

# **KOMMUNALER WÄRMEPLAN DER GEMEINDE SCHWALMTAL**

Berichtsentwurf – Stand: 12.03.2025

## Impressum

### Auftraggeber

NEW AG  
Odenkirchener Straße 201  
41236 Mönchengladbach



### Auftragnehmer

Fraunhofer FIT  
Schloss Birlinghoven  
53757 Sankt Augustin



In Zusammenarbeit mit:  
IAEW der RWTH Aachen  
(Teil des Fraunhofer-Zent-  
rum Digitale Energie)



### Projektleitung und Bearbeitung

Julius Zocher, M.Sc.  
Daniel Quillao, Dipl. Kfm.

### Autoren

Julius Zocher, M.Sc.  
Daniel Quillao, Dipl. Kfm.

Aachen, März 2025

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Kommunale Wärmeplanung</b> .....	<b>13</b>
3.1	Ziel der Kommunalen Wärmeplanung .....	13
3.2	Inhalte der Kommunalen Wärmeplanung.....	14
<b>4</b>	<b>Eignungsprüfung</b> .....	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Bestandsanalyse</b> .....	<b>18</b>
5.1	Methodisches Vorgehen der Bestandsanalyse .....	18
5.1.1	Datengrundlage.....	18
5.1.2	Aufbereitung des Gebäudebestands.....	19
5.1.3	Zuordnung von Heiztechnologien .....	21
5.1.4	Ermittlung von Wärmebedarfen aus Verbrauchswerten.....	21
5.1.5	Ableitung des Sanierungsstands .....	22
5.1.6	Simulation unbekannter Wärmebedarfe .....	24
5.2	Ergebnisse der Bestandsanalyse .....	25
5.2.1	Gemeindestruktur .....	25
5.2.2	Gebäudestruktur und Baualtersklassen .....	26
5.2.3	Wärmebedarf .....	30
5.2.4	Wärmedichte.....	34
5.2.5	Versorgungsstruktur.....	37
5.2.6	Energie- und Treibhausgasbilanz .....	40
<b>6</b>	<b>Potenzialanalyse</b> .....	<b>43</b>
6.1	Methodisches Vorgehen der Potenzialanalyse .....	43
6.1.1	Datengrundlage.....	44
6.1.2	Vorgehen Einsparpotenzial .....	45
6.1.3	Vorgehen dezentrale Potenziale .....	48
6.1.4	Vorgehen zentrale Potenziale .....	48
6.2	Ergebnisse der Potenzialanalyse .....	50
6.2.1	Einsparpotenziale .....	50
6.2.2	Dezentrale Potenziale .....	53
6.2.3	Zentrale Potenziale.....	57
6.2.4	Zusammenfassung der Potenzialanalyse .....	69
<b>7</b>	<b>Zielszenario</b> .....	<b>71</b>
7.1	Methodisches Vorgehen für das Zielszenario .....	71
7.1.1	Datengrundlage und Szenariorahmen .....	71
7.1.2	Vorgehen zur Ermittlung potenzieller Wärmenetzgebiete.....	74
7.1.3	Vorgehen zur Ermittlung zukünftiger Wärmeversorgungsarten .....	76
7.2	Ergebnisse des Zielszenarios .....	77
7.2.1	Zukünftiger Wärmebedarf.....	77
7.2.2	Potenzielle Wärmenetzgebiete .....	78

7.2.3	Energie- und Treibhausgasbilanz .....	81
7.2.4	Wahrscheinlichkeit von Wärmeversorgungsarten.....	83
7.2.5	Voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete .....	86
7.2.6	Investitionsrahmen und Wärmegestehungskosten .....	88
<b>8</b>	<b>Fokusgebiete.....</b>	<b>91</b>
8.1	Musikerviertel .....	91
8.1.1	Status-Quo.....	92
8.1.2	Potenziale zur Energieeinsparung und Erzeugung erneuerbarer Wärme .....	93
8.1.3	Zukünftige Wärmeversorgungsoptionen .....	97
8.2	Sternenviertel.....	98
8.2.1	Status-Quo.....	98
8.2.2	Potenziale zur Energieeinsparung und Erzeugung erneuerbarer Wärme .....	100
8.2.3	Zukünftige Wärmeversorgungsoptionen .....	103
<b>9</b>	<b>Umsetzungsstrategie.....</b>	<b>104</b>
<b>10</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>107</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>110</b>

# Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Erklärung</b>
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BHKW	Blockheizkraftwerk
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
COP	Coefficient of Performance
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EU	Europäische Union
FFA	Freiflächenanlagen
FFH	Flora-Fauna-Habitat
FIT	Fraunhofer Institut für angewandte Informationstechnik
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GIS	Geoinformationssystem
GMFH	Großes Mehrfamilienhaus
IAEW	Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft der RWTH Aachen
IWU	Institut Wohnen und Umwelt
KEA-BW	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg
KFW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWW	Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende
LoD	Level of Detail
LWPG NRW	Landeswärmeplanungsgesetz Nordrhein-Westfalen
MFH	Mehrfamilienhaus
NEW	Niederrhein, Energie und Wasser (Regionales Dienstleistungsunternehmen)
NRW	Nordrhein-Westfalen
PV	Photovoltaik
RED III	Erneuerbare-Energien-Richtlinie III
RH	Reihenhaus
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
WP	Wärmepumpe
WPG	Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze

# 1 Einleitung

Die deutsche Bundesregierung hat sich im Rahmen des Bundes-Klimaschutzgesetzes verpflichtet, bis zum Jahr 2045 Klimaneutralität in Deutschland zu erreichen. Neben den Sektoren Strom und Verkehr nimmt in diesem Kontext der Sektor Wärme eine zentrale Position ein, da gegenwärtig etwa die Hälfte des Endenergieverbrauchs auf den Wärmesektor entfallen und dieser Sektor, der die Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme umfasst, demnach einen erheblichen Anteil der verursachten Treibhausgasemissionen in der Bundesrepublik ausmacht [1]. Bis zum Jahr 2030 soll der Anteil erneuerbarer Energien im Wärmesektor auf 50 % ansteigen. Im Jahr 2023 betrug dieser allerdings noch weniger als 20 % [2]. Die Transformation zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung erfordert demnach gezielte Maßnahmen, um fossile Energieträger durch erneuerbare Alternativen zu ersetzen und gleichzeitig die Energieeffizienz zu steigern.

Im Zuge des im Dezember 2023 verabschiedeten „Gesetzes für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze“ (WPG) wurden alle Städte und Gemeinden in Deutschland verpflichtet, ein Konzept zur nachhaltigen Wärmeversorgung im Rahmen einer kommunalen Wärmeplanung zu entwickeln. Entsprechend der gesetzlichen Vorgaben ist dieser kommunale Wärmeplan für Gemeindegebiete mit mehr als 100.000 Einwohnern spätestens bis zum 30. Juni 2026 und für kleinere Gemeindegebiete spätestens bis zum 30. Juni 2028 zu erstellen [3]. Das Bundesland Nordrhein-Westfalen (NRW) hat das Bundesgesetz zur kommunalen Wärmeplanung durch die Verabschiedung des „Gesetzes zur Einführung einer Kommunalen Wärmeplanung in NRW“ (auch Landeswärmeplanungsgesetz NRW oder LWPG NRW) im Dezember 2024 auf Landesebene umgesetzt. Das LWPG NRW übernimmt dabei die wesentlichen Inhalte des Bundesgesetzes und konkretisiert einige Aspekte für die landesrechtliche Umsetzung. So wird gemäß LWPG NRW u. a. die Zuständigkeit für die Erstellung von Wärmeplänen den 396 Städten und Gemeinden in NRW zugewiesen und diese sind somit in ihrer Rolle als planungsverantwortliche Stelle für die kommunale Wärmeplanung verantwortlich [4].

Ziel der kommunalen Wärmeplanung ist es, (a) einen wesentlichen Beitrag zur Umstellung der Erzeugung von sowie der Versorgung mit Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme auf lokale erneuerbare Energien, unvermeidbare Abwärme oder einer Kombination hieraus zu leisten, (b) zu einer kosteneffizienten, bezahlbaren, resilienten sowie treibhausgasneutralen Wärmeversorgung bis spätestens zum Jahr 2045 beizutragen und (c) Einsparungen beim Endenergiebedarf zu erbringen [5]. Mit der kommunalen Wärmeplanung sollen Planungsgrundlagen geschaffen werden, die u. a. als Diskussionsgrundlage für einen optimalen Transformationspfad des lokalen Wärmemarktes dienen und die Verabschiedung kommunaler Wärmestrategien ermöglichen, um den Klimaschutz auf lokaler Ebene umzusetzen [6].

Die Digitalisierung sowie die Einbindung verschiedener Akteure sind bei der Durchführung der kommunalen Wärmeplanung von entscheidender Bedeutung. Eine digitale Wärmeplanung bietet Kommunen die Möglichkeit, ein virtuelles Abbild der lokalen Wärmeversorgung zu erstellen, das Daten und Informationen über die Gebäude und die Wärmeversorgungsinfrastruktur enthält. Mit diesem auch sogenannten digitalen Zwilling der Wärmeversorgung werden Kommunen bei der effizienten und zielgerichteten Wärmewende vor Ort unterstützt, indem es u. a. gebäudespezifische Analysen und räumliche Darstellungen von Wärmeverbräuchen ermöglicht, Potenziale zu Energieeinsparungen auf Gebäudeebene und Erschließbarkeiten von erneuerbaren Energien für die Wärmeversorgung konkretisiert, Szenarien zur Transformation des lokalen Wärmemarktes bis 2045 berechnet oder Ansätze zur

Umsetzung von Sektorenkopplung z. B. in Form der Nutzung von Wind- und Solarenergie für strombasierte Wärmelösungen aufzeigt [7] [8]. Der gesetzlich vorgeschriebene integrative Ansatz der Wärmeplanung soll zudem sicherstellen, dass relevante Akteure wie z. B. Netzbetreiber von Gas-, Wärme- und Stromnetzen, Wohnungsbaugesellschaften, Interessensgruppen und Vertreter der Wirtschaft oder Bürgerinnen und Bürger entlang des Prozesses der kommunalen Wärmeplanung eingebunden werden (siehe auch § 7 WPG [3]). Die Berücksichtigung des Wissens sowie der Interessen dieser Akteure kann sich als ein Erfolgsfaktor bei der kommunalen Wärmeplanung erweisen, was sich u. a. in der Nutzung von deren Fachwissen und Kenntnissen zu lokalen Gegebenheiten für eine ortsgerechte Wärmeplanung zeigt oder in dem Austausch und der zielgerichteten Abstimmung zu geplanten Maßnahmen und Vorhaben vor Ort ausdrückt [9]. Sowohl mit der digitalen Daten- und Informationsbasis als auch über die Beteiligung von Öffentlichkeit und relevanten Akteursgruppen kann die kommunale Wärmeplanung somit Transparenz wie auch Akzeptanz für die Herausforderungen und Chancen der Wärmewende schaffen und deren Umsetzbarkeit fördern [9] [10].

Darüber hinaus leistet sie einen Beitrag zur Stärkung der Versorgungssicherheit und Versorgungsunabhängigkeit, indem verstärkt lokale erneuerbare Energien genutzt werden und sich folglich Bedarfe an Importen von fossilen Energieträgern reduzieren [11]. Zudem vermag die kommunale Wärmeplanung zu einer gewissen Planungssicherheit für Gebäudeeigentümer und Unternehmen führen, wenn sie Orientierung bzgl. möglicher Optionen für die zukünftige Wärmeversorgung gibt und damit Erleichterung bei Investitionsentscheidungen bietet [11]. Zugleich wird die auf die gesamte Kommune ausgelegte Wärmeplanung aber keine individuelle Beratung oder Einzelfallprüfungen auf Gebäudeebene ersetzen können [5]. Hingegen ermöglicht sie aus dieser gesamtplanerischen Sicht u. a. Fokusgebiete zu identifizieren, die als Ausgangspunkte für weitervertiefende Planungen dienen, oder gezielt Fördergelder in Bereiche zu lenken, die aus energetischer und sozialer Sicht prioritär saniert werden sollten [12].

Vor dem Hintergrund dieser vielfältigen Eigenschaften wird die kommunale Wärmeplanung gemäß WPG auch als eine strategische Fachplanung verstanden, die in ihrem Ergebnis die mittel- und langfristige Gestaltung der Wärmeversorgung für das beplante Gebiet beschreibt. Selbst führt sie jedoch zu keinen direkten rechtlichen Verpflichtungen und begründet dementsprechend auch keine einklagbaren Rechte oder Pflichten [3]. Kommunen können aber gemäß § 26 WPG auf der Grundlage der Ergebnisse der Wärmeplanung eine Entscheidung über die Ausweisung von Gebieten zum Neu- oder Ausbau von Wärmenetzen oder als Wasserstoffausbaugebiet treffen [3]. Diese Entscheidung bewirkt dann zwar keine Pflicht, in diesen Gebieten eine bestimmte Wärmeversorgungsart tatsächlich zu nutzen oder eine bestimmte Wärmeinfrastruktur zu errichten, auszubauen oder zu betreiben, ist von den Kommunen allerdings in Abwägungs- und Ermessensentscheidungen über einen Bauleitplan oder andere flächenbedeutsame Planungen oder Maßnahmen zu berücksichtigen [13].

Die Entscheidung zur Gebietsausweisung nach § 26 WPG wird zudem auch rechtlich relevant für den Anwendungsbereich des Gebäudeenergiegesetzes (GEG), das neben dem WPG einen weiteren Baustein für eine klimaneutrale Wärmeversorgung in der Zukunft bildet [14]. Im Unterschied zum WPG, welches sich speziell an Kommunen richtet, richtet sich das GEG speziell an Gebäudeeigentümer und enthält vor allem Vorgaben zum baulichen Wärmeschutz und zur Heiztechnik. So müssen u. a. seit dem 1. Januar 2024 in Neubauten innerhalb von Neubaugebieten Heizungen eingebaut werden, die mindestens 65 % der erzeugten Wärme aus erneuerbaren Energien erzeugen [15]. Für Bestandsgebäude und Neubauten außerhalb von Neubaugebieten ist diese Vorgabe in Gemeindegebieten mit mehr als 100.000 Einwohnern spätestens ab dem 30. Juni 2026 und für kleinere Gemeindegebiete spätestens ab dem 30. Juni 2028 verpflichtend umzusetzen [15]. In den nach § 26 WPG ausgewiesenen Gebieten gelten die Vorgaben zum Einbau von auch sogenannten 65 %-Erneuerbaren-Energie-Heizungen bereits

einen Monat nach der Bekanntgabe der Gebietsausweisung und damit u. U. früher als die o. g. Fristen des GEG [3]. Die Entscheidung zur Gebietsausweisung muss durch die Kommune grundstücksbezogen erfolgen und ist zudem gesondert von der Verabschiedung einer kommunalen Wärmeplanung vorzunehmen [5].

Die Gemeinde Schwalmtal hat in ihrer Rolle als planungsverantwortliche Stelle die NEW AG im Rahmen eines Ausschreibungsverfahrens mit der Durchführung der kommunalen Wärmeplanung für die Gemeinde Schwalmtal beauftragt. In diesem Zusammenhang hat die NEW AG mit dem Fraunhofer FIT und dem IAEW der RWTH Aachen zusammengearbeitet, einen digitalen Zwilling der Wärmeversorgung in der Gemeinde Schwalmtal erstellt und auf Basis dieser digitalen Daten- und Informationsbasis die gesetzlich vorgegebenen Schritte einer kommunalen Wärmeplanung durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Prozesses werden im Rahmen des vorliegenden Abschlussberichtes dargestellt.

Die Gemeinde Schwalmtal wird damit frühzeitig vor der gesetzlichen Frist gemäß WPG (bis 30. Juni 2028 für die Gemeinde Schwalmtal) eine kommunale Wärmeplanung erstellt haben und kann sich demnach sowohl als eine Vorreiterin beim Klimaschutz positionieren als auch einen zeitlichen Vorsprung bei der Umsetzung der Wärmewende aufbauen. Bürgerinnen und Bürger sowie Unternehmen in der Gemeinde Schwalmtal können ihrerseits frühzeitig Planungssicherheit für mögliche klimafreundliche Wärmeversorgungslösungen und den damit verbundenen Investitionsentscheidungen gewinnen. Da die Gemeinde Schwalmtal keine Gebietsausweisung nach § 26 WPG vorgesehen hat, bleiben die gemäß GEG festgelegten Fristen zur Umstellung auf erneuerbare Energien bei den Gebäudeheizungen vor allem in Bestandsgebäuden (ab 30. Juni 2028 für die Gemeinde Schwalmtal) unverändert bestehen, sodass die frühzeitige Erstellung und Verabschiedung der kommunalen Wärmeplanung selbst keine direkten Pflichten für die Gebäudeeigentümer in der Gemeinde Schwalmtal auslösen wird [16].

## 2 Kurzfassung

Die zentralen Ergebnisse der kommunalen Wärmeplanung für die Gemeinde Schwalmtal sind im Folgenden - orientiert an den wesentlichen Elementen bzw. Schritten der Planung (Bestandsanalyse, Potenzialanalyse, Zielszenario und Umsetzungsstrategie) - zusammengefasst.

### Bestandsanalyse

Das Ziel der Bestandsanalyse besteht darin, die bestehende Gebäudestruktur, den Wärmebedarf sowie die vorhandene Wärminfrastruktur in der Gemeinde Schwalmtal zu erfassen. Dies umfasst u. a. die Art der Wärmeerzeugung und die energetische Qualität der Gebäude. Grundlage für die Bestandsanalyse ist eine digitale Daten- und Informationsbasis, die eine gebäudescharfe Analyse des Status-Quo der Wärmeversorgung ermöglicht. Die Ergebnisse werden georeferenziert dargestellt, um eine räumliche Übersicht zur Wärmeversorgungssituation in der Gemeinde Schwalmtal zu erhalten [5]. Da aus Datenschutzgründen in der kommunalen Wärmeplanung keine Informationen veröffentlicht werden dürfen, die Rückschlüsse auf einzelne Personen zulassen, werden die Ergebnisse auf Ebene von Baublocken veranschaulicht. Ein Baublock bezeichnet gemäß WPG ein oder mehrere Gebäude bzw. Liegenschaften, die von Straßen, Schienen oder anderen natürlichen oder baulichen Grenzen umschlossen sind und für die Zwecke der Wärmeplanung als zusammengehörig betrachtet werden. In der vorliegenden Wärmeplanung ist in der Baublockdarstellung sichergestellt, dass immer mindestens 5 Adressen aggregiert abgebildet werden.

Die rund 19.000 Einwohner in der Gemeinde Schwalmtal teilen sich auf die beiden Ortsteile Waldniel und Amern auf [17]. Auf der Gemeindefläche von insgesamt etwa 48 km<sup>2</sup> gibt es rund 6.500 beheizte Gebäude, wovon rund 5.900 bzw. 91 % Wohngebäude sind. Der Großteil dieser Wohngebäude sind Einfamilien- bzw. Reihenhäuser mit jeweils einer Wohneinheit. Im bundesweiten Vergleich fällt auf, dass ein überdurchschnittlicher Anteil der Gebäude zum einen vor 1950 sowie zum anderen nach 1980 errichtet wurden. Dies verdeutlicht auf der einen Seite die Herausforderungen bei der energischen Sanierung älterer Gebäude sowie auf der anderen Seite, dass bereits einige Gebäude nach der Einführung der Energieeinsparverordnung gebaut wurden und demnach bereits über einige energetische Standards verfügen.

Der gesamte Wärmebedarf in Schwalmtal beträgt im Status-Quo 177 GWh/a (Bezugsjahr: 2024). Davon werden 57 % durch Gasheizungen und 23 % durch Ölheizungen gedeckt. Der Anteil von Wärmepumpen beträgt aktuell erst 5 %. Fernwärme spielt in der Wärmeversorgung von Schwalmtal eine untergeordnete Rolle. Über ein Wärmenetz mit einer Leitungslänge von rund 3 km werden etwa 20 Gebäude im Bereich des Schulzentrums in Waldniel versorgt. Das Gasnetz in der Gemeinde Schwalmtal ist hingegen weitestgehend flächendeckend ausgebaut und umfasst eine Trassenlänge von rund 133 km (ohne Hausanschlussleitungen). Der Anteil erneuerbarer Wärme am Endenergiebedarf beträgt rund 8 % und zeigt damit hohes Ausbaupotenzial auf. Rund 96 % Wärmenutzung entfallen auf die Raum- und Warmwasserwärme. Lediglich 4 % der Wärme wird in Form von Prozesswärme für industrielle Produktionsprozesse benötigt. Private Haushalte sind folglich die wesentlichen Treiber von Wärmebedarf und Emissionen in einem gegenwärtig vor allem auf fossilen Energieträgern basierenden Wärmesektor in der Gemeinde Schwalmtal. Allerdings spielt auch Gewerbe-, Handel-, und Dienstleistungssektor (GHD-Sektor) eine zentrale Rolle bei der Erreichung der Dekarbonisierungsziele in Schwalmtal. Denn trotz der vergleichsweise geringen Anzahl an Gebäuden (Anteil von 9 %) nimmt der GHD-Sektor mit rund 42 % doch einen erheblichen Anteil an der gesamten beheizten Nutzfläche von etwa 2,1 Millionen m<sup>2</sup> ein und bedingt etwa 31 % des gesamten Wärmebedarfs.

Die Analyse der Wärmedichte gemessen sowohl anhand der Wärmebedarfsdichte als auch anhand der Wärmelinien-dichte verdeutlicht die Herausforderungen für die Verdichtung des bestehenden Wärmenetzes sowie den Aufbau von neuen Wärmenetzen. So sind nur punktuell sehr hohe Wärmedichten in der Gemeinde Schwalmtal festzustellen, was darauf hindeutet, dass ein ansatzweise flächendeckendes Wärmenetz kaum wirtschaftlich realisierbar sein dürfte. Dies wird vor allem aufgrund der strukturellen Gegebenheiten angenommen, die u. a. durch die ländlich geprägte Gebäudestruktur, durch den hohen Anteil an Einfamilien- und Reihenhäusern sowie durch die geringe Anzahl an großen Mehrfamilienhäusern und Großverbrauchern, die als sogenannte Ankerkunden für ein Wärmenetz dienen könnten, geprägt sind.

Insgesamt verursacht die Wärmeversorgung gegenwärtig jährliche Emissionen in Höhe von insgesamt 47.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten bzw. rund 2,5 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Einwohner in der Gemeinde Schwalmtal. In Deutschland lag im Jahr 2024 der sogenannte durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bei etwa 10 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Person und umfasst neben dem Lebensbereich „Wohnen“ auch weitere Lebensbereiche wie „Mobilität“, „Ernährung“ oder „Sonstiger Konsum“ von z. B. Kleidung und Elektronik [18]. Nach aktuellem Stand der Forschung ist davon auszugehen, dass der gesamte Pro-Kopf-Ausstoß global unter 1 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Person liegen müsste, um die Einhaltung des Pariser Klimaschutzabkommens sicherstellen zu können [18]. Die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ist somit auch in der Gemeinde Schwalmtal ein Schlüsselement für die Erreichung einer klimafreundlichen Zukunft.

### **Potenzialanalyse**

Das Ziel der Potenzialanalyse ist es, neben den Einsparungspotenzialen beim Wärmeverbrauch auch die technischen Potenziale zur Wärmeerzeugung durch erneuerbare Energien in der Gemeinde Schwalmtal räumlich differenziert zu erfassen und kartografisch aufzuzeigen [5]. Die Darstellung dieser Potenziale soll Wärmeverbrauchern und -versorgern möglichst konkrete Anhaltspunkte geben, welche Energiequellen sie in vertiefende Analysen und Planungen für die Umsetzung der Wärmetransformation genauer untersuchen sollten [3].

Die Analyse der gebäudespezifischen Einsparpotenziale hat ergeben, dass eine Reduktion des jährlichen Wärmebedarfs von derzeit 177 GWh um etwa 25 % auf 133 GWh ein ambitioniertes, aber realistisches Szenario darstellt. Dies kann primär durch eine Erhöhung der aktuellen durchschnittlichen Sanierungsrate von etwa 1 % auf 1,5 % erreicht werden. Deutschlandweit liegt diese gegenwärtig auf einem Niveau von knapp unter 1 % [19].

Für die zukünftige dezentrale Wärmeerzeugung bieten sich insbesondere Wärmepumpen an, da diese grundsätzlich für jedes Gebäude in der Gemeinde Schwalmtal geeignet sind. Sowohl mit Hilfe klassischer Luft-Wasser-Wärmepumpen als auch mit Hilfe alternativer Technologien wie Sole-Wasser-Wärmepumpen (oberflächennahe Geothermie) lässt sich Wärme mit hohem Wirkungsgrad und zugleich geringen Treibhausgasemissionen erzeugen [20]. Dachflächen-Solarthermie-Anlagen könnten insbesondere für die Warmwasseraufbereitung genutzt werden und rund 60-80 % des Warmwasserbedarfs in Einfamilienhäusern decken [21]. Diese stehen dabei allerdings in Flächenkonkurrenz zu Dachflächen-Photovoltaik-Anlagen (Dachflächen-PV-Anlagen), die das Potenzial zur lokalen und gebäudebezogenen Erzeugung des Stroms für Wärmepumpen bieten. Ein wichtiger Faktor für die strombasierte Wärmeversorgung über Wärmepumpen sowie für das Erreichen der Klimaziele in der Gemeinde Schwalmtal ist zudem die Windenergie. Unter den aktuellen Rahmenbedingungen in der Gemeinde Schwalmtal wird das Gesamtpotenzial an lokal produzierter Windenergie auf rund 140 GWh/a quantifiziert.

Ferner zeigt die Potenzialanalyse auf, dass im Zusammenhang mit einer zentralen Wärmeerzeugung vor allem Technologien wie oberflächennahe und tiefe Geothermie, Biomassenutzung und Freiflächen-Solarthermie relevant sein könnten, diese allerdings dann noch weitergehend auf Wirtschaftlichkeit und Realisierbarkeit bewertet werden müssten. Die oberflächennahe Geothermie könnte vor allem durch Erdsonden und Großwärmepumpen für die zentrale Wärmeversorgung erschlossen werden. Die tiefe Geothermie hätte das Potenzial, den Wärmebedarf grundlastfähig durch hydrothermale Reservoir zu decken, ist hinsichtlich der tatsächlichen Verfügbarkeit jedoch mit sehr hohen Unsicherheiten verbunden [22]. Biomasse ist aufgrund der Speicherbarkeit und Flexibilität vor allem zur Abdeckung von Spitzenlasten in der Wärmeversorgung geeignet, steht aber in Nutzungs- bzw. Flächenkonkurrenz z. B. zur Holzindustrie und Landwirtschaft. Diese Flächenkonkurrenz besteht auch bei der Solarthermie, die in Kombination mit Großwärmespeichern grundsätzlich eine saisonal durchgängige Wärmenutzung ermöglichen könnte, jedoch dann auch große Flächenbedarfe, effiziente Speichertechnologien und komplexe Systemintegrationen erfordert. Die zentrale Wärmegewinnung durch Oberflächengewässer, industrielle Abwärme und Abwasser weisen in der Gemeinde Schwalmtal hingegen nur geringe Potenziale auf.

Wie die anschließende Herleitung eines möglichen Zielbildes zur klimaneutralen Wärmeversorgung in der Gemeinde Schwalmtal bis zum Jahr 2045 allerdings aufzeigen wird, dürften die zentralen Potenziale im Vergleich zu den dezentralen Potenzialen zukünftig nur eine untergeordnete Rolle spielen, da sich lediglich ein geringes Potenzial zur Erhöhung des heutigen Anteils von Wärmenetzen zur Wärmeversorgung abzeichnet und hingegen dezentrale Wärmeversorgungslösungen eine wesentliche Rolle für die Wärmewende vor Ort spielen werden.

Wasserstoff wird im Rahmen der vorliegenden kommunalen Wärmeplanung in der zukünftigen Wärmeversorgung in der Gemeinde Schwalmtal nicht eingeplant, da in der Gemeinde keine Industrieunternehmen vorliegen, die einer stofflichen Nutzung von Wasserstoff bedürfen und den Betrieb eines Wasserstoffnetzes begründen könnten. Von Plänen zur Versorgung von Haushaltskunden durch Wasserstoff wird im Allgemeinen aufgrund hoher Unsicherheiten bzgl. Preis und Verfügbarkeit von Wasserstoff abgesehen [23].

### **Zielszenario**

Das Zielszenario konsolidiert die Erkenntnisse aus der Bestands- und Potenzialanalyse zu einem konsistenten Zielbild für die Gemeinde Schwalmtal und beschreibt sodann ein mögliches Szenario für die Transformation zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung bis zum Jahr 2045. Es teilt das geplante Gebiet in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete ein, die aufzeigen, welche Wärmeversorgungsart im jeweiligen Teilgebiet am wahrscheinlichsten ist. Das Zielszenario soll den Gebäudeeigentümern und Unternehmen Orientierung für Investitionsentscheidungen in die zukünftige Wärmeversorgungslösung geben und Leitplanken für die zukünftige Wärmeversorgung in der Gemeinde Schwalmtal definieren [5].

Vor dem Hintergrund der Annahme, dass dem Gasnetz in der Gemeinde Schwalmtal für die Wärmeversorgung mit molekularen Energieträgern im Jahr 2045 keine wesentliche Bedeutung mehr zugewiesen wird, stellen dezentrale Heizungssysteme wie Wärmepumpen und Biomasseheizungen zukünftig die wahrscheinlichsten Heizungslösungen für fast alle Gebiete in der Gemeinde Schwalmtal dar. Aufgrund der hohen Effizienz von Wärmepumpen (Wirkungsgrade von etwa 300 bis 400 %, d. h. aus 1 kWh elektrischer Energie kann 3-4 kWh Wärmeenergie erzeugt werden) sowie der vielseitigen Einsatzmöglichkeiten insbesondere von Luft-Wasser-Wärmepumpen und Sole-Wasser-Wärmepumpen in der Ge-

meinde Schwalmtal (vgl. Potenzialanalyse), sind diese in der Kategorie der dezentralen Heizungssysteme i. d. R. die geeignete Wahl. So zeichnen sich Wärmepumpen im Zielszenario für das Jahr 2045 für bis zu 97 % der Gebäude in Schwalmtal als die wahrscheinlichste Heiztechnologie ab. Eine Ausnahme bildet das Gebiet mit dem Bestandswärmenetz in Waldniel, wo ein Anschluss der umliegenden Gebäude an das bestehende Netz möglich ist. Dieser Bereich wird im Rahmen der vorliegenden kommunalen Wärmeplanung als „potenzielles Wärmenetzverdichtungsgebiet“ eingeplant, da hier eine Anbindung an das Wärmenetz eine besonders effiziente Versorgung ermöglichen könnte. Wasserstoff wird als Heiztechnologie für die Gemeinde nicht in Betracht gezogen, da kein wirtschaftlicher Anwendungsfall gesehen wird (siehe hierzu auch die Erkenntnisse aus der Potenzialanalyse).

Der Endenergiebedarf reduziert sich bis 2045 um 27 % bzw. 75 % (ohne Berücksichtigung der Umweltwärme). Gleichzeitig wird die Stromnachfrage aufgrund des vermehrten Einsatzes von Wärmepumpensystemen auf das 3,6-Fache des aktuellen Wertes steigen. Andere potenzielle Einflussfaktoren auf die Stromnachfrage wie die zunehmende Verbreitung von Elektroautos, Klimaanlage oder verringerter Bezug von Strom aus dem öffentlichen Stromnetz aufgrund von Eigenproduktion und Eigenverbrauch des Stroms über PV-Anlagen wurden in der vorliegenden Betrachtung im Kontext der kommunalen Wärmeplanung nicht berücksichtigt. Die steigende sektorenübergreifende Elektrifizierung mit dem damit verbundenen anwachsenden Strombedarf, die zunehmende dezentrale Stromerzeugung sowie die Herausforderungen der Integration von erneuerbaren Energien in das Energiesystem machen deutlich, dass es über die kommunale Wärmeplanung hinaus einer integrierten Energieleitplanung bedarf, die vor allem auch die Erfordernisse zur Anpassung der Stromnetzinfrastruktur analysiert und konkretisiert [24]. Durch die Verknüpfung verschiedener Energiesektoren kann eine integrierte Energieleitplanung eine ganzheitliche Entscheidungsgrundlage für die Transformation des Energiesystems in einer Kommune schaffen [25].

Die durch die Wärmeversorgung verursachten Treibhausgasemissionen reduzieren sich im Zielszenario demnach von derzeit 47.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten um rund 98 % auf etwa 1.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Diese Restemissionen resultieren hauptsächlich aus der Verbrennung von Biomasse und den verbleibenden Emissionen des genutzten Stroms.

### **Umsetzungsstrategie**

Im Rahmen der Umsetzungsstrategie sollen konkrete Maßnahmen zum Erreichen des dargelegten Zielszenarios definiert werden. Diese Maßnahmen sind im Rahmen der vorliegenden Wärmeplanung verschiedenen Strategiefeldern zugeordnet, wie „erneuerbare Energien“ (hier speziell im Sinne der Integration erneuerbarer Energiequellen für die Wärmeversorgung der Zukunft), „Sanierung und Modernisierung“, „Heizungsumstellung“, „Verbraucherverhalten“ und „Netzausbau“ (hier speziell im Sinne des Ausbaus des Stromnetzes sowie Verdichtung des bestehenden Wärmenetzes). Die Gemeinde Schwalmtal kann hierbei als Verbraucherin Vorbildfunktion einnehmen, indem sie Maßnahmen zur Wärmewende an den eigenen kommunalen Liegenschaften angeht, wie auch als Motivatorin fungieren, indem sie Informations- und Beratungsangebote bereitstellt, die Bürgerinnen und Bürger sowie Unternehmen in der Gemeinde Schwalmtal zu Umsetzung von Maßnahmen für eine nachhaltige Wärmeversorgung anregen. Die Umsetzungsstrategie gilt es im weiteren Zeitverlauf kontinuierlich zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen werden, um das Zielszenario für das Jahr 2045 zu erreichen.

## 3 Kommunale Wärmeplanung

Die kommunale Wärmeplanung spielt eine zentrale Rolle bei der Energiewende und dem Erreichen der Klimaziele. Sie bietet Städten und Gemeinden die Möglichkeit, langfristige Strategien zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung zu entwickeln. Dabei werden sowohl lokale Gegebenheiten als auch rechtliche und technologische Rahmenbedingungen berücksichtigt. In den folgenden Unterkapiteln werden die Zielsetzungen und wesentlichen Inhalte der kommunalen Wärmeplanung näher erläutert.

### 3.1 Ziel der Kommunalen Wärmeplanung

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich völkerrechtlich verpflichtet, die Ziele des 2015 getroffenen Pariser Klimaabkommens einzuhalten. Dieses sieht vor, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C, idealerweise auf 1,5 °C, gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen [26]. Als Teil der Europäischen Union ist Deutschland zudem in den "Green Deal" eingebunden, der die Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2050 anstrebt [27]. Bereits mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz von 2018 hat Deutschland einen Fahrplan zur Emissionsreduktion entwickelt. Dieses wurde durch das Urteil des Bundesverfassungsgerichts im Jahr 2021 überarbeitet und verschärft, da es den Schutz künftiger Generationen betont und eine ambitioniertere Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen fordert. So wurde das Reduktionsziel für Treibhausgasemissionen bis 2030 von 55 % auf 65 % gegenüber 1990 angehoben und das Ziel der Klimaneutralität wurde von 2050 auf 2045 vorgezogen [28]. Zugleich steht die Reduzierung der gesamten Treibhausemissionen mehr im Fokus, unabhängig davon, in welchem Sektor die Treibhausgase entstehen. Indem die Emissionen nun insbesondere dort gemindert werden, wo die größten Einsparpotenziale liegen, sollen die Klimaziele sozial gerecht und volkswirtschaftlich effizient erreicht sowie die Flexibilität zwischen den Sektoren gestärkt werden [30].

Angesichts der globalen Klimaziele und der nationalen Verpflichtung zur Treibhausgasneutralität bis spätestens 2045 sowie vor dem Hintergrund der Herausforderungen, dem Klimawandel auch im Wärmesektor effektiv zu begegnen und die Wärmeversorgung nachhaltig zu gestalten, wurden alle Städte und Gemeinden auf Bundes- wie auch Landesebene dazu verpflichtet eine kommunale Wärmeplanung zu erarbeiten. Die kommunale Wärmeplanung verfolgt dabei das Ziel, die Wärmeversorgung langfristig sicher, bezahlbar und klimafreundlich zu gestalten und in diesem Kontext erneuerbare Energien, Energieeffizienzmaßnahmen und die Nutzung lokaler Potenziale konsequent zu fördern [3].

Ein zentrales Ziel der kommunalen Wärmeplanung ist demnach auch die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Durch die Transformation des Wärmesektors können fossile Energieträger schrittweise ersetzt und die Energieversorgung klimaneutral gestaltet werden. Hierzu sind umfassende Analysen der bestehenden Infrastruktur, der lokalen Gegebenheiten und der verfügbaren erneuerbaren Energiequellen erforderlich. Auf dieser Grundlage werden Maßnahmen entwickelt, die von der Nutzung von Wärmepumpen, Biomasse und Geothermie bis hin zur Integration von Abwärme aus Industrie und Gewerbe reichen. Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Erhöhung der Energieeffizienz. Die Verbesserung der Gebäudeisolierung, der Einsatz moderner Heiztechnologien sowie die Optimierung der Wärmeverteilungssysteme tragen nicht nur zur Senkung des Energieverbrauchs bei, sondern wirken auch reduzierend auf die Energiekosten von Bürgerinnen und Bürger. Dabei spielt die enge Zusammenarbeit mit lokalen Akteuren wie Energieversorgern, Wohnungsbaugesellschaften und privaten Haushalten und deren Einbindung in die kommunale Wärmeplanung eine entscheidende Rolle [3].

Ein wichtiger Bestandteil der kommunalen Wärmeplanung ist auch die transparente Information und Einbindung der Bürgerinnen und Bürger. Dies umfasst bspw. die Bereitstellung von Informationen darüber, wo in Zukunft Wärme- und Wasserstoffnetze geplant sind bzw. entstehen könnten und welche Gebiete potenziell von einer Anbindung profitieren können bzw. wo leitungsgebundene Infrastruktur hingegen eher unwahrscheinlich sind und demnach dezentrale Lösungen zur Wärmeversorgung notwendig sein werden. Durch gezielte Kommunikation sollen die Menschen vor Ort nicht nur über die Vorteile und Möglichkeiten einer klimafreundlichen Wärmeversorgung aufgeklärt werden, sondern auch darüber, welche Handlungsoptionen für sie bestehen.

Die kommunale Wärmeplanung bietet darüber hinaus eine Möglichkeit für die Integration verschiedener Kenntnisse und Interessen in die Planung der Wärmewende vor Ort. Durch die Einbindung relevanter Stakeholder können sodann Akzeptanz und Beteiligung gefördert werden. Konkret bezogen auf die Gemeinde Schwalmtal wurden im Rahmen der auch sogenannten Akteursbeteiligung die Betreiber der Netzinfrastrukturen für Gas (NEW Netz GmbH), Wärme (Loick Bioenergie GmbH) und Strom (Westnetz GmbH bzw. Westenergie AG), die Wohnungsbaugesellschaft GWG Kreis Viersen AG, die Kamps GmbH sowie die Schwalmtalwerke AÖR in den Prozess zur Erstellung der kommunalen Wärmeplanung miteinbezogen. Darüber hinaus erfolgt die Einbindung der Bürgerinnen und Bürger über eine Informationsveranstaltung zur kommunalen Wärmeplanung. Der Austausch mit den vielfältigen Akteuren im Kontext der kommunalen Wärmeplanung ist besonders wichtig, um langfristig tragfähige und breit unterstützte Lösungen zu entwickeln. Gleichzeitig bietet die Planung die Möglichkeit, wirtschaftliche Synergien zu schaffen, indem regionale Wertschöpfung und Arbeitsplätze gefördert werden. Ein weiterer Aspekt ist die soziale Gerechtigkeit. Die kommunale Wärmeplanung zielt darauf ab, sozialverträgliche Lösungen zu schaffen, die allen Bevölkerungsgruppen zugutekommen [3].

Zusammenfassend dient die kommunale Wärmeplanung als strategisches Planungsinstrument für eine nachhaltige, klimafreundliche und sozial ausgewogene Energiezukunft. Sie verknüpft ökologische, wirtschaftliche und soziale Ziele und leistet damit einen entscheidenden Beitrag zur Lebensqualität vor Ort sowie zur Erfüllung nationaler und globaler Klimaziele.

### **3.2 Inhalte der Kommunalen Wärmeplanung**

Die Inhalte der kommunalen Wärmeplanung sind im WPG detailliert geregelt und werden durch das LWPG NRW konkretisiert. Diese Gesetze definieren, welche Schritte und Elemente in die Wärmeplanung einzubeziehen sind, um die Ziele der Klimaneutralität bis spätestens 2045 zu erreichen. Das WPG verpflichtet die Bundesländer, Wärmepläne zu erstellen, die auf kommunaler Ebene konkretisiert werden (in NRW dann über das LWPG NRW). Gemäß den gesetzlichen Vorgaben muss der Wärmeplan für Gemeindegebiete mit mehr als 100.000 Einwohnern spätestens bis zum 30. Juni 2026 und für kleinere Gemeindegebiete bis zum 30. Juni 2028 erstellt werden.

Das Gesetz beschreibt die Wärmeplanung als strategische Fachplanung. Ihr Ziel ist, den Ausbau und die Entwicklung von Energieinfrastrukturen für die Wärmeversorgung voranzutreiben und den Einsatz erneuerbarer Energien sowie die Nutzung unvermeidbarer Abwärme zu fördern. Die Inhalte der kommunalen Wärmeplanung sind im Gesetz umfassend vorgegeben und werden im Folgenden beschrieben. Ergänzend fasst die nachstehende Grafik die im Kontext der Gemeinde Schwalmtal durchgeführten Schritte zur kommunalen Wärmeplanung zusammen.

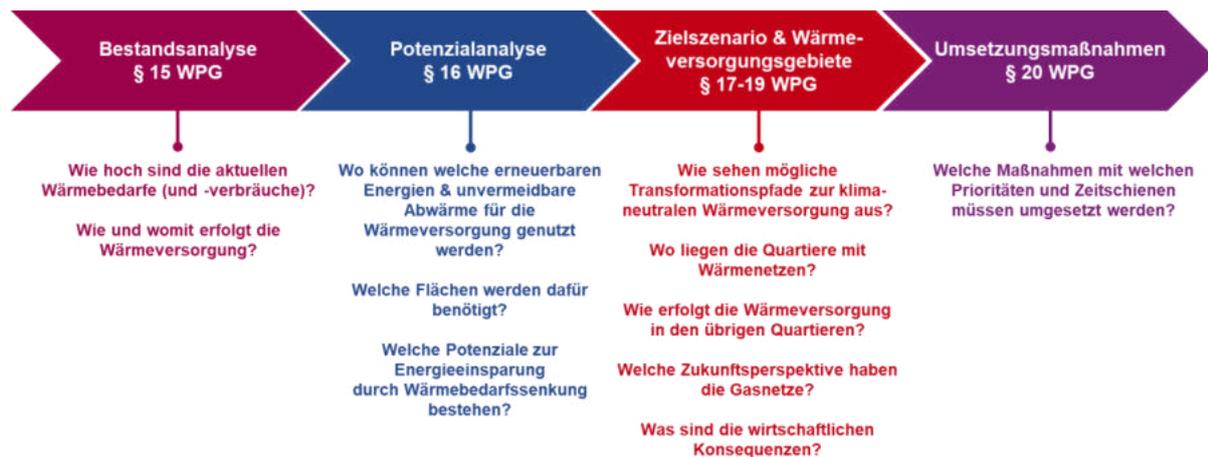


Abbildung 1: Ablauf bzw. Schritte der kommunalen Wärmeplanung

### Eignungsprüfung (§ 14 WPG):

Zu Beginn der Planung wird das Gebiet daraufhin untersucht, welche Teilgebiete sich für eine Versorgung durch Wärme- oder Wasserstoffnetze eignen. Dabei werden Kriterien wie die vorhandene Infrastruktur, Siedlungsstrukturen und potenzielle Energieressourcen berücksichtigt. Für nicht geeignete Gebiete kann eine vereinfachte Planung durchgeführt werden, bei der eine dezentrale Wärmeversorgung bevorzugt wird.

Bei der vorliegenden kommunalen Wärmeplanung für die Gemeinde Schwalmtal wurde auf die Anwendung einer verkürzten Wärmeplanung verzichtet. Diese Entscheidung gründet sich auf der Zielsetzung, eine fundierte und umfassende digitale Datengrundlage für die Gemeinde Schwalmtal zu schaffen, die den gesamten Planungsprozess trägt und die Qualität der Ergebnisse sicherstellt (siehe hierzu auch Kapitel 4).

### Bestandsanalyse (§ 15 WPG):

Die Grundlage jeder Wärmeplanung ist die Erhebung des aktuellen Standes der Wärmeversorgung. Dabei werden der Wärmebedarf, die verwendeten Energieträger sowie die bestehenden Wärmeversorgungsinfrastrukturen und Wärmeerzeugungsanlagen im Gebiet georeferenziert dargestellt und systematisch analysiert. Die Ergebnisse dieser Bestandsanalyse sind essenziell für die nachfolgenden Planungsphasen. Die Erhebung erfolgt gemäß der in Anlage 1 des WPG festgelegten Datengrundlagen.

### Potenzialanalyse (§ 16 WPG):

Aufbauend auf der Bestandsanalyse wird untersucht, welche Potenziale erneuerbarer Energien oder unvermeidbarer Abwärme vorhanden sind und für die Wärmeversorgung genutzt werden können. Mit der kartographischen Darstellung der Potenziale wird zudem die Verortung wie auch der Flächenbedarf aufgezeigt. Ebenfalls werden Potenziale zur Energieeinsparung durch Wärmebedarfsenkungen, z. B. durch energieeffiziente Gebäudesanierungen, abgeschätzt. Diese Analyse umfasst sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte.

### Zielszenario und Wärmeversorgungsgebiete (§§ 17, 18, 19 WPG):

Auf Grundlage der Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Bestandsanalyse und der Potenzialanalyse wird ein Zielszenario entwickelt, das einen möglichen Transformationspfad zur klimaneutralen Wärmeversorgung im Zieljahr 2045 beschreibt. Dieses Szenario berücksichtigt sowohl die Klimaziele des Bundes als auch die spezifischen Gegebenheiten des Planungsgebiets. Verschiedene mögliche Szenario-

rien werden dabei u. a. vor dem Hintergrund der technischen Umsetzbarkeit wie auch der wirtschaftlichen Konsequenzen analysiert. Im Ergebnis wird das geplante Gebiet in verschiedene Versorgungsgebiete eingeteilt und damit aufgezeigt, welche Wärmeversorgungsart (Wärmenetze, Wasserstoffnetze oder dezentrale Wärmeversorgung) unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten am wahrscheinlichsten geeignet erscheint.

#### **Umsetzungsstrategie (§ 20 WPG):**

Abschließend wird eine Strategie zur Umsetzung des Zielszenarios entwickelt. Diese enthält konkrete, räumlich verortete Maßnahmen wie die Verdichtung bestehender Wärmenetze, die Förderung dezentraler Versorgungslösungen oder die Integration erneuerbarer Energiequellen für die Wärmeversorgung der Zukunft. Die Maßnahmen sollen sicherstellen, dass die angestrebten Ziele wirtschaftlich und nachhaltig umgesetzt werden.

