eine Gemeinschaftsaufgabe. Die Lenkungsgruppe Klima sowie der avisierte Zukunftsrat sind geeignete Möglichkeiten zur Partizipation, stellen Konsens her und machen Entscheidungen transparent. Ziel ist, die gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber notwendigen Maßnahmen zu schaffen sowie zu erhalten und zum Handeln zu motivieren.

Literaturverzeichnis

- ADAC. (2021). *E-Transporter 2020: Modelle, Reichweite, Preise*. Von <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/kaufen/e-transporter/abgerufen>
- Agora. (2021). *CO2-Preis und EEG-Umlage*. Von <https://www.agora-energiewende.de/blog/co2-preis-und-eeg-umlage> abgerufen
- Biopetrol Forum. (2008). *Koppelprodukt Biodiesel*. Von http://news.bio-based.eu/media/news-images/20080523-06/biopetrolforum_2_d.pdf abgerufen
- BMW. (2014). *Die Energie der Zukunft. Erster Fortschrittsbericht zur Energiewende*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin.
- BNEF. (2020). *Hydrogen Economy Outlook - Key Messages*. Von <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf> abgerufen
- ChemieTechnik. (11. April 2019). www.chemietechnik.de. Von www.chemietechnik.de/markt/dvgw-will-das-erdgasnetz-fuer-wasserstoff-einspeisung-fit-machen.html abgerufen
- dena. (Juni 2014). *Initiative Energieeffizienz, Deutsche Energie-Agentur, Mediathek, Infografiken*. (Deutsche Energie-Agentur GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 27. Juli 2021 von <https://www.dena.de/en/newsroom/infographics/>
- DENA. (2018). *Einsatzgebiete für PowerF Fuels - Erdölraffinerie*. Von https://www.powertogas.info/fileadmin/Power_To_Gas/Dokumente/Factsheets/DE-NA-Factsheet8_Eroelraffinerie.pdf abgerufen
- dena. (2019). *Biogaseinspeisung und -nutzung in Deutschland und Europa*. Von https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/biogaspartner_-_gemeinsam_einspeisen.pdf abgerufen
- dena. (2020). *Deutsche Energie-Agentur "Branchenbarometer Biomethan 2020"*. Von https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/Brachenbarometer_Biomethan_2020.pdf abgerufen
- Europ. Par. (2018). *Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen*. Von EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32018L2001> abgerufen
- FNR. (20. April 2021). *BtL - Biomass to Liquid*. Von <https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/btl-biomass-to-liquid/> abgerufen
- Fraunhofer IKTS. (01. April 2021). *Grüner Wasserstoff: Transport im Erdgasnetz*. Von <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/april-2021/gruener-wasserstoff-transport-im-erdgasnetz.html> abgerufen
- Fraunhofer ISE. (2019). *Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland*. Von <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wasserstoff-roadmap-deutschland.html> abgerufen
- Fraunhofer ISE, Anhang. (2020). *Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem - Anhang zur Studie*. Von <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wege-zu-einem-klimaneutralen-energiesystem.html> abgerufen

- Gentner. (6. Juni 2019). *Gebäude-Energieberater*. Von <https://www.geb-info.de/heizungsoptimierung/ueberarbeitung-der-heizlastnorm> abgerufen
- ghgprotocol.org. (07. 03 2022). Von <https://ghgprotocol.org/greenhouse-gas-protocol-accounting-reporting-standard-cities> abgerufen
- H2-live. (2021). *Wasserstoff tanken in Deutschland*. Von <https://h2.live/tankstellen> abgerufen
- Handbuch Klimaschutz. (2020). *Handbuch Klimaschutz - Wie Deutschland das 1,5-Grad-Ziel einhalten kann: Basiswissen, Fakten, Maßnahmen*. München: Mehr Demokratie e.V. (Hrsg.), BürgerBegehren Klimaschutz (Hrsg.) oekom-Verlag, München.
- IES. (2017). *Hochtemperatur Wärmepumpen*. Von NTB Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs - Institut für Energiesysteme : https://www.fv-ies.ch/fileadmin/NTB_Institute/IES/FV-IES/Literaturstudie_Hochtemperatur_Waermepumpen.pdf abgerufen
- ifeu. (2019). *BISKO - Bilanzierungs-Systematik Kommunal - Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland*. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu).
- Innovation4e. (2021). *Wie schaffen wir mehr Wärmepumpen im Bestand?* Von <https://blog.innovation4e.de/2021/05/20/wie-schaffen-wir-mehr-waermepumpen-im-bestand> abgerufen
- Innovation4e Folge 2. (20. 4 2021). *Können Wärmepumpen überhaupt ausreichend hohe Heizkreistemperaturen liefern?* Von <https://blog.innovation4e.de/2021/02/17/waermepumpen-im-bestand-folge-2-koennen-sie-ueberhaupt-ausreichend-hohe-heizkreistemperaturen-liefern/> abgerufen
- IREES. (2015). *Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013*. Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, Karlsruhe, München, Nürnberg.
- iTG. (2017). *Kurzstudie Energieeinsparung digitale Heizung*. Von https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/energieeinsparungen_digitale_heizung_2017_01_12.pdf abgerufen
- IWU. (2015). „TABULA“ – *Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern*. (IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Herausgeber) Abgerufen am 27. Juli 2021 von <http://www.iwu.de/forschung/energie/abgeschlossen/tabula/>
- IWU. (2015). *Deutsche Wohngebäudetypologie Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden* . Von https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/episcopes/2015_IWU_LogoEtAl_Deutsche-Wohngeb%C3%A4udetypologie.pdf abgerufen
- KBA. (2021). *Jahresbilanz - Bestand*. Von https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz/bestand_jahresbilanz_node.html#:~:text=Um%201%2C1%20Millionen%20Fahrzeuge,%2C9%20Millionen%20Kfz%20Anh%C3%A4nger abgerufen