Gemäß WPG sind die Inhalte der Wärmeplanung rechtlich nicht verbindlich, dienen jedoch als strategische Grundlage für die Wärmeversorgung auf kommunaler Ebene. Die Fortschreibung des Wärmeplans ist alle 5 Jahre vorgesehen (§ 25 WPG), um die Zielerreichung kontinuierlich zu überwachen und anzupassen. Für große Kommunen mit mehr als 45.000 Einwohnern sieht das Gesetz zusätzliche Anforderungen vor wie die Berücksichtigung von Energieeffizienzstrategien, die Bewertung von Finanzierungsmöglichkeiten und Synergien mit benachbarten Gebieten (§ 21 WPG). Gleichzeitig ermöglicht das Gesetz für kleinere Gemeinden (< 10.000 Einwohner) ein vereinfachtes Verfahren, um den Verwaltungsaufwand zu reduzieren. Mit rund 19.000 Einwohnern fällt die Gemeinde Schwalmtal demnach weder in die Kategorie der großen Kommunen noch in die Kategorie der kleinen Kommunen, sodass (a) die Berücksichtigung von Synergieeffekten mit benachbarten Kommunen gesetzlich nicht gefordert ist und (b) die Anwendung eines vereinfachten Verfahrens für die Wärmeplanung unzulässig wäre.

Neben den Vorgaben des Wärmeplanungsgesetzes erweisen sich der Leitfaden sowie der Technikatalog des Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende (KWW) als hilfreiche Literaturquellen, die das Vorgehen zur Erstellung des Wärmeplans spezifizieren und ein umfangreiches Parameterset zur Verfügung stellen, welches auch für verschiedene Aspekte der vorliegenden Wärmeplanung herangezogen wurde [5] [29]. Vor allem die Anwendung des Technikatalogs ermöglicht ein hohes Maß an Standardisierung der Methodik und Datenbasis, was sodann die Vergleichbarkeit mit anderen kommunalen Wärmeplänen verbessert und die gesetzlich geforderte Fortschreibung der Wärmeplanung vereinfacht.

## 4 Eignungsprüfung

Das WPG ermöglicht gemäß § 14 die Durchführung einer verkürzten Wärmeplanung für einzelne Teilgebiete einer Stadt oder Gemeinde. Dies ist jedoch nur dann zulässig, wenn diese Gebiete in einer vorgelagerten Eignungsprüfung als unwahrscheinlich für den Einsatz von Wärmenetzen oder Wasserstoffnetzen bewertet wurden. Die reguläre Wärmeplanung sieht eine vollständige Erhebung und Auswertung aller relevanten Daten im beplanten Gebiet vor. Dies umfasst sowohl die Bestandsanalyse gemäß § 15 WPG als auch die Potenzialanalyse nach § 16 WPG. Im Gegensatz dazu sieht die verkürzte Wärmeplanung vor, in bestimmten Teilgebieten auf diese detaillierten Analysen zu verzichten.

Im Rahmen der Erstellung des Wärmeplans für die Gemeinde Schwalmtal wurde in Abstimmung mit der Verwaltung entschieden, auf die Anwendung der verkürzten Wärmeplanung zu verzichten. Diese Entscheidung gründet sich auf der Zielsetzung, eine fundierte und umfassende digitale Datengrundlage für die Gemeinde Schwalmtal zu schaffen, die den gesamten Planungsprozess trägt und die Qualität der Ergebnisse sicherstellt. Zudem wird ein hoher Wert darin gesehen, erstmalig einen detaillierten Überblick über die Wärmeversorgung im gesamten Gemeindegebiet zu erhalten, wodurch auch eine spätere, gesetzlich vorgeschriebene Fortschreibung des Wärmeplans begünstigt wird.

Darüber hinaus wird durch die Wahl der regulären Wärmeplanung für alle Teilgebiete sichergestellt, dass alle Teilgebiete des beplanten Gebiets mit einer einheitlichen Detailliertheit und auf derselben methodischen Grundlage untersucht werden. Dies fördert die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu den Teilgebieten und schafft eine belastbare Grundlage sowohl für die Ableitung des Zielszenarios (§ 17 WPG) als auch für die Entwicklung einer Umsetzungsstrategie (§ 20 WPG) für die gesamte Gemeinde Schwalmtal.

## 5 Bestandsanalyse

Im Rahmen der Bestandsanalyse wird eine detaillierte Untersuchung des aktuellen Zustands der Wärmeversorgung durchgeführt. Kapitel 5.1 beschreibt das methodische Vorgehen, das die Grundlage für die in Kapitel 5.2 gezeigten Ergebnisse bildet, und erläutert die Schritte zur Aufbereitung der Daten und Informationen. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Bestandsanalyse bilden die Basis für die weiteren Planungen.

### 5.1 Methodisches Vorgehen der Bestandsanalyse

Das Ziel der Bestandsanalyse ist es, die aktuelle Gebäudestruktur, den Wärmebedarf und die bestehende Wärmeinfrastruktur der Gemeinde Schwalmtal detailliert zu erfassen. Mit diesen umfassenden Daten und Informationen können notwendige Maßnahmen identifiziert und Szenarien zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen entwickelt werden, die als Grundlage für zukünftige strategische Entscheidungen dienen.

Im Folgenden werden zunächst die zugrundeliegenden Daten beschrieben und anschließend die Verfahren zur Ableitung der relevanten Informationen aus diesen Daten erläutert. Die Methodiken wurden vom Fraunhofer FIT in Zusammenarbeit mit dem IAEW der RWTH Aachen entwickelt und bereits für verschiedene andere Gemeinden im Kontext der kommunalen Wärmeplanung angewandt und weiterentwickelt.

#### 5.1.1 Datengrundlage

Die Basis der Bestandsanalyse bildet eine breite Datengrundlage. Dabei werden im Wesentlichen die in Tabelle 1 dargestellten öffentliche Daten herangezogen:

Tabelle 1: Öffentliche Datenquellen für die Analyse der Gemeindestruktur und des Wärmebedarfs

Daten	Abgeleitete Informationen
LoD2-Gebäude (3D-Gebäude) [30]	Gebäudekubatur; Gebäudenutzung
OpenStreetMap [31]	Ergänzende Gebäude, die nicht in den LoD2-Gebäuden enthalten sind; Straßennetz
Adresspunkte [30]	Ergänzende Adressangaben
ALKIS (Amtliches Liegenschaftskataster Informationssystem) [30]	Tatsächliche Flächennutzung
Zensus (100 m x 100 m) [32]	Anzahl Haushalte; Gebäudealter
NRW Wärmestudie [30]	Gebäudealter
Gebietseinteilungen [30]	Gemeinde, Gemarkungen, Flure
Baudenkmäler [33]	Sanierungsstand; Sanierungsoptionen

Darüber hinaus ist die planungsverantwortliche Stelle gemäß WPG dazu berechtigt verschiedene nicht-öffentliche Daten zu erheben. Im Rahmen der Analyse der Gemeindestruktur und des Wärmebedarfs

der Gemeinde Schwalmtal wurden dabei im Wesentlichen die in Tabelle 2 dargestellten Daten erhoben und verwendet:

*Tabelle 2: Nicht-öffentliche Datenquellen für die Analyse der Gemeindestruktur und des Wärmebedarfs*

<b>Daten</b>	<b>Abgeleitete Informationen bzw. Verwendung</b>
<b>Gasverbräuche (NEW AG)</b>	Wärmebedarf
<b>Fernwärmeverbräuche (Loick Bioenergie GmbH)</b>	Wärmebedarf
<b>Stromtarife (Westnetz GmbH)</b>	Heiztechnologie (Wärmepumpe / Stromdirektheizung)
<b>Kehrdaten (Schornsteinfeger)</b>	Heiztechnologie; Heizungsalter

Da verschiedene Datenquellen herangezogen wurden mussten, konnte kein einheitliches Bezugsjahr aller Daten verwendet werden. Der Bezugszeitpunkt der einzelnen Daten liegt im Zeitraum 2020 bis 2024. Durch eine Witterungsbereinigung der relevanten Verbrauchsdaten (vgl. Folgekapitel), das Hinzufügen aktueller Gebäudedaten aus der OpenStreetMap-Datenbank [31] und der Verwendung von Kehrdaten aus dem Jahr 2024, kann insgesamt von einer aktuellen Datengrundlage ausgegangen werden.

### 5.1.2 Aufbereitung des Gebäudebestands

Im Rahmen der Bestandsanalyse wird der gesamte Wärmebedarf - einschließlich des Raumwärmebedarfs, des Warmwasserbedarfs und des Prozesswärmebedarfs - einem Gebäude bzw. einer Adresse zugeordnet. Viele Informationen wie Gas- oder Fernwärmeverbräuche können ausschließlich über einen Adressabgleich geolokalisiert werden. Aus diesem Grund ist es von zentraler Bedeutung, zunächst ein Geoinformationssystem-Datenmodell (GIS-Datenmodell) zu erstellen, in dem jedes Gebäude in der Gemeinde Schwalmtal mit einer entsprechenden Adressangabe hinterlegt wird. Darüber hinaus werden für jedes Gebäude im Modell zusätzliche Informationen wie der Gebäudenutzungstyp, die Nutzfläche und das Gebäudealter ergänzt.

Zur Vereinfachung und Reduktion der Komplexität des Datenmodells, sowie aufgrund der Tatsache, dass viele Daten ohnehin nur auf Adressebene vorliegen, erfolgt im nächsten Schritt die Aggregation sämtlicher Gebäude mit derselben Adresse zu einem einzigen Datenpunkt. Das resultierende Modell ist somit ein adressscharfes GIS-Datenmodell. Im weiteren Verlauf des Berichts werden die Begriffe „Gebäude“ und „Adresse“ teilweise synonym verwendet. Das Vorgehen zur Aufbereitung des Gebäudebestands wird im Folgenden erläutert.

Die Grundlage des GIS-Datenmodells bilden LoD2-Gebäudedaten (Level of Detail 2). LoD2-Daten stellen einen spezifischen Detaillierungsgrad in der Darstellung von 3D-Stadtmodellen dar, der in der Stadtplanung, Architektur und in Geoinformationssystemen häufig Anwendung findet. Diese Modelle zeigen Gebäude detaillierter als einfache Grundrissdarstellungen. Konkret bedeutet LoD2, dass die Gebäude nicht nur als einfache Kuben (wie bei LoD1), sondern auch mit Dachformen Neigungen und weiteren architektonischen Details abgebildet werden. Abbildung 2 veranschaulicht diesen Abstraktionsgrad im Vergleich zu Google 3D-Modellen. Dieser Detailgrad gewährleistet eine ausreichende Datenqualität für die weitere Verarbeitung im Rahmen der Wärmeplanung. Zusätzlich zu den geometrischen

Daten enthalten LoD2-Daten auch Angaben zu Adresse und Gebäudenutzungstyp, die in das GIS-Datenmodell übernommen werden. Gebäude, deren Nutzungstyp auf eine Nichtbeheizung hindeutet (z. B. Garagen), werden in der Analyse nicht weiter berücksichtigt.



Abbildung 2: Beispiel LoD2-Daten - links: Google 3D-Modell („Realität“); rechts: LoD2-Daten

Auf Grundlage der Gebäudehöhe und des Dachaufbaus wird zunächst die Anzahl der Stockwerke geschätzt. Hierfür wird eine pauschale Stockwerkshöhe verwendet, die abhängig vom Gebäudenutzungstyp festgelegt wird. Die Bruttogrundfläche ergibt sich durch die Multiplikation der geschätzten Stockwerksanzahl mit der Gebäudegrundfläche. Anschließend wird die Nutzfläche unter Verwendung eines weiteren Faktors zwischen 0,8 und 0,9 berechnet, der ebenfalls vom Gebäudenutzungstyp abhängt. Die Nutzfläche stellt eine wesentliche Kenngröße für die Wärmeplanung dar. Sie ermöglicht u. a. die Ermittlung des spezifischen Wärmebedarfs, welcher wiederum Aufschluss über die Energieeffizienz des Gebäudes gibt. Zudem dient die Nutzfläche als Ausgangspunkt für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, für die keine Verbrauchsdaten vorliegen. Durch die Verwendung von LoD2-Daten kann zudem die Fassadenfläche präziser erfasst werden. Dabei wird auch berücksichtigt, ob es sich um eine freiliegende Fassadenfläche handelt oder diese an ein benachbartes Gebäude angrenzt. Diese Informationen fließen in die Berechnung der Transmissionswärmeverluste sowie des Sanierungsaufwands ein.

Die vorliegende Modellierung basiert zusätzlich auf zwei weiteren Datenquellen, um etwaige Lücken in den LoD2-Daten zu schließen. Zum einen wird das GIS-Datenmodell in den Geolokationen, in denen keine Gebäude aus dem LoD2-Bestand hinterlegt sind, durch Daten aus OpenStreetMap ergänzt. Dies betrifft i. d. R. Gebäude, die in den letzten Jahren errichtet wurden und daher noch nicht in den LoD2-Daten erfasst sind. Da OpenStreetMap-Daten von Privatpersonen beigesteuert werden, ist die Datenebene häufig aktueller. Bei der Verwendung von OpenStreetMap-Gebäuden müssen jedoch teilweise pauschale Annahmen über bestimmte Informationen getroffen werden, die in den LoD2-Daten detailliert hinterlegt sind wie bspw. die Gebäudehöhe, die nur für einen Teil der OpenStreetMap-Gebäude verfügbar ist.

Zum anderen gibt es einen kleinen Anteil an Gebäuden, für die in den LoD2-Daten (oder auch in den OpenStreetMap-Daten) keine Adressangabe hinterlegt ist. Diese Lücke wird durch die Verwendung von Adresspunkten, die für NRW vorliegen, geschlossen. Mithilfe von GIS-Operationen wird jedem Gebäude ohne Adressangabe die Adresse eines Adresspunktes zugewiesen, der sich entweder innerhalb des Gebäudes oder angrenzend daran befindet.

Im nächsten Schritt wird für jedes Gebäude die Anzahl der dort wohnenden Haushalte geschätzt. Daraus lässt sich die Anzahl der darin lebenden Personen ableiten, was insbesondere Einfluss auf den

Warmwasserbedarf hat. Hierfür werden Daten des Zensus [32] genutzt, welcher Informationen zur Anzahl der Haushalte in rasterförmig angeordneten Zellen von 100 m x 100 m für ganz Deutschland enthält. Unter Anwendung von Maximal- und Minimalwerten für die Wohnfläche je Haushalt wird jedem Gebäude eine Anzahl an Haushalten entsprechend der Wahrscheinlichkeit für diese Gitterzelle zugeordnet. Gebäuden ohne Wohnnutzung werden keine Haushalte zugewiesen.

Anschließend wird jedem Gebäude eine Baualtersklasse zugeordnet. Die Baualtersklasse ist ebenfalls eine wichtige Kenngröße für Gebäude im Rahmen der Wärmeplanung, da sie u. a. als Anhaltspunkt für den aktuellen Sanierungsstand dient. Als Datenquelle haben sich die gebäudescharf hinterlegten Angaben zu den Baualtersklassen aus den Daten des Webportals OpenGeodata.NRW [30] als qualitativ geeignet erwiesen. Durch eine weitere GIS-Operation werden die Daten für die einzelnen Gebäude in das vorliegende GIS-Datenmodell übertragen. Baualtersklassen von Gebäuden, für die in diesem Schritt keine Daten zugeordnet werden konnten, werden wiederum durch Daten aus dem Zensus (100 m x 100 m) ergänzt. Abschließend wird auf Basis eines Adressabgleichs die Information in das GIS-Datenmodell eingetragen, ob es sich bei einem Gebäude um ein Baudenkmal handelt [33]. Der Status „Baudenkmal“ hat sowohl Einfluss auf die Abschätzung des aktuellen Sanierungszustandes als auch auf den Umfang möglicher zukünftiger Sanierungsoptionen. Sofern das Baujahr eines Baudenkmal vorliegt, wird der entsprechende zuvor abgeschätzte Eintrag in das GIS- Datenmodell überschrieben.

### **5.1.3 Zuordnung von Heiztechnologien**

Nachdem im ersten Schritt die allgemein gebäudebezogenen Daten ermittelt wurden, werden fortführend Daten, welche die Wärmeversorgung unmittelbar betreffen, zum GIS-Datenmodell hinzugefügt. Dazu kann zunächst auf Basis der vorliegenden Verbrauchswerte bestimmt werden, welche Gebäude mit Gas oder Fernwärme beheizt werden. Außerdem liegen adressbezogene Informationen zu den Stromtarifen vor (vgl. Tabelle 2), aus denen abgeleitet werden kann, ob ein Gebäude über Stromdirektheizung oder Wärmepumpen beheizt werden.

Informationen zu nicht-leitungsgebundenen Heiztechnologien können aus den Kehrdaten der Schornsteinfeger gewonnen werden. Dazu gehören Öl, Biomasse und Flüssiggas. Zusätzlich kann den Schornsteinfegerdaten entnommen werden, wie alt die entsprechende Heizung ist. Diese Information wird auch für die Gasheizungen nachgepflegt.

Für Gebäude, denen bis zu diesem Schritt noch keine Heiztechnologie zugeordnet werden konnte (bspw. aufgrund abweichender Adressbezeichnung in den Eingangsdaten), werden abschließend Heiztechnologie und Heizungsalter auf Basis des Zensus sowie statistischer Wahrscheinlichkeiten und Plausibilität für den entsprechenden Gebäudetyp zugeordnet.

### **5.1.4 Ermittlung von Wärmebedarfen aus Verbrauchswerten**

Eine Möglichkeit, den Wärmebedarf eines Gebäudes zu bestimmen, ist die Ableitung aus der Energiemenge, die für die Beheizung des Gebäudes eingesetzt wurde. Informationen zu eingesetzten Energiemengen liegen gebäudescharf für Gas und Strom vor. Da die Stromverbräuche nicht immer einheitlich gemessen werden und Unsicherheiten über die verwendete Wärmepumpentechnologie vorliegen, wird der Wärmebedarf der betroffenen Gebäude mit Stromverbrauchsdaten nicht über die Verbrauchswerte abgeleitet, sondern simuliert. Der Fernwärmeverbrauch liegt aggregiert für alle Wärmenetzkunden vor und wird entsprechend der zu beheizenden Fläche sowie der Gebäudetypen auf die mit Fernwärme versorgten Gebäude aufgeteilt.

Die Gasverbräuche einzelner Wohneinheiten bzw. Zähler werden für die Jahre 2020-2022 zunächst auf die einzelnen Adressen aggregiert und anschließend plausibilisiert. Dabei werden u. a. Gasverbräuche, die unter einem Mindestwert liegen, entfernt, da hier davon ausgegangen wird, dass das verbrauchte Gas lediglich für das Kochen verwendet wird. Außerdem werden Einträge entfernt, die im Jahr 2022 einen Gasverbrauch von 0 kWh haben, da hier davon ausgegangen wird, dass die Gasheizung nicht länger verwendet wird und zu einer alternativen Heiztechnologie gewechselt wurde. Zusätzlich werden Gasverbräuche in Jahren, mit extremen Abweichungen zu den anderen Jahren der einzelnen Gebäude entfernt. Durch die Berücksichtigung mehrerer Verbrauchsjahre kann der Einfluss von Einmaleignissen wie z. B. die Energiekrise im Jahr 2022 weitestgehend ausgeblendet werden. Zusätzlich werden die Verbräuche der einzelnen Jahre einer Witterungsbereinigung unterzogen. Dazu werden die Heizgradtage, entsprechend dem Vorgehen des IWU-Tools „Gradtagzahlen-Deutschland“ [34] für den Standort Schwalmtal im jeweiligen Jahr sowie die durchschnittlichen Heizgradtage der letzten 10 Jahre ermittelt. Auf Basis dieser Kennzahlen kann der Faktor berechnet werden, mit dem der Gasverbrauch im jeweiligen Jahr multipliziert werden muss, um den Einfluss eines warmen oder kalten Winters herauszurechnen. Anschließend wird der mittlere Verbrauch aller Jahre für jedes Gebäude ermittelt. Dieser Wert stellt den Endenergiebedarf dar. Um von diesem auf den Wärmebedarf zu schließen, wird ein durchschnittlicher Wirkungsgrad der Gasheizungen von 92 % angenommen (vgl. KWW-Technikkatalog [29]), der sowohl herkömmliche Heizwertanlagen also auch moderne Gas-Brennwertkessel berücksichtigt.

In der anschließenden Plausibilisierung werden insbesondere mitversorgte Gebäude berücksichtigt. Bei mitversorgten Gebäuden steht die Heizzentrale in einem benachbarten Gebäude, sodass dem mitversorgten Gebäude zunächst kein Wärmebedarf zugeordnet werden kann, während dem Gebäude, in dem die Heizzentrale steht, zusätzlich der Wärmebedarf des mitversorgten Gebäudes zugeordnet wird. Zur Identifikation von mitversorgten Gebäuden wird zunächst überprüft, ob sich auf dem Flurstück von Gebäuden mit einem erhöhtem spezifischen Wärmebedarf (Wärmebedarf je m<sup>2</sup> Nutzfläche) ein oder mehrere weitere Gebäude befinden, denen keine Heiztechnologie und Verbrauchsdaten eindeutig zugewiesen werden konnten. Sofern dies der Fall ist, wird der Wärmebedarf anteilig der Nutzfläche auf die Gebäude aufgeteilt. Abschließend werden Gebäude mit besonders hohem spezifischem Wärmebedarf manuell überprüft und erwogen, ob eine Mitversorgung ggf. über die Grenzen des Flurstücks hinweg stattfindet.

Da keine Informationen bzgl. des Anteils der eingesetzten Energie für die Erzeugung von Prozesswärme vorliegen, muss dieser Anteil abgeschätzt werden. Dazu wird die pauschale Annahme getroffen, dass jeglicher Wärmebedarf bei Gebäuden des Typs ‚Fabrik‘ (vgl. ALKIS) Prozesswärme ist, der oberhalb eines Wertes von 30 kWh/m<sup>2</sup> liegt. Dieselbe Annahme gilt für die Gebäudetypen ‚Produktionsgebäude‘ sowie Gebäude für ‚Gewerbe und Industrie‘, mit der Einschränkung, dass der spezifische Wärmebedarf zunächst oberhalb von 90 kWh/m<sup>2</sup> liegen muss, was einen Prozesswärmeanteil wahrscheinlich macht. Zuletzt wird auch für Schwimmbäder jeglicher Wärmebedarf, der oberhalb von 100 kWh/m<sup>2</sup> liegt, als Prozesswärme angenommen.

Es wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die Hauptheizung auch für die Warmwasseraufbereitung genutzt wird.

### **5.1.5 Ableitung des Sanierungsstands**

Sowohl für die Ermittlung des Energieeinsparpotenzials durch Sanierung als auch die Simulation des Wärmebedarfs von Gebäuden ohne bekannte Verbrauchswerte ist die Kenntnis des aktuellen Sanie-

rungszustandes von zentraler Bedeutung. Da es für den tatsächlichen Sanierungszustand einzelner Gebäude keine Datengrundlage gibt, muss dieser auf Basis der verfügbaren Informationen abgeschätzt werden. Im Rahmen einer deutschlandweiten Studie wurde der durchschnittliche Sanierungszustand von Wohngebäuden in Abhängigkeit der Baualtersklasse sowie der Kategorien Einfamilienhaus (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH) untersucht [35]. Dabei wurden in dieser Studie mögliche Sanierungszustände in un-, teil-, und vollsaniert gegliedert.

Um die Erkenntnisse dieser Studie auf die Gemeinde Schwalmtal zu übertragen, werden zunächst sämtliche Wohngebäude sowie (auf Grund mangelnder Datengrundlage) auch Nicht-Wohngebäude zu Gruppen entsprechend der Baualtersklasse sowie dem Wohngebäudetyp eingeteilt (vgl. Abbildung 3).

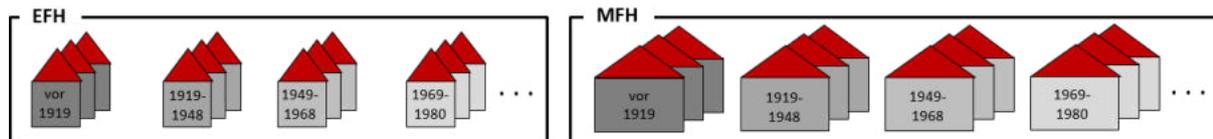


Abbildung 3: Einteilung der Gebäude in Kategorien für Sanierungsstand

Für jede dieser Gruppen (z. B. Einfamilienhäuser der Baualtersklasse 1949-1968) kann der Studie der prozentuale Anteil der un-, teil-, und vollsanierten Gebäude entnommen werden. Um ferner zu bestimmen, welche Gebäude dieser Gruppe als un-, teil- oder vollsaniert eingeteilt werden, werden die Gebäude entsprechend ihrem spezifischem Wärmebedarf sortiert (vgl. Abbildung 4). Die Gebäude mit dem höchsten spezifischen Wärmebedarf werden entsprechend dem Anteil unsanierter Gebäude in dieser Gruppe als unsaniert angenommen.

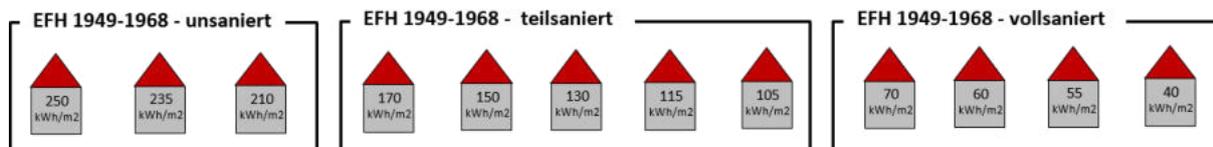


Abbildung 4: Exemplarische Zuteilung von Sanierungszuständen

Gebäude mit einem mittleren spezifischen Wärmebedarf werden als teilsaniert angenommen und die Gebäude mit dem geringstem spezifischen Wärmebedarf werden als vollsaniert betrachtet. Gebäude, deren Wärmebedarf nicht aus Verbrauchsdaten bestimmt werden können (in Schwalmtal etwa jedes fünfte Gebäude) werden entsprechend der vorliegenden Statistik der jeweiligen Baualtersklasse und der Gebäudekategorie zufällig in un-, teil-, und vollsaniert eingeteilt.

In Folge wird jedem Gebäude entsprechend dem Gebäudetyp (Einfamilienhaus, Reihenhaus, Mehrfamilienhaus oder großes Mehrfamilienhaus mit mehr als 1.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche), der Baualtersklasse und dem abgeschätzten Sanierungszustand U-Werte (Wärmedurchdringungskoeffizienten) zugewiesen. Der U-Wert einer Gebäudekomponente ist abhängig vom verwendeten Baumaterial sowie dessen Dicke und beschreibt die Wärmedurchlässigkeit in Watt pro m<sup>2</sup> pro Kelvin. Somit ist der U-Wert in der verwendeten Modellierung die zentrale Größe für den Sanierungszustand. Eine in der Literatur vielfach angewandte Datenquelle von U-Werten für Typgebäude, die auch in dieser Modellierung zum Einsatz kommt, ist die TABULA-Datenbank [36]. Entsprechend dem Gebäudetyp, der Baualtersklasse und dem Sanierungszustand wird jedem Gebäude für die einzelnen Komponenten Fassade, Dach, Fenster und Bodenplatte U-Werte zugeordnet. In der TABULA-Datenbank wird zwischen den Sanierungszuständen „Ausgangszustand“, „Übliche Sanierung“ (entsprechend den gesetzlichen Mindestvorgaben) und „Erweiterte Sanierung“ unterschieden. In der vorliegenden Modellierung entspricht der Sanierungszustand „Ausgangszustand“ dem unsanierten Zustand. Für den vollsanierten Zustand werden die TABULA

U-Werte der üblichen Sanierung verwendet, da eine Sanierung entsprechend den U-Werten der erweiterten Sanierung in der Realität nur selten vorgenommen wird. Somit entspricht eine Teilsanierung einer Mischung des Ausgangszustandes und der üblichen Sanierung.

### 5.1.6 Simulation unbekannter Wärmebedarfe

Abschließend wird der Wärmebedarf für Gebäude, für die keine Verbrauchsdaten vorliegen, simuliert bzw. berechnet. Für Wohngebäude kommt dabei ein Gebäudehüllenmodell (oder auch „Ein-Zonen-Modell“) gemäß DIN EN ISO 13790 zum Einsatz. Dabei wird eine elektrisch-thermische Modellanalogie verwendet, welche in Abbildung 5 veranschaulicht ist.

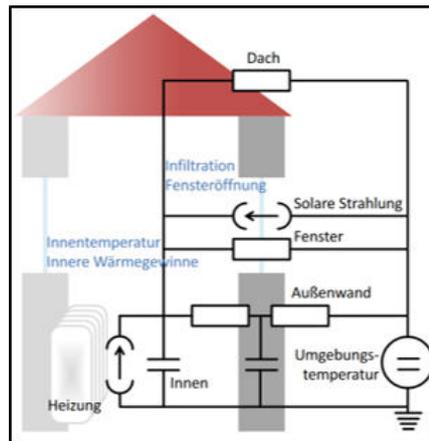


Abbildung 5: Gebäudehüllenmodell

Das Gebäudehüllenmodell ermittelt, wie viel Energie benötigt wird, um eine gewünschte Mindesttemperatur nicht zu unterschreiten. Dabei werden neben Außentemperatur u. a. die Wärmeverluste über die vier Komponenten Fassade, Dach, Fenster und Bodenplatte auf Basis der U-Werte berücksichtigt sowie die Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes und Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung. Der Warmwasserbedarf wird auf Grundlage der Anzahl der Haushalte abgeschätzt. Dabei kann ein jährlicher Warmwasserbedarf von 315-695 kWh/a angenommen werden [37]. Im Rahmen der vorliegenden Methodik wird zunächst die Personenanzahl eines Gebäudes stochastisch ermittelt, basierend auf der Anzahl der im GIS-Datenmodell hinterlegten Haushalte. Anschließend wird der Warmwasserbedarf für jede Person innerhalb der genannten Spannweite ebenfalls stochastisch bestimmt.

Der Raumwärme- und Warmwasserbedarf von Nicht-Wohngebäuden, für die keine Verbrauchsdaten vorliegen, wird abweichend davon auf Basis von Kennzahlen für den spezifischen Wärmebedarf des jeweiligen Gebäudenutzungstyps ermittelt. Dies ist damit zu begründen, dass die Gebäudekubatur bei Nicht-Wohngebäuden einen vernachlässigbar kleinen Einfluss auf den Wärmebedarf hat und stattdessen der Nutzungstyp des Gebäudes relevanter ist. So liegt bspw. der spezifische Wärmebedarf eines Gebäudes vom Nutzungstyp „Verkaufsstätte“ i. d. R. um ein Vielfaches über dem eines Gebäudes des Nutzungstyps „Turnhalle“. Insgesamt wird in der Modellierung zwischen 158 verschiedenen Gebäudenutzungstypen unterschieden. Die verwendeten Kennzahlen für den spezifischen Raumwärmebedarf basieren auf Erfahrungswerten. Der spezifische Warmwasserverbrauch wurde der Studie „Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden“ vom Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung entnommen [38].

## 5.2 Ergebnisse der Bestandsanalyse

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Bestandsanalyse für die Gemeinde Schwalmtal bzgl. der Gemeindestruktur, der Gebäudestruktur einschließlich Baualtersklassen, der Wärmebedarf, die bestehende Versorgungsstruktur sowie die Energie- und Treibhausgasbilanz systematisch dargestellt.

Die kartografischen Darstellungen erfolgen im Rahmen der vorliegenden Wärmeplanung grundsätzlich auf Baublockebene, da aus Datenschutzgründen keine Informationen veröffentlicht werden dürfen, die Rückschlüsse auf einzelne Personen zulassen. Ein Baublock bezeichnet gemäß WPG ein oder mehrere Gebäude bzw. Liegenschaften, die von Straßen, Schienen oder anderen natürlichen oder baulichen Grenzen umschlossen sind und für die Zwecke der Wärmeplanung als zusammengehörig betrachtet werden. In der vorliegenden Wärmeplanung ist in der Baublockdarstellung sichergestellt, dass immer mindestens 5 Adressen aggregiert abgebildet werden. Darüber hinaus werden die Ergebnisse auf weiteren Aggregationsebenen wie Flure, Gemarkungen, Hektarraster oder Wärmelinien dichten ermittelt und visualisiert.

### 5.2.1 Gemeindestruktur

Die Gemeinde Schwalmtal liegt im Westen von NRW, im Kreis Viersen, und hat rund 19.000 Einwohner [32]. Auf einer Fläche von etwa 48 km<sup>2</sup> bzw. 4.800 ha umfasst sie die Ortsteile Waldniel und Amern sowie mehrere kleinere Siedlungen. Neben Neubausiedlungen, insbesondere in Waldniel, die bereits einer modernen Wärmeversorgung unterliegen, steht auch die Gemeinde Schwalmtal vor spezifischen Herausforderungen im Hinblick auf ihre Wärmeversorgung, da der Gebäudebestand teilweise älteren Baualtersklassen angehört und die Wärmenutzung einen hohen Anteil am Energieverbrauch und den CO<sub>2</sub>-Emissionen ausmacht. Schwalmtal zeichnet sich durch eine Mischung aus Wohn-, Gewerbe- und landwirtschaftlich genutzten Flächen aus.

Die rund 19.000 Einwohner verteilen sich entsprechend Abbildung 6 auf die Gemeindefläche. Es ist zu erkennen, dass die Einwohnerdichte mit nur wenigen Ausnahmen unterhalb von 50 Einwohnern je ha liegt, was typisch für ein vorstädtisches Gebiet mit Einfamilienhäusern ist. Lediglich in den beiden Ortszentren sowie im Bereich von Reihenhaussiedlungen werden Einwohnerdichten oberhalb von 50 Einwohnern je ha erreicht.

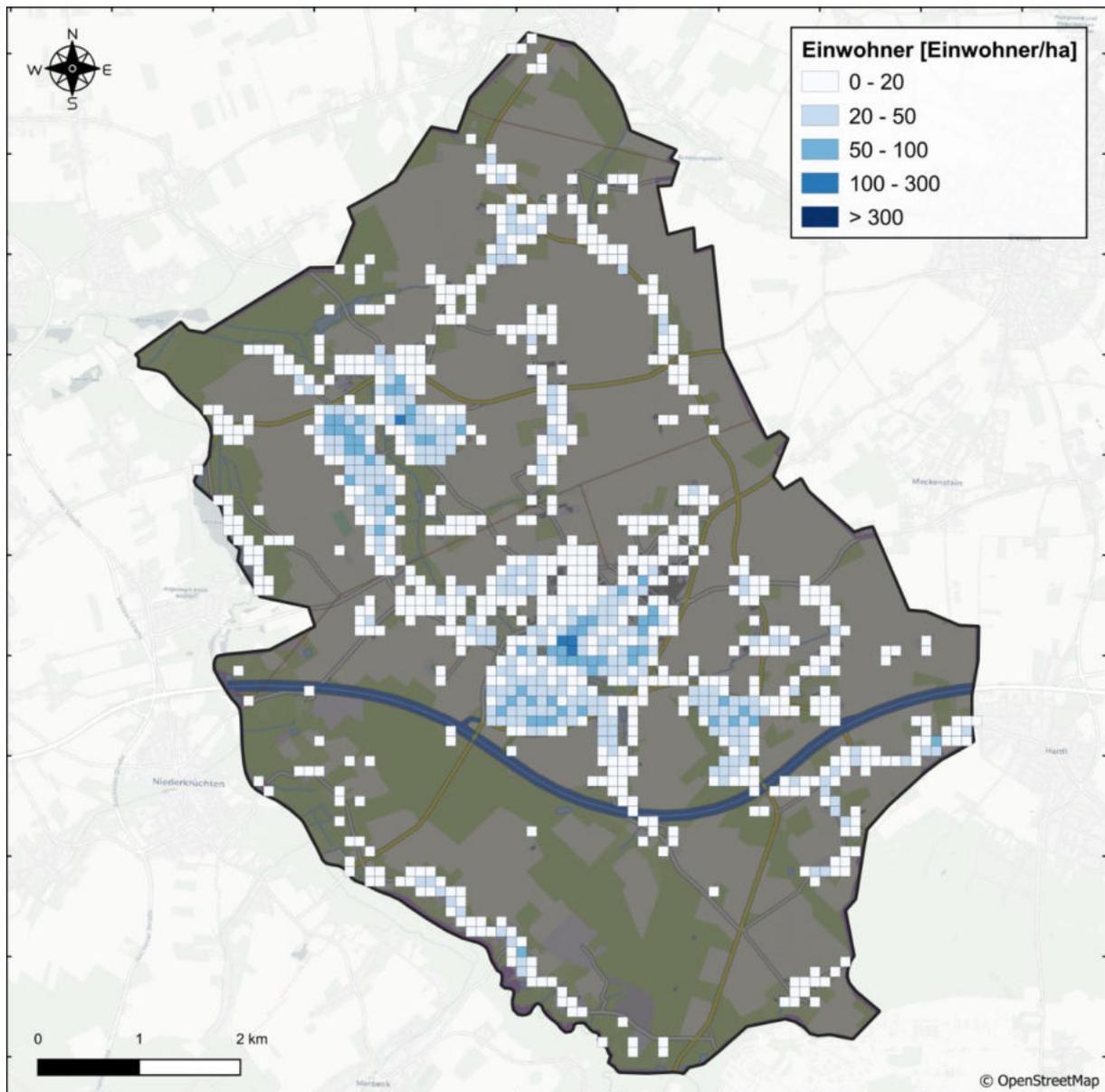


Abbildung 6: Einwohner je ha

### 5.2.2 Gebäudestruktur und Baualtersklassen

In Schwalmtal befinden sich rund 6.500 Adressen mit beheizten Gebäuden. 91 % dieser Gebäude sind Wohngebäude, wobei Einfamilienhäuser (inkl. Doppelhaushälften) (52 %) und Reihenhäuser (24 %) den Großteil dieser Gebäudetypen ausmachen. 14 % der Gebäude entfallen auf Mehrfamilienhäuser (Wohngebäude mit mehreren Wohneinheiten und weniger als 1.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche) und 1 % auf große Mehrfamilienhäuser (Wohngebäude mit mehreren Wohneinheiten und mehr als 1.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche). Der Gewerbesektor macht lediglich 9 % der Gebäude aus. Dem Typ „Industrie“ waren keine Gebäude zuzuordnen.

## Anzahl der Gebäudetypen

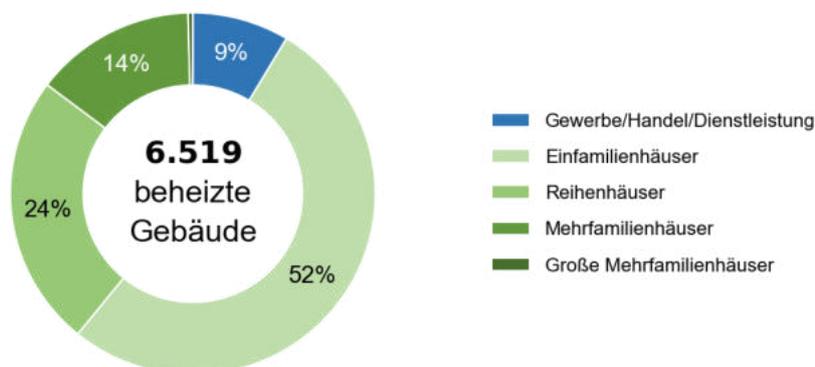


Abbildung 7: Anzahl der Gebäudetypen

In Gemeinden mit einem hohen Anteil an Einfamilien- und Reihenhäusern wird die Entscheidung über die Heiztechnologie i. d. R. individuell von den Eigentümern getroffen. Dies unterscheidet sich von dicht besiedelten Gebieten, in denen auch zentrale Wärmenetze eine kollektive Lösung für Gebäude mit mehreren Wohneinheiten bieten können. Aufgrund der tendenziell geringen Wärmedichte in Wohngebieten mit Einfamilien- und Reihenhäusern sind großflächige Wärmenetze meistens zudem wirtschaftlich schwer umsetzbar, da die Investitionskosten pro Gebäude hoch und die Verteilverluste relativ groß sein können.

Die gesamte beheizte Nutzfläche wurde auf rund 2,1 Millionen m<sup>2</sup> ermittelt. Davon entfallen 58 % auf Wohnhäuser und 42 % auf den GHD-Sektor (vgl. Abbildung 8). Auffällig ist demnach, dass der GHD-Sektor trotz der vergleichsweise geringen Anzahl an Gebäuden einen erheblichen Anteil an der Gesamtfläche einnimmt. Daher spielt der GHD-Sektor bezogen auf die Nutzfläche auch eine zentrale Rolle bei der Erreichung der Dekarbonisierungsziele in der Gemeinde Schwalmtal.

## Nutzfläche der Sektoren

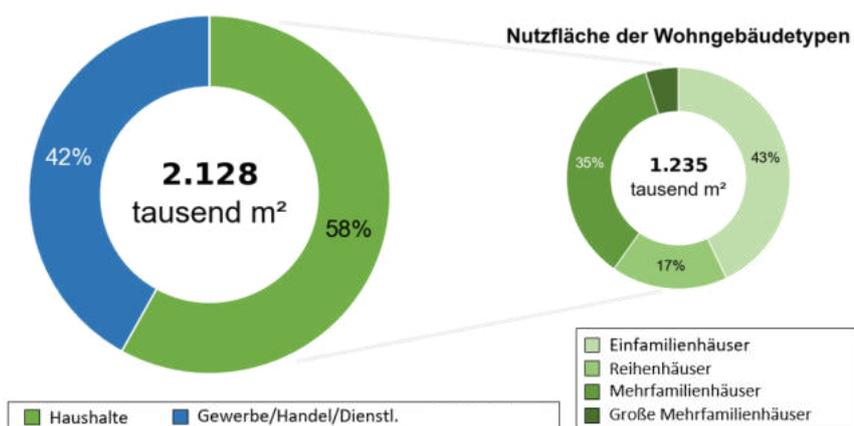


Abbildung 8: Anteilige Nutzfläche nach Sektoren und Wohngebäudetyp

Abbildung 9 stellt die primären Sektoren bzw. beim Wohnungssektor die primären Wohngebäudetypen je Baublock dar. Dort sind u. a. die beiden Gewerbegebiete nördlich und östlich des Waldnieler Ortskerns auszumachen, welche in blau eingezeichnet sind. Zudem gibt es zahlreiche weitere von Gewerbe, Handel oder Dienstleistung dominierten Baublöcke über das Stadtgebiet verteilt. Diese können bspw. Baublöcke mit Schulen oder Baublöcke mit großen Bauerhöhen im Außenbereich sein. Die

Wohnsiedlungen sind von Einfamilienhäusern und Reihenhäusern dominiert. Insbesondere in den beiden Ortskernen sind teilweise Mehrfamilienhäuser und große Mehrfamilienhäuser (> 1.000 m<sup>2</sup> Nutzfläche) auszumachen.

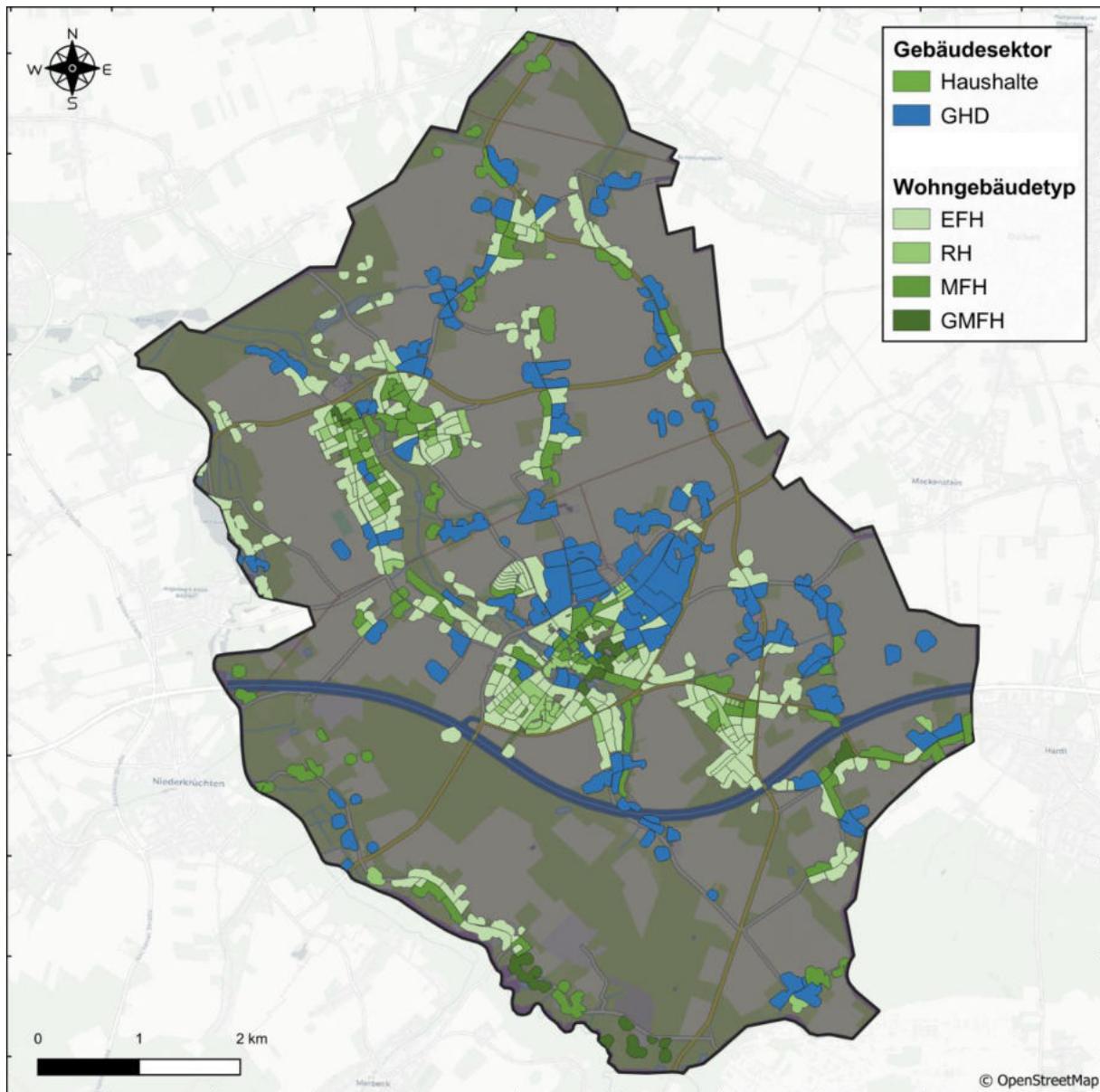


Abbildung 9: Primärer Sektor / Wohngebäudetyp nach Anteil an der Nutzfläche je Baublock

Bei Betrachtung der Baualtersklassen in Abbildung 10 ist zu erkennen, dass ein hoher Anteil der Gebäude in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts bzw. davor errichtet wurde. Die Baualtersklasse 1970 - 1980 stellt einen wichtigen Einschnitt in den Baustandard von Gebäuden dar, da in diesem Zeitraum (1977) die Wärmeschutzverordnung in Kraft getreten ist, sodass ab dieser Baualtersklasse mit geringeren Wärmeverlusten der Gebäude zu rechnen ist [39]. In den folgenden Jahrzehnten haben sich die gesetzlichen Anforderungen an den Neubau stets erhöht, wodurch der spezifische Wärmebedarf sukzessive verringert werden konnte. Dazu beigetragen haben die Wärmeschutzverordnung von 1982 und 1995 und anschließend die Energieeinsparverordnung von 2002 sowie die Neuauflagen bzw. Ablösung dieser Verordnung im Jahr 2020 durch Einbindung in das GEG [15] [40]. Insgesamt wurde rund die

Hälfte der Gebäude in Schwalmtal vor 1970 errichtet. Das Sanierungspotenzial dieser Gebäude wird im Rahmen der Potenzialanalyse deutlich. Außerdem ist ein hoher Anteil an Neubauten ab 2010 zu erkennen. Bei diesen Gebäuden besteht i. d. R. kein weiteres Sanierungspotenzial.

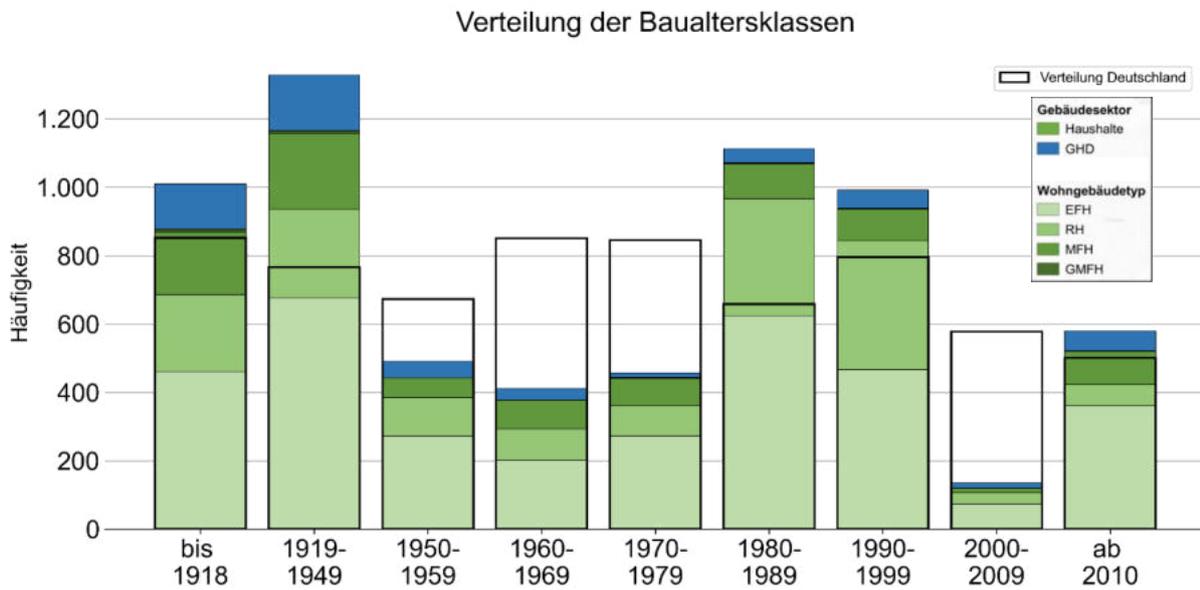


Abbildung 10: Verteilung der Baualtersklassen inkl. Unterteilung der Gebäudetypen (Farbschema entsprechend Abbildung 9)

In der Kartenansicht der Baualtersklassen (vgl. Abbildung 11) ist die häufigste Baualtersklasse je Bau-block abgebildet. Anhand dieser kann die Siedlungsentwicklung gut nachempfunden werden. Insbesondere in den Ortskernen von Amern und Waldniel stehen viele ältere Gebäude, die zum Teil vor 1919 errichtet wurden. Des Weiteren sind u. a. die Neubaugebiete im Nord-Westen und Süd-Westen von Waldniel zu erkennen.

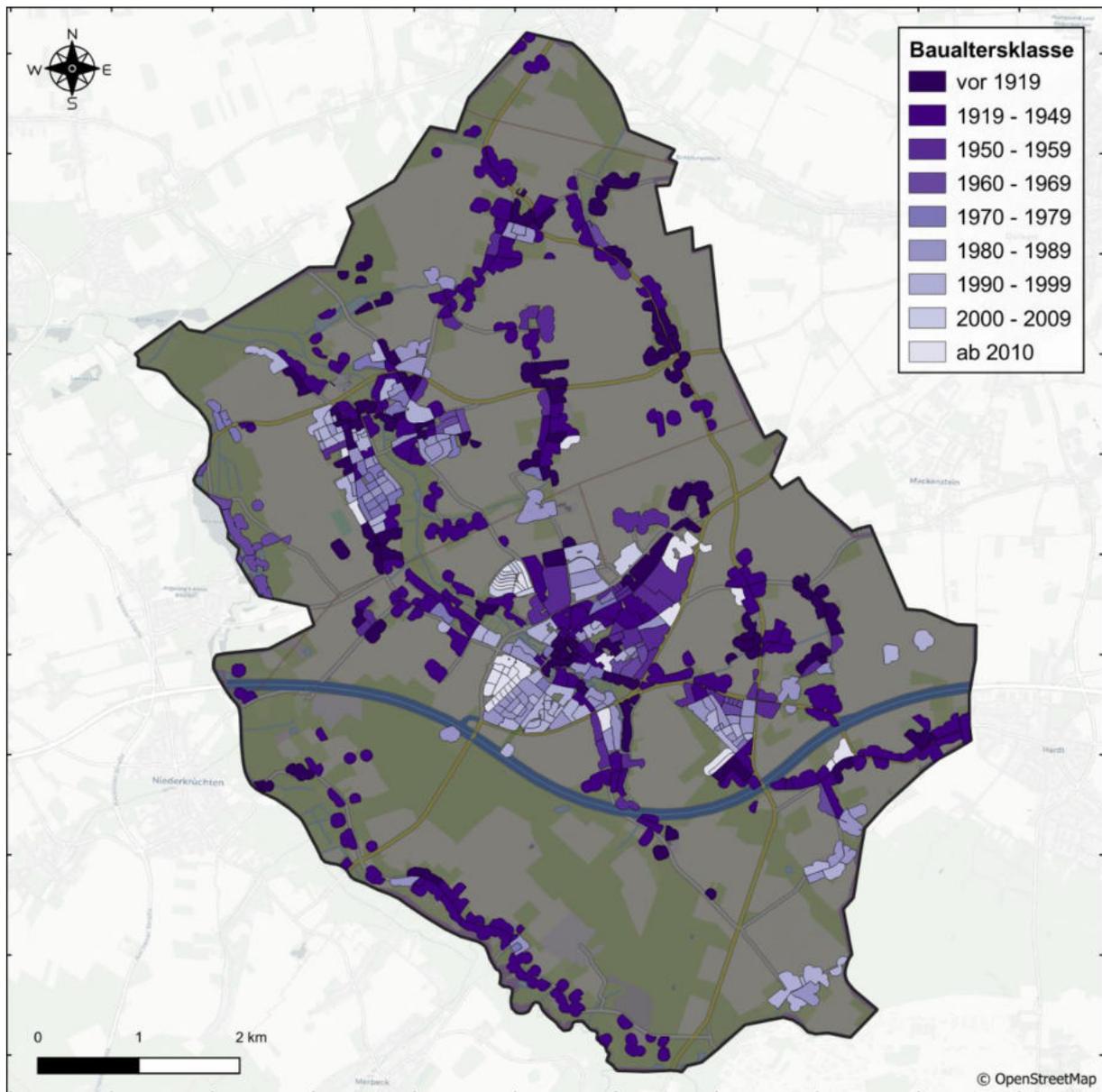


Abbildung 11: Häufigste Baualterklasse je Baublock

### 5.2.3 Wärmebedarf

Der gesamte Wärmebedarf in Schwalmtal beträgt im Status-Quo 177 GWh/a. Dieser Wärmebedarf entspricht dem Nutzenergiebedarf. Der Endenergiebedarf wird in Kapitel 5.2.6 dargestellt. In den folgenden Abschnitten wird beschrieben, wie sich dieser Wärmebedarf in den Bereichen Heiztechnologie, Gebäudetypen und Nutzenergiety aufteilt.

#### Heiztechnologie

Die Wärmeversorgung in Schwalmtal wird im Status-Quo von fossilen Heizsystemen dominiert. So wird 57 % des gesamten Wärmebedarfs von Gasheizungen gedeckt. Ölheizungen machen mit 23 % ebenfalls einen signifikanten Anteil aus. Die restlichen 20 % werden durch Wärmepumpen (5 %), BHKWs (4 %), Fernwärme (3 %), Stromdirektheizungen (3 %), Biomasseheizungen (1 %) und Flüssiggasheizungen (1 %) gedeckt (vgl. Abbildung 12). Zudem wurde der potenzielle Wärmebedarf der aktuell unbe-

heizten Gebäude auf dem ehemaligen Rösler-Gelände berücksichtigt (entspricht der Kategorie „Leerstehend“ in der Abbildung 12; diese Gebäude werden aufgrund des Leerstands zu keiner Heizungs-technologie zugeordnet, allerdings wird der Wärmebedarf dieser Gebäude beim Gesamtwärmebedarf berücksichtigt).

### Bereitgestellte Nutzenergie

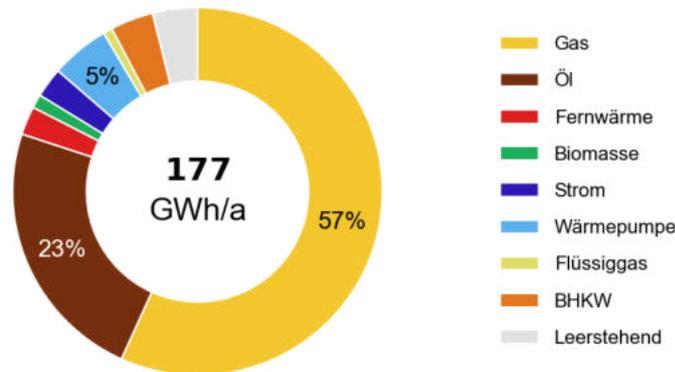


Abbildung 12: Gesamtwärmebedarf der durch die entsprechende Heiztechnologie bereitgestellt wird

Die absolute Anzahl der primären Heizungssysteme ist dementsprechend ähnlich verteilt (vgl. Abbildung 13). Abweichungen von der durch die jeweilige Heiztechnologie bereitgestellten Nutzenergie sind u. a. bei Gas (viele Einfamilienhäuser mit geringem Wärmebedarf werden über Gas versorgt) sowie Fernwärme und BHKWs zu erkennen (i. d. R. werden eher Verbraucher mit hohem Wärmebedarf durch Fernwärme und BHKWs versorgt). Diese beiden Aspekte werden zusätzlich über die Betrachtung der bereitgestellten Nutzenergie differenziert nach Wohngebäuden (vgl. Abbildung 14) und Nicht-Wohngebäuden (vgl. Abbildung 15) nachvollziehbar. Bei der bereitgestellten Nutzenergie in Wohngebäuden dominiert bei den insgesamt 125 GWh/a vor allem der Anteil Gas mit 69 %, während in Nicht-Wohngebäuden - neben Öl mit einem Anteil von 30 % - vor allem auch Fernwärme und BHKWs relativ hohe Anteile von 8 % bzw. 13 % beitragen.

### Heizungen

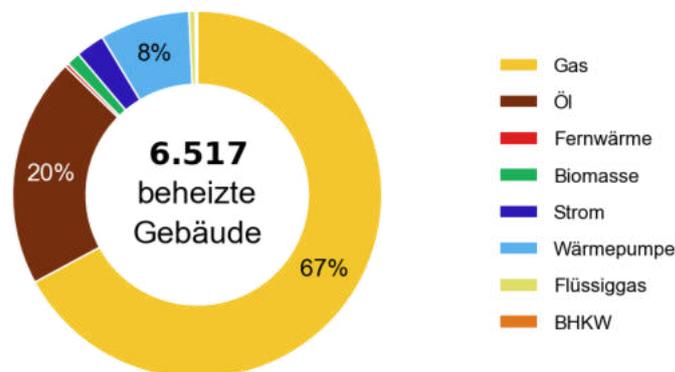


Abbildung 13: Anteil der primären Heizungssysteme

### Bereitgestellte Nutzenergie

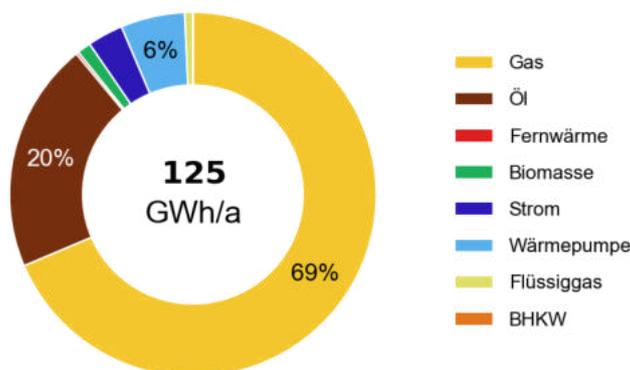


Abbildung 14: Wärmebedarf von Wohngebäude, der durch die entsprechende Heiztechnologie bereitgestellt wird

### Bereitgestellte Nutzenergie

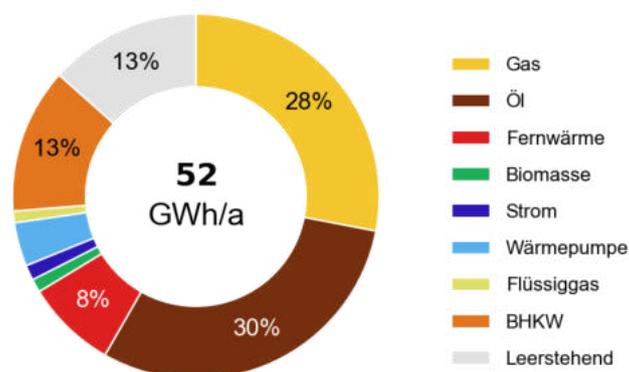


Abbildung 15: Wärmebedarf von Nicht-Wohngebäuden, der durch die entsprechende Heiztechnologie bereitgestellt wird

In der Kartenansicht gemäß Abbildung 16 wird sichtbar, dass das Gasnetz so flächendeckend ausgebaut ist, dass es in fast allen Teilen Schwalmtnals einen Baublock dominiert. Dort wo das Gasnetz nicht ausgebaut ist, sind in vielen Fällen Ölheizungen dominierend. Im Bereich des Waldnieler Schulzentrums ist die Wärmeversorgung durch das dort befindliche Wärmenetz dominiert. Außerdem gibt es Baublöcke, die primär durch eins der drei größeren BHKWs in Schwalmthal versorgt werden. Des Weiteren sind zwei Baublöcke zu erkennen, die zum großen Teil aus dem ehemaligen Rösler-Gelände bestehen und daher als (temporär) „Leerstehend“ gekennzeichnet sind. Insbesondere im süd-westlichen Neubaugebiet in Waldniel ist zu erkennen, dass die Neubauten dort primär durch Wärmepumpen versorgt werden.

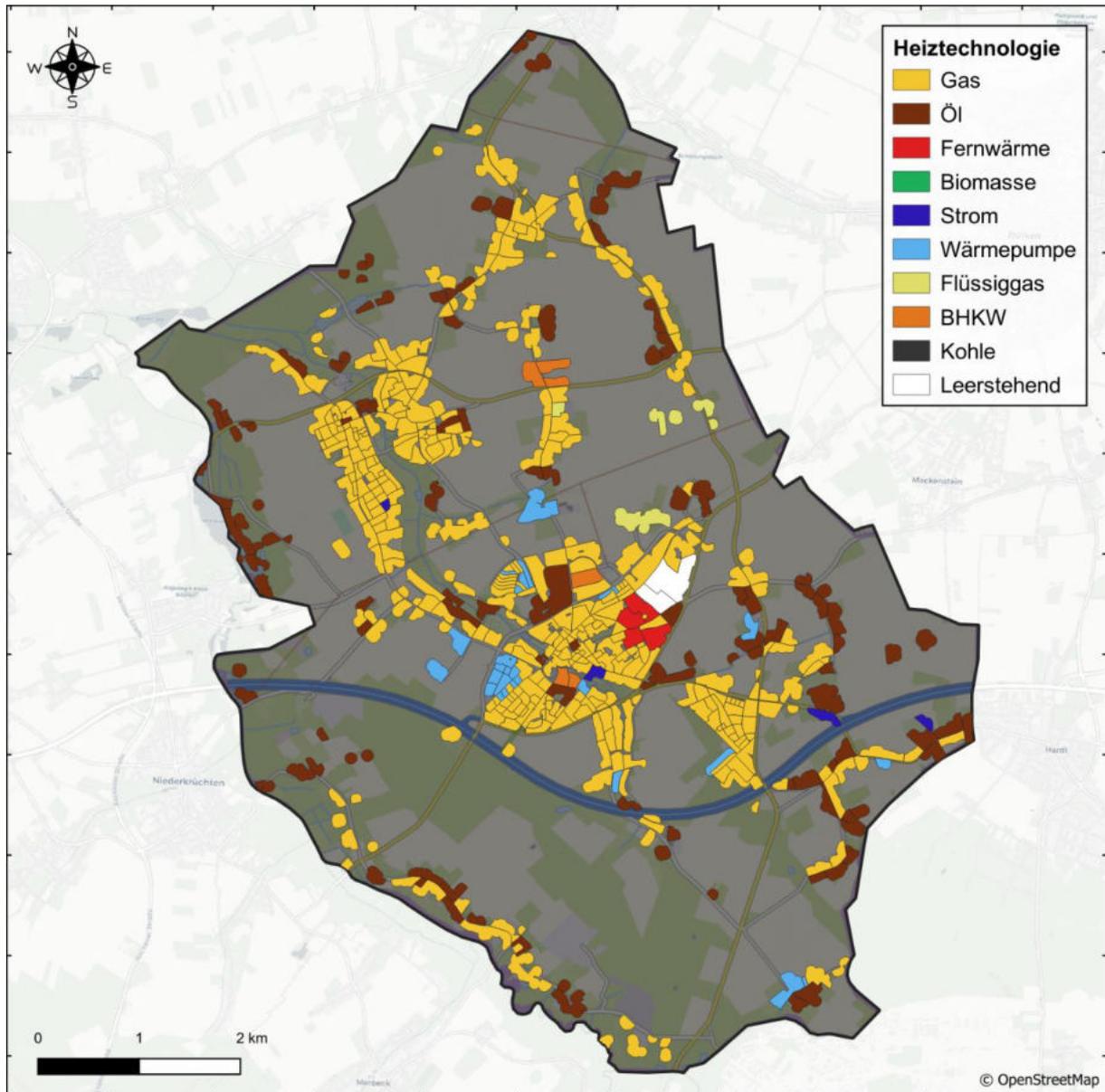


Abbildung 16: Heiztechnologie mit dem höchsten Anteil an der Wärmeerzeugung im jeweiligen Baublock

### Gebäudetypen

Fast die Hälfte des Wärmebedarfs ist durch Einfamilien- (35 %) und Reihenhäuser (13 %) bedingt. Hier könnte sich vor allem die Umstellung auf eine dezentrale Wärmeversorgung mit Wärmepumpen, Biomasseheizungen oder Hybridlösungen als Option für eine effiziente und nachhaltige Deckung des Wärmebedarfs erweisen. Gleichzeitig sind Maßnahmen zur energetischen Sanierung dieser Gebäude wichtig, um den Wärmebedarf langfristig zu senken. Etwa ein Drittel des Wärmebedarfs ist auf GHD-Gebäude (31 %) zurückzuführen, obwohl diese nur 9 % der Gebäude ausmachen. Da diese Gebäude oft einen höheren und gleichmäßigeren Wärmebedarf haben, könnten sie sich auch für zentrale Wärmelösungen wie Nah- oder Fernwärmenetze oder betriebliche Eigenversorgungslösungen (z. B. Abwärmenutzung oder Blockheizkraftwerke) eignen. Der Rest des Wärmebedarfs ist durch Mehrfamilienhäuser (19 %) und wenige große Mehrfamilienhäuser (2 %) bedingt (Abbildung 17). Diese sind i. d. R. potenzielle Kandidaten für Wärmenetze, da die hohe Wärmedichte eine wirtschaftliche Netzinfrastruktur ermöglichen könnte.

## Wärmebedarf der Gebäudetypen

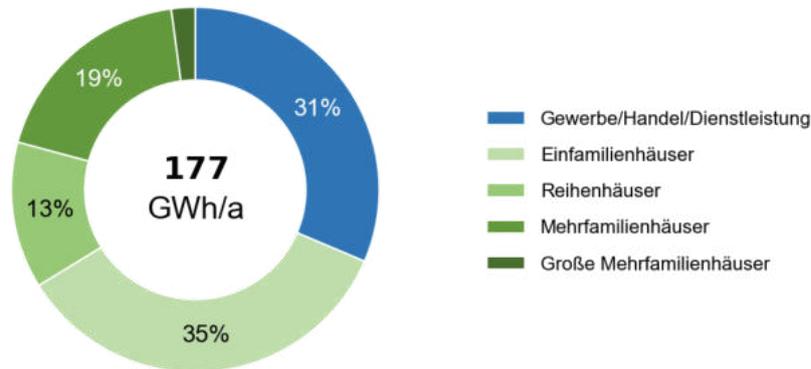


Abbildung 17: Anteil der Gebäudetypen am Gesamtwärmebedarf

### Nutzenergietypen

Bei der Aufteilung des Wärmebedarfs in die Nutzenergiearten ist zu sehen, dass der Raumwärme mit 86 % der größte Anteil zuzuordnen ist. Der Warmwasserbedarf liegt bei 10 %. Nur 4 % des Wärmebedarfs werden für Prozesse benötigt und unterliegen somit potenziell individuellen Anforderungen wie ein hohes Temperaturniveau ( $> 100\text{ °C}$ ) (vgl. Abbildung 18).

### Nutzenergieart

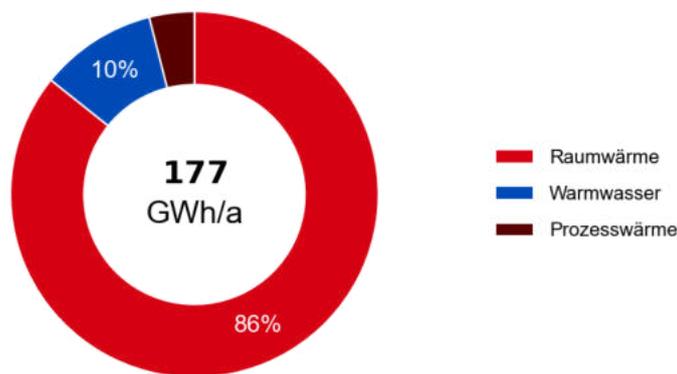


Abbildung 18: Gesamtwärmebedarf nach Nutzenergiearten

### 5.2.4 Wärmedichte

Die Wärmebedarfsdichte und die Wärmelinien-dichte sind zwei wichtige Indikatoren bei der initialen Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen. Es ist jedoch anzumerken, dass die Beurteilung über die Eignung zu einem Wärmenetzgebiet in jedem Fall eine Detailanalyse benötigt, bei der u. a. nicht nur der gegenwärtige Wärmebedarf, sondern auch der zukünftige Wärmebedarf in Betracht gezogen wird. Zudem ist neben der Analyse der Wärmesenken auch die Betrachtung der Wärmequellen vorzunehmen. Dies ist insbesondere Gegenstand der Potenzialanalyse.

Gemäß dem Wärmeplanungsleitfaden der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA-BW) erweisen sich Gebiete mit einer Wärmedichte ab  $415\text{ MWh/ha}\cdot\text{a}$  als potenziell für Wärmenetze geeignet [41]. Aktuelle Analysen weisen dahingegen auf einen möglichen wirtschaftlichen Wärmenetzbetrieb erst oberhalb von  $600\text{ MWh/ha}\cdot\text{a}$  hin [42].

Bei der Betrachtung der Wärmebedarfsdichte (Abbildung 19) ist zu sehen, dass nur sehr punktuell Wärmedichten oberhalb von 600 MWh/ha\*a erreicht werden. Diese erste Analyse deutet also darauf hin, dass ein ansatzweise flächendeckendes Wärmenetz für Schwalmtal aufgrund der strukturellen Gegebenheiten keine Option darstellen dürfte.

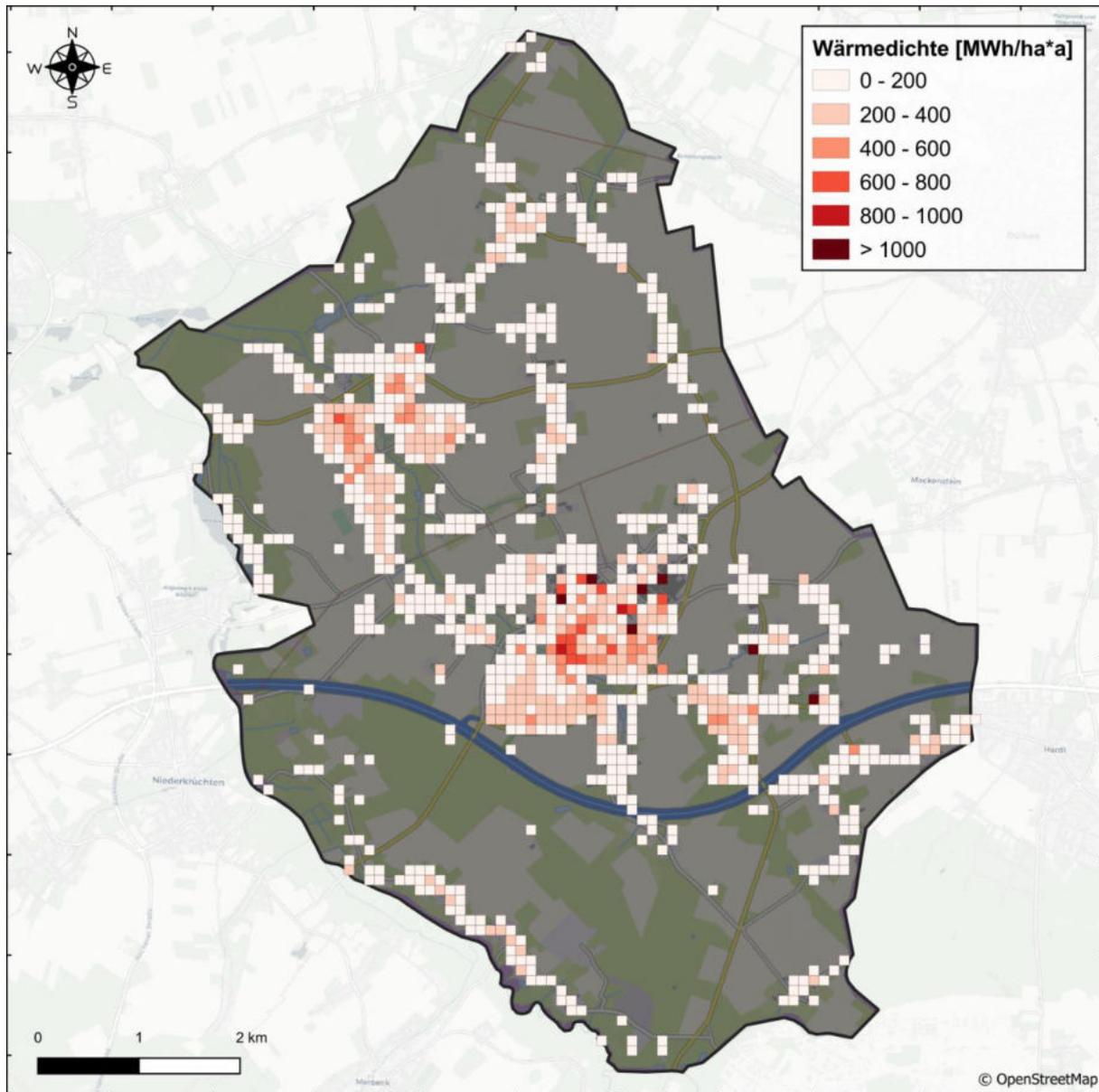


Abbildung 19: Wärmebedarfsdichte im Status-Quo

Die Wärmelinienendichte ist definiert als Wärmebedarf, der je Längeneinheit Straße bzw. Wärmenetz in den angrenzenden Gebäuden anfällt. Sie erlaubt i. d. R. zuverlässigere Abschätzungen der Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen, da diese die benötigte Länge der Leitungen, welche sich ebenfalls am Straßennetz orientieren, besser berücksichtigt. Auch bei der Wärmelinienendichte gilt, dass sich ein Gebiet bzw. Straßenzug je geeigneter für ein Wärmenetz erweist, desto höher die Wärmedichte ist. Aktuelle Analysen betrachten Straßenzüge ab einer Wärmelinienendichte oberhalb von 3 MWh/m\*a als tendenziell geeignet [42]. Die in Abbildung 20 dargestellten Wärmelinienendichten weisen erwartungsgemäß

tendenziell in mit der Wärmebedarfsdichte übereinstimmenden Gebieten hohe Wärmebedarfsdichten auf.

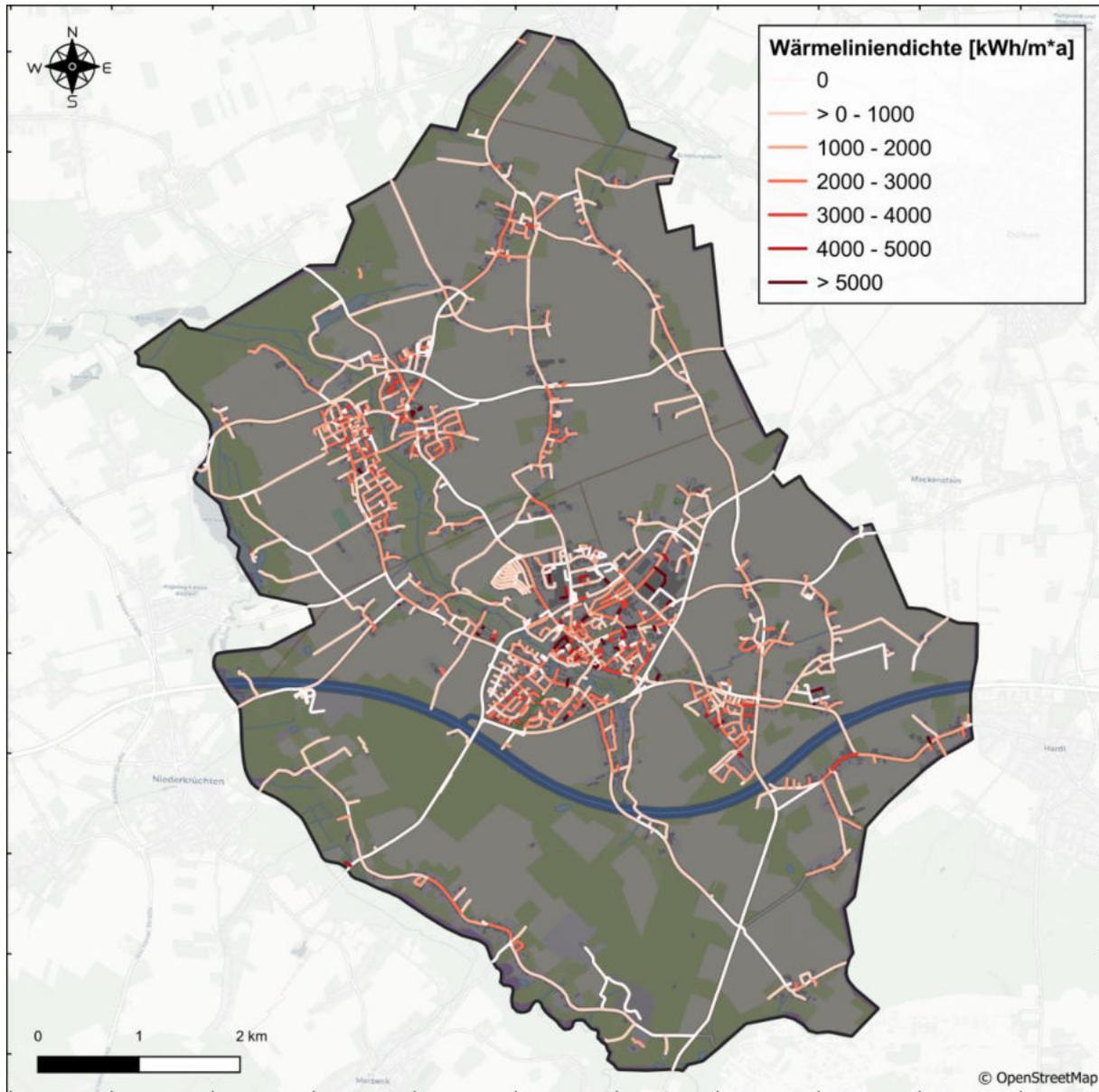


Abbildung 20: Wärmelinien-dichte im Status-Quo

Großverbraucher wie industrielle Betriebe, Krankenhäuser oder öffentliche Einrichtungen wie Schulen, Verwaltungsgebäude oder Schwimmbäder können eine zentrale Rolle beim Aufbau von Wärmenetzen spielen, da sie durch ihren konstant hohen Wärmebedarf als Ankerkunden dienen können. Ihr Wärmeverbrauch gewährleistet eine effiziente Auslastung von Erzeugungsanlagen und bietet wirtschaftliche Planungssicherheit. Insbesondere bei gewerblichen Ankerkunden besteht allerdings das Risiko, dass im Falle von Betriebsverlagerungen oder Schließungen ein signifikanter Teil der Nachfrage entfällt, was die langfristige Wirtschaftlichkeit und Stabilität des Wärmenetzes gefährden könnte.

In Schwalmtal gibt es einen Großverbraucher im nördlichen Gewerbegebiet von Waldniel, der mehr als 3 GWh/a Wärme benötigt (Abbildung 21).

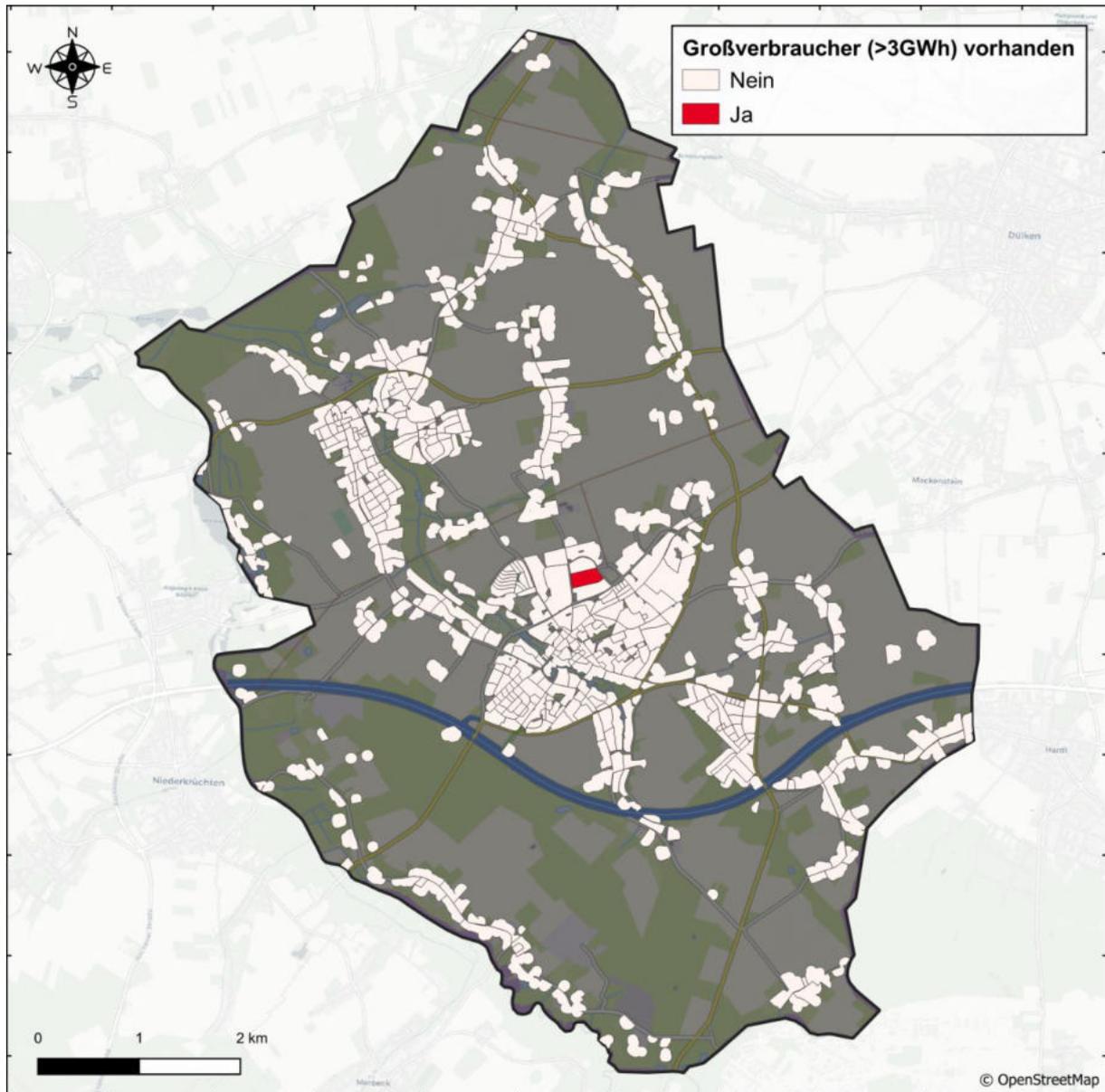


Abbildung 21: Baublöcke mit Verbraucher > 3GWh/a

## 5.2.5 Versorgungsstruktur

### Gasnetz

Die NEW Netz GmbH ist der regionale Netzbetreiber und betreibt ein Gasverteilnetz, das u. a. auch das Gemeindegebiet von Schwalmtal umfasst. Innerhalb von Schwalmtal weist dieses Netz eine Trassenlänge von rund 133 km auf (ohne Hausanschlussleitungen). Die Anzahl der mit Gas versorgten Gebäude liegt bei knapp 4.400 (das entspricht einem Anteil von 67 %, siehe auch Abbildung 13). Die nachfolgende Karte zeigt, in welchen Baublöcken in Schwalmtal Gas - in mindestens einem der Gebäude - vorhanden ist. Im Rahmen der vorliegenden kommunalen Wärmeplanung wird unter Berücksichtigung des Ziels der Klimaneutralität in Deutschland angenommen, dass im Jahr 2045 keine Versorgung mit fossilem Erdgas über das Gasnetz in Schwalmtal erfolgen wird. Dementsprechend wird es erforderlich sein, dass alle Gebäude, die derzeit mit Gas beheizt werden, bis zu diesem Zeitpunkt auf alternative Heiztechnologien umstellen. Wasserstoff und Biomethan gelten als mögliche „grüne“ Moleküle für die Transformation der Gasnetze hin zu einer klimaneutralen Energieversorgung. Die Integration dieser

Energieträger in die Gasnetze erfordert jedoch u. a. eine koordinierte Planung und Investitionen in die Infrastruktur. Zudem wird z. B. von der Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. die Verwendung von Wasserstoff zur Gebäudebeheizung aufgrund der geringen Verfügbarkeit sowie die hohen Kosten kritisch gesehen [45]. Und zur Deckung eines zukünftig höheren Bedarfs an Biomethan, das bisher für die Wärmeversorgung mit einem Anteil von 2 % im Jahr 2022 nur eine nachgelagerte Rolle spielt, müssten bestehende Biomethanpotenziale aus Reststoffen besser genutzt wie auch Importe aus dem Ausland deutlich erhöht werden [46].

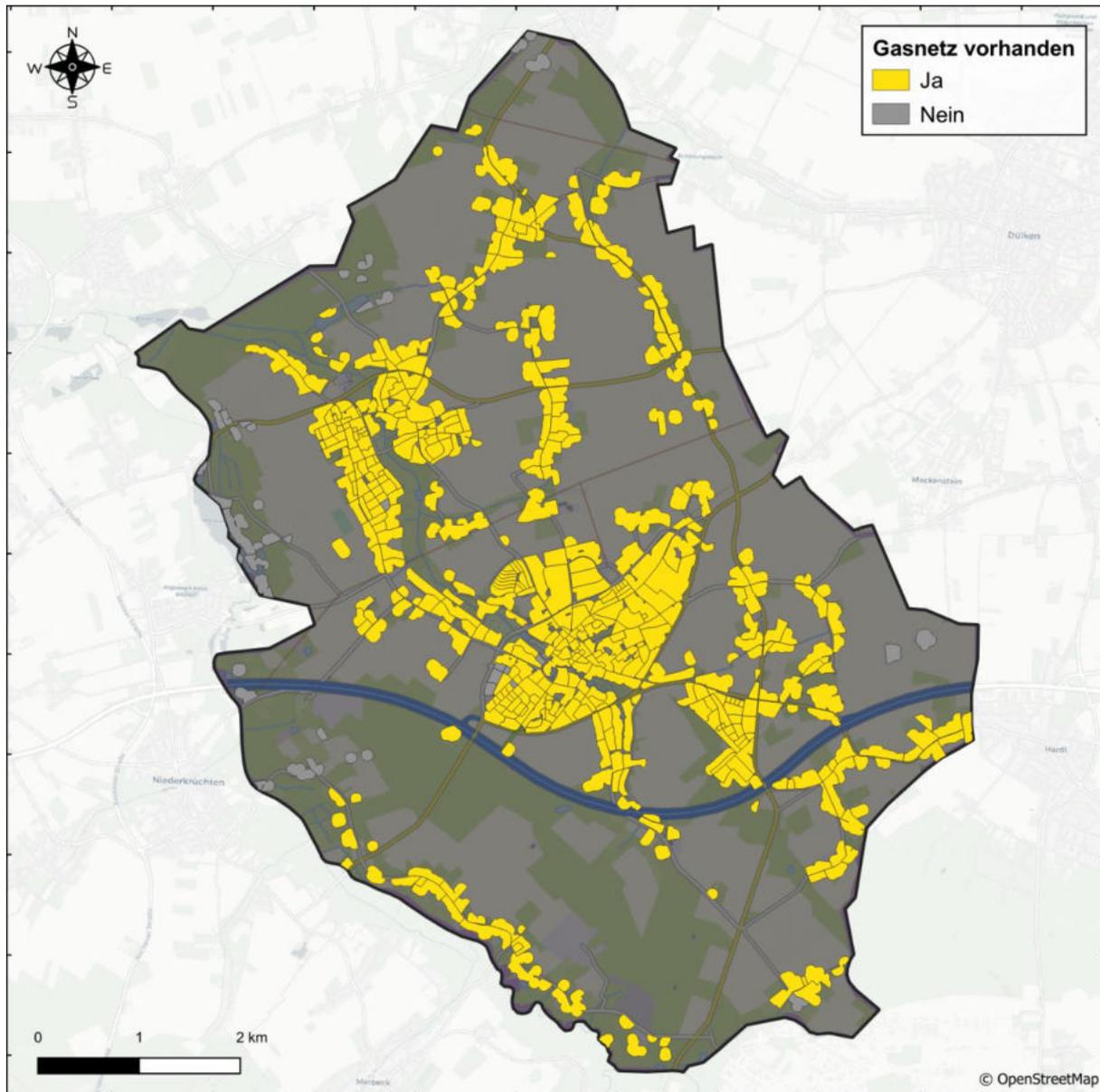


Abbildung 22: Baublöcke mit einem Anschluss ans Gasnetz

### Wärmenetz

Die Loick Bioenergie GmbH betreibt ein Wärmenetz in der Gemeinde Schwalmtal, welches eine Länge von rund 3 km aufweist. Das Netz wurde ursprünglich in den Jahren 2009/2010 in Betrieb genommen und wurde in den letzten Jahren teilweise erneuert und erweitert. Es wird mit einer Vorlauftemperatur von bis zu knapp 90 °C betrieben (im Bereich der Sporthalle bei 45-50 °C). Rund 20 Gebäude im Bereich des Schulzentrums in Waldniel werden über dieses Wärmenetz versorgt. Die nachfolgende Karte zeigt,

in welchen Baublöcken in Schwalmtal ein Wärmenetzanschluss - in mindestens einem der Gebäude - vorhanden ist. Die Wärme wird in zwei Biogasanlagen in der Gemeinde Schwalmtal erzeugt.

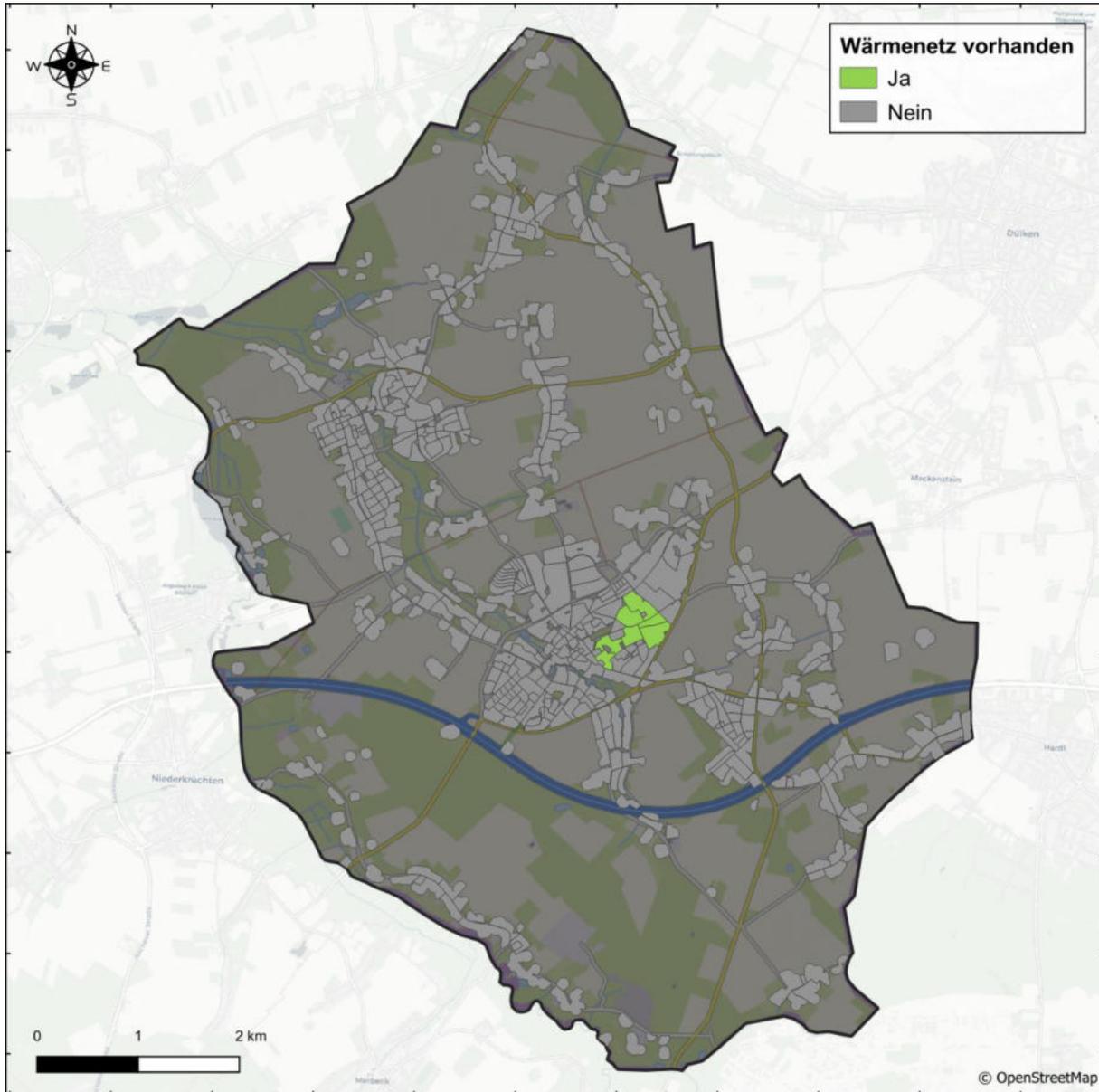


Abbildung 23: Baublöcke mit einem Anschluss ans Wärmenetz

### Erzeugungsanlagen Fernwärme

Tabelle 3: Wärmeeerzeugungsanlagen für das Wärmenetz

Standort	Typ	Elektr. Leistung [kW]	Inbetriebnahme
Schulgelände	BHKW (Biogas)	716	2009/2010
Berg/Eicken	BHKW (Biogas)	716	2023

## Gas- und Wärmespeicher

In Schwalmtal sind nach aktueller Kenntnis keine Groß-Gas- oder -Wärmespeicher existent oder geplant.

## Elektrolyse

Die Elektrolyse ist ein Verfahren zur Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mithilfe von elektrischem Strom. Der Wasserstoff kann als Energiespeicher oder -träger genutzt werden, etwa für die Erzeugung von Wärme oder Strom, u. a. dann auch als „grünes Gas“ im Rahmen der bestehenden Gasnetzinfrastruktur. Der Einsatz von Wasserstoff im Gebäudesektor wird im Rahmen der vorliegenden Wärmeplanung allerdings kritisch gesehen [45]. In Schwalmtal sind nach aktueller Kenntnis keine Elektrolyseure existent oder geplant.