- LANUV. (2013). *Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 1 - Windenergie, LANUV-Fachbericht 40*. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV).
- LANUV. (2014). *Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 3 - Biomasse-Energie, LANUV-Fachbericht 40*. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV).
- LANUV. (2015). *Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 4 - Geothermie, LANUV-Fachbericht 40*. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV).
- LANUV. (2019). *Potenzialstudie Industrielle Abwärme, LANUV-Fachbericht 96*. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV).
- LANUV. (2021). *Energieatlas NRW*. Von <https://www.energieatlas.nrw.de/site/service/download> abgerufen
- LANUV. (2021). *Energieatlas NRW, Bestandskarte*. (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) Abgerufen am 23. September 2021 von <https://www.energieatlas.nrw.de/site/bestandskarte>
- LANUV. (2021). *Solarkataster*. Abgerufen am 27. September 2021 von https://www.energieatlas.nrw.de/site/karte_solarkataster
- Leopoldina. (2019). *Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik*. Von <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/stellungnahme-bioenergie/> abgerufen
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2018). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, Recent Monthly Average Mauna Loa CO2*. Abgerufen am 24. August 2021 von <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html>
- Öko-Institut / Fraunhofer ISI. (2015). *Klimaschutzszenario 2050, 2. Endbericht, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*. Öko-Institut e.V. und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Berlin und Karlsruhe.
- Öko-Institut. (2015). *Klimaschutzbericht 2050*. Von <https://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf> abgerufen
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut. (2021). *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann*.
- SBZ. (2017). *Wärmepumpe funktioniert auch im Bestand*. Von <https://www.sbz-online.de/regenerative-energien/waermepumpe-funktioniert-auch-im-bestand> abgerufen
- Solarinstitut Jülich der FH Aachen. (2016). *Handbuch methodischer Grundfragen zur Masterplan-Erstellung*. Von https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/handbuch_methodischer_grundfragen_bf_cps_final.pdf abgerufen
- Sonnberger, M. (2014). *Weniger provoziert Mehr. Energieeffizienz bei Gebäuden und der Rebound-Effekt*. Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau, Stuttgart.

- Statistisches Bundesamt. (2011). *Ergebnisse des Zensus 2011*. Abgerufen am 10. September 2021 von <https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank/online>
- Statistisches Landesamt. (2020). *Kommunalprofil Havixbeck*. Düsseldorf: Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT.NRW).
- Tagesschau. (2021). *Neulinge gegen Platzhirsche: Umkämpfter Markt für E-Trucks*. Von <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/etruck-lastverkehr-emobilitaet-101.html> abgerufen
- UBA. (2019). *Aktuelle Entwicklung und Perspektiven der Biogasproduktion aus Bioabfall und Gülle*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktuelle-entwicklung-perspektiven-der> abgerufen

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
BISKO	Bilanzierungs-Standard Kommunal
CCU	Carbon, Capture and Utilization
CH ₄	Summenformel für Methan
CO ₂	Summenformel für Kohlendioxid
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
gCO ₂ e/kWh	Einheit für Gramm Kohlendioxid-Äquivalente pro Kilowattstunde
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
ifeu	Institut für Entsorgung und Umwelttechnik
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kWh	Einheit für Kilowattstunde
kWh/a	Einheit für Kilowattstunden pro Jahr
kWh/m ²	Einheit für Kilowattstunden pro Quadratmeter
LCA	Life-Cycle-Analysis
LKW	Lastkraftwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MWh	Einheit für Megawattstunde
MWh/a	Einheit für Megawattstunden pro Jahr
N ₂ O	Summenformel für Lachgas
ÖPFV	Öffentlicher Personenfernverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ppm	Einheit für Parts per million
SF ₆	Summenformel für Schwefelhexafluorid
t	Einheit für Tonne
tCO ₂ e	Einheit für Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente
THG	Treibhausgas