### 5.2.6 Energie- und Treibhausgasbilanz

Endenergie bezeichnet die Energie, die einem System zugeführt wird, während die Nutzenergie die tatsächlich genutzte Energie ist, die für den spezifischen Zweck wie etwa Heizung oder Warmwasseraufbereitung zur Verfügung steht. Der Prozess der Umwandlung hängt von verschiedenen technischen Faktoren ab, wobei bestimmte Parameter wie z. B. die Effizienz des (Heizungs-)Systems und die Art der eingesetzten Technologie einen fixen Rahmen vorgeben. Der Endverbraucher trägt die Kosten für die Endenergie, obwohl ihm nur die Nutzenergie zur Verfügung steht. Dies bedeutet, dass die Effizienz der eingesetzten Technologie einen direkten Einfluss auf die Kosten der Wärmeversorgung hat. Eine höhere Effizienz reduziert den Endenergieverbrauch und macht die Technologie im laufenden Betrieb wirtschaftlicher. Dieser Aspekt ist insbesondere für den Betrieb von Wärmepumpen von Bedeutung, da sie durch ihre hohe Effizienz sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile bieten.

Die gesamte benötigte Endenergie zur Wärmebedarfsdeckung in Schwalmtal beträgt 186 GWh/a. Diese teilt sich, wie in Abbildung 24 dargestellt, auf die einzelnen Energieträger auf. Gas macht mit 64 % den größten Anteil aus, gefolgt von Öl mit 24 %. Etwa 2 % des Endenergiebedarfs sind auf Fernwärme zurückzuführen (rund 4,5 GWh/a). Die sonstigen Energieträger Biomasse, Strom, Flüssiggas, Umwelt (Luft) und Geothermie machen dementsprechend insgesamt 12 % aus.

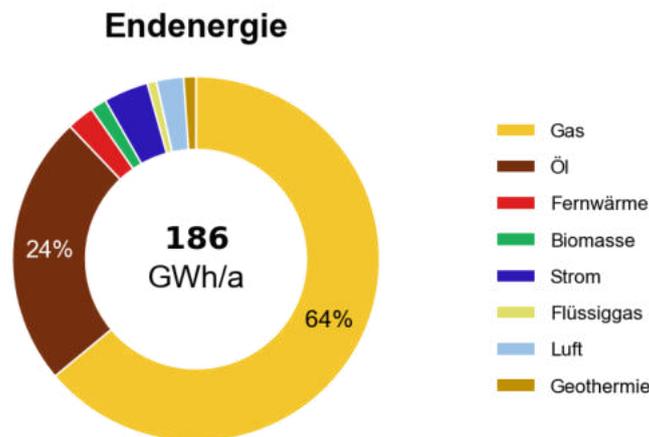


Abbildung 24: Gesamtendenergiebedarf der Gemeinde Schwalmtal nach Energieträgern

8 % des Endenergiebedarfs Schwalmtals sind bereits erneuerbar (vgl. Abbildung 25). Biomasse, Umwelt (Luft) und Geothermie zählen als vollständig erneuerbare Energieträger. Für Strom wird angenommen, dass 51,8 % des Stromverbrauchs erneuerbar sind (entspricht dem Anteil erneuerbarer Energien an der deutschen Bruttostromerzeugung im Jahr 2023) [2].

## Erneuerbare Wärme

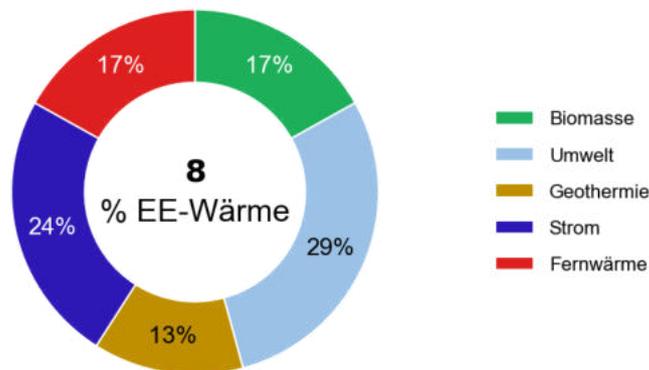


Abbildung 25: Anteil erneuerbarer Energie am Gesamtenergiebedarf

Bei Fernwärme beträgt der Anteil erneuerbarer Energie entsprechend dem Anteil von Biogas in der Wärmeerzeugung 60 % (vgl. Abbildung 26). Es gibt aktuell keine signifikante Nutzung von unvermeidbarer Abwärme.

## Zusammensetzung Fernwärme



Abbildung 26: Energieträger in der Fernwärme

Die gesamten durch den Endenergiebedarf für Wärme auftretenden Emissionen liegen bei 47.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr (= 47 kt CO<sub>2</sub>e/a, siehe Abbildung 27). Dies entspricht rund 2,5 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Einwohner in der Gemeinde. Gas macht mit 61 % auch hier den größten Teil aus. Öl, welches einen hohen Emissionsfaktor aufweist (vgl. Tabelle 4), trägt mit 29 % fast ein Drittel zu den Gesamtemissionen bei. Biomasse, Fernwärme und Flüssiggas tragen zusammen nur zu 2 % der Emissionen bei. Für die Ermittlung der durch Strom verursachten Emissionen im Status-Quo wurde unter Zugrundelegung des KWW-Technikkatalog ein Emissionsfaktor von 499 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro MWh angesetzt [31], sodass rund 8 % der Emissionen auf den Stromverbrauch zur Wärmegewinnung bedingt sind. Dieser Emissionsfaktor gemäß KWW-Technikkatalog basiert auf dem deutschen Strom-Mix. Zukünftig wird diesbezüglich aufgrund der zunehmenden Dekarbonisierung bei der Produktion und Effizienzfortschritten von einem kontinuierlichen Absinken ausgegangen. In der Gemeinde Schwalmtal wird man sich jedoch aufgrund der insgesamt 13 Windenergieanlagen nach planmäßiger Inbetriebnahme der letzten Anlagen ab Mitte 2025 bei regionaler Betrachtung auf die Emissionen beim Strombezug schon frühzeitig vergleichsweise besserstellen können.

### Emissionen

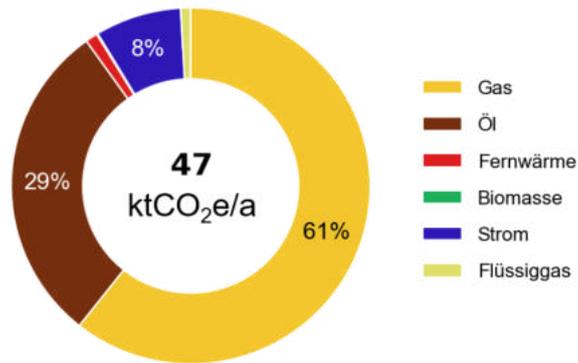


Abbildung 27: Gesamtemissionen des Wärmesektors Schwalmtals nach Energieträgern

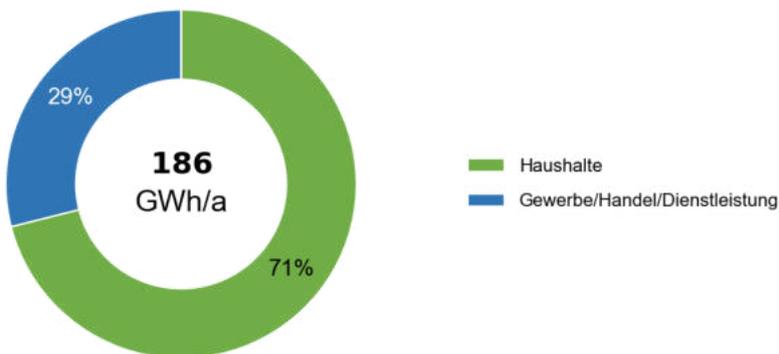
Die verwendeten Emissionsfaktoren wurden dem KWW-Technikkatalog entnommen [29]. Für Fernwärme wurde der Emissionsfaktor individuell auf Basis der oben dargestellten Zusammensetzung der Energieträger von Fernwärme ermittelt.

Tabelle 4: Emissionsfaktoren [29]

Energieträger	Emissionsfaktor [kg CO <sub>2</sub> -eq./MWh]
Strom	499
Öl	310
Flüssiggas	276
Gas	240
Biogas	100
Fernwärme	156
Biomasse	20

Sowohl beim Endenergiebedarf als auch bei den verursachten Emissionen ist der Großteil mit 71 % auf Haushalte zurückzuführen (Abbildung 28).

### Endenergie je Sektor



### Emissionen je Sektor

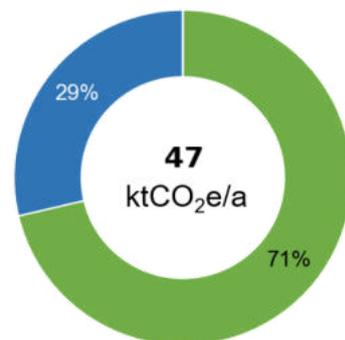


Abbildung 28: Gesamtendenergiebedarf und Gesamtemissionen der Sektoren

## 6 Potenzialanalyse

Im Rahmen der Potenzialanalyse wird eine umfassende Bewertung der zukünftigen Möglichkeiten zur Wärme­gewinnung durch erneuerbare Energien und Energieeinsparung vorgenommen. Kapitel 6.1 erläutert die methodischen Ansätze, die die Grundlage für die in Kapitel 6.2 dargestellten Ergebnisse bilden, und beschreibt die Herangehensweise zur Identifikation und Bewertung der Potenziale. Auch die gewonnenen Erkenntnisse aus der Potenzialanalyse dienen als Entscheidungsgrundlage für die weiteren strategischen Planungen für die Transformation der Wärmeversorgung in der Gemeinde Schwalmtal.

### 6.1 Methodisches Vorgehen der Potenzialanalyse

Das Ziel der Potenzialanalyse ist es, die Potenziale zur Wärmeerzeugung durch erneuerbare Energien und Einsparungspotenziale des Wärmeverbrauchs in der Gemeinde Schwalmtal quantitativ und räumlich differenziert zu erfassen. Bei den Potenzialen zur Wärmeerzeugung wird in der vorliegenden Wärmeplanung zwischen dezentralen Potenzialen und zentralen Potenzialen unterschieden [5]. Dezentrale Potenziale beschreiben in diesem Kontext Potenziale, die sich jeweils für ein einzelnes Gebäude ergeben wie eine Wärmepumpe oder eine Solarthermie-Dachanlage. Auch werden in diesem Zusammenhang die Potenziale zur Energieeinsparung durch Wärmebedarfsreduktion in den Gebäuden abgeschätzt. Zentrale Potenziale werden vorliegend als Potenziale verstanden, die keinem konkreten Gebäude zuzuordnen sind, sondern i. d. R. im Rahmen der Einspeisung von Wärme in ein Wärmenetz gehoben werden können wie tiefe Geothermie oder Solarthermie-Freiflächenanlagen.

Die Ermittlung des Potenzials erneuerbarer Energien basiert auf mehreren Stufen, die von der rein theoretischen Möglichkeit bis hin zur praktisch realisierbaren Nutzung reichen. Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung wird primär das technische Potenzial analysiert.

#### 1. Theoretisches Potenzial

Das theoretische Potenzial beschreibt die physikalisch vorhandenen Ressourcen in der Region. Dazu zählen bspw. die gesamte Strahlungsenergie der Sonne oder die verfügbare Windenergie über einer bestimmten Fläche innerhalb eines festgelegten Zeitraums. Es handelt sich dabei um die maximale Energiemenge, die unter idealen Bedingungen theoretisch genutzt werden könnten [5] [43].

#### 2. Technisches Potenzial

Das technische Potenzial ist eine Eingrenzung des theoretischen Potenzials durch Berücksichtigung der technologischen Möglichkeiten und rechtlichen Rahmenbedingungen [5] [43]. Es stellt die Obergrenze der tatsächlich nutzbaren Energie dar und wird in zwei Kategorien unterteilt:

- Potenzial: Potenzialflächen, auf denen kein Hindernis durch harte (technisch/rechtlich bindende) oder weiche (politisch oder planerisch beeinflusst) Restriktionen besteht
- Eingeschränktes Potenzial (Vorbehalt): Potenzialflächen, auf denen keine harten, aber weiche Restriktionen bestehen (z. B. Landschaftsschutzgebiet)

#### 3. Wirtschaftliches Potenzial

Das wirtschaftliche Potenzial ergibt sich aus einer weiteren Eingrenzung des technischen Potenzials unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit. Hier fließen Faktoren wie Bau-, Erschließungs- und Betriebskosten sowie die erzielbaren Energiepreise ein [5] [43].

#### 4. Realisierbares Potenzial

Das realisierbare Potenzial, auch „praktisch nutzbares Potenzial“ genannt, berücksichtigt zusätzliche Faktoren, die die tatsächliche Umsetzbarkeit beeinflussen. Dazu gehören gesellschaftliche Akzeptanz, raumplanerische Abwägungen bei Flächenkonkurrenzen und kommunale Prioritäten. Dieses Potenzial stellt die tatsächlich erreichbare Nutzung erneuerbarer Energien dar [5] [43].

Im Folgenden werden zunächst die zugrundeliegenden Daten erläutert und anschließend die Verfahren zum Ableiten der relevanten Informationen aus diesen Daten beschrieben. Die Methodiken wurden vom Fraunhofer FIT in Zusammenarbeit mit dem IAEW der RWTH Aachen entwickelt und bereits für verschiedene andere Gemeinden im Kontext der kommunalen Wärmeplanung angewandt.

#### 6.1.1 Datengrundlage

##### Einsparpotenziale

Zur Ermittlung der Einsparpotenziale des Wärmebedarfs wurde insbesondere auf die TABULA-Datenbank zurückgegriffen [36]. Aus dieser Datenbank wurden Wärmedurchdringungskoeffizienten (U-Werte) entnommen, die dort für verschiedene Sanierungszustände von Typgebäuden, die nach Gebäudetyp und Baualtersklasse gegliedert sind, hinterlegt sind.

##### Dezentrale Potenziale

Die Potenzialanalyse für die dezentralen (gebäudebezogenen) Erzeugungspotenzial erneuerbarer Wärme baut auf der Gebäudedatenbank der Bestandsanalyse auf. Zur Ermittlung des Potenzials aus solarer Strahlungsenergie wird die Dachneigung sowie die Dachausrichtung aus dem 3D-Gebäudemodell der LoD2-Daten ermittelt. Zudem wird für jedes Gebäude das zugehörige Flurstück aus den ALKIS zugeordnet, um so den verfügbaren Platz je Gebäude abschätzen zu können. Zuletzt werden für die einzelnen Technologien Geoinformationen verwendet, die bundes- oder landesweit zur Verfügung stehen und Informationen über Ausschluss- bzw. Vorbehaltsflächen oder Ertragspotenziale geben (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Datengrundlage dezentrale Potenziale

Daten	Abgeleitete Informationen
Ergebnisse der Bestandsanalyse	Geolokation inkl. Hausumringe und Wärmebedarf
LoD2 [30]	Dachneigung und Dachausrichtung
ALKIS (Amtliches Liegenschaftskataster Informationssystem) [30]	Flurstücke
Wasserschutzgebiete [43]	Ausschluss- bzw. Vorbehaltsgebiete durch Wasserschutzgebiete
Leitfähigkeit Boden 100 m Tiefe [44]	Ertragsfähigkeit Erdwärmesonden
Entzugspotenzial oberflächennahes Erdreich [44]	Ertragsfähigkeit Erdwärmekollektoren

##### Zentrale Potenziale

Das allgemeine Vorgehen für die Bestimmung der meisten zentralen Potenziale baut auf einer GIS-Flächenanalyse auf. Dafür werden im Wesentlichen die Informationen zum Flächennutzungstyp aus

dem ALKIS sowie Informationen zu Schutzgebieten benötigt. Dazu kommen je nach analysierter Technologie weitere spezifische Informationen (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Datengrundlage zentrale Potenziale

Daten	Abgeleitete Informationen
ALKIS (Amtliches Liegenschaftskataster Informationssystem) [30]	Tatsächliche Flächennutzung
Schutzgebiete [43] [45]	Ausschluss- bzw. Vorbehaltsgebiete
Leitfähigkeit Boden 100 m Tiefe [44]	Ertragsfähigkeit Erdwärmesonden
Entzugspotenzial oberflächennahes Erdreich [44]	Ertragsfähigkeit Erdwärmekollektoren
Regionale Stakeholder	Abwärmepotenzial

### 6.1.2 Vorgehen Einsparpotenzial

Im ersten Teil der Potenzialanalyse werden die Einsparpotenziale analysiert. Primäres Ziel ist es eine realistisch-ambitionierte Prognose des zukünftigen Wärmebedarfs zu erstellen, da diese Werte in das Zielszenario der Wärmeplanung miteinfließen. Die Betrachtung des maximalen Potenzials wie z. B. eine Vollsaniierung jedes Gebäudes kann lediglich als Benchmark dienen.

Einspareffekte können in den Kategorien „Sanierung“, „Warmwasser“, „Prozesswärme“ und „Klimawandel“ erzielt werden. Die Modellierung dieser Kategorien wird im Folgenden genauer betrachtet. Um die Spannweite der Entwicklung abzubilden, werden verschiedene Szenarien betrachtet, auf die am Ende dieses Kapitels näher eingegangen wird.

#### Sanierung

Das im Wärmeplanungsgesetz des Bundes verankerte Zieljahr für die Dekarbonisierung des Wärmeversorgung ist das Jahr 2045. Auch die Potenziale zur Einsparung sollen entsprechend räumlich analysiert und dargestellt werden. Aus diesem Grund wird in der im Folgenden beschriebenen Modellierung gebäudescharf abgeschätzt, mit welchen Einsparungen durch Sanierung in der Gemeinde Schwalmtal zu rechnen ist. Es ist zu betonen, dass aus der im Modell getroffenen Auswahl von Gebäuden, welche wahrscheinlich saniert werden, weder ein Umsetzungsplan noch eine Pflicht oder Ähnliches entsteht. Vielmehr handelt es sich um eine Abschätzung, welche zwar auf Gebäudeebene durchgeführt wird, jedoch aufgrund der hohen Unsicherheit nur auf höheren Aggregationsebenen wie Baublöcken Aufschluss über die unterschiedliche räumliche Entwicklung geben soll.

Zur Bestimmung des Einflusses der Sanierung müssen die angenommene Sanierungsbreite sowie die Sanierungstiefe festgesetzt werden. Die zentrale Kenngröße der Sanierungsbreite ist die Sanierungsrate, welche hier gemäß nachstehender Formel definiert wird [46].

$$\text{Sanierungsrate} = \frac{\text{Bauteilfläche, an der Wärmeschutzmaßnahmen durchgeführt werden}}{\text{Gesamte thermische Hüllfläche des Gebäudebestands}}$$

In Abhängigkeit des Szenarios wird von einer Erhöhung der aktuellen Sanierungsrate, welche in Deutschland derzeit bei leicht unter 1 % liegt [19], für den Zeitraum 2025 bis 2045 ausgegangen.

Im Gegensatz dazu beschreibt die Sanierungstiefe, welcher energetischer Standard mit den Sanierungsmaßnahmen für die einzelnen Gebäude erreicht wird. Dieser wird im Folgenden auf den eines KfW-Effizienzhaus 70 festgelegt. Ausgenommen davon sind Baudenkmäler, an welche zur Erhaltung ihrer ursprünglichen Form geringere Sanierungsanforderungen gestellt werden. Da im Rahmen der Wärmeplanung nicht jedes Baudenkmal individuell berücksichtigt werden kann, wird pauschal davon ausgegangen, dass bei diesen die Außenwand und infolgedessen auch die Fenster nur im reduzierten Umfang energetisch saniert werden können.

Die Auswahl der zu sanierenden Gebäude wird anhand des Einsparpotenzials von Sanierungsmaßnahmen und der damit verbundenen Kosteneffizienz getroffen.

Wie im Rahmen der Bestandsanalyse beschrieben, wurden jedem Gebäude U-Werte für die 4 Komponenten Fassade, Dach, Fenster und Bodenplatte zugeordnet. In Folge kann jedes dieser Bauteile auf den U-Wert eines KfW-Effizienzhaus 70 saniert werden. Dies kann in sämtlichen Kombinationen durchgeführt werden (z. B. nur Dach oder Dach, Fassade und Fenster), sodass sich insgesamt 16 mögliche Sanierungszustände für jedes Gebäude ergeben. Der ausgewählte Sanierungszustand ergibt sich aus einer Betrachtung der Kosteneffizienz der Einspareffekte.

Die Auswahl der zu sanierenden Gebäude sowie die Wahl der zu sanierenden Bauteile erfolgt für jedes Jahr der Modellierung, bis die jeweilige Sanierungsrate erreicht ist. Dabei kann ein Gebäude mehrfach ausgewählt werden, sodass bspw. zunächst nur Dach und Fenster und in darauffolgenden Jahren die weiteren Bauteile saniert werden.

### **Warmwasser**

Es wird von einer pauschalen Reduktion des Warmwasserbedarfs von 10 % bis zum Zieljahr 2045 ausgegangen. Diese Annahme ist zum einen durch zu erwartende Effizienzgewinne bei den installierten Warmwasserspeichern zu begründen und zum anderen durch gesteigerte Suffizienz [47]. Die Suffizienz bezeichnet dabei einen Ansatz zur Ressourcenschonung, die auf bewussten Verzicht und maßvollen Konsum bzw. Verbrauch setzt, während die Effizienz auf den optimierten Ressourceneinsatz durch bessere Technologien fokussiert. In der Modellierung steigen die Effizienzgewinne linear zwischen dem Status-Quo und dem Zieljahr 2045.

### **Prozesswärme**

Es wird von einer pauschalen Reduktion des Prozesswärmebedarfs von 10 % bis zum Zieljahr 2045 ausgegangen. Wie auch beim Warmwasser ist diese Annahme zum einen durch zu erwartende Effizienzgewinne zu begründen und zum anderen durch gesteigerte Suffizienz [48]. Mögliche Maßnahmen sind u. a. eine konsequente Dämmung von Wärmeleitungen oder auch die gezielte Nutzung von Regeneratoren bzw. Rekuperatoren für die Wärmerückgewinnung von kontinuierlichen und diskontinuierlichen Prozessen [29]. In der Modellierung steigen die Effizienzgewinne linear zwischen dem Status-Quo und dem Zieljahr 2045.

### **Klimawandel**

Im Rahmen der vorliegenden Modellierung wird angenommen, dass es auch aufgrund des fortschreitenden Klimawandels zu einer Reduktion des Raumwärmebedarfs kommen wird. Dabei wird der Einfluss der Klimaerwärmung mit Hilfe der Entwicklung der Gradtagzahlen abgeschätzt. Gradtagzahlen sind ein Maß für den Heizbedarf in Gebäuden. Sie geben an, wie stark und wie lange die Außentemperatur unter einer festgelegten Raumtemperatur liegt. Die Gradtagzahl für einen bestimmten Tag be-

rechnet sich, indem man die Differenz zwischen der Innentemperatur und der durchschnittlichen Außentemperatur des Tages ermittelt, sofern die Außentemperatur unterhalb des Heizgrenzwertes (meist 15°C) liegt. Anschließend werden die Gradtagzahlen für das gesamte Jahr aufsummiert [53]. In Abbildung 29 ist die Entwicklung der Gradtagzahlen für den Standort Schwalmtal seit 1990 abgebildet.

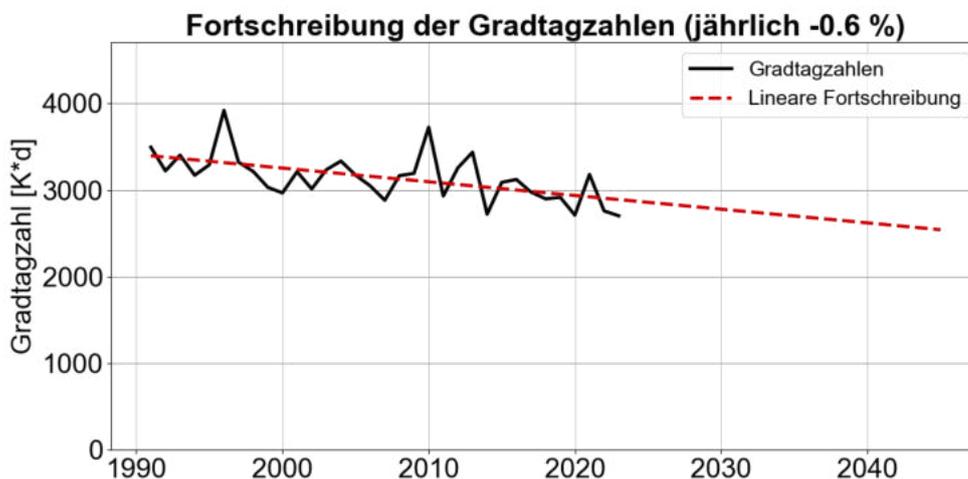


Abbildung 29: Gradtagzahlen in Schwalmtal seit 1990 und lineare Fortschreibung bis zum Zieljahr

Die Trendlinie der Gradtagzahlen zeigt einen Rückgang um durchschnittlich 0,6 Prozentpunkte pro Jahr. Bei linearer Fortschreibung bis zum Zieljahr entspricht dies einer Reduktion des Raumwärmebedarfs um rund 12 %. Der tatsächliche Einfluss des Klimawandels auf den Raumwärmebedarf ist Gegenstand aktueller Forschung und unterliegt Unsicherheiten [49]. Bspw. wirkt eine potenzielle Abschwächung des Golfstroms der Klimaerwärmung in Europa entgegen ([50], [51]), weswegen hier nicht von einer linearen Fortschreibung der Gradtagzahlen ausgegangen wird. Infolge wird von einer Reduktion des Raumwärmebedarfs bis 2045 von insgesamt 5 % ausgegangen.

### Zusammenfassung der Szenarien

Es werden die Szenarien „geringe Einsparungen“, „mittlere Einsparungen“ und „hohe Einsparungen“ betrachtet. Das mittlere Szenario soll als Referenz für die Erstellung des Zielbildes dienen und somit das wahrscheinliche Szenario darstellen. Die Szenarien unterscheiden sich lediglich in der angenommenen Sanierungsrate, da diese den größten beeinflussbaren Hebel darstellt. Alle Effekte beziehen sich auf den Zeitraum vom Status-Quo bis zum Jahr 2045. Die Parametrierung kann Tabelle 7 entnommen werden.

Tabelle 7: Szenarienübersicht für das Energieeinsparpotenzial

Einflussfaktor	Szenario		
	„Geringe Einsparungen“	„Mittlere Einsparungen“	„Hohe Einsparungen“
Sanierungsquote	1,0 %	1,5 %	2,0 %
Raumwärmebedarf durch Klimawandel	-5 %	-5 %	-5 %
Prozesswärme	-10 %	-10 %	-10 %
Warmwasser	-10 %	-10 %	-10 %

### 6.1.3 Vorgehen dezentrale Potenziale

Für die Ermittlung der dezentralen Potenziale wurden zwei wesentliche Methoden angewandt, wobei zwischen Wärmepumpenpotenzialen und Solarpotenzialen unterschieden wird. Um das Potenzial je Gebäude für eine der betrachteten Wärmepumpen-Technologien zu ermitteln, wird für jedes Gebäude für die Aufstellung der Wärmepumpe der verfügbare Platz (unbebaute Fläche) auf dem betroffenen Flurstück analysiert und die maximal erzeugbare Wärmeleistung je Wärmepumpen-Technologie ermittelt. Sofern die potenziell erzeugbare Wärmeleistung die im Rahmen der Bestandsanalyse ermittelte Heizlast überschreitet, wird für dieses Gebäude ein Potenzial für die jeweilige Technologie ausgesprochen. Für die Potenzialanalyse von PV- und Solarthermie-Dachflächenanlagen wird der flächenspezifische Ertrag in Abhängigkeit der Neigung und Ausrichtung des Daches sowie der standortspezifischen Witterungsverhältnisse bestimmt. Da Objekte wie kleinere Dachgauben oder Schornsteine nicht in der Datenbasis enthalten sind, wird ein pauschaler Reduktionsfaktor von etwa 50 % zur Berücksichtigung des Einflusses auf die verfügbare Dachfläche angewandt.

### 6.1.4 Vorgehen zentrale Potenziale

Das Vorgehen für die Identifikation zentraler Potenziale kann in vielen Fällen auf die drei Schritte Flächenscreening, Flächenfilterung und Potenzialberechnung heruntergebrochen werden. In den ersten beiden Schritten werden mit Hilfe von GIS-Berechnungen Potenzialflächen ermittelt. Abschließend wird das Potenzial auf diesen Flächen abgeleitet.

#### 1. Flächenscreening

Im ersten Schritt werden alle relevanten Flächen im Betrachtungsgebiet ermittelt, auf denen Potenzial für die jeweiligen Technologien bestehen könnte. Dafür werden ALKIS-Daten verwendet, welche flächendeckend für NRW vorliegen und den Nutzungstyp einer Fläche angeben. Dabei wird bspw. zwischen den Kategorien „Landwirtschaft“, „Wohnbaufläche“ oder „stehendes Gewässer“ unterschieden.

#### 2. Flächenfilterung

In diesem Schritt wird die Potenzialfläche mit Hilfe von GIS-Operationen eingeschränkt, indem Flächen, welche durch Ausschluss- oder Abstandskriterien ermittelt werden, abgezogen werden. Dabei wird zwischen harten und weichen Ausschlusskriterien unterschieden. Harte Ausschlusskriterien bedingen einen vollständigen Ausschluss aus den Potenzialflächen. Durch weiche Ausschlusskriterien werden die Potenzialflächen mit einem Vorbehalt markiert. Außerdem werden die Potenzialflächen durch Abstandskriterien zu bestimmten Flächentypen gefiltert. Die meisten Ausschluss- oder Abstandskriterien werden durch Schutzgebiete bedingt. Diese werden im untenstehenden Abschnitt näher beschrieben. Je nach Typ und Technologie können Schutzgebiete harte oder weiche Ausschlusskriterien darstellen.

#### 3. Potenzialberechnung

Im abschließenden Schritt wird das Potenzial der betrachteten Technologie quantifiziert. Dafür wird die Energiemenge i. d. R. über einen flächenspezifischen Ertrag berechnet, der sich aus der jeweiligen Technologie sowie ggf. einem standortspezifischen Einflussfaktor ergibt. Andere Potenziale wie das Potenzial aus industrieller Abwärme enthalten nur den letzten Schritt der Potenzialberechnung, da ein konkreter Standort technologiebedingt bereits vorgegeben ist.

### Schutzgebiete

Ein wichtiger Schritt der Potenzialanalyse ist die anfängliche Identifikation von Flächen, welche die Umsetzung bestimmter Technologien einschränken oder ausschließen können. Zu diesen Flächen zählen u. a. Naturschutzgebiete, Wasserschutzgebiete und andere gesetzlich geschützte Bereiche (vgl. Abbildung 30). Diese wurden bei den nachfolgend dargestellten Potenzialerhebungen entsprechend berücksichtigt, sofern dies notwendig war, und werden im Folgenden näher erläutert.

*Fauna-Flora-Habitat-Gebiete (FFH-Gebiete)* gehören zusammen mit den Vogelschutzgebieten zu den Natura 2000-Gebieten, einem zusammenhängenden Netz von Schutzgebieten innerhalb der Europäischen Union. Sie dienen dem Erhalt gefährdeter Lebensräume sowie wildlebender Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse. Diese Gebiete sind strengen Schutzbestimmungen unterworfen, die Eingriffe in die Natur stark reglementieren. Sie spielen eine zentrale Rolle im europäischen Naturschutz und sollen langfristig die biologische Vielfalt bewahren [52].

*Naturschutzgebiete* sind gemäß § 23 Bundesnaturschutzgesetz besonders geschützte Flächen, die der Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung von Lebensräumen (Biotopen) und der daran gebundenen Tier- und Pflanzenarten dienen. Solche Gebiete sind häufig Rückzugsorte für bedrohte Arten und tragen zur Sicherung der biologischen Vielfalt bei. In Deutschland sind rund 6,5 % der gesamten Landesfläche als Naturschutzgebiete ausgewiesen. Jegliche Nutzung oder bauliche Veränderungen in diesen Gebieten unterliegen strengen gesetzlichen Vorgaben [53].

*Landschaftsschutzgebiete* sind rechtsverbindlich festgesetzte Gebiete, die gemäß § 26 Absatz 1 Bundesnaturschutzgesetz einem besonderen Schutz von Natur und Landschaft unterliegen. Sie werden eingerichtet, um die landschaftliche Schönheit, die Erholung der Bevölkerung oder die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts zu bewahren. Im Vergleich zu Naturschutzgebieten sind die Anforderungen weniger streng, dennoch müssen Eingriffe und Veränderungen genehmigt werden.

*Überschwemmungs(schutz)gebiete* sind Flächen, die bei extremen Hochwassern überflutet werden können. Sie spielen eine wichtige Rolle im Hochwasserschutz, da sie als natürliche Rückhalteräume dienen und so zur Entlastung von Fließgewässern beitragen. In diesen Gebieten gelten Nutzungsbeschränkungen, um die Hochwassersicherheit zu gewährleisten und Schäden zu minimieren [54].

*Vogelschutzgebiete* gehören ebenfalls zu den Natura 2000-Gebieten und dienen dem Schutz wildlebender Vogelarten und ihrer Lebensräume. Diese Gebiete sind von besonderer Bedeutung für Zugvögel und gefährdete Arten. Durch gezielte Schutzmaßnahmen wird sichergestellt, dass die Populationen stabil bleiben und sich in ihren natürlichen Lebensräumen entwickeln können [52].

*Wasserschutzgebiete* dienen dem Schutz von Grund- und Oberflächengewässern vor schädlichen Einflüssen. Sie werden ausgewiesen, um die Qualität von Trinkwasserquellen zu sichern und die Belastung der Gewässer durch Schadstoffe zu minimieren. In diesen Gebieten gelten strenge Regelungen, die den Umgang mit potenziell gefährdenden Stoffen wie Düngemitteln, Chemikalien oder Abwässern einschränken [55].

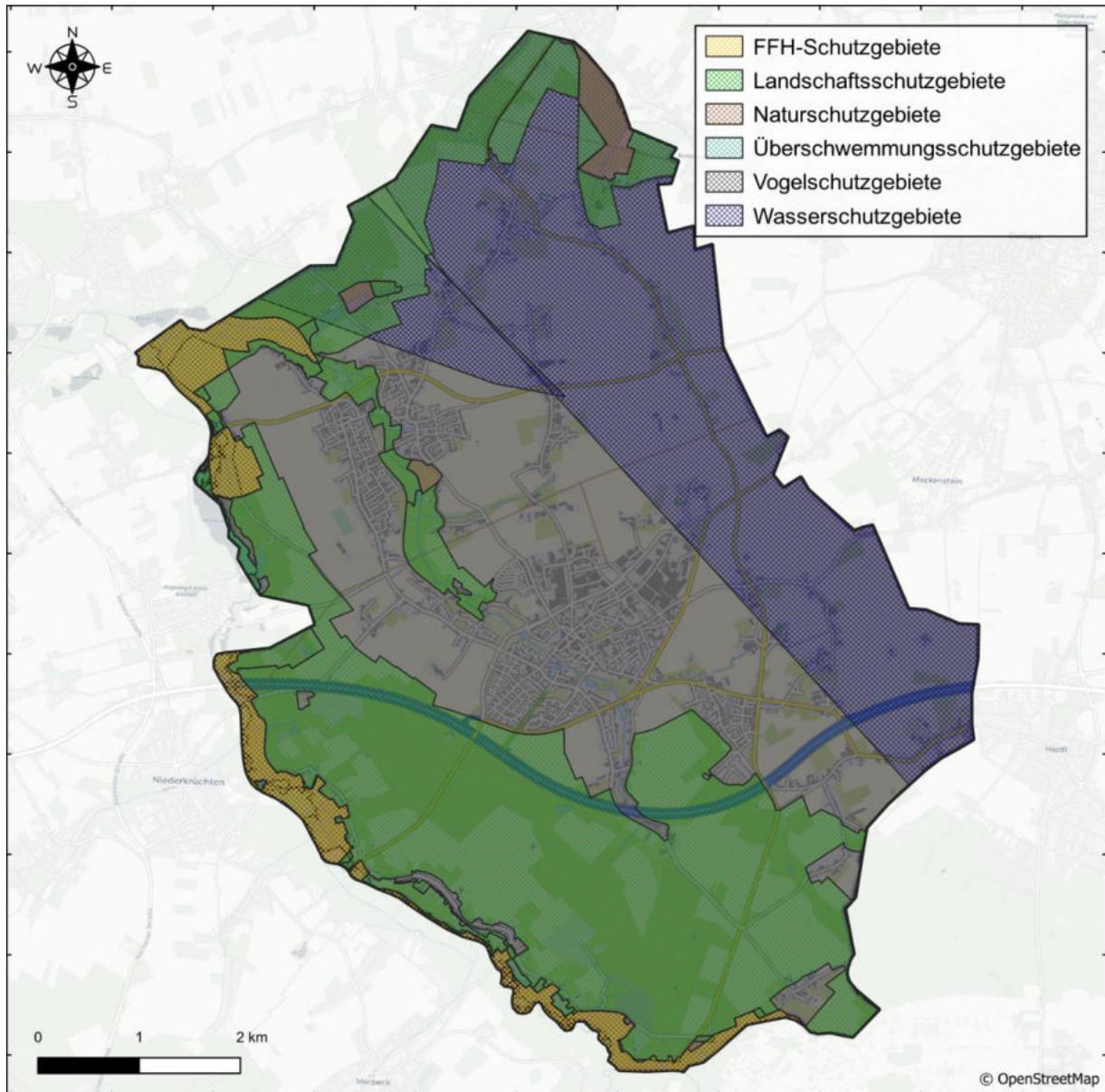


Abbildung 30: Schutzgebiete in Schwalmtal

## 6.2 Ergebnisse der Potenzialanalyse

In den folgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse bzgl. der Einsparpotenziale, der dezentralen Potenziale sowie der zentralen Potenziale systematisch dargestellt. In einem abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse zusammengefasst.

### 6.2.1 Einsparpotenziale

Wie im Rahmen der Beschreibung der Vorgehensweise skizziert, wurden drei verschiedene Szenarien für die Entwicklung des zukünftigen Wärmebedarfs in Schwalmtal betrachtet. Die Folgenden Darstellungen beziehen sich zunächst auf das realistisch-ambitionierte Szenario „mittlere Einsparungen“. Das Kapitel endet mit einem abschließenden Vergleich der drei Szenarien.

Insgesamt wird sich der Wärmebedarf bis zum Zieljahr 2045 von heute 177 GWh/a um rund 25 % auf 133 GWh/a reduzieren (vgl. Abbildung 31). Der weitaus größte Teil der Einsparungen kann durch eine energetische Sanierung der Gebäude erreicht werden. Insgesamt können dadurch 35 GWh/a des Wärmebedarfs eingespart werden. Hierfür ist eine durchschnittliche Sanierungsquote von 1,5 %/a erforderlich, was einem Anstieg heutiger Sanierungsquoten von etwas mehr als 50 % entspricht. Dadurch wird ein Fokus auf weiter steigende Handwerkskapazitäten unabdingbar.

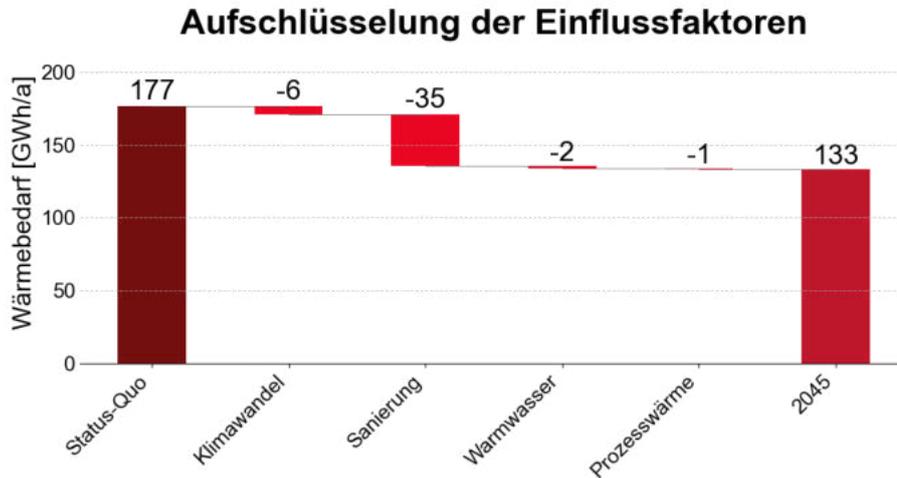


Abbildung 31: Aufschlüsselung der Einflussfaktoren im Szenario "mittlere Einsparungen"

In diesem Szenario kommt es zu Einsparungen beim Wärmebedarf durch den fortschreitenden Klimawandel um 6 GWh/a. Es ist anzumerken, dass dieser Wert einer hohen Unsicherheit unterliegt (vgl. Abschwächung des Nord-Atlantik-Stroms, Kapitel 6.1.2). Eine Erhöhung der Effizienz in Industrieprozessen wird Einsparungen um insgesamt nur rund 1 GWh/a zur Folge haben. Der effizientere und bewusster Umgang mit Warmwasser wird weitere 2 GWh/a einsparen. Der Abriss und Neubau von Nicht-Wohngebäuden sind bereits in den Sanierungsmaßnahmen impliziert berücksichtigt worden. Abbildung 32 ist zu entnehmen, dass der Wärmebedarf zunächst schnell und später verlangsamt rückläufig ist. Durchschnittlich sinkt der Wärmebedarf um etwas über 1 %/a. Dies liegt insbesondere daran, dass in der vorliegenden Modellierung zunächst die Gebäude mit dem höchsten Einsparpotenzial saniert werden.

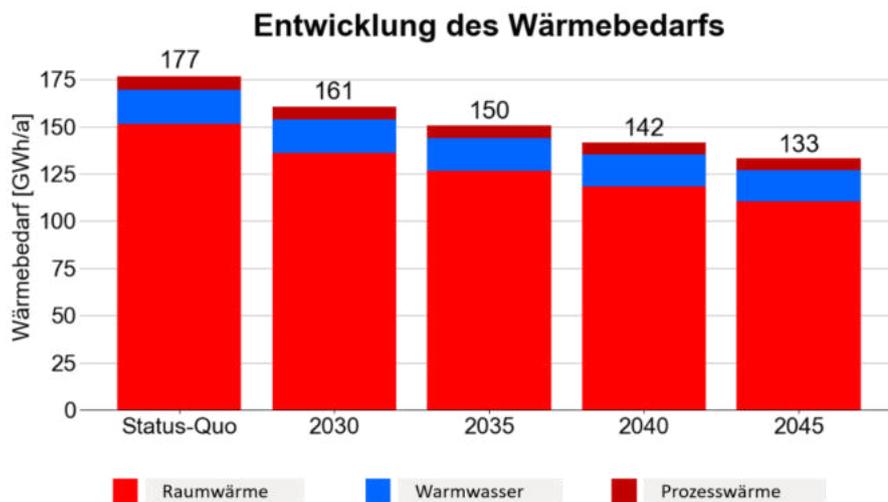


Abbildung 32: Entwicklung des Wärmebedarfs im Szenario "mittlere Einsparungen"

In der räumlich differenzierten Betrachtung des Einsparpotenzials ist nach Abbildung 33 zu erkennen, dass der Wärmebedarf je nach Baublock um bis zu 40 % zurückgehen wird. Die hohe Varianz zwischen den einzelnen Bezirken ist zum einen durch den Anteil von Raumwärmebedarf gegenüber dem Anteil von Prozesswärmebedarf zu begründen, da die Reduktion des Prozesswärmebedarfs in diesem Szenario auf 10 % limitiert ist. Dem gegenüber kann eine Sanierung deutlich höhere Einsparungen erzielen. Zum anderen ist die Varianz zwischen den einzelnen Bezirken durch den heutigen Sanierungsstand verursacht. Bspw. ist gut zu erkennen, dass in den Waldnieler Neubaugebieten kaum mehr Einsparpotenzial vorliegt.

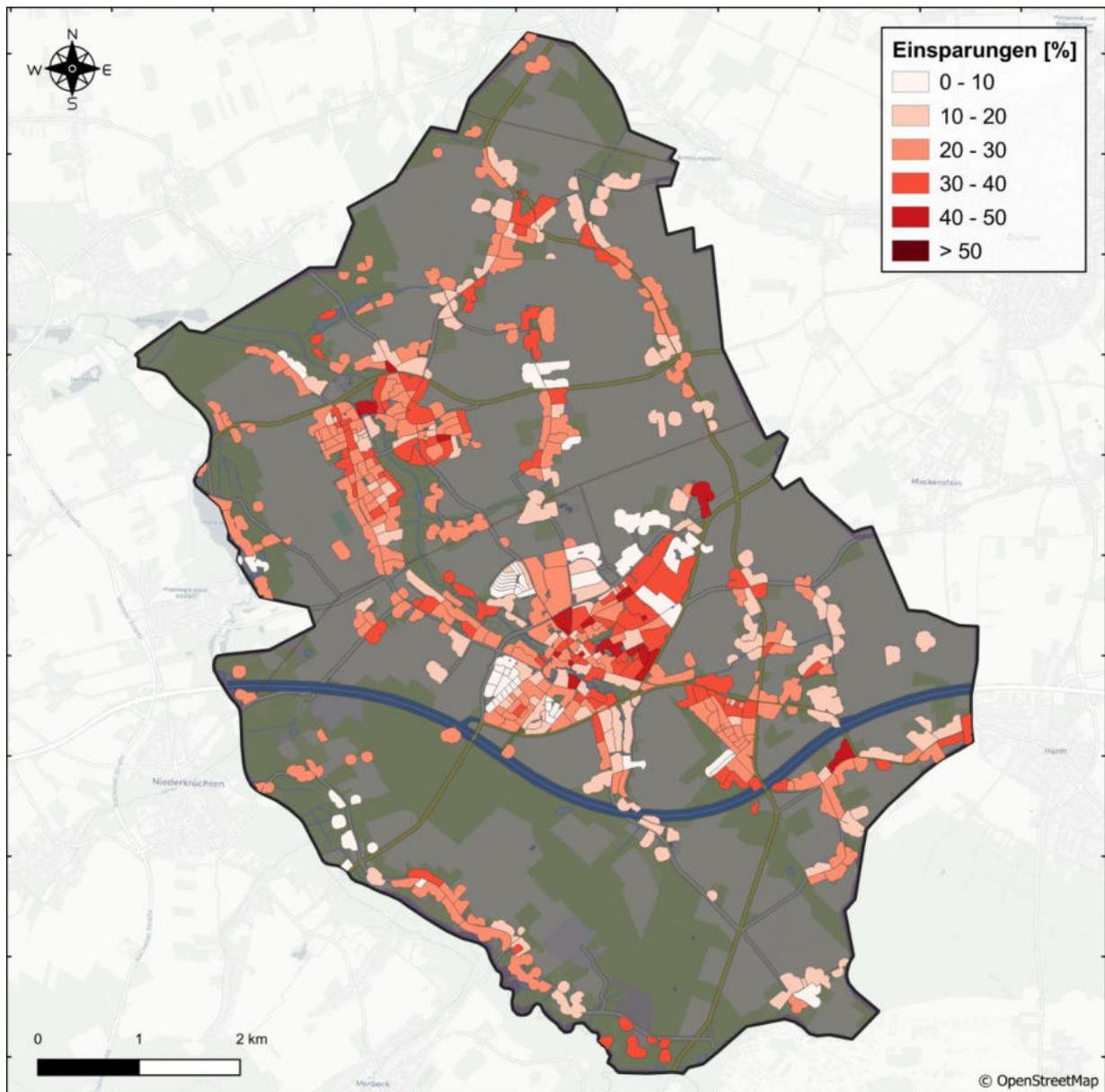


Abbildung 33: Einsparungen beim Wärmebedarf je Baublock bis 2045

Abschließend wird die Wärmebedarfsreduktion in den drei betrachteten Szenarien gegenübergestellt. Der Vergleich ist in Abbildung 34 dargestellt. Demnach wird sich der Wärmebedarf um mindestens 19 % auf 143 GWh/a absenken. Die höchste, noch als realistisch eingestufte, Reduktion des Wärmebedarfs liegt bei 29 % (auf 128 GWh/a).

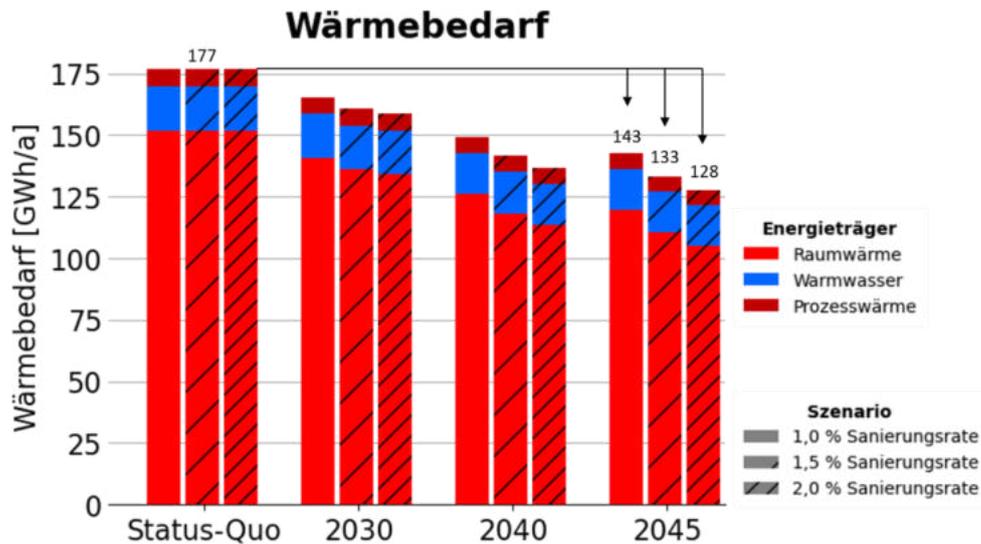


Abbildung 34: Szenarienvergleich der Wärmebedarfsreduktion bis 2045

## 6.2.2 Dezentrale Potenziale

Im Folgenden werden die dezentralen Potenziale dargelegt. Die dargestellten Zahlen stellen die Aggregation aller Einzelgebäude dar, wobei das Potenzial je Gebäude auf den Wärmebedarf des Gebäudes sowie durch den COP (Coefficient of Performance) der jeweiligen Wärmepumpen-Technologie begrenzt ist. Der COP einer Wärmepumpe beschreibt das Verhältnis zwischen der erzeugten Wärme und der dafür benötigten elektrischen Antriebsenergie an. Ein COP von 4 bedeutet z. B., dass die Wärmepumpe 4 kWh Wärme aus 1 kWh Strom erzeugen kann. Bei den Wärmepumpen-Technologien wird nachfolgend zudem jeweils das Wärmeentzugspotenzial dargestellt. D. h. bspw., dass bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe nur das Wärmepotenzial dargestellt ist, dass der Luft entzogen werden kann. Der Anteil der Wärme, welcher der Wärmepumpe durch Stromzufuhr bereitgestellt werden muss, ist nicht enthalten.

### Luft-Wasser-Wärmepumpen

In NRW ist für die Installation einer Wärmepumpe kein Mindestabstand von 3 m zur Grundstücksgrenze erforderlich [56]. Dies vereinfacht die Planung und Installation insbesondere in dicht bebauten Gebieten. Dennoch kann es in solchen Fällen notwendig sein, zusätzliche Maßnahmen zum Lärmschutz zu ergreifen, um die Vorgaben der Emissionsschutzrichtlinien einzuhalten. Grenzwerte für akzeptable Lautstärke sind in der technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) definiert und sehen bspw. für reine Wohngebiete eine maximale Lautstärke von 35 Dezibel im Zeitraum von 6 bis 22 Uhr vor [57]. In der Ergebnisdarstellung werden Gebäude mit einem bzw. zwei angrenzenden Nachbargebäuden separat dargestellt (vgl. Abbildung 35). Grundsätzlich ist jedes Gebäude für den Einbau einer Wärmepumpe geeignet. Dabei kann eine (Teil-) Sanierung des Gebäudes - bspw. zur Verbesserung der Wärmedämmung - die Wirtschaftlichkeit des Wärmepumpenbetriebs erheblich steigern.

**Das Potenzial kann insgesamt auf 118 GWh/a quantifiziert werden.** Davon sind 57 GWh/a ohne jeglichen Vorbehalt, d. h., dass ausreichend Platz und keine potenzielle Einschränkung durch Nachbarn zu erwarten ist.

### Potenzielle Umweltwärme in GWh pro Jahr

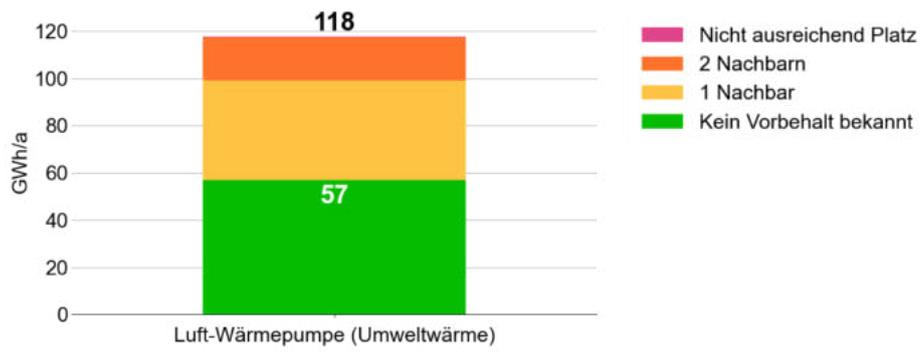


Abbildung 35: Quantifizierung des Potenzials aus Luft-Wasser-Wärmepumpen

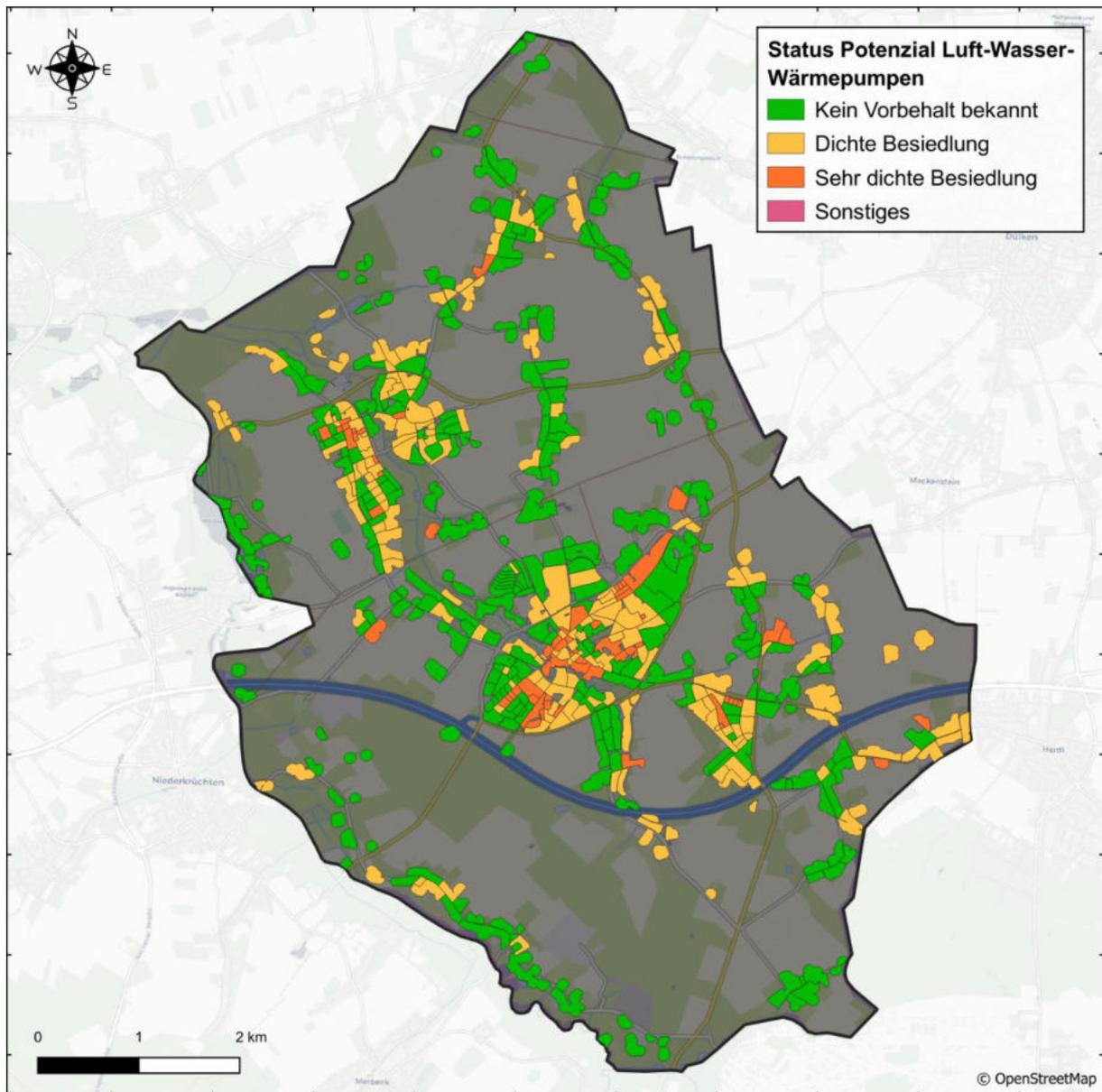


Abbildung 36: Potenzial Luft-Wasser-Wärmepumpen

In der Kartendarstellung nach Abbildung 36 ist zu erkennen, dass insbesondere in den Wohnsiedlungen mit Einfamilienhäusern i. d. R. uneingeschränktes Potenzial besteht. In dichter besiedelten Gebieten wie Reihenhaussiedlungen kann die korrekte Aufstellung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe eine Herausforderung darstellen. Es ist aber davon auszugehen, dass gerade vor dem Hintergrund der Weiterentwicklung der Technologie und geeigneten Lösungen dies zukünftig kein Hindernis darstellen dürfte.

### Oberflächennahe Geothermie

In der Gemeinde Schwalmtal beträgt das Wärmeentzugspotenzial für Erdsonden 37 bis 44 W/m und für Erdkollektoren etwa 38 W/m<sup>2</sup> [44]. Diese Werte liegen im durchschnittlichen Bereich für Deutschland und bieten eine solide Grundlage für die Nutzung oberflächennaher Geothermie.

Die Eignung der oberflächennahen Geothermie für ein Gebäude wird auf Basis der maximal entziehbaren Energiemenge bewertet. Dabei spielen der verfügbare Platz und der zu deckende Wärmebedarf des Gebäudes eine entscheidende Rolle.

Es ist zu beachten, dass Erdsondenbohrungen und Grundwasserbrunnen in Wasserschutzgebieten (vgl. Abbildung 38) i. d. R. genehmigungspflichtig sind. Dies erfordert eine sorgfältige Prüfung und Planung, um die behördlichen Vorgaben einzuhalten.

Die Quantifizierung der **Potenziale der Technologien Erdsonden (79 GWh/a), Erdwärmekollektor (40 GWh/a) und Grundwasserbrunnen (89 GWh/a)** ist in Abbildung 37 dargestellt und umfasst insgesamt 208 GWh/a).

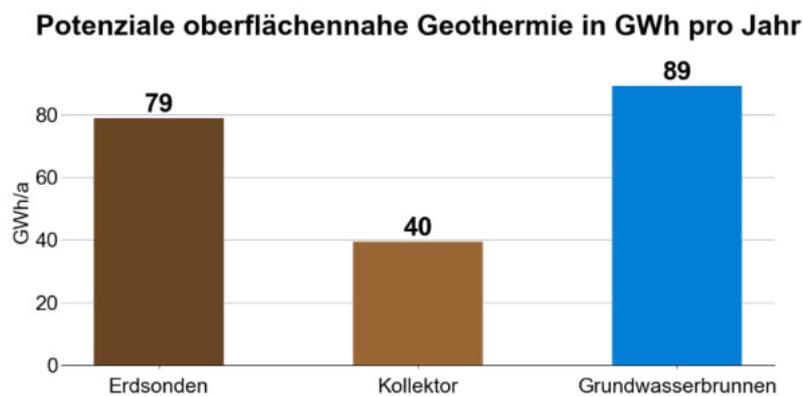


Abbildung 37: Quantifizierung des Potenzials Oberflächennaher Geothermie

In nachfolgender Abbildung ist exemplarisch der Anteil der Gebäude je Baublock dargestellt, der auf Basis des verfügbaren Platzes, der damit verbundenen maximalen Wärmegewinnung und des Wärmebedarfs bzw. der Heizlast für Erdsonden geeignet ist.

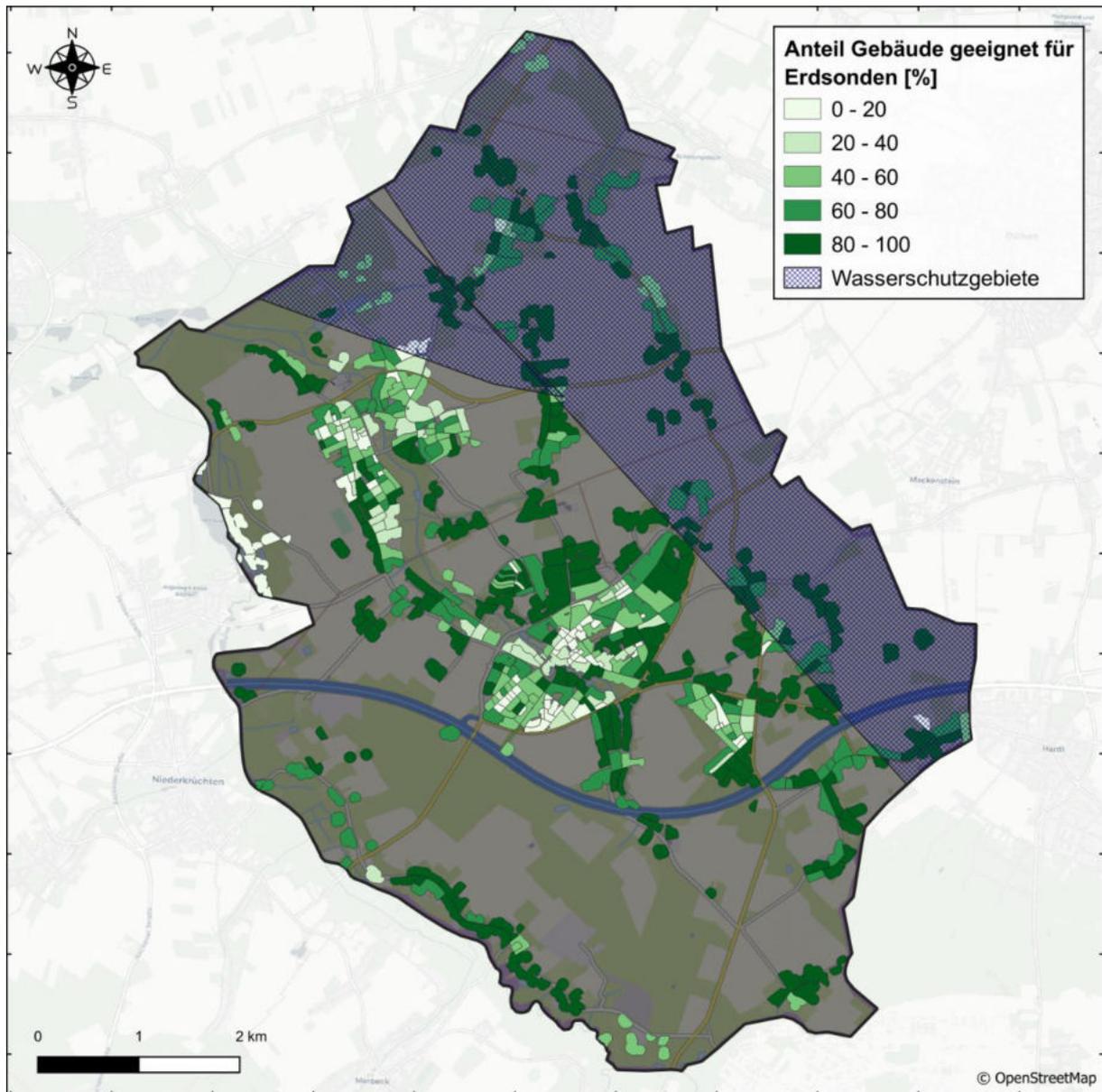


Abbildung 38: Potenzial oberflächennahe Geothermie (Erdsonden-Wärmepumpe)

### Dachflächen-Solarenergie

Solarthermieanlagen bieten ein Ertragspotenzial von bis zu etwa 400 kWh je m<sup>2</sup> Apparaturfläche in Schwalmtal. Der tatsächliche Ertrag hängt dabei maßgeblich von der Ausrichtung und der Neigung der Anlage ab. Diese Anlagen besitzen ein hohes Wärmepotenzial, jedoch primär während der Sommermonate und ausschließlich tagsüber, da sie auf direkte Sonneneinstrahlung angewiesen sind. Die Hauptanwendung von Solarthermieanlagen liegt in der Warmwasseraufbereitung. I. d. R. wird ihre Leistung so ausgelegt, dass sie bis zu 60 % des jährlichen Warmwasserbedarfs eines Gebäudes decken können. Die folgende Potenzialabschätzung bezieht sich je Gebäude auf diese Bezugsgröße. Vor dem Hintergrund, dass in Schwalmtal nur 10 % des Wärmebedarfs auf den Warmwasserbedarf zurückzuführen ist, ist abzusehen, dass Dachflächen-Solarthermie nur ein geringes wirtschaftliches Erzeugungspotenzial aufweist. Ein wichtiger Aspekt bei der Installation von Dachflächen-Solarthermieanlagen ist die Flächenkonkurrenz mit PV-Anlagen. Insbesondere bei Gebäuden, die bereits mit einer Wärmepumpe ausgestattet sind, erweisen sich PV-Anlagen häufig als wirtschaftlichere Alternative, da sie

Strom produzieren, der direkt für den Betrieb der Wärmepumpe genutzt werden kann. Neuartige Konzepte wie Hybrid-Kollektoren, die sowohl Wärme als auch Strom generieren können [58], wurden im Rahmen dieser Potenzialanalyse nicht betrachtet. Dieser Zusammenhang sollte bei der Planung und Bewertung von Solarthermieprojekten in Betracht gezogen werden, um eine sinnvolle und effiziente Nutzung der verfügbaren Dachflächen sicherzustellen. **Das Potenzial kann insgesamt auf 10 GWh/a quantifiziert werden.**

Die jährliche Globalstrahlung in der Gemeinde Schwalmtal beträgt etwa 1.100 kWh/m<sup>2</sup> und liegt damit auf dem Niveau der durchschnittlichen jährlichen Strahlung in NRW (1.160 kWh/m<sup>2</sup>) sowie in Deutschland (1.144 kWh/m<sup>2</sup>) [59] [60]. Besonders hohe Ertragspotenziale weisen nach Süden ausgerichtete Dachflächen mit einer Neigung von 30 bis 40 Grad auf. Diese bieten die besten Voraussetzungen für eine maximale Energieausbeute. Dennoch können auch andere Dachausrichtungen wie Ost-/West-Dächer für die Maximierung des Eigenverbrauchs interessant sein. Solche Dächer ermöglichen eine bessere zeitliche Verteilung der Solarstromerzeugung über den Tag hinweg, was insbesondere bei Gebäuden mit hohem Eigenstrombedarf von Vorteil ist. Dachflächen, die einen solaren Ertrag von mehr als 800 kWh/kWp erreichen, wurden als Potenzialflächen ausgewiesen. Die Simulation hat ergeben, dass eine Dachfläche mit optimaler Ausrichtung (südlich und etwa 35 Grad Neigung) in Schwalmtal ein spezifisches Erzeugungspotenzial von bis zu 992 kWh/kWp haben kann. Die Nutzung von **Dachflächen für PV-Anlagen** kann in Schwalmtal ein erhebliches Potenzial zur Gewinnung von Strom aus erneuerbaren Energien bieten, das sowohl zur Deckung des Eigenbedarfs als auch zur Einspeisung ins Netz genutzt werden kann. **Es beträgt rund 130 GWh/a.**

### 6.2.3 Zentrale Potenziale

Im Folgenden werden die zentralen Potenziale dargelegt, die größtenteils im Rahmen der Einspeisung in ein Wärmenetz gehoben werden. Bei Potenzialen, die i. d. R. in Verbindung mit Groß-Wärmepumpen gehoben werden (u. a. oberflächennahe Geothermie und Oberflächengewässer), wird jeweils das Wärmeentzugspotenzial dargestellt. D. h. bspw., dass bei Erdwärmesonden nur das Wärmepotenzial dargestellt ist, das dem Erdreich entzogen werden kann. Der Anteil der Wärme, welcher der Wärmepumpe durch Stromzufuhr bereitgestellt werden muss, ist nicht enthalten.

#### Biomasse

Biomasse kann als regenerative Energiequelle aus verschiedenen Ressourcen wie Wäldern und landwirtschaftlichen Flächen gewonnen werden. Die Nachhaltigkeit steht dabei im Fokus, insbesondere im Hinblick auf die Vorgaben der Erneuerbare-Energien-Richtlinie III (RED III) der EU. Diese priorisiert bspw. die Verwendung von Holz-Biomasse in der folgenden Reihenfolge: Herstellung von Holzprodukten, Verlängerung der Lebensdauer holzbasierter Produkte, Wiederverwendung, Bioenergie und schließlich die Beseitigung [61]. Für die Biomassegewinnung aus Wäldern wird im Rahmen dieser Potenzialanalyse daher ausschließlich Waldrestholz berücksichtigt, welches für keine höheren Zwecke als die Bioenergiegewinnung oder Beseitigung in Frage kommt. Dadurch wird keine zusätzlichen Rodungen zur reinen Wärmegewinnung vorgenommen. Der angenommene Flächenertrag aus Waldflächen liegt bei 4,3 MWh/ha. Die energetische Nutzung von Waldrestholz für die Biomassegewinnung ist jedoch mit Risiken und Nachteilen verbunden. Der Entzug der Biomasse aus dem Wald kann den natürlichen Nährstoffkreislauf stören und zu einer Verarmung der Waldböden führen [62]. Ferner kann die Entnahme von Waldrest- und Totholz Ökosysteme beeinflussen und die Biodiversität gefährden [63]. In der Landwirtschaft wird das Potenzial zur Biomassegewinnung aufgrund der hohen Flächenkonkurrenz als begrenzt betrachtet. Es wird im Rahmen dieser Potenzialanalyse davon ausgegangen, dass

Energiepflanzen nur auf 5 % der potenziell verfügbaren Flächen angebaut werden können (Mobilisierungsrate). Der angenommene Flächenertrag beträgt dabei 42,5 MWh/ha auf Ackerland und 25,5 MWh/ha auf Grünland.

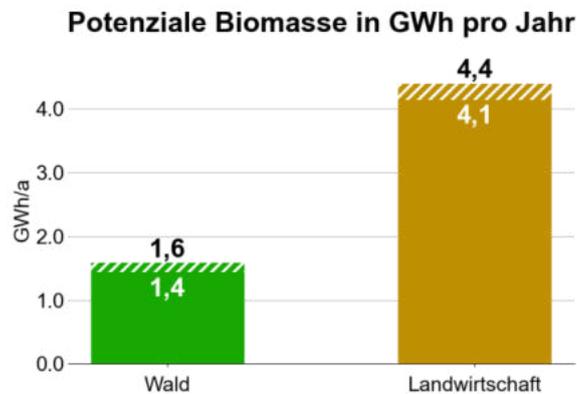


Abbildung 39: Quantifizierung des Potenzials von Biomasse (Schraffierter Bereich sind Vorbehaltsflächen)

Abbildung 40 zeigt die georeferenzierten **Potenziale für Wald- und Landwirtschaftsflächen in Höhe von 1,6 GWh/a bzw. 4,4 GWh/a**. Ein wesentlicher Vorteil der Biomasse im Vergleich zu anderen Wärmepotenzialen besteht in der Möglichkeit, zusätzlich Ressourcen aus umliegenden Gemeinden zu importieren. Dadurch kann die lokale Versorgung ergänzt und die Potenziale besser ausgeschöpft werden. Insgesamt weist die Biomasse in der Gemeinde Schwalmtal für die Wärmeerzeugung bei Gegenüberstellung zum Wärmebedarf allerdings nur ein geringeres Potenzial auf. Zudem sind die Herausforderungen mit Blick auf die Themen wie begrenzte Verfügbarkeit, geringe Flächeneffizienz, Umweltauswirkungen und Nutzungskonkurrenzen zu berücksichtigen.

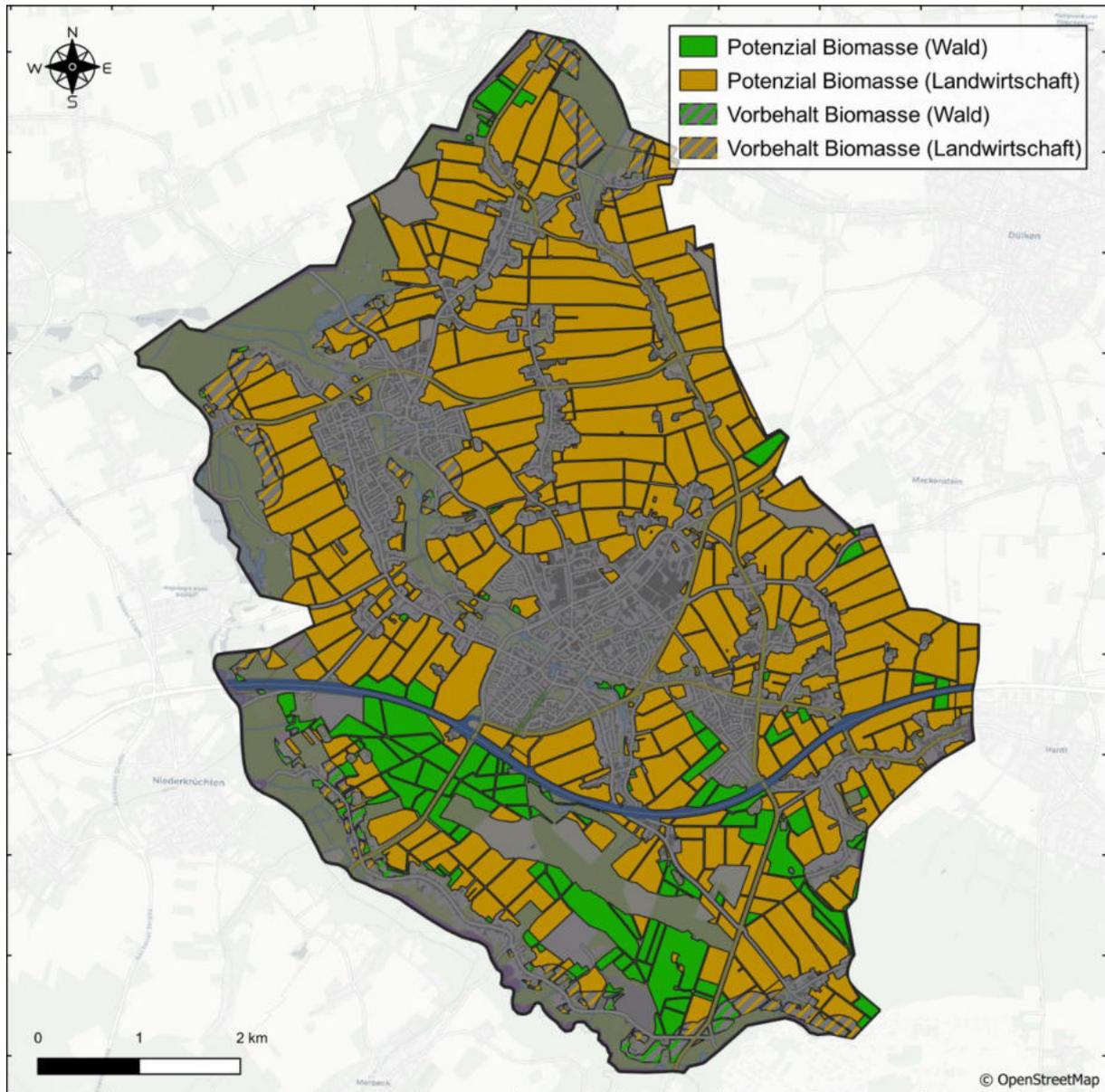


Abbildung 40: Potenzialanalyse Biomasse

### Oberflächennahe Geothermie

Die oberflächennahe Geothermie bietet eine vielseitige und nachhaltige Möglichkeit zur Wärmege-  
 winnung, da sie die in den oberen Erdschichten gespeicherte Energie nutzt. Sie kann durch verschie-  
 dene Technologien erschlossen werden, darunter Erdsondenfelder, Erdwärmekollektoren und Grund-  
 wasserbrunnen. Erdsondenfelder bestehen aus vertikal in die Erde eingebrachten Sonden, die Wärme  
 aus größeren Tiefen (40-200 m) entziehen. Erdwärmekollektoren hingegen sind horizontal im Boden  
 verlegte Systeme, die flächennah arbeiten und Wärme auf breiter Basis gewinnen. Grundwasserbrun-  
 nen nutzen die konstante Temperatur des Grundwassers zur Energiegewinnung, wobei ein System aus  
 Förder- und Schluckbrunnen erforderlich ist, um das Wasser nachhaltig zu nutzen. In Kombination mit  
 Groß-Wärmepumpen eignet sich die oberflächennahe Geothermie auch für die Einspeisung in Wär-  
 menetze [64].

Für Erdsonden besteht in Schwalmtal ein Wärmeentzugspotenzial von 37-44 W/m, während Erdwärmekollektoren ein potenzielles Entzugsvermögen von 35-40 W/m<sup>2</sup> aufweisen. Beide Werte liegen im überdurchschnittlichen Bereich und bieten damit grundsätzlich gute Voraussetzungen für die Nutzung dieser Technologien.

Die Abschätzung des Potenzials von Grundwasserbrunnen basiert auf einer angenommenen Förderleistung von 50 l/s und einem Mindestabstand zwischen zwei Brunnenanlagen, sodass maximal ein Brunnenanlage je ha installiert werden kann, um eine nachhaltige Nutzung des Grundwassers zu gewährleisten.

#### Potenziale oberflächennahe Geothermie in GWh pro Jahr

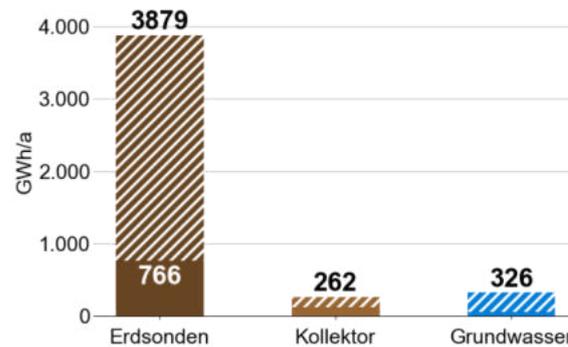


Abbildung 41: Quantifizierung des Potenzials von oberflächennaher Geothermie (Schraffierter Bereich sind Vorbehaltsflächen)

Trotz der identifizierten **technischen Potenziale für Erdsonden (3.879 GWh/a), Erdwärmekollektoren (262 GWh/a) und Grundwasserbrunnen (326 GWh/a)** ist die wirtschaftliche Nutzbarkeit stark eingeschränkt, was insbesondere durch die Investitionskosten sowie die infrastrukturellen und genehmigungsrechtlichen Anforderungen bedingt ist. Abbildung 42 zeigt exemplarisch für oberflächennahe Geothermie die Potenzialflächen für Erdwärmesonden.

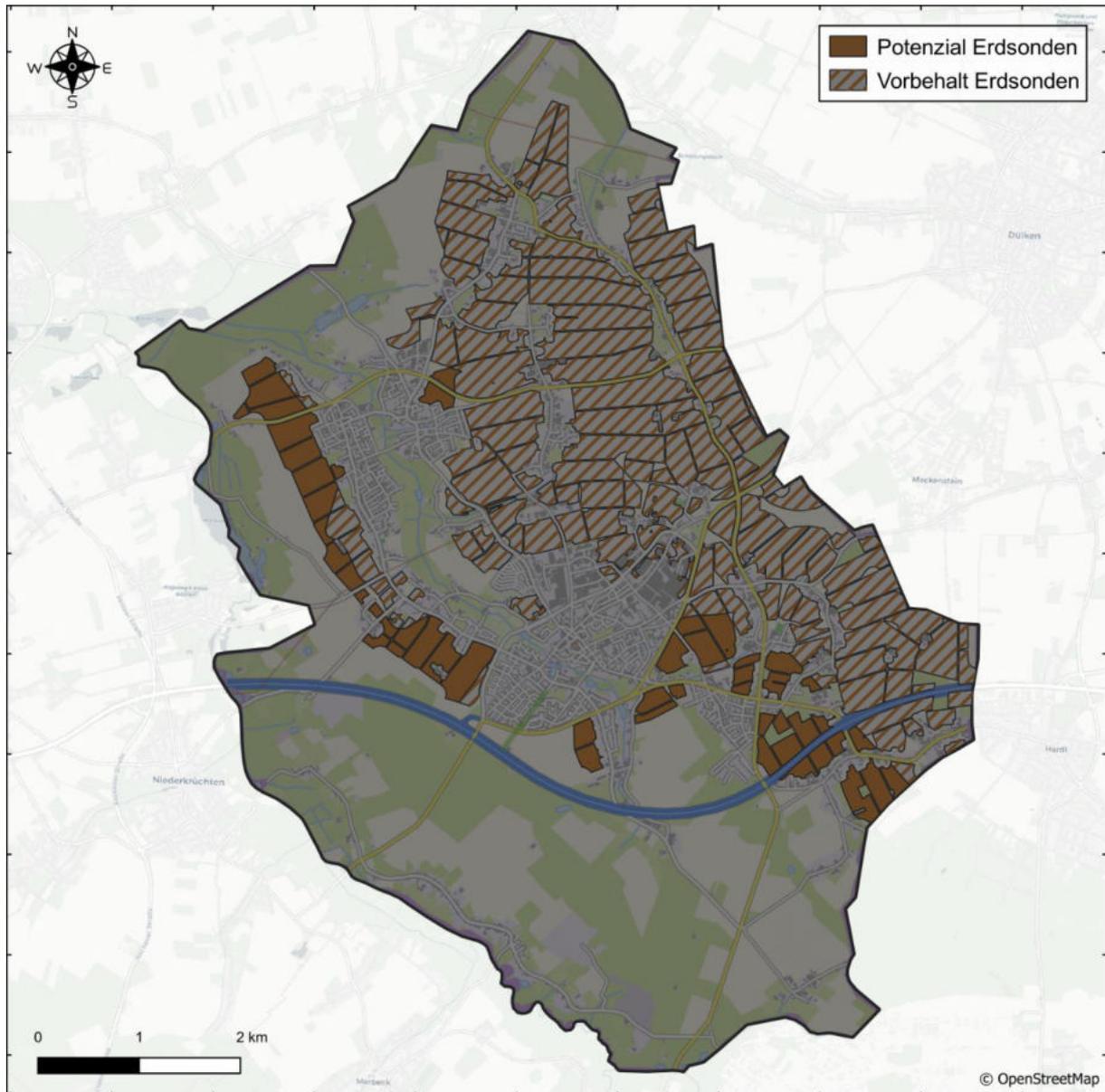


Abbildung 42: Potenzialanalyse Erdwärmesonden

### Tiefe Geothermie

Die tiefe Geothermie stellt eine vielversprechende Möglichkeit zur nachhaltigen Energiegewinnung dar, indem sie natürlich vorhandenes Thermalwasser aus tiefen Erdschichten nutzt. Dieses Thermalwasser weist Temperaturen von 40 bis weit über 100 °C auf und kann zur Wärmeversorgung oder sogar zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Voraussetzung für die Nutzung tiefer Geothermie ist das Vorhandensein ergiebiger Grundwasserleiter mit guter Wasserdurchlässigkeit, die als geothermische Reservoir dienen können [44].

Im Rahmen des Projekts „Seismik Rheinland“ [65] wurden in den letzten Jahren potenzielle Kalksteinschichten in Schwalmtal untersucht, die als geothermische Reservoir genutzt werden könnten (vgl. Abbildung 43). Die Ergebnisse der seismischen Untersuchungen zeigen zwei vielversprechende Kalksteinhorizonte in Tiefen von etwa 1.600 und 2.500 m. Das Potenzial wird basierend auf der durch-

schnittlichen thermischen Leistung einer solchen Anlage quantifiziert, die aktuell rund 8,5 MW entspricht. **Bei angenommenen 5.000 Volllaststunden sind dies 42,5 GWh/a.** Allerdings unterliegt die tatsächliche Verfügbarkeit tiefer Geothermie aufgrund der geologischen Gegebenheiten und der Komplexität der Erschließung einer hohen Unsicherheit, sodass in jedem Falle weitere Vor- und Machbarkeitsstudien notwendig wären.

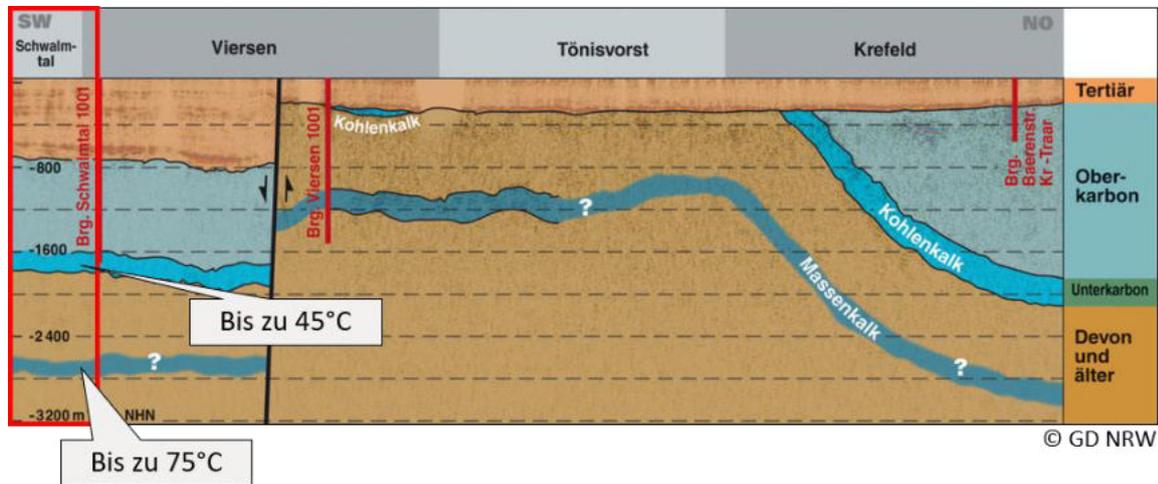


Abbildung 43: Ausschnitt des seismischen Profils

### Oberflächengewässer

Oberflächengewässer wie Flüsse und Seen können auch im Winter eine vergleichsweise hohe und konstante Temperatur aufweisen. Diese Gewässer eignen sich daher potenziell als Wärmequelle für Wärmepumpensysteme, die die Wärme aus dem Wasser entziehen und in das lokale Wärmenetz einspeisen können. Die Nutzung von Oberflächengewässern zur Wärmebereitstellung ist besonders in Regionen von Interesse, in denen natürliche Wasserressourcen ausreichend vorhanden sind. Die Temperatur des Wassers, der Durchfluss sowie die saisonalen Schwankungen spielen dabei eine entscheidende Rolle bei der Bestimmung des Potenzials. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die ökologische Verträglichkeit der Entnahme von Wärme aus den Gewässern, um negative Auswirkungen auf die Umwelt zu vermeiden.

Der Hariksee sowie die Schwalm zählen zu den größten potenziellen Gewässern für die Wärmegewinnung in Schwalm-tal. Trotz ihrer Größe und Nähe zur Gemeinde können aufgrund ihrer vergleichsweise begrenzten Fläche, der Lage in und um (Natur-)Schutzgebiete sowie der relativ großen Distanz zu geeigneten Wärmesenken **keine nennenswerten Potenziale** für die Nutzung dieser Gewässer zur Wärmegewinnung ausgewiesen werden, da diese Faktoren die Möglichkeit einschränken, die Gewässer als praktikable Wärmequelle für das lokale Wärmenetz zu nutzen.

### Industrielle Abwärme

Industrielle Abwärme bezeichnet die überschüssige Wärme, die bei industriellen oder gewerblichen Prozessen entsteht und bislang häufig ungenutzt bleibt.

Der Produktionsstandort Kamps weist mit **weniger als 1 GWh/a ein Abwärmepotenzial** auf, das gering ist. Dennoch kann aufgrund der Nähe zum bestehenden Wärmenetz eine weiterführende Analyse der Einspeisung der Abwärme in dieses Netz sinnvoll sein. Es ist jedoch zu beachten, dass die Nutzung

industrieller Abwärme für die Bereitstellung von Wärme außerhalb des jeweiligen Industrie- oder Gewerbebetriebs i. d. R. mit Risiken verbunden ist, da der Weiterbetrieb der Abwärmequelle nicht garantiert werden kann.

### Abwasser

Dieses Potenzial ist in erster Linie vom Durchfluss bzw. Zufluss des Abwassers und der möglichen Abkühlung der Abwassertemperatur abhängig [66] [67]. Der Niedrigzufluss der Kläranlage wurde in Abstimmung mit der Schwalmtalwerke ÄoR auf Basis der durchschnittlichen monatlichen Zuflussraten auf etwa 30 l/s geschätzt. Im Winter liegt die Eingangstemperatur des Abwassers bei rund 11°C, weshalb eine Abkühlung um 5°C als unproblematisch eingeschätzt wird. Daraus ergibt sich ein **Potenzial von etwa 1,9 GWh/a an der Kläranlage**.

Für den Einbau von Wärmetauschern in Abwasserkanälen ist ein Mindestdurchmesser der Kanäle von DN 800 (80 cm) erforderlich. Solche Kanäle befinden sich teilweise in Waldniel, insbesondere im Musikerviertel. Allerdings können derzeit aufgrund der unbekanntenen Trockenwetterabflüsse in den Abwasserkanälen keine abschließenden Aussagen zu potenziellen Wärmequellen getroffen werden. Aufgrund der geringen Besiedlungsdichte in Schwalmtal ist von einem geringen oder möglicherweise sogar nicht vorhandenen Potenzial auszugehen.

### Freiflächen-Solarthermie

Solarthermie-Freiflächenanlagen bieten ein erhebliches technisches Potenzial mit einem durchschnittlichen Flächenenertrag von rund 400 kWh je m<sup>2</sup> Apparaturfläche [68]. Dieses Potenzial entfaltet sich jedoch überwiegend im Sommer und steht nur tagsüber zur Verfügung. Um die Nutzung flexibler zu gestalten, könnte eine Kombination mit Wärmespeichern umgesetzt werden, die die Wärme über mehrere Tage oder sogar Monate hinweg speichern. Dabei können z. B. Großwärmespeicher in Form von Erdbeckenwärmespeichern oder auch große Wassertanks mit einem Volumen von mehreren tausend Kubikmetern in Betracht gezogen werden [69] [70]. Die Wirtschaftlichkeit solcher Lösungen muss jedoch im Einzelfall untersucht werden. **Das uneingeschränkte technische Potenzial kann auf 699 GWh/a quantifiziert werden** (Abbildung 44).

Potenziale freiflächen Solarthermie in GWh pro Jahr

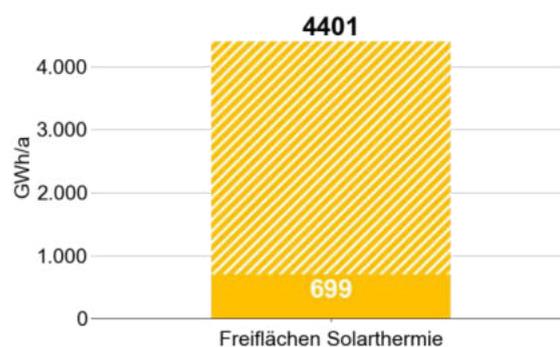


Abbildung 44: Quantifizierung des Potenzials von Freiflächen-Solarthermie (Schraffierter Bereich sind Vorbehaltsflächen)

In Verbindung mit Großwärmespeichern, die eine saisonale Wärmenutzung ermöglichen, ergibt sich allerdings ein zusätzlicher Flächenbedarf. Gleichzeitig entstehen durch Speicherverluste Einbußen bei der Wärmeeffizienz, was wiederum das nutzbare Wärmepotenzial hinsichtlich des ursprünglichen Flächenenertrags reduzieren würde. Trotz dieser Einschränkungen stellen Solarthermie-Freiflächenanlagen

in Kombination mit Speichertechnologien eine interessante Möglichkeit dar, die (saisonale) Verfügbarkeit von Wärme aus Solarenergie zu erweitern und die Potenziale für eine nachhaltige Wärmeversorgung auszuschöpfen.

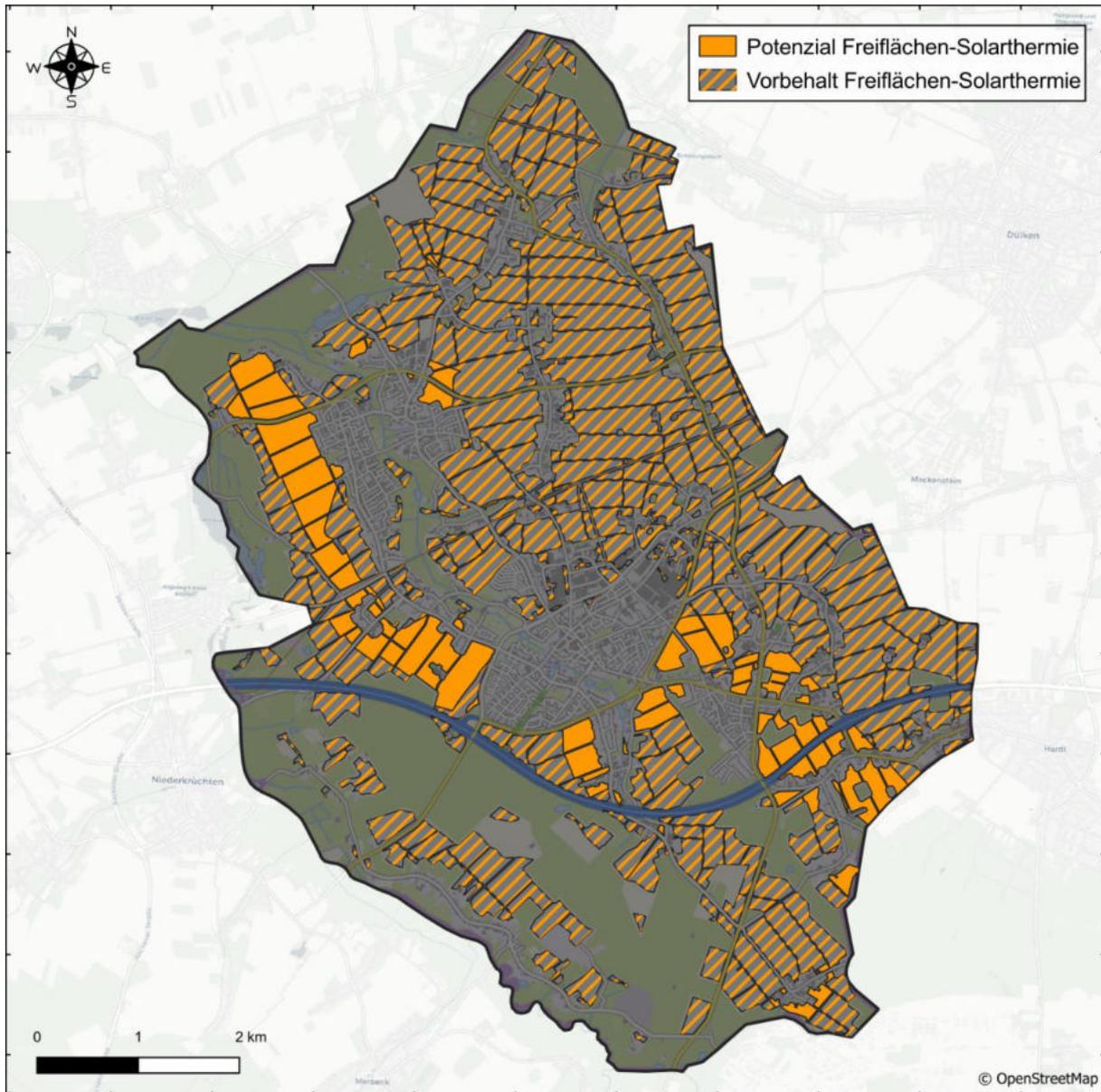


Abbildung 45: Potenzialanalyse Freiflächen-Solarthermie

### Freiflächen-PV

PV-Freiflächenanlagen bieten erhebliches Potenzial zur Steigerung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Schwalmatal. Durch die EEG-Förderung werden insbesondere Flächen entlang von Schienenwegen und Autobahnen sowie landwirtschaftlich benachteiligte Gebiete für den Ausbau solcher Anlagen interessant gemacht. Darüber hinaus können sogenannte „besondere Anlagen“ wie Agri-PV-Systeme oder Parkplatzüberdachungen auf weiteren Potenzialflächen realisiert und gefördert werden. Grundsätzlich kommen also alle hier ausgewiesenen Potenzial- und Vorbehaltsflächen für die Errichtung von PV-Freiflächenanlagen in Frage, jedoch wird der erzeugte Strom nur auf Teilen dieser Flächen durch die EEG-Vergütung gefördert. Eine Differenzierung nach baurechtlich zu priorisierenden Flächen (z. B. 200 m um Autobahnen) wurde nicht vorgenommen.

Im deutschlandweiten Vergleich erreichen PV-Freiflächenanlagen bei optimaler Ausrichtung in Schwalmatal ein durchschnittliches Erzeugungspotenzial von etwa 900-1.000 kWh pro installiertem kWp. Unter den aktuellen Förderbedingungen **und unter Berücksichtigung der geeigneten EEG-Flächen wird das uneingeschränkte Potenzial für Schwalmatal auf eine jährliche Energieerzeugung von etwa 90 GWh geschätzt** (Abbildung 46).

### Potenzielle Freiflächen-PV in GWh Strom pro Jahr

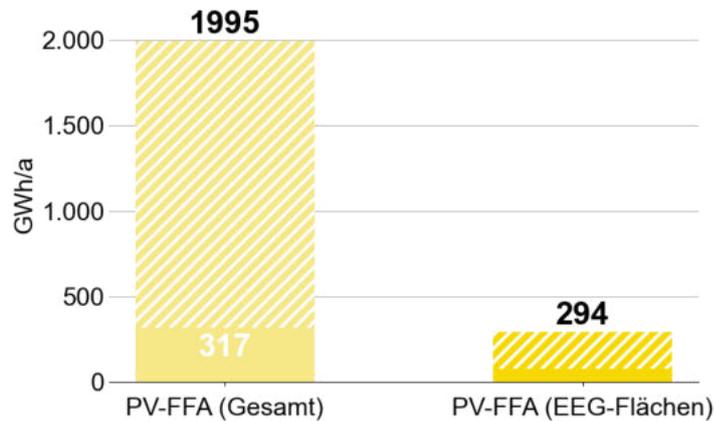


Abbildung 46: Quantifizierung des Potenzials von Freiflächen-PV (Schraffierter Bereich sind Vorbehaltsflächen)

Diese Anlagen stellen damit eine wichtige Ergänzung zur dezentralen Energieversorgung dar und tragen zur regionalen Energiewende bei. Die Förderung innovativer Konzepte wie Agri-PV oder die Nutzung bislang ungenutzter Flächen zeigt zudem, dass PV-Freiflächenanlagen nicht nur für die Stromerzeugung, sondern auch für eine nachhaltige Flächennutzung Potenziale bieten. In Abbildung 47 sind die Potenzialflächen differenziert nach EEG-Flächen und Vorbehaltsflächen dargestellt.

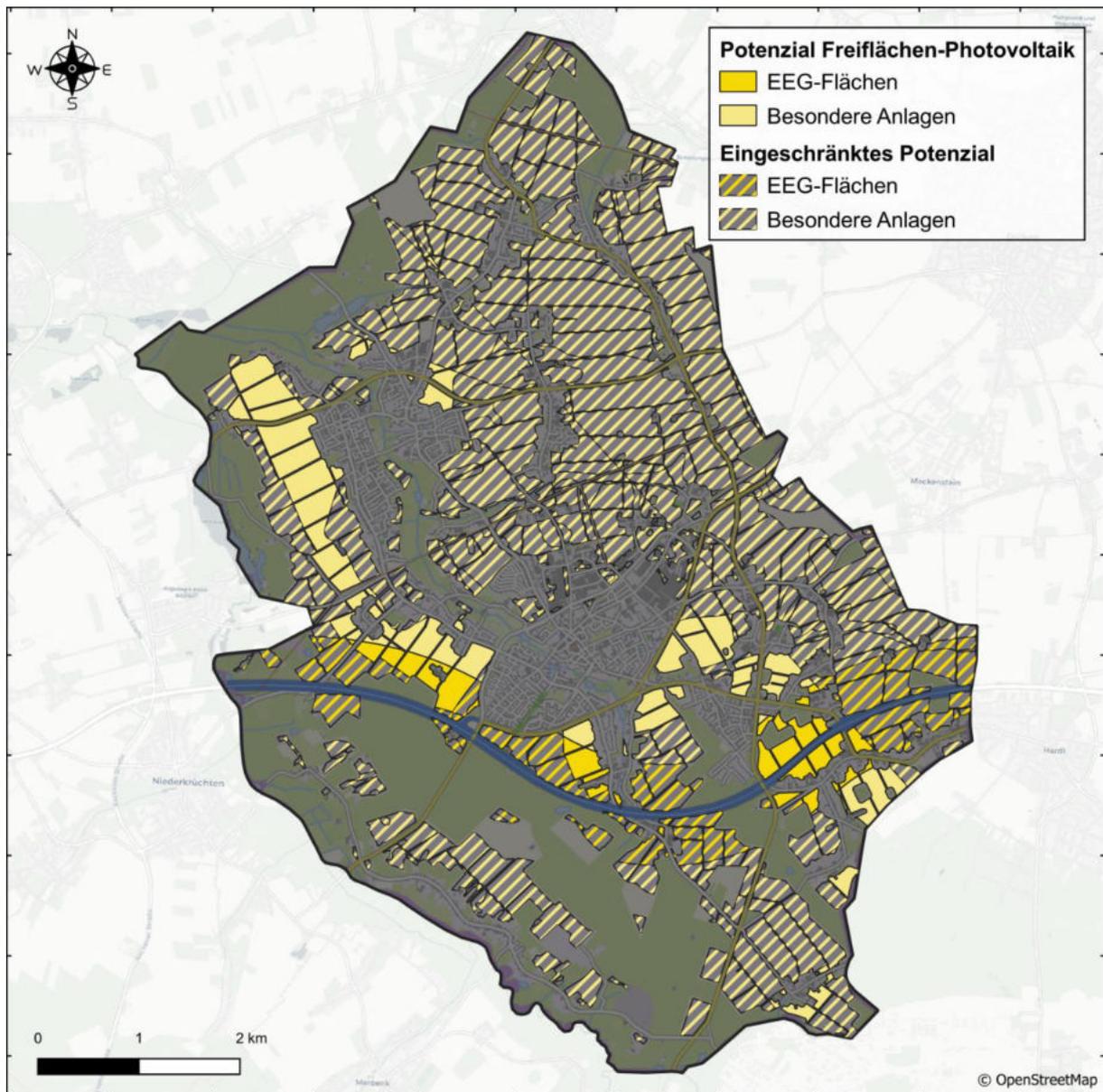


Abbildung 47: Potenzialanalyse Freiflächen-PV

### Windenergie

Der aktuell gültige Regionalplan sieht für Schwalmtal Windenergiebereiche vor, in denen der Bau von Windenergieanlagen Vorrang hat. Innerhalb dieser Bereiche befinden sich derzeit 13 Windenergieanlagen in Betrieb oder stehen kurz vor ihrer planmäßigen Inbetriebnahme bis Mitte 2025 (vgl. Abbildung 48). Diese Anlagen erreichen eine installierte Gesamtleistung von 51,6 MW und erzeugen jährlich etwa 90 GWh Strom.

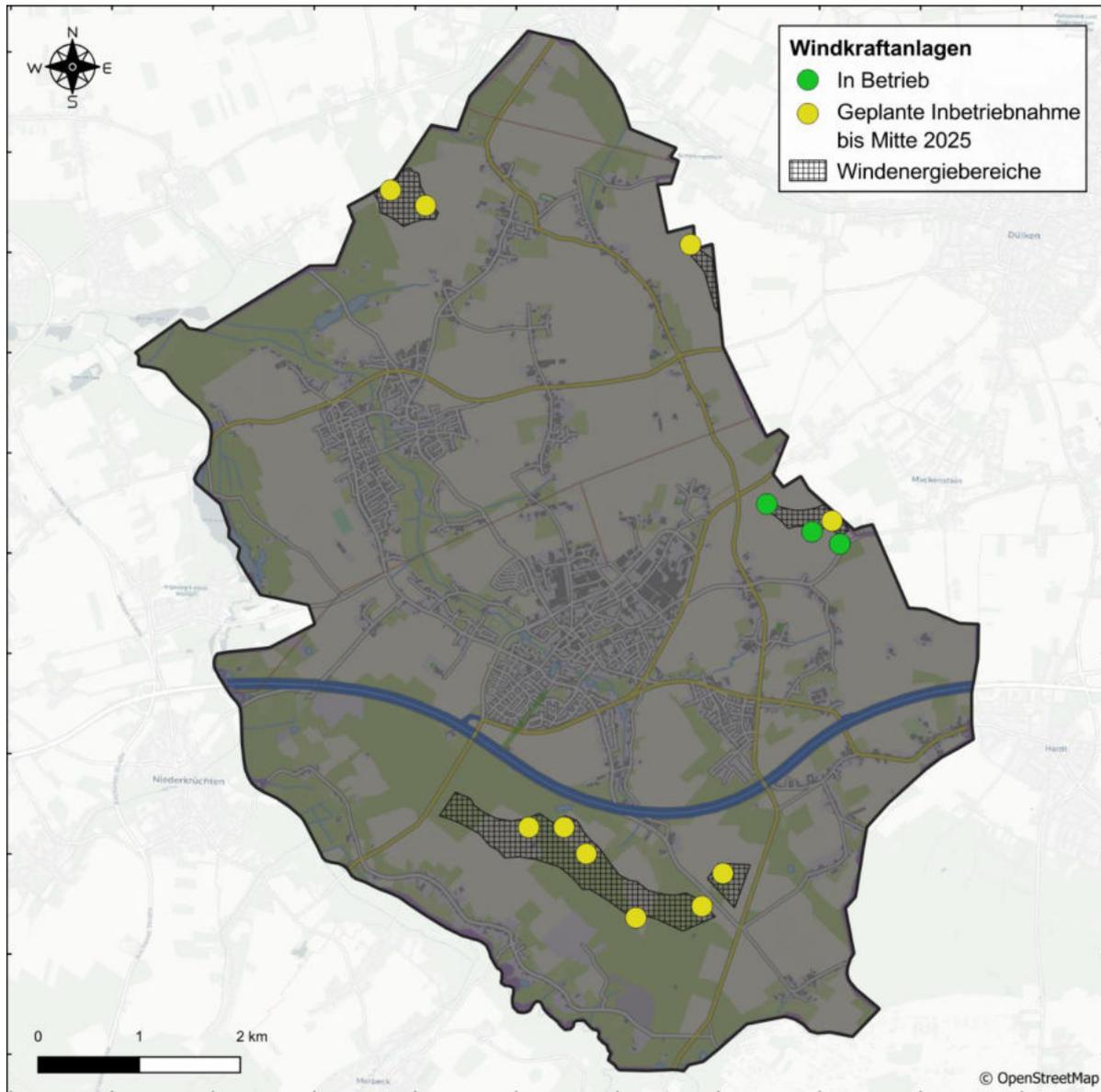
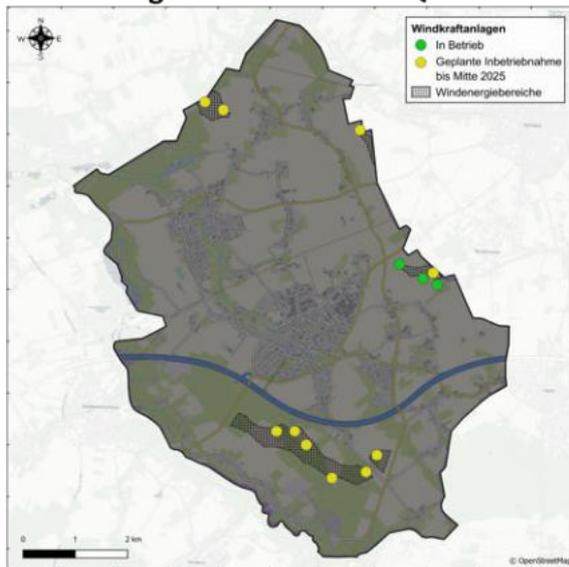


Abbildung 48: Potenzialanalyse Windenergie (Stand Ende 2024)

Unter den derzeit geltenden Rahmenbedingungen zeigen kartografische Analysen, dass in den ausgewiesenen Windenergiebereichen noch Platz für rund 5 zusätzliche große Windenergieanlagen besteht. Mit der Realisierung dieser zusätzlichen modernen Anlagen, welche eine angenommene installierte Leistung von jeweils 5 MW haben und bei 2.000 Volllaststunden insgesamt 50 GWh/a Strom erzeugen können, würde die **jährliche Stromerzeugung auf etwa 140 GWh** ansteigen. Dieses Potenzial berücksichtigt bestehende Abstandsregelungen und Restriktionsflächen und basiert auf dem aktuellen Stand der Regionalplanung. Die aktuell gültigen Windenergiebereiche basieren auf umfangreichen Vorgaben wie Mindestabständen zu Wohngebieten und weiteren Restriktionen. Der Entwurf zur 18. Änderung des Regionalplans Düsseldorf enthält angepasste Windenergiebereiche, die das Potenzial nur geringfügig verändern (vgl. Abbildung 49).

## Windenergiebereiche Status-Quo



## 18. Änderung des Regionalplans

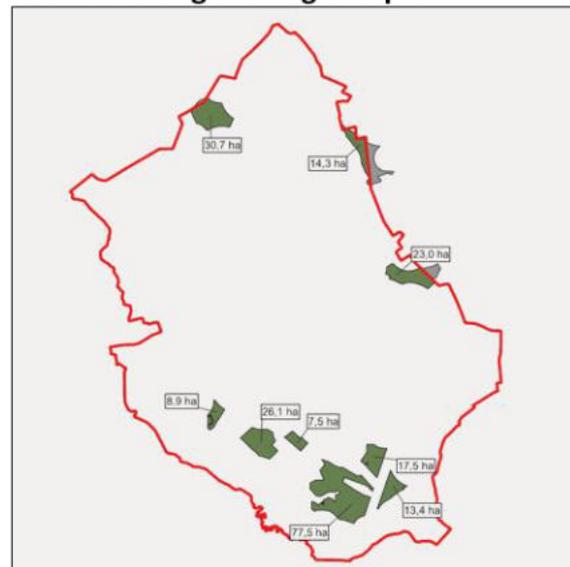


Abbildung 49: Vergleich der aktuellen und geplanten Windenergiebereiche

Eine signifikante Erweiterung der Windenergiebereiche über die Planungen des aktuellen Entwurfs hinaus ist unwahrscheinlich, da bereits geringe Abstände zur Wohnbebauung als Grundlage dienen. Ebenso ist eine deutliche Verdichtung der bestehenden Windenergieanlagen nicht zu erwarten, da sich zusätzliche Anlagen innerhalb der bestehenden Bereiche gegenseitig beeinträchtigen und so die Wirtschaftlichkeit durch Windabschattung verringern würden.

### Wasserstoff

Die Bundesregierung hat mit der Nationalen Wasserstoffstrategie einen zentralen Rahmen für die Entwicklung einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft geschaffen [71]. Ziel ist es, Wasserstoff als Schlüsselement der Energiewende zu etablieren und seinen Einsatz insbesondere in der Industrie, im Verkehr und - sofern wirtschaftlich und technisch sinnvoll - in der Wärmeversorgung zu fördern. Ein wesentliches Hindernis bleibt jedoch die begrenzte Verfügbarkeit von „grünem Wasserstoff“, der durch Elektrolyse aus erneuerbaren Energien erzeugt wird. Die Herstellung von Wasserstoff erfordert aufgrund des niedrigen Wirkungsgrades hohe Energiemengen, die derzeit überwiegend aus fossilen Quellen stammen. Mit der Genehmigung des Wasserstoff-Kernnetzes für 2032 wird eine wichtige Grundlage für den Transport und die Verteilung von Wasserstoff geschaffen. In der ersten Ausbaustufe ist die Anbindung von Regionen mit hoher industrieller Nachfrage, bedeutender Erzeugungskapazität und strategischer Netzrelevanz vorgesehen (vgl. Abbildung 50) [74].

Die Verwendung von Wasserstoff zur dezentralen Gebäudebeheizung wird kritisch gesehen. Gründe hierfür sind die derzeit geringe Verfügbarkeit sowie die hohen Kosten von Wasserstoff. Der Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur erfordert erhebliche Investitionen, die angesichts einer langfristig sinkenden Nachfrage nach fossilen Brennstoffen wirtschaftlich schwer zu rechtfertigen sind. Zudem besteht das Risiko von Entschädigungszahlungen an Gasverteilnetzbetreiber, falls ein geplantes Wasserstoffnetz scheitert. Daher wird empfohlen, von einer Ausweisung von Wasserstoffgebieten für Haushalte abzusehen [23]. Des Weiteren existieren in der Gemeinde Schwalmtal keine Industrieunternehmen, die eine stoffliche Nutzung von Wasserstoff benötigen oder den wirtschaftlichen Betrieb eines Wasserstoffnetzes rechtfertigen könnten. Somit ist der Einsatz von Wasserstoff für industrielle Anwendungen in der Gemeinde derzeit nicht realistisch. Zuletzt könnten Wasserstoffkraftwerke theoretisch zur Deckung von Spitzenlasten in einem Wärmenetz eingesetzt werden. Aufgrund des geringen

Absatzpotenzials erscheint der Einsatz von Wasserstoff für ein Wärmenetz in der Gemeinde Schwalmtal jedoch unwahrscheinlich. Die geringe Wirtschaftlichkeit und der begrenzte Bedarf sprechen gegen eine solche Lösung.



Abbildung 50: Wasserstoffkernnetz 2032

Insgesamt bleibt Wasserstoff aufgrund der derzeit noch begrenzten Produktionskapazitäten, sowohl regional als auch deutschland- und weltweit, sowie aufgrund der hohen Kosten mittelfristig keine zentrale Lösung für die Wärmeversorgung. Die Unsicherheit bzgl. der Verfügbarkeit und des Preises von Wasserstoff ist derzeit zu hoch, um diesen als zuverlässige und wirtschaftlich tragfähige Lösung für die Wärmeversorgung einzuplanen. Hierfür wäre eine zuverlässigere Abschätzbarkeit der Marktbedingungen erforderlich, was derzeit nicht gegeben ist. Der direkte Einsatz von grünem Strom, wo möglich, bleibt die effizientere und wirtschaftlichere Alternative, sodass der Einsatz von reinem Wasserstoff für die Wärmeversorgung in der Gemeinde Schwalmtal im Bereich der Haushalte, Gewerbe und Wärmenetze derzeit nicht sinnvoll erscheint. Die Beimischung von Wasserstoff im Gasnetz stellt hingegen eine mögliche Übergangslösung dar, um die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung schrittweise voranzutreiben. Hier wird typischerweise ein Wasserstoffanteil von bis zu 20 % im Erdgasgemisch angestrebt, ohne dass größere Anpassungen an den bestehenden Infrastrukturen erforderlich wären [72].

#### 6.2.4 Zusammenfassung der Potenzialanalyse

In der Gemeinde Schwalmtal bietet sich insbesondere die dezentrale Wärmeversorgung durch den Einsatz von Wärmepumpen (Luft und Geothermie) an. Diese Technologie – vor allem dann auch noch in Kombination mit dachflächen-PV – ermöglicht eine effiziente und flexible Nutzung lokaler erneuerbarer Energiequellen und kann an die individuellen Anforderungen einzelner Gebäude angepasst werden.

Besonders vielversprechend erscheinen - bezogen auf die zentralen Potenziale - die Technologien der oberflächennahen und tiefen Geothermie, die Nutzung von Biomasse insbesondere zur Abdeckung von Spitzenlasten sowie Freiflächen-Solarthermie. Diese Ansätze sollten eingehend geprüft werden, um ihre technische Machbarkeit, wirtschaftliche Attraktivität und ökologischen Vorteile für die Gemeinde

Schwalmtal zu bewerten. Die Ergebnisse könnten wertvolle Impulse für die zukünftige Wärmeversorgung und die Umsetzung der Klimaschutzziele liefern. Die ausgewiesenen Potenziale zur Tiefen Geothermie unterliegen einer hohen Unsicherheit.

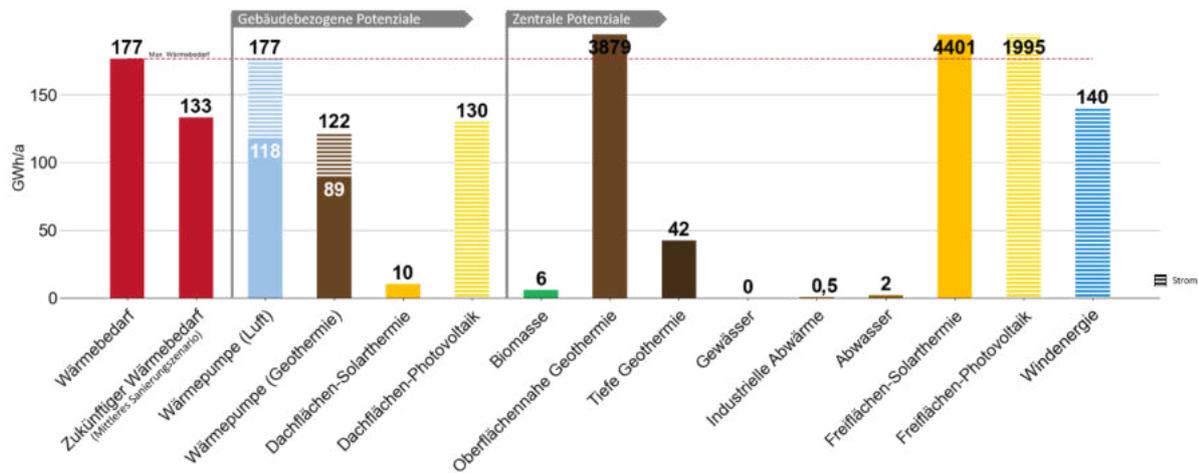


Abbildung 51: Übersicht der Ergebnisse der Potenzialanalyse

In Abbildung 51 wurde gegenüber der in Kapitel 6.2.2 ausgewiesenen Potenziale für Wärmepumpen nicht nur das der Umwelt entziehbare Wärmepotenzial ausgewiesen, sondern zudem der Anteil, den Wärmepumpen durch Strom einbringen (schraffiert). Dies soll verdeutlichen, wie hoch das letztendliche Wärmeerzeugungspotenzial von Wärmepumpen ist. Schließlich wird auch deutlich, dass hohe Potenziale für die Erzeugung von lokalem Strom über Dachflächen- und Freiflächen-PV sowie Windenergie und deren Einbindung in strombasierte Wärmeversorgungs-lösungen vorliegen.

## 7 Zielszenario

Dieses Kapitel widmet sich der Entwicklung und Darstellung eines Zielszenarios bzw. Zielbildes für die kommunale Wärmeversorgung in der Gemeinde Schwalmtal im Jahr 2045. Zunächst wird das methodische Vorgehen beschrieben, mit dem das Zielszenario erarbeitet wurde, einschließlich der zugrunde liegenden Annahmen und Datengrundlage (Kapitel 7.1). Anschließend werden die zentralen Ergebnisse des Zielszenarios vorgestellt (Kapitel 7.2), die eine Grundlage für die strategische Ausrichtung der Wärmeversorgung in der Gemeinde Schwalmtal bilden. Die Ergebnisse liefern dabei wertvolle Erkenntnisse zu zentralen Maßnahmen, technologischen Optionen und potenziellen Einsparpotenzialen, welche anschließend im Rahmen der Umsetzungsstrategie aufgegriffen werden können.

### 7.1 Methodisches Vorgehen für das Zielszenario

Das Zielszenario beschreibt die angestrebte Entwicklung der Wärmeversorgung eines beplanten Gebiets unter Berücksichtigung der Ziele des Wärmeplanungsgesetzes. Die Erstellung erfolgt auf Basis der Ergebnisse der Eignungsprüfung, der Bestandsanalyse und der Potenzialanalyse. Dabei werden mögliche Wärmeversorgungsarten für die einzelnen Teilgebiete des beplanten Gebiets für das Zieljahr untersucht, die sich durch wirtschaftliche Effizienz, Versorgungssicherheit und geringe Treibhausgasemissionen auszeichnen.

Im Folgenden werden zunächst die zugrundeliegenden Daten beschrieben und anschließend die Verfahren zum Ableiten der relevanten Informationen aus diesen Daten erläutert. Die Methodiken wurden vom Fraunhofer FIT in Zusammenarbeit mit dem IAEW der RWTH Aachen entwickelt und bereits für verschiedene andere Gemeinden im Kontext der kommunalen Wärmeplanung angewandt und weiterentwickelt.

#### 7.1.1 Datengrundlage und Szenariorahmen

Die wesentliche Datengrundlage für die Ermittlung des Zielbildes ergibt sich aus der zuvor dargelegten Bestands- und Potenzialanalyse. Darüber hinaus sind vielfältige Annahmen zu (rechtlichen) Rahmenbedingungen und Entwicklungen von Technologieparametern und Energiepreisen zu berücksichtigen. Eine zentrale Quelle für die Parameterannahmen stellt der Leitfaden des Kompetenzzentrums Kommunale Wärmewende [29] dar. Dieser Leitfaden bietet eine umfassende Grundlage für die Ableitung von Emissionsfaktoren, Wirkungsgraden sowie Investitions- und Betriebskosten. Diese Parameter sind essenziell, um eine fundierte und konsistente Basis für die Planung und Bewertung der Szenarien zu gewährleisten. Ferner ermöglicht die Anwendung des Technikcatalogs ein hohes Maß an Standardisierung der Methodik und Datenbasis, was die Vergleichbarkeit mit anderen kommunalen Wärmeplänen verbessert und die Fortschreibung der Wärmeplanung vereinfacht. Ergänzend wurden Annahmen zu Einschränkungen im Hinblick auf den Einbau und Betrieb von Heizungsanlagen berücksichtigt, welche im GEG definiert sind (§ 71) [15]. Diese beruhen auf der aktuellen Gesetzgebung und wurden durch szenarienspezifische Annahmen ergänzt.

Gemäß GEG müssen neu eingebaute Heizungssysteme in Gemeinden mit weniger als 100.000 Einwohnern ab dem 1. Juli 2028 im Allgemeinen mindestens 65 % der mit der Anlage bereitgestellten Wärme mit erneuerbaren Energien oder unvermeidbarer Abwärme erzeugen. Außerdem müssen Gas- und Ölheizungen, die zwischen dem 1. Januar 2024 und 30. Juni 2028 eingebaut werden, gemäß § 71 Absatz 9 ab dem Jahr 2029 stufenweise einen Anteil des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien decken

(ab dem 1. Januar 2029 mindestens 15 %, ab dem 1. Januar 2035 mindestens 30 % und ab dem 1. Januar mindestens 60 %). Dies kann durch die Beimischung z. B. von Biomethan, biogenem Flüssiggas oder synthetischen Brennstoffen auf Basis von Wasserstoff erfolgen. Die Verwendung dieser grünen Brennstoffe ist mit Lieferverträgen des Versorgers nachzuweisen und ihre Integration in die Wärmeversorgung dürfte die Kosten fossiler Heizungssystem tendenziell weiter verteuern, da grüne Brennstoffe derzeit teurer sind als die fossilen Alternativen.

Die Versorgung über Wasserstoff wird in der Gemeinde Schwalmtal entsprechend der in der Potenzialanalyse erläuterten Faktoren keine Option darstellen. Zudem wird unter Berücksichtigung des Ziels der Klimaneutralität in Deutschland angenommen, dass im Jahr 2045 keine Versorgung mit fossilem Erdgas über das vorhandene Gasnetz mehr erfolgen wird.

Die Prognosen zu den Endkundenpreisen für Energie wurden als Experteneinschätzungen auf Basis aktueller Marktprognosen abgeleitet und sind für die wesentlichen Energieträger in Abbildung 52 dargestellt. Die dafür angenommene grundlegende Entwicklung des Energiesystems stützt sich auf verschiedene Systemstudien (u. a. Agora: „Klimaneutrales Deutschland 2045“ [73] oder Dena: „Aufbruch Klimaneutralität“ [74]) sowie aktuellen (regulatorischen) Entwicklungen im Kontext der CO<sub>2</sub>-Bepreisung und Gasnetzentgeltregulierung. Zudem wurden spezifische lokale Gegebenheiten berücksichtigt, um die Ergebnisse möglichst präzise an die Bedingungen vor Ort anzupassen. Dazu gehören die Prognose der Gasnetzentgelte der NEW Netz GmbH sowie die Preisprognose für das Wärmenetz der Loick Bioenergie GmbH. Diese differenzierten Annahmen tragen dazu bei, ein möglichst realitätsnahes Bild der zukünftigen Wärmeversorgung zu zeichnen und tragfähige Handlungsempfehlungen für die Umsetzung zu entwickeln.

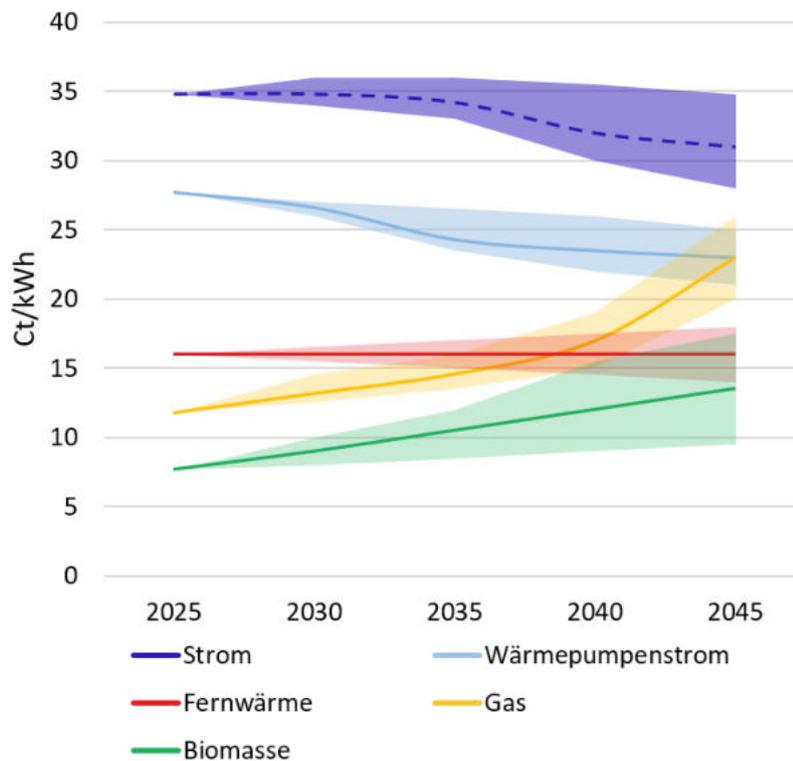


Abbildung 52: Angenommene Entwicklung der Energieträgerpreise und indikative Unsicherheitskorridore (Es handelt sich um Endkundenpreise → neben Arbeitspreis inkl. Netzentgelte etc. ist auch eine eventuelle Grundpreiskomponente enthalten. Es handelt sich nicht um Wärmegestehungskosten → Wirkungsgrade, Investitionskosten, etc. sind hier nicht enthalten)

Für den Strompreis wird von einem zunächst weitestgehend stabilen Verlauf des aktuellen Preisniveaus bis 2030 ausgegangen. Anschließend kommt es bis 2045 zu einem Rückgang des Strompreises von etwa 4 ct/kWh. Diese Entwicklung deckt sich u. a. mit den Preisprämissen im Rahmen der Studie „Klimaneutrales Deutschland. Von der Zielsetzung zur Umsetzung.“ (Agora Think Tanks, 2024). Demnach wird der langfristig sinkende Strompreis durch mehrere Faktoren begünstigt. Ein zentraler Aspekt ist der massive Ausbau erneuerbarer Energien, durch den sich die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen bis 2045 nahezu verfünffachen soll von derzeit rund 220 Milliarden auf über 1.000 Milliarden kWh. Gleichzeitig wird eine verstärkte Elektrifizierung in den Bereichen Verkehr, Gebäude und Industrie zur Erreichung des Klimaneutralitätsziels angestrebt, wodurch fossile Energieträger zunehmend durch Grünstrom ersetzt werden. Zudem führt die steigende Stromnachfrage dazu, dass sich die Kosten für das Stromsystem auf eine größere Menge verteilen, was die Kosten pro kWh senkt [75]. Die aktuell diskutierte Änderung des Strommarktdesigns in Richtung eines sogenannten Kapazitätsmarktes zur Sicherung der Versorgungssicherheit und Unterstützung der Energiewende kann z. B. hingegen zu einem Anstieg des Strompreises führen [82]. In einem Kapazitätsmarkt, in dem Stromerzeuger nicht nur für den tatsächlich erzeugten Strom, sondern auch für die Bereitstellung von Kapazitäten unabhängig von der Inanspruchnahme vergütet werden, entstehen zusätzliche Kosten, die auf die Stromverbraucher umgelegt werden [82]. Auch Investitionen in steuerbare Kapazitäten bzw. sogenannte Flexibilitätsoptionen, die die Versorgungssicherheit erhöhen, dürften zu ansteigenden Stromkosten führen, da diese Investitionen refinanziert werden müssen [82].

Der Strompreis bzw. die Strombezugskosten für Wärmepumpen sind i. d. R. günstiger als für normalen Haushaltsstrom, da sie unter die Regelungen des § 14a Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) fallen. Dieser Paragraph sieht vor, dass steuerbare Verbrauchseinrichtungen wie Wärmepumpen, von reduzierten Netzentgelten profitieren können. Netzbetreiber haben die Möglichkeit, den Betrieb solcher Geräte zeitweise zu steuern, um Lastspitzen im Stromnetz zu vermeiden. Im Gegenzug erhalten Endverbraucher mit steuerbaren Verbrauchseinrichtungen vergünstigte Netzentgelte, was sich direkt in niedrigeren Kosten für den Betrieb der Wärmepumpe niederschlägt. Dies trägt dazu bei, die Netzauslastung zu optimieren und fördert gleichzeitig den Einsatz von elektrischen Wärmepumpen als effiziente und umweltfreundliche Heizlösung. Zudem unberücksichtigt ist bei der vorliegenden Betrachtung von Energieträgerpreisen die Eigenversorgung mit PV-Strom. Vor allem aus der Kombination von Eigenverbrauch, Speicherung und Einspeisevergütung kann hinsichtlich der strombasierten Wärmeversorgung die Unabhängigkeit vom Strompreis für den Strombezug über das öffentliche Netz gestärkt werden.

Für Erdgas wird von einem Anstieg des aktuellen Preises von etwa 12 ct/kWh (durchschnittlicher Endkundenpreis inkl. Grundgebühr) auf etwa 15 ct/kWh im Jahr 2035 ausgegangen. Für diese Entwicklung ist u. a. der steigende CO<sub>2</sub>-Preis verantwortlich (siehe unten). Mit dem zunehmenden Umstieg auf alternative Heiztechnologien müssen die Kosten für den Betrieb des Erdgasnetzes auf eine rückläufige Anzahl an Kunden verteilt werden, was zu steigenden Netzentgelten führen wird. Diese Entwicklung wird verstärkt durch die regulatorische Anpassung von kalkulatorischen Nutzungsdauern und Abschreibungsmodalitäten von Erdgasleitungsinfrastrukturen (KANU 2.0), mit der die Transformation des Gasnetzes im Zuge der Dekarbonisierung des Gassektors flankiert wird. Dementsprechend kommen aktuell mehrere Studien zu der Einschätzung, dass die Netzentgelte bis zum Jahr 2045 deutlich ansteigen werden [76] [77]. In Abhängigkeit u. a. vom Alter des Netzes und den Anpassungen im Ordnungsrahmen werden bis 2045 Anstiege der Netzentgelte um das 4- bis 16-Fache prognostiziert. Mehrere Studien befassen sich zudem mit der zukünftigen Preisentwicklung sowie Verfügbarkeit von grünen Brennstoffen [78] [79]. Dabei zeigt sich grundsätzlich, dass zum einen der Markt für grüne Brennstoffe im Vergleich zu dem Markt für fossiles Gas und Heizöl noch deutlich kleiner ausfällt und zum anderen

diese nachhaltigen Energieträger vor allem auch zur Dekarbonisierung der Sektoren Industrie und Verkehr benötigt werden. Aufgrund dieses Angebot-Nachfrage-Verhältnisses dürfte demnach auch zukünftig die Preise für grüne Brennstoffe noch oberhalb derer für herkömmliches Erdgas und Heizöl liegen. Die NEW Netz in ihrer Rolle als Netzbetreiber in der Gemeinde Schwalmtal prognostiziert gegenwärtig einen Anstieg des Netzentgeltes um das 6 bis 7-Fache unter der Prämisse eines kontinuierlichen Rückgangs des Erdgasabsatzmengen bis zum Jahr 2045 sowie einer Verkürzung der kalkulatorischen Nutzungsdauern von Neu- und Altanlagen zur Gasversorgung.

Der Endkundenpreis für Biomasse orientiert sich am aktuellen Marktpreis für Holzpellets in Höhe von etwa 8 ct/kWh [80]. Aufgrund einer steigenden Nachfrage wird von einem Anstieg um etwa 5 ct/kWh bis 2045 ausgegangen.

Auch der CO<sub>2</sub>-Preis als umweltpolitisches Instrument zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen dürfte einen zunehmenden Einfluss auf die Kosten der Wärmeversorgung insbesondere mit Erdgas und Erdöl haben und ist in den in Abbildung 52 dargestellten Preisen bereits berücksichtigt. Gemäß Brennstoffemissionshandelsgesetz ist im Zeitraum 2024-2026 ein Anstieg als Festpreis von 45 auf 65 €/t CO<sub>2</sub> vorgesehen. Ab 2027 soll im Zuge der Ausweitung des europaweiten Handels mit CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikaten auf den Gebäude- und Verkehrssektors die freie Preisbildung am Markt erfolgen. Infolgedessen wird im Rahmen dieser Studie von einem schrittweisen Anstieg des CO<sub>2</sub>-Preises bis auf 175 €/t im Jahr 2045 ausgegangen. Diese Prognose liegt im Rahmen der Prämissen aktueller Studien, unterliegt jedoch hoher Unsicherheit [81]. Mit dem prognostizierten Anstieg des CO<sub>2</sub>-Preises werden voraussichtlich auch die Kosten für Erdgas und Erd- bzw. Heizöl kontinuierlich steigen. Nach Einschätzungen des BMWK verteuert sich der Kubikmeter Gas bei einem CO<sub>2</sub>-Preis von 100 €/t CO<sub>2</sub> um 20 ct (bzw. 2 ct/kWh) und ein Liter Heizöl um etwa 32 ct (bzw. 3,2 ct/kWh) [82]. Bei einem CO<sub>2</sub>-Preis von 100 €/t CO<sub>2</sub> würden demnach exemplarisch bei einem 3-Personen-Haushalt mit einem Verbrauch von 18.000 kWh Gas Mehrkosten durch den CO<sub>2</sub>-Preisanstieg von 360 €/a anfallen. Bei einem Bedarf von 1.800 l Heizöl belaufen sich diese Mehrkosten auf 576 €/a. Die CO<sub>2</sub>-Preisentwicklung dürfte auch einen Einfluss auf die Strompreisentwicklung und somit dann auch auf die Kosten strombasierter Heizsysteme haben. Allerdings wird der Anteil von Strom aus erneuerbaren Energiequellen von heute bereits rund 50 % perspektivisch weiter steigen, sodass hier die Bedeutung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung – im Gegensatz zum Fall fossiler Energieträger wie Erdgas und Erdöl - abnehmen dürfte.

### **7.1.2 Vorgehen zur Ermittlung potenzieller Wärmenetzgebiete**

Die Ermittlung der Potenziale für den Neu- und/oder Ausbau von Wärmenetzen ist ein Bestandteil der kommunalen Wärmeplanung, da sie insbesondere in Gebieten mit hoher Wärmedichte eine effiziente und nachhaltige Versorgung mit Wärme ermöglichen können. Wärmenetze transportieren Wärme (i. d. R. in Form von warmem Wasser), die zentral erzeugt wird - etwa in Blockheizkraftwerken, Geothermieanlagen oder durch Abwärmenutzung - über ein verzweigtes Leitungsnetz zu den angeschlossenen Gebäuden. Dabei können sowohl Wohngebäude als auch Gewerbebetriebe und öffentliche Einrichtungen eingebunden werden. Die Wirtschaftlichkeit und technische Machbarkeit von Wärmenetzen hängen jedoch maßgeblich von der örtlichen Wärmeliniendichte ab [83].

Die Wärmeliniendichte beschreibt den Wärmebedarf, der pro Längeneinheit Straße oder Wärmenetz in den angrenzenden Gebäuden anfällt. Sie ist ein entscheidender Indikator für die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzbetriebs. Je höher die Wärmeliniendichte ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass der Betrieb des Netzes wirtschaftlich rentabel gestaltet werden kann. Dies liegt daran, dass bei einer hohen Wärmeliniendichte die Kosten für den Netzbau und -betrieb auf mehr Wärmeverbraucher verteilt werden können und die Verluste im Verhältnis zum transportierten Wärmebedarf geringer sind [83]. In

der kommunalen Wärmeplanung werden Wärmelinienindichten häufig grafisch dargestellt, wobei Gebiete mit hoher Dichte - und somit hohem Potenzial für ein wirtschaftliches Wärmenetz - dunkelrot markiert sind (vgl. Ergebnisse der Bestandsanalyse, insbesondere Abbildung 20 in Kapitel 5.2.4). Diese Analysen basieren i. d. R., wie auch hier, auf dem aktuellen Stand des Wärmebedarfs, also dem Status-Quo. Es ist jedoch zu beachten, dass aufgrund von Maßnahmen zur Energieeinsparung wie energetische Gebäudesanierungen in Zukunft eine deutliche Abnahme der Wärmelinienindichten zu erwarten ist. Dies hat direkte Auswirkungen auf die langfristige Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes, weshalb eine vorausschauende Planung erforderlich ist. Die Wärmelinienindichten zeigen das technische Potenzial für den Aufbau von Wärmenetzen auf. Allerdings muss in jedem Fall die wirtschaftliche Machbarkeit separat geprüft werden.

Um auf Basis der Wärmelinienindichten potenzielle Gebiete für Wärmenetze zu identifizieren, wird ein am Fraunhofer FIT entwickelter Algorithmus angewendet, der zusammenhängende Netzgebiete unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen identifiziert. Die Nebenbedingungen stellen sicher, dass die Wärmelinienindichte im resultierenden Netz oberhalb einer vorgegebenen Mindestwärmelinienindichte liegt. Zudem können Vorgaben für die Mindestgröße eines Wärmenetzes in Form des jährlichen Wärmebedarfs und der Netzlänge gemacht werden. So kann die Robustheit der Ergebnisse sichergestellt werden, zumal die detaillierte Planung von einzelnen kleinen Wärmenetzen (auch Nahwärmenetze) nicht im Betrachtungsbereich der kommunalen Wärmeplanung liegt.

Für große Wärmenetze wird in einem nachgelagerten Schritt der Ausbaupfad des Wärmenetzes analysiert, da die Ausbaugeschwindigkeit durch Faktoren wie die Verfügbarkeit von Personellen Ressourcen oder die Zumutbarkeit für die Verkehrsführung beschränkt ist. Auch dafür wird ein Optimierungsverfahren angewendet, welches sicherstellt, dass ausgehend von einer Wärmequelle oder des Bestandnetzes zunächst die Gebiete mit den höchsten Wärmelinienindichten innerhalb des schon identifizierten Netzgebietes erschlossen werden. Das beschriebene Verfahren ist in nachfolgender Abbildung skizziert.

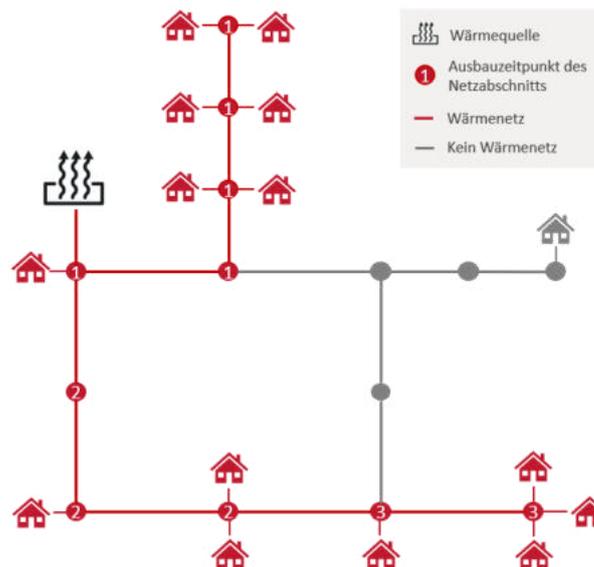


Abbildung 53: Schematische Darstellung des Vorgehens zur Ermittlung von Wärmenetausbaupfaden

### 7.1.3 Vorgehen zur Ermittlung zukünftiger Wärmeversorgungsarten

Die zukünftigen Wärmeversorgungsarten werden auf Grundlage einer detaillierten Analyse des individuellen Endkundenverhaltens auf Basis wirtschaftlicher, technischer und regulatorischer Rahmenbedingungen ermittelt. Das Entscheidungsverhalten der Endkunden wird dabei für jedes einzelne Gebäude simuliert, wobei die Wärmegestehungskosten als zentrale Entscheidungsgröße dienen.

Derzeit dominieren Gas- und Ölheizungen die Heiztechnologien in der Gemeinde Schwalmtal. Trotz ihrer weiten Verbreitung verursachen diese Systeme hohe Treibhausgasemissionen, die den Klimazielen entgegenstehen. Darüber hinaus sind steigende Brennstoffkosten zu erwarten, die durch die Einführung eines CO<sub>2</sub>-Preises und den Anstieg der Gasnetzentgelte weiter verstärkt werden. Zudem schreibt das GEG (§ 71) für Neubauten ab 2024 und Bestandsgebäude ab Mitte 2028 (Mitte 2026 für Gemeinden mit mehr als 100.000 Einwohnern) vor, dass (bis auf wenige Ausnahmen) mindestens 65 % der Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energien stammen müssen. Diese Vorgabe erfordert eine verstärkte Umstellung auf alternative Systeme wie Wärmepumpen, Fernwärme oder Biomasseheizungen.

Wärmepumpen zeichnen sich durch eine hohe Energieeffizienz aus, insbesondere in Gebäuden mit guter Dämmung und niedrigen Vorlauftemperaturen. Zudem profitieren sie von niedrigeren Strombezugskosten im Vergleich zu Haushaltsstrom, da für sie gemäß § 14a EnWG reduzierte Netzentgelte anfallen. Dieser Paragraf ermöglicht es Netzbetreibern, bei drohender Netzüberlastung die Leistung steuerbarer Verbrauchseinrichtungen wie Wärmepumpen temporär zu reduzieren. Im Gegenzug erhalten Betreiber solcher Geräte eine Reduzierung der Netzentgelte. Je nach Messkonfiguration kann diese Reduzierung pauschal (in Abhängigkeit des Netzbetreibers) vergütet werden oder es kann eine prozentuale Senkung des Netzentgelts um 40 % pro verbrauchter kWh vorgenommen werden [84]. Individuelle Lösungen wie PV-Dachanlagen oder Energiegemeinschaften können die Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen weiter verbessern, müssen jedoch im Einzelfall geprüft werden.

Fernwärme ist eine netzgebundene Lösung, die insbesondere in Gebieten mit hohen Wärmedichten wirtschaftlich interessant ist. Sie benötigt lediglich eine Wärmeübergabestation, was den Platzbedarf minimiert und den Wartungsaufwand reduziert. In Ballungsräumen kann Fernwärme eine kostengünstige und effiziente Alternative darstellen, sofern die entsprechende Infrastruktur verfügbar ist. Fernwärme bietet zwar Vorteile wie eine zentrale und effiziente Wärmeversorgung, bringt jedoch auch Nachteile mit sich. Ein zentraler Kritikpunkt ist die mögliche Monopolstellung der Anbieter. Da Fernwärmenetze hohe Investitionskosten erfordern und i. d. R. nur von einem Anbieter betrieben werden, haben Verbraucher keine Wahlmöglichkeit zu alternativen Anbietern zu wechseln. Dies kann zu höheren Preisen und geringerem Innovationsdruck führen, da Wettbewerb fehlt. Aktuelle regulatorische Entwicklungen in der Europäischen Union und in Deutschland zielen darauf ab, diese Monopolstellung zu begrenzen und den Markt transparenter zu gestalten. So fordert die Monopolkommission in ihrem aktuellen Hauptgutachten eine Preisobergrenze für Fernwärme [85].

Die Nutzung von Biomasseheizungen bietet den Vorteil eines potenziell regional verfügbaren Brennstoffs, der Unabhängigkeit von Energieimporten gewährleistet. Allerdings bestehen Unsicherheiten bzgl. der langfristigen Verfügbarkeit und Preisentwicklung von Biomassebrennstoffen. Zudem könnten strengere Regulierungen aufgrund der Emissionen von Feinstaub und anderen Partikeln zukünftige Nutzungseinschränkungen mit sich bringen.

Im Rahmen der Simulation zur Auswahl der geeigneten Technologie für die einzelnen Gebäude wird die Minimierung der Investitions- und Betriebskosten angestrebt. Hierbei finden auch staatliche Subventionen wie das Bundesförderprogramm für effiziente Gebäude (BEG) und das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) Berücksichtigung. So wird bspw. die Basisförderung in Höhe von 30 % der förderfähigen Ausgaben für klimafreundliche Heiztechnologien sowie ein ggf. anfallender Geschwindigkeitsbonus in Höhe von bis zu 20 % berücksichtigt. Die Analyse erfolgt für jedes Betrachtungsjahr und berücksichtigt die jeweils geltenden regulatorisch-technischen Rahmenbedingungen. Die finale Auswahl einer Heizungstechnologie basiert auf einer Wahrscheinlichkeitsverteilung, die die Wärmegestehungskosten als wichtigste Einflussgröße heranzieht. Zusätzlich gehen Einflussfaktoren wie die Übergangswahrscheinlichkeit zwischen bestimmten Technologien in den Auswahlprozess ein, um bestehende Rahmenbedingungen einzelner Gebäude wie z. B. den verfügbaren Platz für ein Pelletlagerplatz am Ort eines alten Öltanks besser berücksichtigen zu können. Zudem wurden bei der Bewertung der zukünftigen Wärmeversorgungsarten zusätzliche Restriktionen wie die Eignung von Wärmepumpen (vgl. Potenzialanalyse), die Verfügbarkeit von Netzanschlüssen (Gas-/Wasserstoffnetz bzw. Wärmenetz) und die maximalen Kapazitäten des Handwerks für den Austausch bzw. Einbau von Heizungen, berücksichtigt.

## **7.2 Ergebnisse des Zielszenarios**

Das Zielszenario ist ein mögliches Szenario für die Transformation der Wärmeversorgung der Gemeinde Schwalmtal im Jahr 2045. Die Ergebnisse werden in den folgenden Unterkapiteln dargelegt.

### **7.2.1 Zukünftiger Wärmebedarf**

Entsprechend dem mittleren Szenario aus der Potenzialanalyse wird davon ausgegangen, dass sich der Wärmebedarf von derzeit 177 GWh/a auf 135 GWh/a im Jahr 2045 reduzieren wird. Diese Entwicklung basiert insbesondere auf der Annahme einer realistisch-ambitionierten Sanierungsquote von 1,5 %/a (vgl. Potenzialanalyse). Im Rahmen der Potenzialanalyse wurden Teilgebiete mit erhöhtem Energieeinsparpotenzial (§ 18 Absatz 5 WPG) identifiziert (vgl. Markierung (1) in Abbildung 54), die insbesondere in den Zentren von Amern und Waldniel zu finden sind. Diese Gebiete bieten aufgrund ihrer spezifischen Gegebenheiten ein hohes Potenzial für Einsparungen. Für eine gezielte Hebung dieses Potenzials können entsprechende Maßnahmen in den Katalog der geplanten Umsetzungsmaßnahmen (§ 20 WPG) aufgenommen werden. Vor diesem Hintergrund wurden u. a. auch die beiden im vorliegenden Abschlussbericht betrachteten Fokusgebiete in den jeweiligen Teilgebieten von Amern und Waldniel ausgewählt (vgl. Kapitel 8).

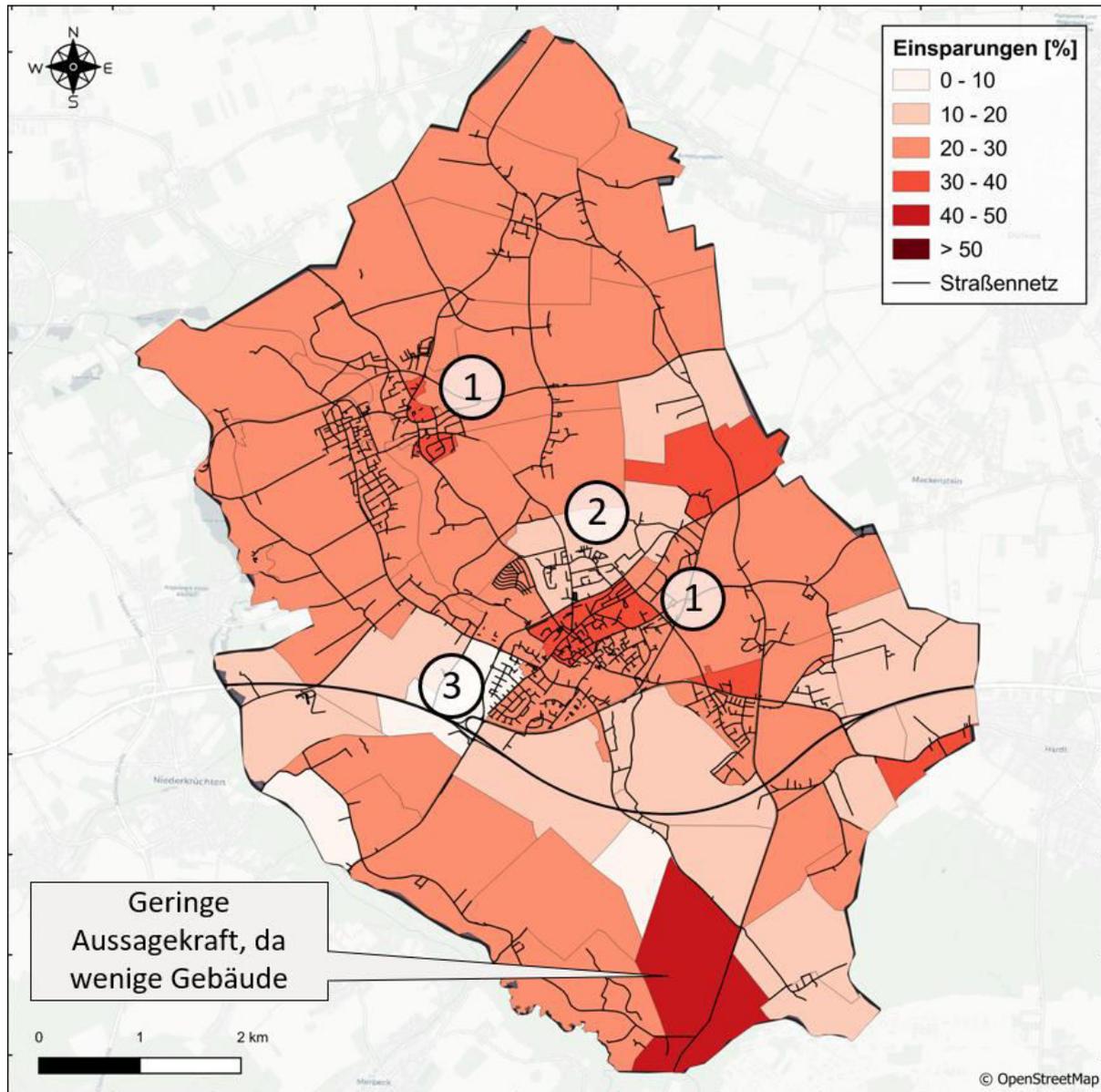


Abbildung 54: Einsparungen beim Wärmebedarf je Flur bis 2045

In Gebieten, die einen hohen Anteil an Prozesswärme aufweisen (vgl. z. B. Markierung (2) in Abbildung 54), wurde ein geringeres Einsparpotenzial festgestellt, da der Effekt von möglichen Sanierungen hier geringer ausfällt. Ebenso zeigen Neubaugebiete insgesamt nur ein begrenztes Potenzial zur Energieeinsparung (vgl. z. B. Markierung (3) in Abbildung 54).

### 7.2.2 Potenzielle Wärmenetzgebiete

Potenzielle Gebiete für Wärmenetze werden in der vorliegenden Wärmeplanung unter Anwendung eines am Fraunhofer FIT entwickelten Algorithmus identifiziert. Dies erfolgt vor allem auf Basis der Wärmelinienichten in der Gemeinde Schwalmtal gemäß Bestandsanalyse (siehe erneut Abbildung 20) sowie Vorgabe einer Mindestwärmelinienichte als zentrale Nebenbedingung. Der Technikkatalog der KEA-BW zur kommunalen Wärmeplanung empfiehlt in Bestandsgebieten eine Mindestwärmelinienichte von über 3.000 kWh/(m\*a). Analysen zur Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen in Bestandsgebieten setzen für den Schwellenwert allerdings deutlich höhere Grenzwerte von 4.000 oder 5.000

kWh/(m\*a) an [86]. Unter der Angabe von weiteren Nebenbedingungen wie u. a., dass das Wärmenetz einen Wärmebedarf von mehr als 1 GWh/a abdeckt und eine Netzlänge von mehr als 500 m umfasst, lassen sich zu den jeweiligen angenommenen Mindestwärmelinienichten die nachfolgenden zusammenhängenden Wärmenetzgebiete identifizieren.

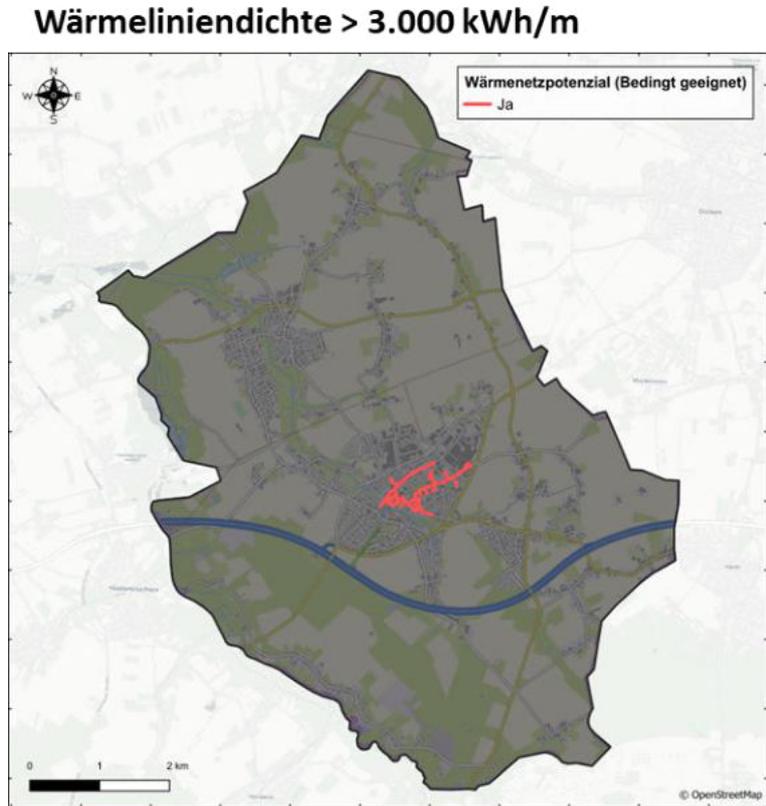


Abbildung 55: Zusammenhängendes Wärmenetzgebiet bei einer Mindestwärmelinienichte von 3000 kWh/(m\*a)

### Wärmelinienichte > 4.000 kWh/m

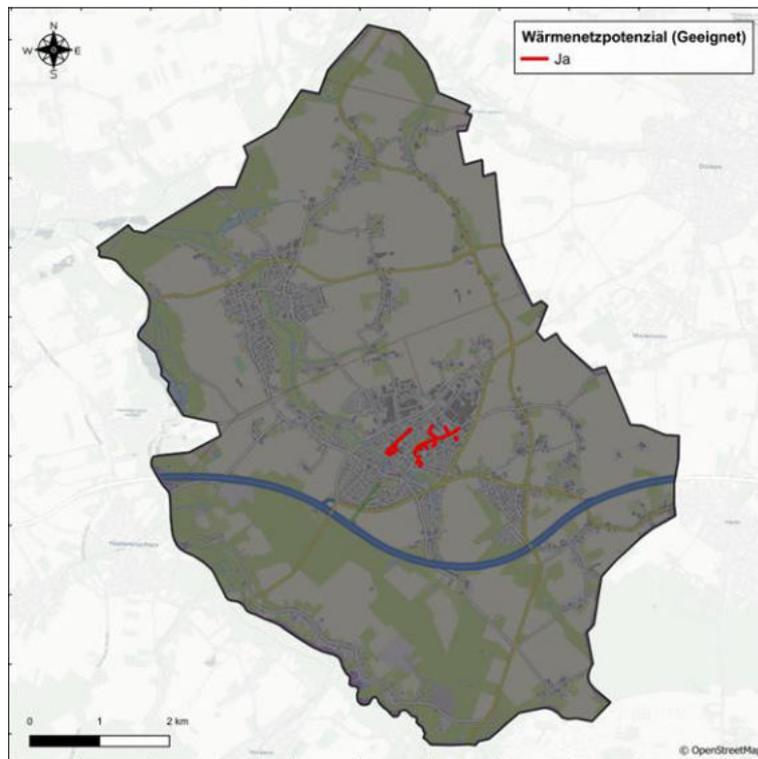


Abbildung 56: Zusammenhängendes Wärmenetzgebiet bei einer Mindestwärmelinienichte von 4000 kWh/(m\*a)

### Wärmelinienichte > 5.000 kWh/m



Abbildung 57: Zusammenhängendes Wärmenetzgebiet bei einer Mindestwärmelinienichte von 5000 kWh/(m\*a)

Insgesamt verdeutlichen die verschiedenen Varianten, dass in der Gemeinde Schwalmtal lediglich ein geringes Potenzial zur Erhöhung des Anteils von Wärmenetzen zur Wärmeversorgung besteht. Gemessen am Wärmebedarf im Status Quo könnte die Wärmeversorgung über das Wärmenetz bei einem Anschluss aller Gebäude entlang des Bestandsnetzes von derzeit rund 4 GWh/a auf rund 6,7 GWh/a erhöht werden. Auskunftsgemäß wird die Gemeinde Schwalmtal jedoch bei einer Erweiterung des Bestandsnetzes wie auch bei einem Aufbau von neuen Wärmenetzen in Bestandswohngebieten keinen Anschluss- und Benutzungszwang umsetzen. Ferner ist zu berücksichtigen, dass die Identifizierung potenzieller Gebiete für den Aufbau neuer Wärmenetze in Bestandswohngebieten auf den Wärmebedarfen im Status Quo basiert. Die Wirtschaftlichkeit der Wärmenetze ist damit mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, da die Wärmebedarfe durch Gebäudesanierungen wahrscheinlich in Zukunft noch sinken werden. Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung von einem geringen Potenzial von Wärmenetzen ausgegangen. Ausgenommen davon ist das Gebiet mit dem Bestandswärmenetz, wo eine Integration anliegender Gebäude in das Wärmenetz eine effiziente Versorgung ermöglichen könnte und welches dementsprechend als „potenzielles Wärmenetzverdichtungsgebiet“ vorliegend eingeplant wird. Gleichwohl können auch dezentrale Lösungen wie Wärmepumpen oder Biomasseheizungen Optionen zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung für die Gebäudeeigentümer in diesem Gebiet darstellen.

### 7.2.3 Energie- und Treibhausgasbilanz

In Abbildung 58 ist die aggregierte Entwicklung der absoluten Anzahl installierter Heizungsanlage in Schwalmtal dargestellt, welche auf der Simulation der Einzelgebäude beruht. Es ist zu erkennen, dass sukzessive ein umfangreicher Umstieg der aktuell primär fossilen Heiztechnologien auf insbesondere Wärmepumpen bevorsteht. Im Zieljahr 2045 werden demnach rund 97 % aller Gebäude über Wärmepumpen versorgt sein. Dabei kann es sich um verschiedene Arten von Wärmepumpen-Technologien handeln.

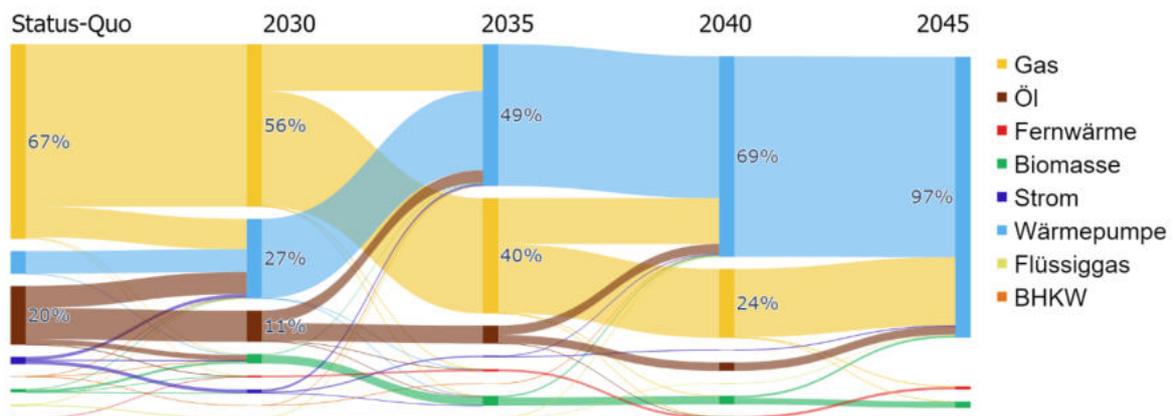


Abbildung 58: Entwicklung der Heiztechnologien

Neben Wärmepumpen besteht im Zieljahr auch ein geringer Anteil an Gebäuden, die über Fernwärme oder Biomasseheizungen beheizt werden. Biomasseheizungen werden insbesondere in größeren, un-sanisierten Gebäuden als Brückentechnologie eingesetzt. Insbesondere für ehemalige Öl-Kunden sind Biomasseheizungen eine Option, da der Standort ehemaliger Öltanks als Lagerfläche für Holzpellets dienen kann.

Aus der Entwicklung der Heiztechnologien sowie der Einsparungen im Wärmebedarf ergibt sich der zukünftige Endenergiebedarf gemäß Abbildung 59. Die Nachfrage nach fossilen Energieträgern wie Öl

und Gas geht bis zum Jahr 2045 vollständig zurück. In der gewählten Darstellungsart ist zudem der Endenergiebestandteil, der aus Umgebungswärme (Luft und Geothermie) gewonnen wird, berücksichtigt. Da dieser (sofern eine geeignete Wärmepumpe o.ä. installiert wurde) unbegrenzt und kostenfrei zur Verfügung steht, wird dieser Bestandteil in vergleichbaren Abbildungen manchmal nicht aufgeführt. Der Endenergiebedarf reduziert sich bis 2045 um 27 % bzw. 75 % (ohne Berücksichtigung der Umweltwärme). Gleichzeitig wird die Stromnachfrage aufgrund des vermehrten Einsatzes von Wärmepumpensystemen auf das fast 4-Fache des aktuellen Wertes steigen.

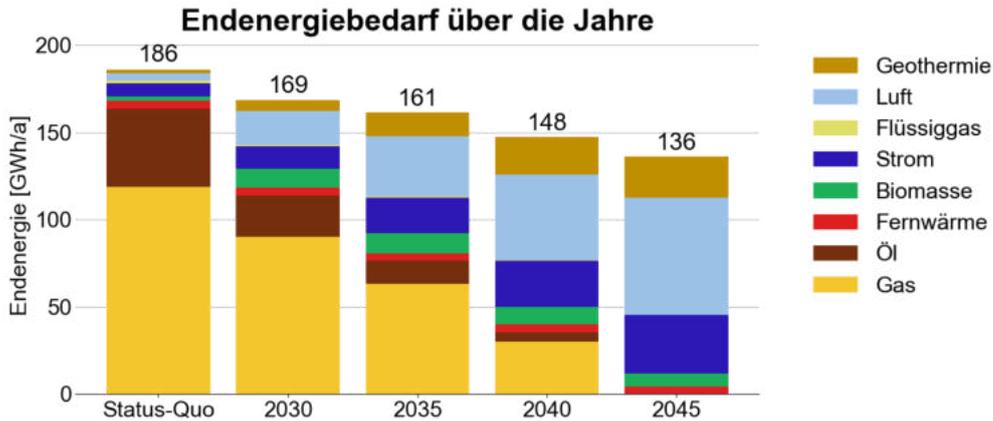


Abbildung 59: Entwicklung der Endenergiebilanz

Bis zum Zieljahr 2045 wird eine Reduktion der jährlichen Treibhausgasemissionen um rund 46.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente erwartet (-98 %, vgl. Abbildung 60). Zum Vergleich: Diese Menge entspricht der CO<sub>2</sub>-Bindungskapazität von etwa 3.000.000 Bäumen pro Jahr. Eine solche Bindung würde jedoch eine Waldfläche von rund 7.700 ha erfordern, was etwa dem 1,6-Fachen der Gesamtfläche von Schwalmtal entspricht [87].

Im aktuellen Zustand stellen gasbasierte Heiztechnologien (60 %) die größten Verursacher von Emissionen dar, gefolgt von Ölheizungen (29 %). Durch die fortschreitende Dekarbonisierung der Wärmeversorgung werden die Emissionen in den kommenden Jahren jedoch deutlich zurückgehen. Im Zieljahr 2045 wird nur noch ein geringer Anteil der ursprünglichen Emissionen verbleiben. Diese Restemissionen resultieren hauptsächlich aus der Verbrennung von Biomasse und den verbleibenden Emissionen des genutzten Stroms.

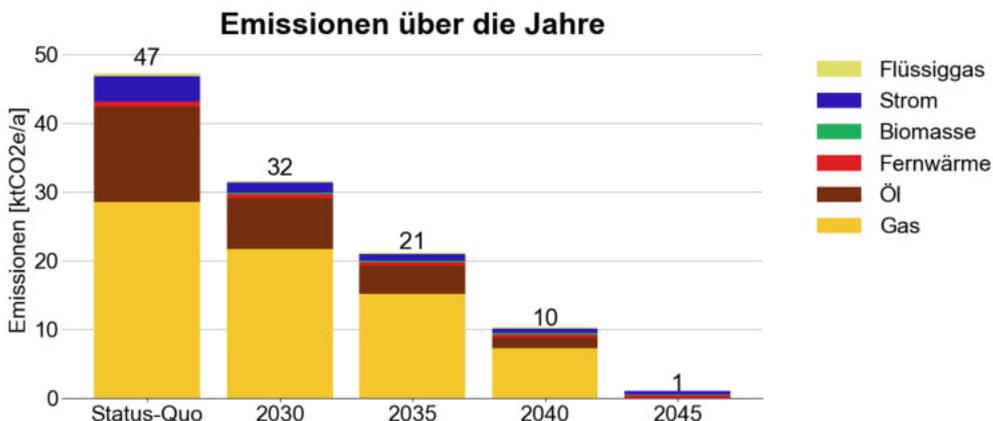


Abbildung 60: Entwicklung der Emissionen

#### **7.2.4 Wahrscheinlichkeit von Wärmeversorgungsarten**

Im Rahmen der Wahrscheinlichkeitseinstufung von Wärmeversorgungsarten nach § 19 WPG wird für jedes betrachtete Teilgebiet eine Bewertung der möglichen Wärmeversorgungsarten im Zieljahr 2045 vorgenommen. Diese erfolgt auf Basis der wirtschaftlichen und technischen Machbarkeit sowie unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten und der langfristigen Klimaziele.

Die im Rahmen dieser Wärmeplanung beplanten einzelnen Teilgebiete entsprechen den Baublöcken. Bei den möglichen Wärmeversorgungsarten wird unterschieden zwischen „dezentraler Wärmeversorgung“, „Wärmenetzen“ und „Wasserstoff“. Die möglichen Wahrscheinlichkeiten sind „sehr wahrscheinlich geeignet“, „wahrscheinlich geeignet“, „wahrscheinlich ungeeignet“ und „sehr wahrscheinlich ungeeignet“. Die Einstufung in eine dieser Kategorien basiert sowohl auf dem Anteil der Einzelgebäude, die für die jeweilige Wärmeversorgungsart geeignet sind, als auch der verfügbaren Netzinfrastruktur.

##### **Dezentrale Wärmeversorgung**

Die dezentrale Wärmeversorgung wird in der zukünftigen Wärmeversorgung von Schwalmtal die entscheidende Rolle einnehmen, wobei insbesondere Wärmepumpen als Schlüsseltechnologie gelten. Luft-Wasser-Wärmepumpen bieten aufgrund ihrer universellen Einsetzbarkeit und Effizienz eine besonders flexible Lösung und können nach derzeitigem Stand in nahezu allen Gebäuden installiert werden. Dabei wurden wesentliche Rahmenbedingungen wie Lärmschutzmaßnahmen und Einhaltung von Abstandsregelungen in der Bewertung bereits berücksichtigt, um eine möglichst reibungslose Integration in bestehende und neue Bauvorhaben zu gewährleisten. Für bestimmte Großverbraucher wie größere Gewerbebetriebe oder Einrichtungen mit hohem Wärmebedarf stellt die Versorgung mit Biomasse eine vielversprechende Alternative dar. Diese Technologie bietet eine stabile und nachhaltige Wärmequelle, insbesondere in Fällen, in denen der Einsatz von Wärmepumpen nicht optimal ist. Dies kann bspw. der Fall sein, wenn hohe Vorlauftemperaturen benötigt werden, da Wärmepumpen in solchen Fällen mit geringerer Effizienz arbeiten. Zudem ermöglicht eine Biomasseheizung eine größere Unabhängigkeit vom Stromnetz. Auch im Bereich des Bestandswärmenetzes bietet der Einsatz von Wärmepumpen Potenzial. Obwohl hier die Möglichkeit besteht, an das bestehende Wärmenetz angeschlossen zu werden, wird die dezentrale Versorgung dennoch als „wahrscheinlich geeignet“ eingestuft. Die Bewertung berücksichtigt sowohl die technischen als auch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, um eine möglichst flexible und effiziente Wärmeversorgung für alle Gebiete sicherzustellen. Insgesamt wird die dezentrale Versorgung durch Wärmepumpen und Biomasse als zentraler Bestandteil der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in der Gemeinde Schwalmtal betrachtet.

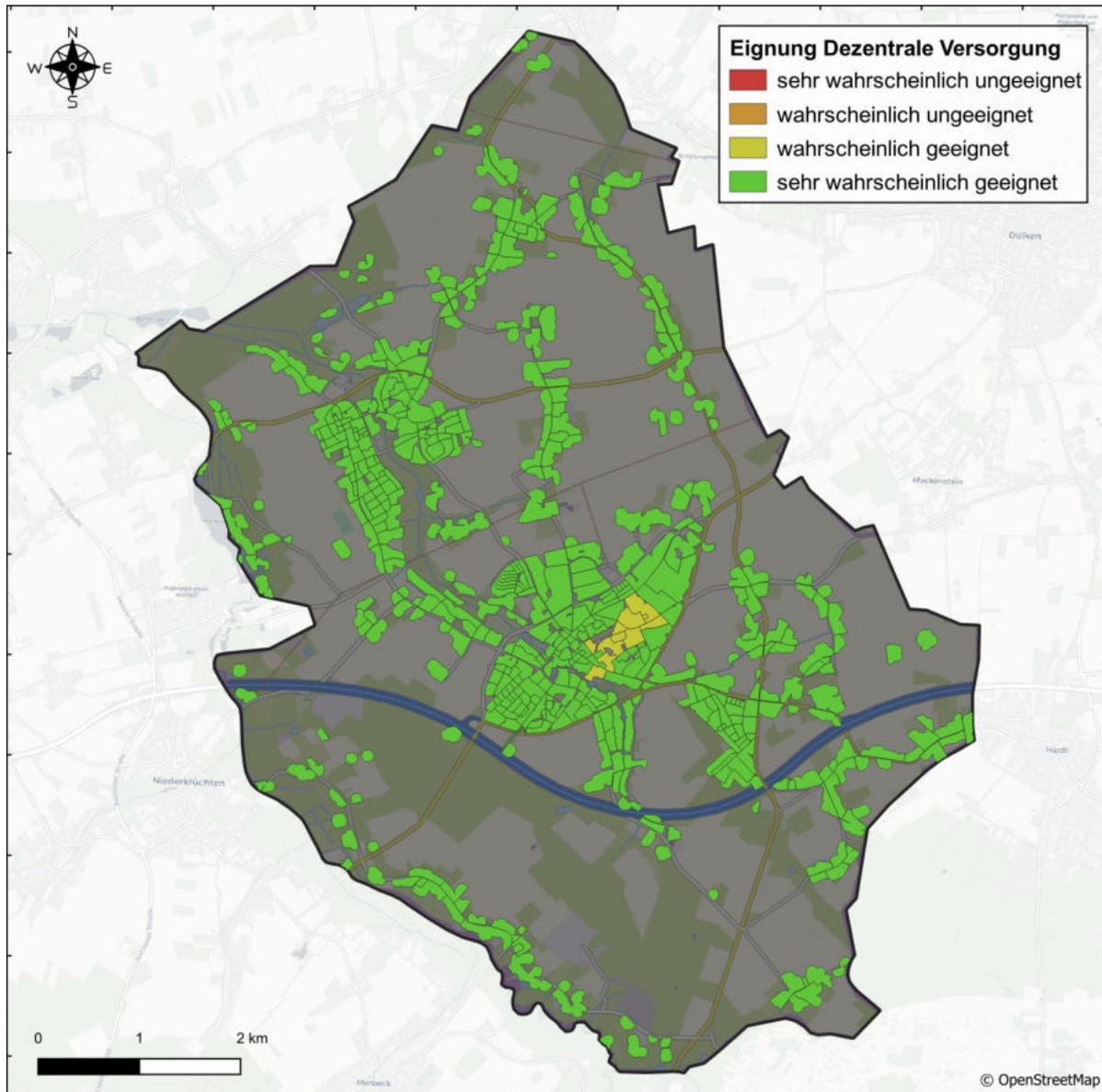


Abbildung 61: Eignung dezentraler Versorgung in 2045 (§ 19 WPG)

### Wärmenetze

Das Potenzial für den Aufbau und Ausbau von Wärmenetzen wird insgesamt als gering eingeschätzt. Während Wärmenetze in spezifischen Bereichen eine sinnvolle Option darstellen können, ist ihre Wirtschaftlichkeit stark von der Wärmedichte abhängig. Im Zentrum von Waldniel besteht ein geringes Potenzial für den Ausbau des bestehenden Wärmenetzes. Nach den derzeitigen Kostenannahmen reicht die Wärmedichte jedoch nicht aus, um den Ausbau des Netzes wirtschaftlich zu gestalten.

Die Bewertung der Eignung erfolgt dabei wie folgt:

- „Sehr wahrscheinlich geeignet“: Gebiete, die bereits an das bestehende Wärmenetz angeschlossen sind oder bei denen ein Ausbau innerhalb des Baublocks aufgrund vorhandener Infrastruktur wirtschaftlich tragfähig erscheint.
- „Wahrscheinlich ungeeignet“: Gebiete mit hoher Wärmedichte (Wärmelinienlänge  $> 3.000 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ), in denen jedoch die wirtschaftlichen und infrastrukturellen Voraussetzungen für ein Wärmenetz nicht ausreichen dürften.

- „Sehr wahrscheinlich ungeeignet“: Gebiete mit geringer Wärmedichte (Wärmeliniedichte  $< 3.000 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ), in denen ein wirtschaftlicher Aufbau und Betrieb von Wärmenetzen schwer realisierbar sein dürften.

Nahwärmelösungen zur Versorgung kleiner Gebäudegruppen von weniger als 16 Gebäuden oder 100 Wohneinheiten wurden in dieser Analyse nicht detailliert betrachtet. Solche Einzellösungen können jedoch insbesondere für spezifische Konstellationen wie Reihenhäuser oder kleinere Gewerbegebiete eine attraktive Option darstellen und sollten in weiteren Planungen individuell geprüft werden.

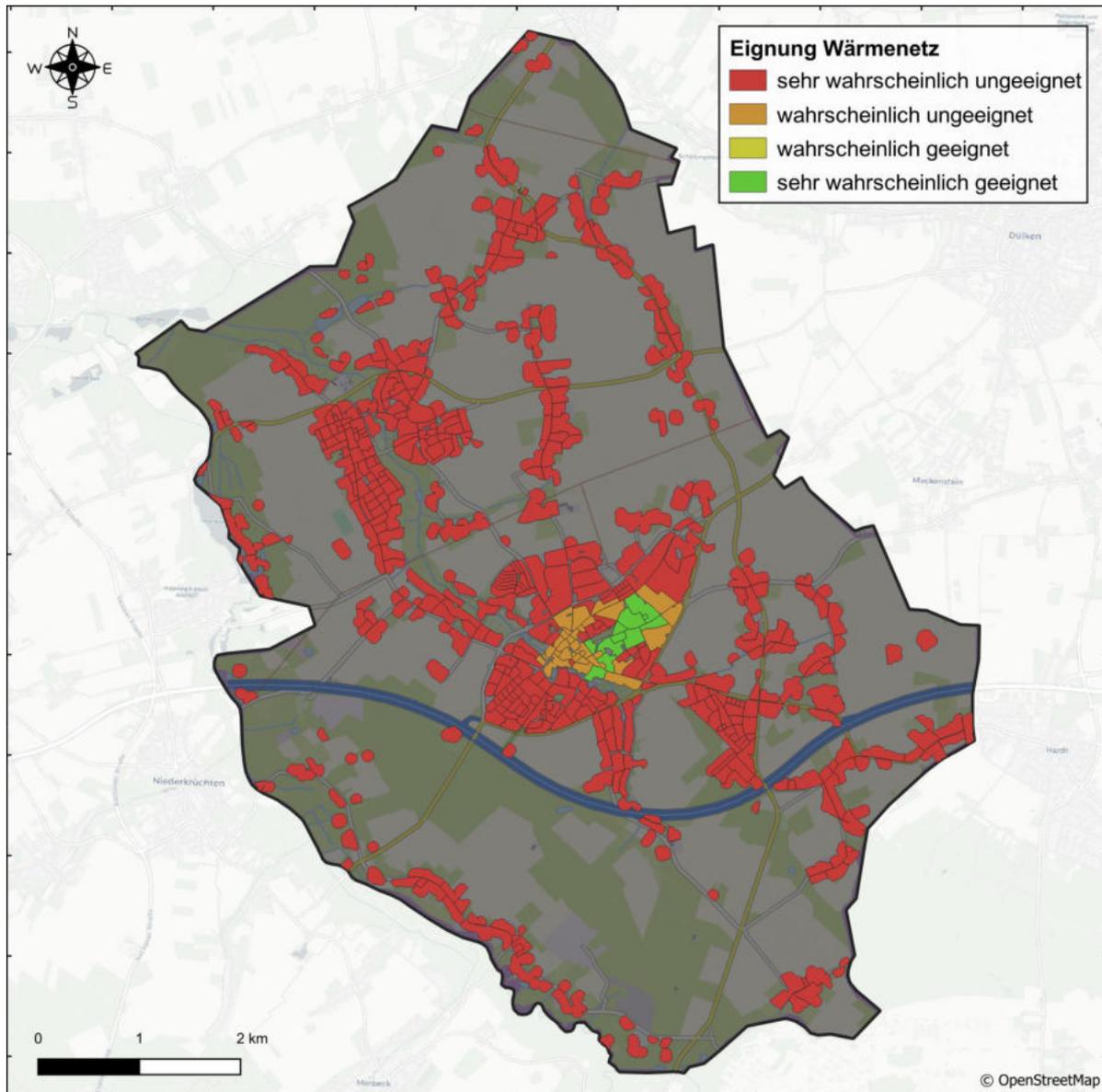


Abbildung 62: Eignung von Wärmenetzen in 2045 (§ 19 WPG)

### Wasserstoff

Wie in der Potenzialanalyse dargestellt, wurde für Schwalmatal kein wirtschaftlich tragfähiger Anwendungsfall für den Einsatz von Wasserstoff zur Wärmeversorgung identifiziert. Die hohen Infrastrukturkosten, die begrenzte Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff und die Konkurrenz zu anderen Anwendungen mit höherer Priorität machen den Einsatz von Wasserstoff zur Wärmebereitstellung in Schwalmatal unattraktiv.

Aufgrund dieser Rahmenbedingungen wird die Versorgung mit Wasserstoff für die zukünftige Wärmebereitstellung in Schwalmatal als sehr unwahrscheinlich eingestuft. Die Planung konzentriert sich daher auf andere Technologien, die eine wirtschaftlichere, umweltfreundlichere und besser verfügbare Lösung bieten.

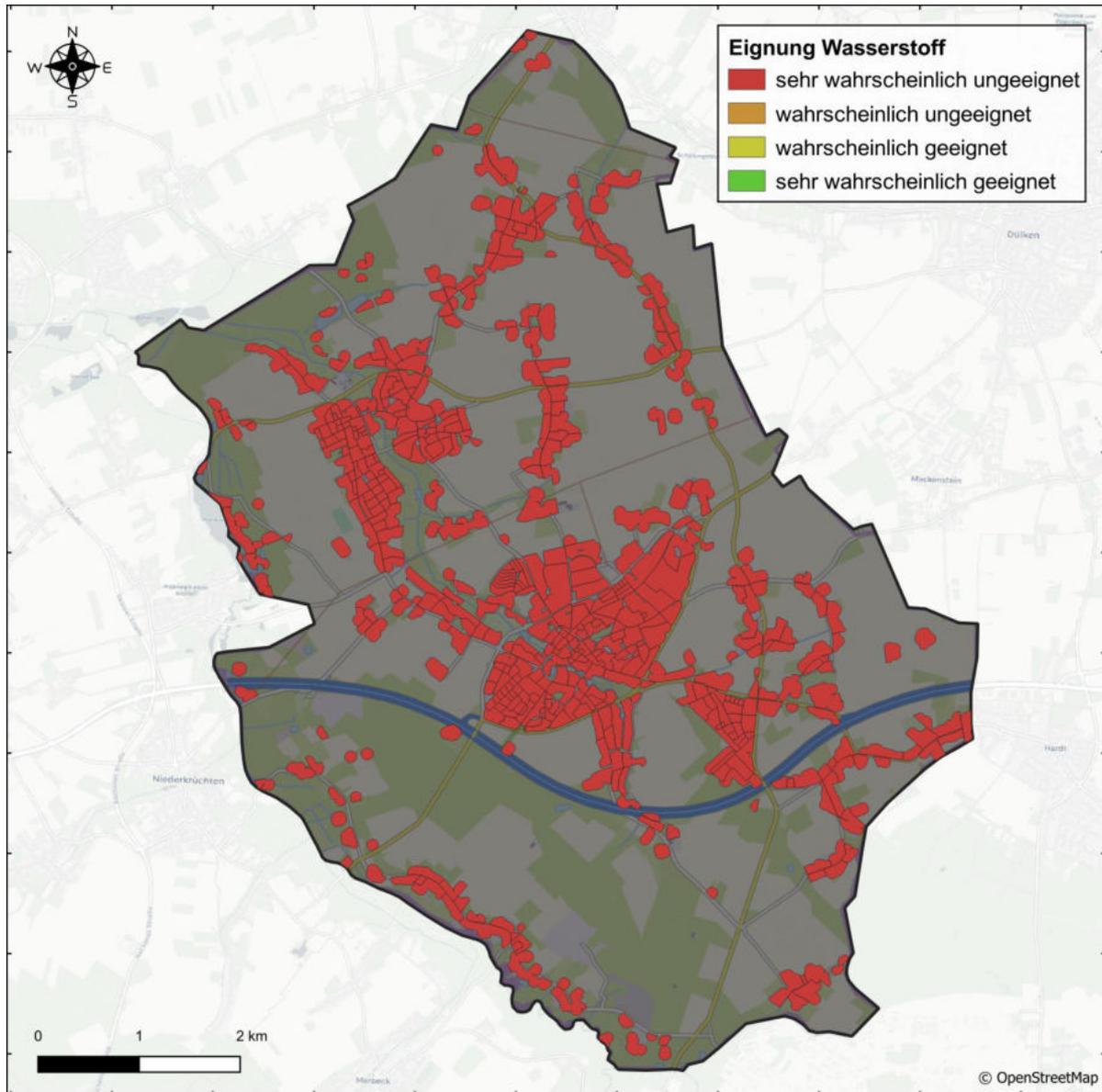


Abbildung 63: Eignung von Wasserstoff in 2045 (§ 19 WPG)

### 7.2.5 Voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete

Bei der Ausweisung von voraussichtlichen Wärmeversorgungsgebieten (§ 18 WPG) soll für jedes Teilgebiet unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeitsvergleichen die am besten geeignete Wärmeversorgungsart ermittelt werden. Die Auswahl erfolgt anhand von Kriterien wie geringen Wärmegestehungskosten, niedrigen Realisierungsrisiken, hoher Versorgungssicherheit und geringen Treibhausgasemissionen bis zum Zieljahr. Dabei werden sowohl Investitions- als auch Betriebskosten berücksichtigt. Die im Rahmen dieser Wärmeplanung beplanten einzelnen Teilgebiete entsprechen den Baublö-

cken. Bei den möglichen Wärmeversorgungsarten wird unterschieden zwischen „dezentraler Wärmeversorgung“, „Wärmenetzen“, „Wasserstoff“ und „Prüfgebieten“. Ein Baublock wird einer Wärmeversorgungsart zugeteilt, wenn dies die beste Wärmeversorgungsart für die Mehrheit der innerhalb dieses Baublocks betrachteten Einzelgebäude darstellt.

Dezentrale Heizungssysteme wie Wärmepumpen und Biomasseheizungen stellen die wahrscheinlichsten Wärmeversorgungstechnologien für nahezu alle Teilgebiete dar (vgl. Abbildung 64).

Eine Ausnahme bildet der Bereich des Bestandswärmenetzes in Waldniel, in dem die Möglichkeit besteht, sich an das bestehende Wärmenetz anzuschließen. Dieser Bereich wird daher als „potenzielles Wärmenetzverdichtungsgebiet“ geplant, da hier die Integration in das bereits vorhandene Wärmenetz eine effiziente Versorgung gewährleisten kann. Wichtig ist anzumerken, dass das Wärmenetz nicht nur in den hier rot eingezeichneten Baublöcken besteht und es potenziell im gesamten Bestandsnetzgebiet die Möglichkeit eines Anschlusses an das Wärmenetz gibt. Die hier rot markierten Baublöcke sind lediglich die Baublöcke, in denen das Wärmenetz für die Mehrzahl der Gebäude die beste Option darstellt.

Wasserstoff wird hingegen für sämtliche Gebiete als keine geeignete Option für die Wärmeversorgung betrachtet. Die hohen Anforderungen an die Infrastruktur und die noch nicht ausreichende Verfügbarkeit von Wasserstoff als Energieträger schließen diese Technologie in der geplanten Wärmeversorgung aus (vgl. Potenzialanalyse).

Die dargestellte Einteilung gilt auch für die Stützjahre 2030, 2035 und 2040, da die technologischen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen in diesen Jahren voraussichtlich ähnliche Optionen und Einschränkungen bieten werden.

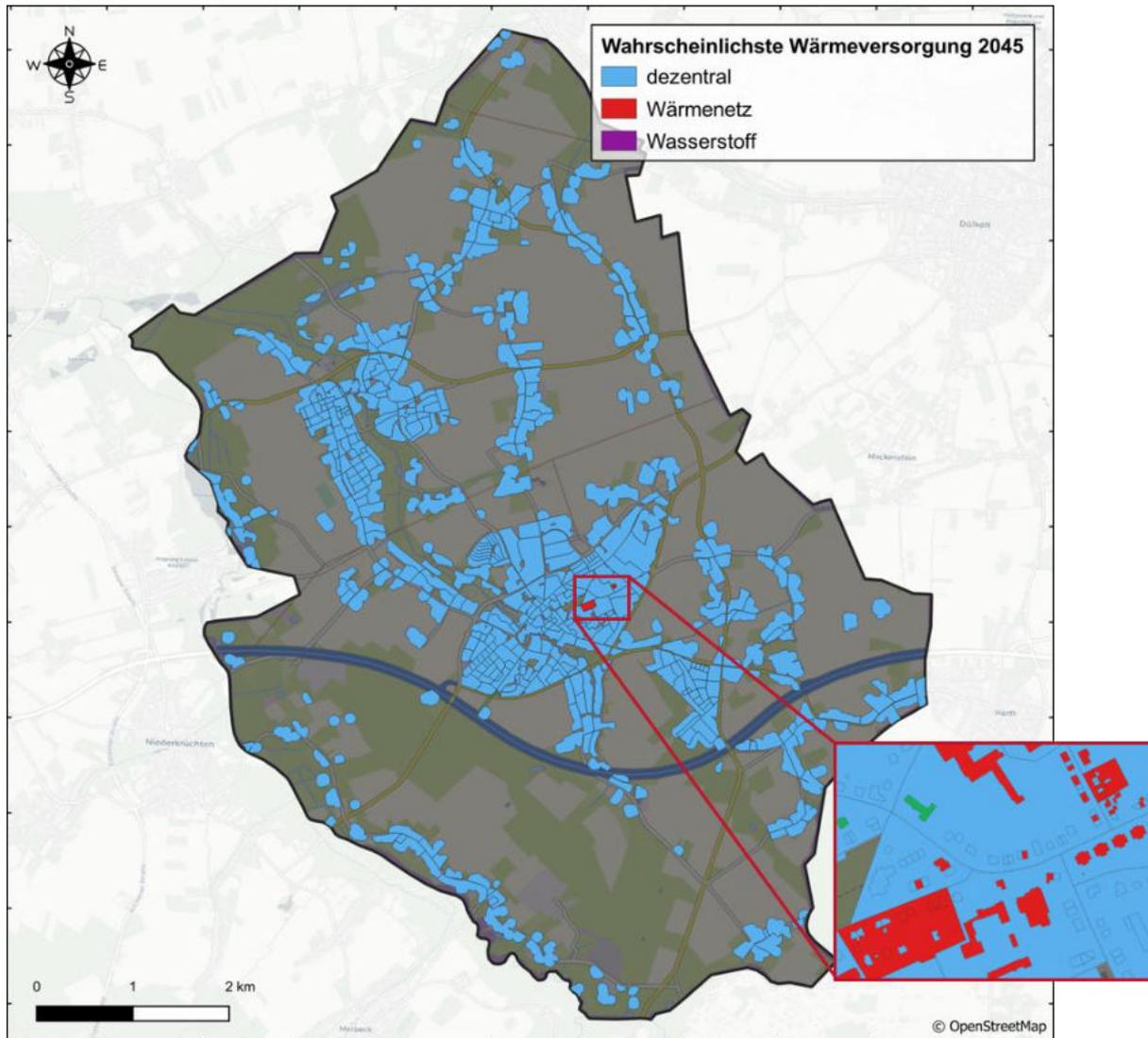


Abbildung 64: Voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete (§ 18 WPG)

## 7.2.6 Investitionsrahmen und Wärmegestehungskosten

### Aggregierte Investitionskosten

Im Rahmen der vorliegenden kommunalen Wärmeplanung wurden die aggregierten Investitionskosten für die energetische Gebäudesanierung wie auch der Investitionsbedarf für die Erneuerung und Modernisierung der Heizungssysteme in der Gemeinde Schwalmtal bis zum Jahr 2045 abgeschätzt. Diese Betrachtungen gehen dabei über die gesetzlichen Anforderungen der kommunalen Wärmeplanung hinaus.

Grundlage dieser Berechnung ist das in Kapitel 6.1.2 beschriebene Verfahren, bei dem für jedes Gebäude ein möglicher Sanierungspfad skizziert wurde. Dabei wurde eine durchschnittliche Sanierungsrate von 1,5 % auf Gemeindeebene eingehalten. Das bedeutet, dass in dieser Berechnung nicht jedes einzelne Gebäude saniert wurde, sondern nur diejenigen, bei denen relevante Energieeinsparungen erzielt werden konnten, bis die angestrebte Sanierungsrate erreicht war. Als Summe der energetischen Sanierungsmaßnahmen an den einzelnen Gebäuden ergeben sich Gesamtkosten in Höhe von rund

320 Millionen € (Kostenannahmen: Fenster: 370 €/m<sup>2</sup>, Fassade: 200 €/m<sup>2</sup>, Dach: 200 €/m<sup>2</sup>, Bodenplatte: 100 €/m<sup>2</sup>). Diese Berechnung berücksichtigt keine möglichen Fördermittel, da diese individuell und von den jeweils aktuellen Rahmenbedingungen abhängig sind. Der aktuelle Förderrahmen sieht eine Förderung von etwa 10-30 % vor (einzelfallabhängig). Umgelegt auf die Bevölkerung von Schwalmatal entsprechen die 320 Millionen € etwa 17.000 € pro Kopf. Es ist jedoch zu beachten, dass etwa 21 % dieser Investitionen nicht auf private Haushalte, sondern auf andere Gebäudekategorien wie Gewerbe, öffentliche Einrichtungen oder andere nicht-private Nutzungen entfällt.

Der Investitionsbedarf für die Erneuerung und Modernisierung der Heizungssysteme im Zielszenario wird bis zum Jahr 2045 auf Basis der Investitionskostenannahmen für einzelne Heizungsanlagen des KWW-Technikkatalogs [29] auf 235 Millionen € beziffert. Auch diese Summe berücksichtigt noch keine Fördermittel oder Subventionen. Die Berechnung basiert auf dem in Kapitel 7.1.3 beschriebenen Verfahren, bei dem für jedes Gebäude in der Gemeinde Schwalmatal die wirtschaftlich geeignetste Heizungstechnologie unter Berücksichtigung relevanter Rahmenbedingungen bis zum Zieljahr 2045 ermittelt wurde. Für ein exemplarisches Einfamilienhaus mit einer angenommenen Heizlast von 10 kW betragen die angenommenen Investitionskosten im Jahr 2025 für eine Luft-Wasser-Wärmepumpe bspw. 31.400 €. Dieser Wert setzt sich aus einer leistungsunabhängigen Komponente (fixe Kosten) in Höhe von 6.400 € sowie einer leistungsabhängigen Komponente (variable Kosten) in Höhe von 2.500 € pro kW zusammen. Es ist wichtig anzumerken, dass ein wesentlicher Teil dieser Kosten unabhängig von einem Umstieg auf klimafreundlichere Technologien wie Wärmepumpen entstehen würde, da der Austausch von Heizungen aufgrund des Alters der Systeme ohnehin in regelmäßigen Abständen erforderlich ist. Auch bei den Heizungen entfällt ein nicht zu vernachlässigender Anteil von etwa 18 % der Investitionskosten auf den GHD-Sektor. Dieser Anteil ist geringer als der des GHD-Sektors am Wärmebedarf, da die Heizsysteme in diesem Bereich im Durchschnitt deutlich größer sind und dadurch Skaleneffekte bei den Investitionskosten entstehen.

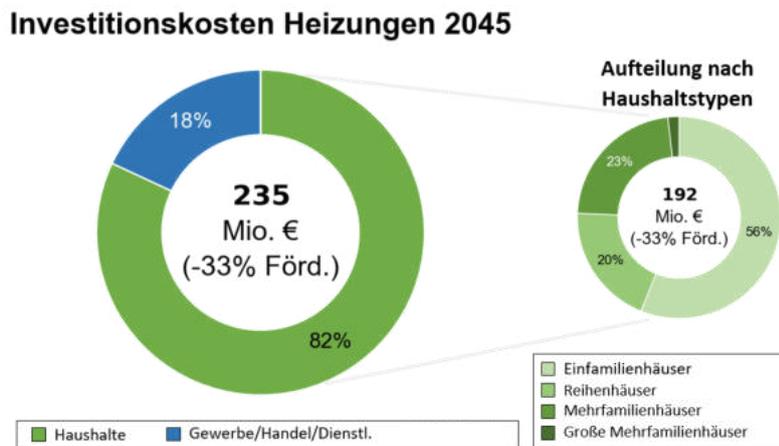


Abbildung 65: Investitionskosten in Heizungen bis 2045

Die Kostenbewertung verdeutlicht die finanziellen Herausforderungen, die mit der Umsetzung des Zielszenarios bis 2045 verbunden sind und unterstreicht die Notwendigkeit einer gezielten Förderstrategie, um die Last für die betroffenen Akteure zu reduzieren und die Sanierungsmaßnahmen effektiv umzusetzen.

### Wärmegestehungskosten für Endkunden

Die Wärmegestehungskosten bezeichnen die gesamten Kosten, die mit der Erzeugung von Wärme verbunden sind und werden i. d. R. in € oder ct pro produzierter kWh Wärme über die Lebensdauer einer Heizung gemessen. Zu den Kosten gehören sowohl die direkten Energiekosten als auch die Investitions-

und Betriebskosten (inkl. Förderung) für die erforderliche Technik. Sie umfassen zudem die Belastungen durch Steuern, Umlagen und Abgaben. Die Kosten der Wärmeerzeugung sind stark von individuellen Faktoren abhängig und können je nach Heizungsoption und Rahmenbedingungen erheblich variieren. Diese Unterschiede ergeben sich u. a. aus der jeweiligen Technologie, dem energetischen Standard des Gebäudes, der regionalen Verfügbarkeit von Energieträgern sowie aus regulatorischen und politischen Vorgaben. Die Wahl der Wärmeerzeugungstechnologie beeinflusst nicht nur die direkten Energiekosten, sondern auch die Investitions- und Betriebskosten sowie die Möglichkeiten zur Nutzung von Fördermitteln.

Die wesentlichen Annahmen für die Entwicklung der Energiepreise für Endkunden wurden in Kapitel 7.1.1 beschrieben. Da Strom eine zunehmend zentrale Rolle spielt, insbesondere im Kontext von Wärmepumpen, werden absehbare Entwicklungen in diesem Sektor im Folgenden noch einmal differenziert dargelegt. Die Strompreise werden durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Dazu gehören die Belastung durch Steuern, Umlagen und Abgaben, aber auch die Netzentgelte. Die Netzentgelte für Strom machen in Deutschland aktuell rund ein Drittel des Strompreises aus und dienen der Deckung der Kosten für Ausbau und Betrieb der Stromnetze. Dieser Ausbau wird maßgeblich durch Faktoren wie den Zubau erneuerbarer Energien und die fortschreitende Elektrifizierung in verschiedenen Sektoren beeinflusst. Studien prognostizieren, dass der Bedarf an Übertragungs- und Verteilnetzausbau weiterhin hoch bleiben wird, um den Anforderungen eines klimaneutralen Energiesystems gerecht zu werden [88]. Auch der erwartete Anstieg des CO<sub>2</sub>-Preises kann Einfluss auf den Strompreis haben, selbst wenn Verbraucher einen Ökostromtarif gewählt haben. Das liegt an der Preisbildung am Strommarkt. An der Strombörse bestimmt das teuerste, zur Deckung der Nachfrage benötigte Kraftwerk den Preis. Häufig handelt es sich dabei um ein Gas- oder Kohlekraftwerk. Da diese für ihre Emissionen CO<sub>2</sub>-Zertifikate erwerben müssen, steigen mit höheren Zertifikatspreisen auch die Strompreise. Energieversorger orientieren sich an diesen Börsenpreisen, unabhängig davon, ob sie selbst fossilen oder erneuerbaren Strom liefern. Nur in Stunden, in denen die gesamte Stromnachfrage durch erneuerbare Energien gedeckt wird, hat der CO<sub>2</sub>-Preis keinen Einfluss. Langfristig entfällt dieser Einfluss, wenn fossile Kraftwerke vollständig ersetzt sind. Zudem wirkt sich die zunehmende Nutzung erneuerbarer Energien positiv auf die Strompreise aus, da sie keine Brennstoffkosten verursachen und die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern weiter sinkt. Die Investitionskosten für den Einbau klimafreundlicher Heizungstechnologien (insbesondere Wärmepumpen) sind i. d. R. höher als bislang vorherrschend eingesetzte Heizungstechnologien (insbesondere Gasheizungen) [29]. Gleichzeitig bieten staatliche Förderprogramme Anreize für den Einsatz strombasierter Heiztechnologien, wodurch die anfänglichen Investitionen teilweise abgedeckt und die durchschnittlichen Wärmegestehungskosten reduziert werden. Ein weiterer wesentlicher Faktor für die individuellen Wärmegestehungskosten ist der energetische Zustand des Gebäudes. Höhere Effizienzstandards und Sanierungsmaßnahmen können den Wärmebedarf erheblich reduzieren, was sich direkt auf die laufenden Kosten auswirkt. Für viele Haushalte und Unternehmen ist daher eine Kombination aus effizienter Wärmeerzeugungstechnologie und verbesserter Gebäudehülle der effektivste Ansatz, um die Gesamtkosten langfristig zu optimieren. Ergänzt um eine PV-Anlage und einen Batteriespeicher kann zusätzlich die Unabhängigkeit vom Strompreis durch die Reduzierung des Netzstrombezugs, die Speicherung von Überschussstrom sowie Einnahmen durch Netzeinspeisung gefördert werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Kosten für die Wärmeerzeugung von einer Vielzahl an Faktoren beeinflusst werden und individuell stark variieren können. Dennoch ist aufgrund der allgemeinen Markttrends, des politischen Handlungsdrucks zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen und des steigenden Investitionsbedarfs in Infrastrukturen damit zu rechnen, dass die Preise für alle Optionen tendenziell steigen werden.

## 8 Fokusgebiete

Im Folgenden wird der Fokus auf zwei spezifische Gebiete der Gemeinde Schwalmtal gelegt: das Musikerviertel und das Sternenviertel. Diese Gebiete wurden ausgewählt, um detailliertere Analysen und Handlungsempfehlungen für eine zukunftsfähige Wärmeversorgung zu entwickeln. Es werden die Besonderheiten der jeweiligen Gebiete untersucht und Lösungsvorschläge erarbeitet, welche die Effizienz und Nachhaltigkeit der Wärmeversorgung in diesen Stadtteilen fördern. Die Betrachtung dieser beiden Fokusgebiete geht über die gesetzlichen Anforderungen der kommunalen Wärmeplanung hinaus.

### 8.1 Musikerviertel



Abbildung 66: Lage des Musikerviertels

Das Musikerviertel in Schwalmtal-Waldniel liegt zwischen den Straßen Stöckener Weg, Heerstraße und Dülkener Straße und verdankt seinen Namen den benachbarten Straßen, die nach berühmten Musikern und Komponisten benannt sind. Das Gebiet umfasst eine Fläche von 4,8 ha und ist geprägt von ausschließlich Wohngebäuden, überwiegend in Form von Reihenhäusern. Die meisten der Gebäude wurden vor 1980 errichtet.

### 8.1.1 Status-Quo

Im betrachteten Fokusgebiet liegen insgesamt 107 Gebäude. Davon sind 70 % Reihenhäuser mit einer Wohneinheit, 19 % Einfamilienhäuser und 11 % Mehrfamilienhäuser (vgl. Abbildung 67).

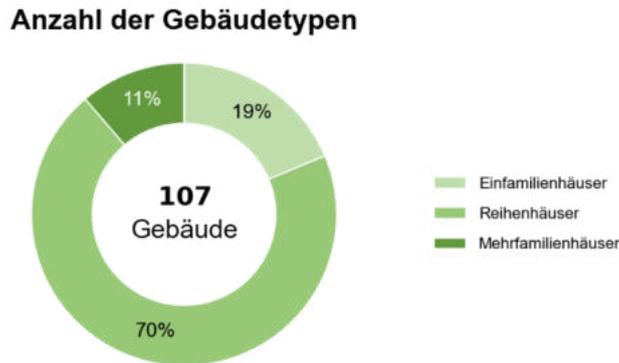


Abbildung 67: Gebäudetypen im Musikerviertel

Laut Gebäudedatenbank wurden alle Gebäude bis auf vier vor 1980 errichtet (vgl. Abbildung 68). Der Großteil der Gebäude wurde zudem vor der Baualtersklasse 1970-1979 gebaut, also vor Einführung des ersten Energieeinsparungsgesetzes. Dies deutet auf ein hohes Sanierungspotenzial hin.

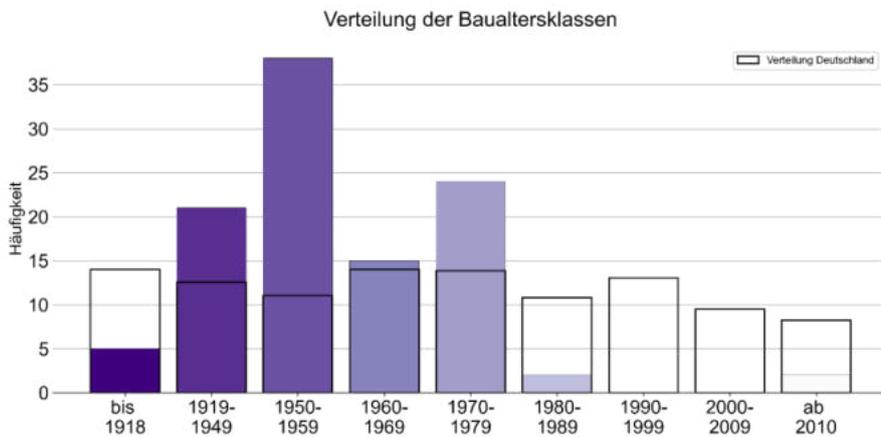


Abbildung 68: Häufigkeit der Baualtersklassen im Musikerviertel

Die Analyse des spezifischen Endenergieverbrauchs je Gebäude erfolgte auf Basis des Referenzklimas also vergleichbar mit den Angaben aus den Gebäudeenergieausweisen. Die Berechnung der Energieeffizienzklassen richtet sich nach § 20 Absatz 40 des GEG. Dabei bleiben Anteile aus Solarstrahlung und Umweltwärme, einschließlich Geothermie, unberücksichtigt, da sie nicht zum Endenergiebedarf gezählt werden, der für die Einordnung in die Energieeffizienzklassen maßgeblich ist. Die Ergebnisse zeigen, dass der spezifische Endenergieverbrauch im Musikerviertel um 18 kWh/m<sup>2</sup>\*a höher liegt als der Durchschnitt der Gemeinde Schwalmtal. Nur vier der Gebäude können den Energieeffizienzklassen A und A+ zugeordnet werden und sind somit mit der Effizienz eines Neubaus vergleichbar (vgl. Abbildung

69). 39 Gebäude können den Energieeffizienzklassen F und schlechter zugeordnet werden. Dabei handelt es sich i. d. R. um alte bislang unsanierte Gebäude.

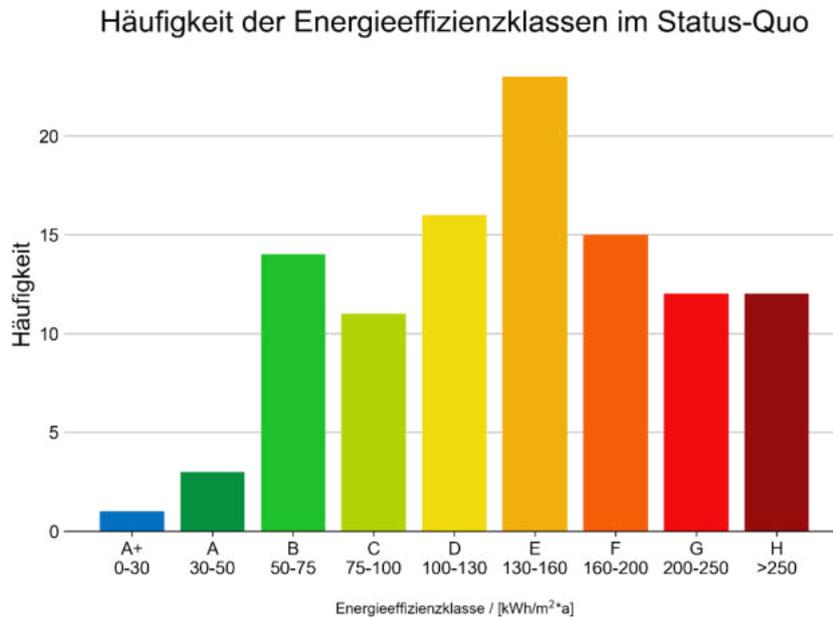


Abbildung 69: Häufigkeiten der Energieeffizienzklassen im Musikerviertel

Das Musikerviertel ist besonders geprägt durch den hohen Anteil an Gasheizungen. Diese machen insgesamt 92 % der für die Wärmeversorgung benötigten Endenergie von rund 2 GWh/a aus (vgl. Abbildung 70). Darüber hinaus gibt es eine geringe Anzahl an Ölheizungen, Biomasseheizungen und Wärmepumpen.

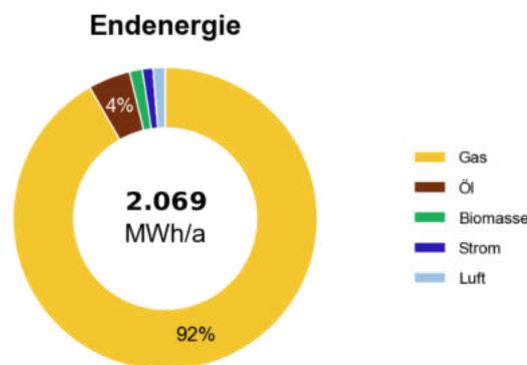


Abbildung 70: Endenergiebedarf für die Wärmeversorgung im Musikerviertel

### 8.1.2 Potenziale zur Energieeinsparung und Erzeugung erneuerbarer Wärme

#### Sanierungspotenzial

Der aktuelle Wärmebedarf im Musikerviertel beträgt 1,92 GWh/a. Zur Reduktion dieses Bedarfs wurden mögliche Einsparpotenziale analysiert, wobei sich alle betrachteten Maßnahmen an dem Sanierungsstandard KfW 70 orientieren. Entsprechend dem Zielszenario dieser Wärmeplanung, in dem eine Kombination aus Teil- und Vollsanierungen angenommen wird, können Einsparungen von 33 % des Wärmebedarfs erzielt werden. Die Investitionskosten für diese Sanierungen belaufen sich auf etwa 4 Millionen € (ohne Berücksichtigung möglicher Fördermittel).

Eine Maximierung der Einsparungen auf bis zu 46 % ist durch die Vollsanierung aller Gebäude im Viertel erreichbar. Die hierfür erforderlichen Investitionskosten betragen rund 9 Millionen € (ohne Förderung).

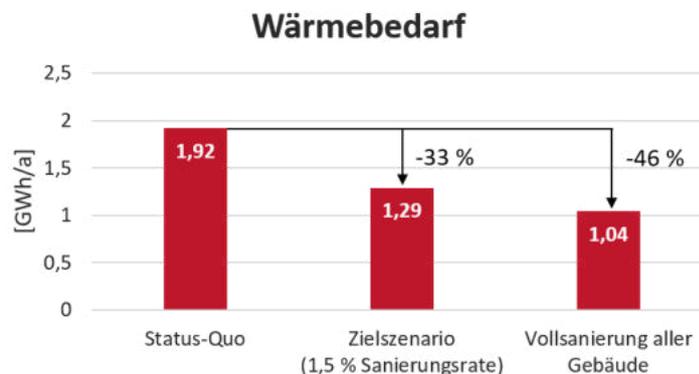


Abbildung 71: Sanierungspotenzial im Musikerviertel

Sanierungsmaßnahmen werden i. d. R. mit Förderquoten von 10 bis 30 % unterstützt. Eine Vollsanierung aller Gebäude würde jährliche Einsparungen bei den Betriebskosten von etwa 33.000 € bewirken (Annahmen: Kosten Wärmepumpenstrom 25 ct/kWh; Durchschnittliche Jahresarbeitszahl 3 (Vollsanierung 3,5)). Allerdings amortisieren sich die hohen Investitionskosten in diesem Szenario erst nach mehr als 100 Jahren, selbst unter Berücksichtigung von Fördermitteln.

Die Ergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit einer sorgfältigen Priorisierung und Planung der Maßnahmen, um die wirtschaftliche Tragfähigkeit und die angestrebten Einsparziele in Einklang zu bringen.

### Erzeugungspotenzial

Eine Analyse digitaler Orthofotos des Betrachtungsgebiets zeigt, dass derzeit lediglich 2 der insgesamt 107 Gebäude im Musikerviertel mit einer PV- oder Solarthermieanlage ausgestattet sind. Die Betrachtung der Dachflächen zeigt, dass insbesondere im südlichen Teil des Fokusgebiets Dachflächen mit einer Süd-Ost-Ausrichtung vorhanden sind, die sich für die Eigenstromnutzung am Vormittag besonders eignen. Im nördlichen Teil des Gebiets finden sich überwiegend Dachflächen mit West-Ausrichtung, die jedoch geringere solare Erträge aufweisen. Insgesamt beträgt das nutzbare Dachflächenpotenzial unter Berücksichtigung baulicher Einschränkungen wie Dachgauben und Schornsteine rund 5.500 m<sup>2</sup>. Das PV-Potenzial im Musikerviertel wird entsprechend auf eine installierbare Leistung von 620 kWp geschätzt. Damit könnten jährlich rund 560 MWh Strom erzeugt werden, was einen wichtigen Beitrag zur lokalen Energiewende leisten würde.

Die mögliche Nutzung von Solarthermieanlagen könnte eine jährliche Wärmeerzeugung von etwa 2.300 MWh ermöglichen. Ein Großteil dieser Wärme fällt jedoch im Sommer an, wenn der Wärmebedarf gering ist. In der Praxis werden Solarthermieanlagen i. d. R. so ausgelegt, dass sie 60 % des Warmwasserbedarfs decken können. Das wirtschaftliche Potenzial fällt somit deutlich geringer aus. Zudem besteht eine Flächenkonkurrenz zu PV-Anlagen. Insbesondere bei Gebäuden mit Wärmepumpen sind PV-Anlagen i. d. R. wirtschaftlicher. Daher ist eine sorgfältige Abwägung zwischen den Technologien erforderlich, um das Potenzial der verfügbaren Dachflächen optimal zu nutzen.

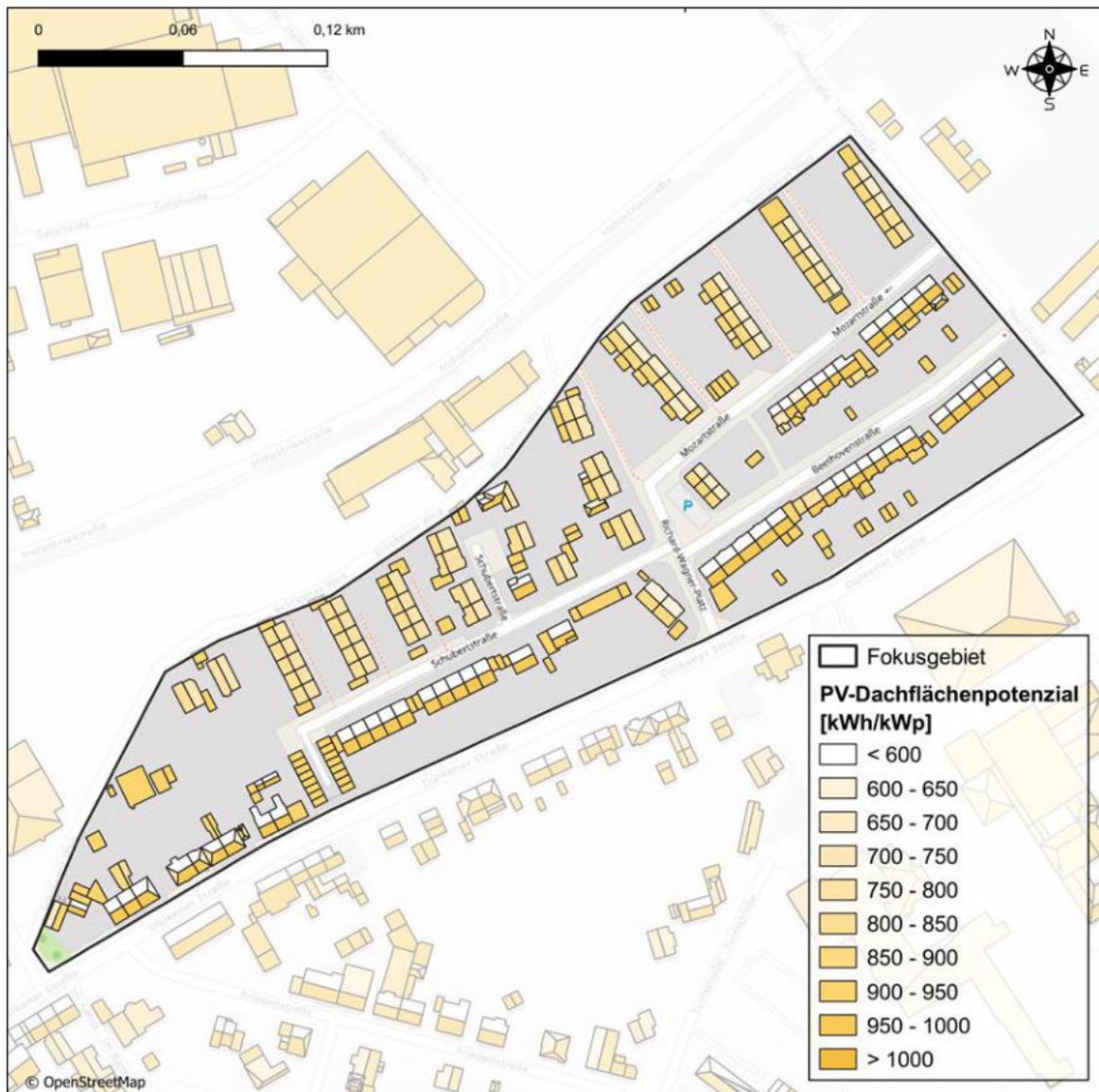


Abbildung 72: Volllaststunden von PV-Dachflächenanlagen im Musikerviertel

Die Bestandsanalyse zeigt, dass lediglich 3 der 107 Gebäude im Musikerviertel mit einer Wärmepumpe ausgestattet sind.

Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen stellen zukünftig eine geeignete Option für die Wärmeversorgung im Musikerviertel dar, da sie i. d. R. überall aufstellbar sind (vgl. Potenzialanalyse). Für den Einsatz von Sole- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen sind im Musikerviertel keine grundlegenden Einschränkungen bekannt wie Wasserschutzgebiete, begrenzte Grabbarkeit oder ungeeignete Grundwasserstände. Allerdings hängt die Nutzung von oberflächennaher Geothermie maßgeblich von der Grundstücksgröße ab. Insbesondere bei Reihenhäusern, die im Musikerviertel häufig anzutreffen sind, kann der begrenzte Platz ein Hinderungsgrund sein. Unter Berücksichtigung der verfügbaren Grundstücksflächen bieten sich folgende Potenziale:

- Erdwärmesonden: Geeignet für etwa 30 der 107 Gebäude
- Grundwasserbrunnen: Geeignet für etwa 23 der 107 Gebäude
- Erdwärmekollektoren: Geeignet für etwa 6 der 107 Gebäude

Die gemeinsame Nutzung von Ressourcen in Form von Nachbarschaftslösungen oder Nahwärmenetzen stellt eine wirtschaftlich attraktive Option dar. So könnten z. B. Bewohner eines Stichwegs mit rund 10 Reihenhäusern gemeinsam in die Errichtung eines Grundwasserbrunnens investieren. Durch die geteilte Nutzung der (Flächen-)Ressourcen können die Wirtschaftlichkeit gesteigert und die Investitionskosten pro Haushalt gesenkt werden.

### Wärmenetz

Eine Analyse der Wärmeliniedichte im Musikerviertel zeigt, dass diese in den meisten Straßenabschnitten lediglich zwischen 1.000 und 3.000 kWh/m\*a liegt. Damit unterschreitet sie deutlich die Schwellenwerte, die üblicherweise für eine wirtschaftlich sinnvolle Nutzung von Wärmenetzen erforderlich sind (vgl. Potenzialanalyse).

Aufgrund der niedrigen Wärmeliniedichte besteht im betrachteten Gebiet kein Potenzial für die Errichtung eines Wärmenetzes. Alternativen wie dezentrale Lösungen, der Einsatz von Wärmepumpen oder Nachbarschaftslösungen sollten daher vorrangig geprüft werden, um die Wärmeversorgung effizient und nachhaltig zu gestalten.

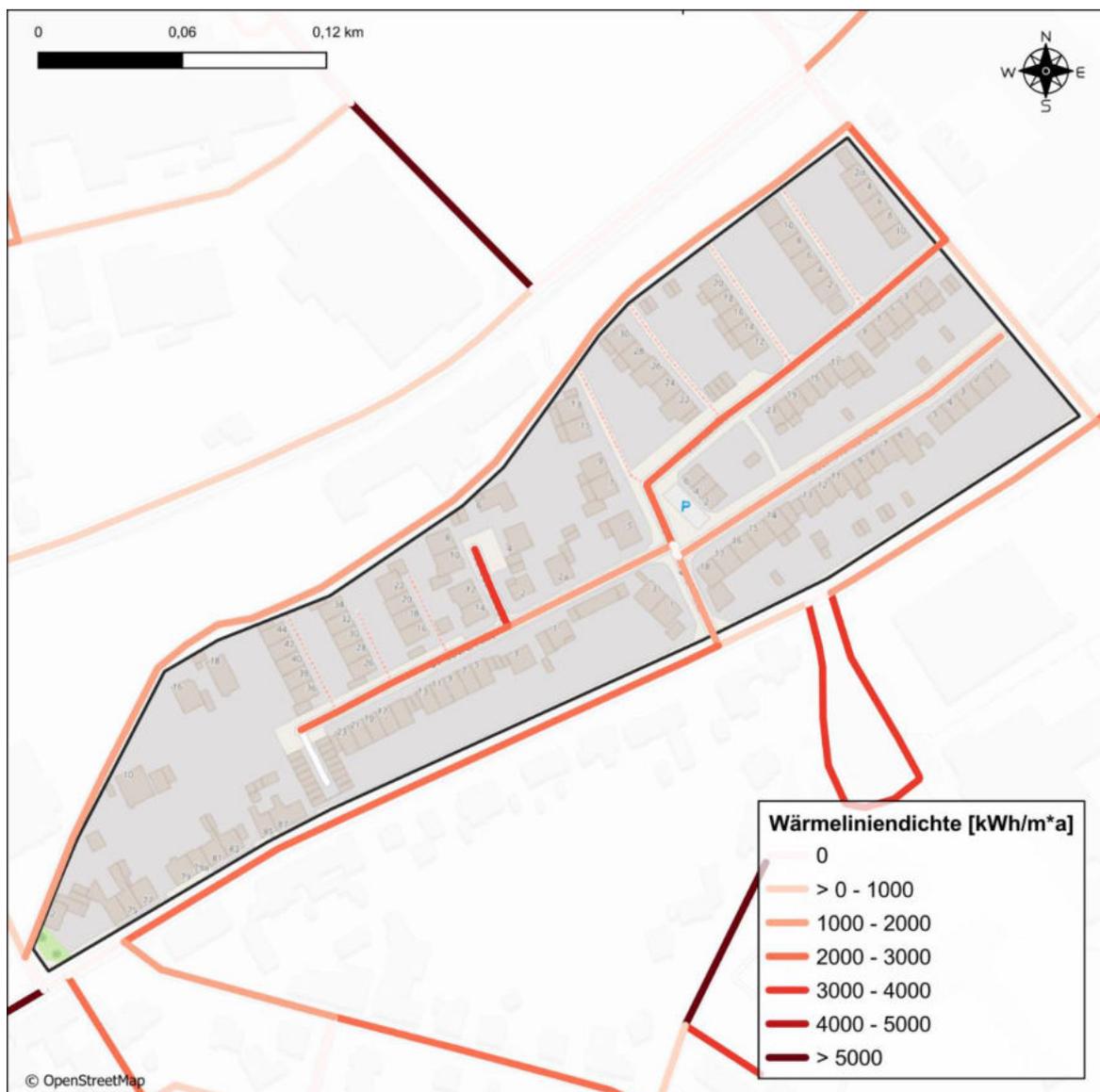


Abbildung 73: Wärmeliniedichten im Musikerviertel

### 8.1.3 Zukünftige Wärmeversorgungsoptionen

Für das Musikerviertel wird eine dezentrale Wärmeversorgung als die geeignete Option für die Zukunft bewertet. Die Wärmedichte im Gebiet ist nicht ausreichend, um den wirtschaftlichen Betrieb eines Wärmenetzes zu rechtfertigen. Aufgrund des begrenzten Platzangebots auf den einzelnen Grundstücken bieten sich insbesondere Luft-Wasser-Wärmepumpen als praktikable Lösung an. Diese Technologie ermöglicht eine effiziente und flexible Wärmeversorgung, die auf die spezifischen Gegebenheiten des Gebiets zugeschnitten ist.

Lokal sind keine negativen Auswirkungen auf Umwelt- und Naturschutz zu erwarten. Im überregionalen Kontext trägt die Senkung der Treibhausgasemissionen jedoch wesentlich zum Klimaschutz bei und unterstützt die Zielsetzungen des Umwelt- und Naturschutzes.

Die exemplarische Analyse der Kosten für ein typisches Reihenhaus zeigt, dass sich Kosten für eine Teilsanierung auf rund 25.000 € belaufen und für den Einbau einer Wärmepumpe Kosten von etwa 10.000 € anfallen. Dabei wurden bereits Förderanteile von 20 % für die Sanierung und 50 % für die Wärmepumpe berücksichtigt. Trotz der finanziellen Unterstützung stellen die hohen Investitionskosten für viele Haushalte eine Herausforderung dar. Die für diese exemplarische Betrachtung verwendeten Kostenannahmen wurden aus dem KWW-Technikkatalog übernommen, können im Einzelfall jedoch deutlich abweichen, bspw. durch mehr oder weniger aufwendige Installationsarbeiten oder abweichende Förderbedingungen [29].

Die Akzeptanz der vorgeschlagenen Maßnahmen wird durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst. Positiv wirkt sich aus, dass die langfristigen Betriebskosten durch die Einführung moderner Technologien und energetischer Sanierungen deutlich gesenkt werden können. Darüber hinaus stärkt die Unabhängigkeit von Gasimporten die Versorgungssicherheit und schützt vor mittelfristigen oder langfristig nicht beeinflussbaren Preisschwankungen auf den Energiemärkten. Auch die regionale Wertschöpfung ist ein wichtiger Vorteil, da Investitionen in Sanierungsmaßnahmen und Wärmepumpen lokale Unternehmen fördern und Arbeitsplätze in der Region schaffen. Zudem leisten die Maßnahmen einen bedeutenden Beitrag zur sozialen Nachhaltigkeit, indem sie die Lebensqualität künftiger Generationen durch effizientere Wärmeversorgung und geringere Emissionen verbessern.

Auf der anderen Seite mindern die hohen Investitionskosten und die noch als „neu“ wahrgenommene Technologie der Wärmepumpen die Akzeptanz in der Bevölkerung. Viele Haushalte könnten von den finanziellen Aufwänden abgeschreckt werden, insbesondere wenn die Vorteile nicht klar kommuniziert werden. Um diese Hürden zu überwinden, sind Informationsveranstaltungen und Beratungsangebote unerlässlich. Sie können helfen, die Bevölkerung über die ökologischen und ökonomischen Vorteile sowie die Funktionsweise der Wärmepumpentechnologie aufzuklären und so die Bereitschaft zur Umsetzung der Maßnahmen zu erhöhen.

## 8.2 Sternenviertel

Das Sternenviertel liegt in Schwalmtal-Amern zwischen den Straßen Saturnweg, Geneschen, Sternstraße und Merkurweg. Der Name zur vorliegenden Bezeichnung des Viertels stammt von den Straßen, die nach Sternen und Planeten benannt sind. Auf einer Fläche von 5,1 ha befinden sich ausschließlich Wohngebäude, darunter eine Mischung aus Einfamilienhäusern, Reihenhäusern und Mehrfamilienhäusern. Die meisten Gebäude wurden nach 1970 errichtet.

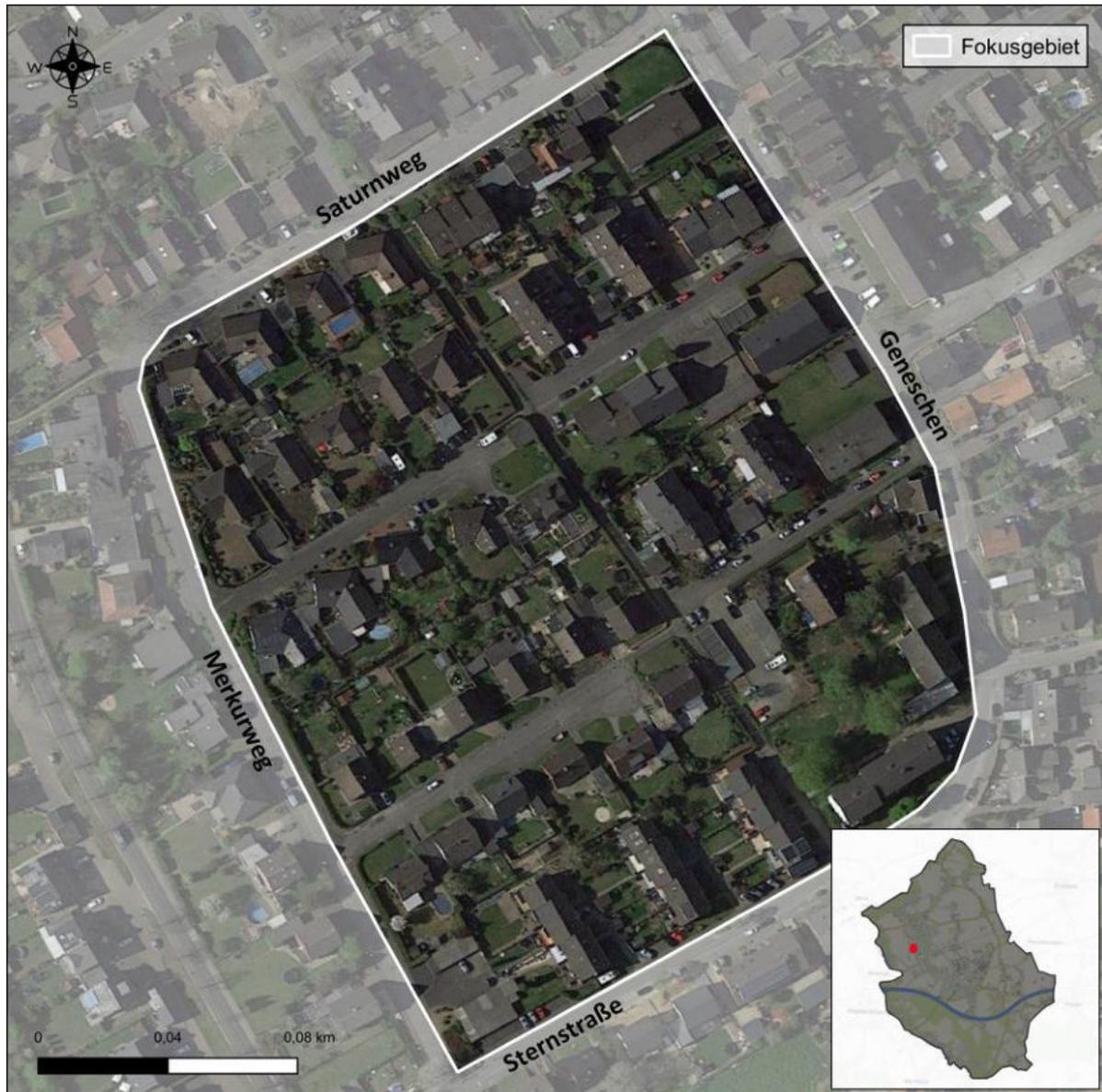


Abbildung 74: Lage des Sternenviertels

### 8.2.1 Status-Quo

Im betrachteten Fokusgebiet liegen insgesamt 75 Gebäude. Davon sind 48 % Reihenhäuser mit einer Wohneinheit, 31 % Einfamilienhäuser und 21 % Mehrfamilienhäuser (vgl. Abbildung 75). Insgesamt ist das Sternenviertel bzgl. der Wohngebäudetypen etwas durchmischer als das Musikerviertel.

### Anzahl der Gebäudetypen

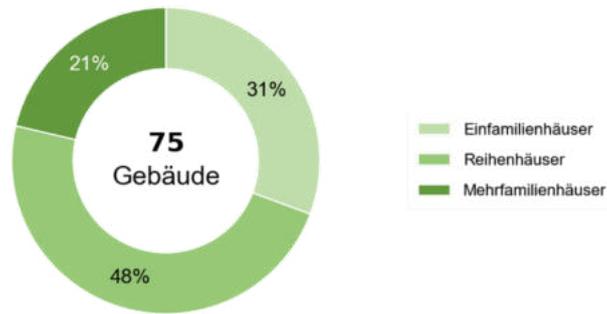


Abbildung 75: Gebäudetypen im Sternenviertel

Der Gebäudebestand im Sternenviertel ist wesentlich jünger als im Musikerviertel. Fast alle Gebäude wurden zwischen 1960 und 1990 errichtet, also in dem Zeitraum, indem die ersten gesetzlichen Baustandards erlassen wurde.

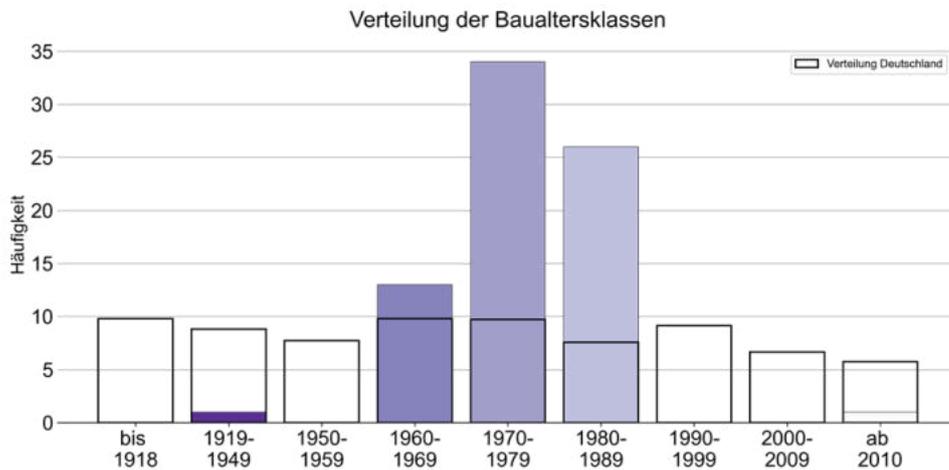


Abbildung 76: Häufigkeit der Baualtersklassen im Sternenviertel

Das jüngere Baualter im Vergleich zum Musikerviertel kommt auch bei der Betrachtung der Energieeffizienzklassen der Gebäude zum Tragen. Gegenüber dem Durchschnitt in Schwalmatal ist der spezifische Endenergiebedarf der Wärmeversorgung im Sternenviertel um 19 kWh/m<sup>2</sup>\*a geringer. Ein Drittel der Gebäude sind bereits den Energieeffizienzklassen A+ bis B zuzuordnen und nur rund 20 % dem Bereich F bis H.

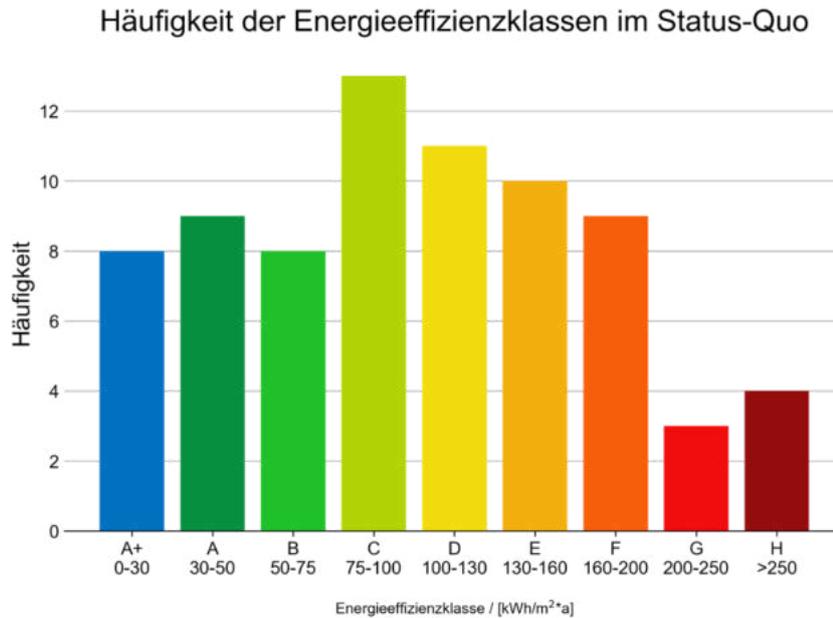


Abbildung 77: Häufigkeiten der Energieeffizienzklassen im Sternenviertel

Der durch die Wärmeversorgung bedingte Endenergiebedarf beträgt etwa 1,4 GWh/a und ist nicht ganz so stark durch Gas dominiert wie im Musikerviertel. 50 % der Endenergienachfrage besteht im Status-Quo aus Gas. Die andere Hälfte setzt sich aus Öl, Biomasse, Strom und Umweltwärme in Form von Luft zusammen. Auffällig ist der hohe Anteil von Strom, der zum einen durch Wärmepumpen bedingt ist, zum anderen aber auch durch Stromdirektheizungen insbesondere in Mehrfamilienhäusern.

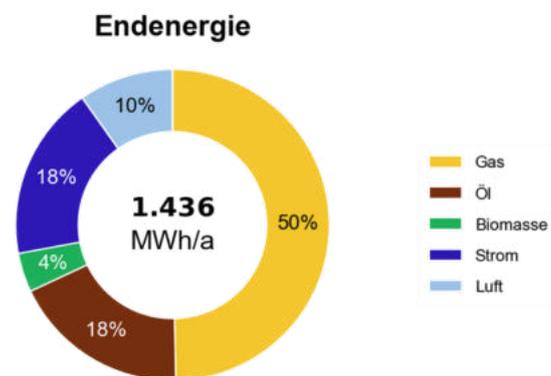


Abbildung 78: Endenergiebedarf für die Wärmeversorgung im Sternenviertel

## 8.2.2 Potenziale zur Energieeinsparung und Erzeugung erneuerbarer Wärme

### Sanierungspotenzial

Der aktuelle Wärmebedarf im Sternenviertel beträgt 1,35 GWh/a. Zur Reduktion dieses Bedarfs wurden auch hier mögliche Einsparpotenziale analysiert, wobei sich alle betrachteten Maßnahmen an dem Sanierungsstandard KfW 70 orientieren. Entsprechend dem Zielszenario dieser Wärmeplanung, in dem eine Kombination aus Teil- und Vollsanierungen angenommen wird, können Einsparungen von 21 % des Wärmebedarfs erzielt werden. Die Investitionskosten für diese Sanierungen belaufen sich auf etwa 2,5 Millionen € (ohne Berücksichtigung möglicher Fördermittel).

Eine Maximierung der Einsparungen auf bis zu 41 % ist durch die Vollsanie- rung aller Gebäude im Viertel erreichbar. Die hierfür erforderlichen Investitionskosten betragen rund 8 Millionen € (ohne Förde- rung).

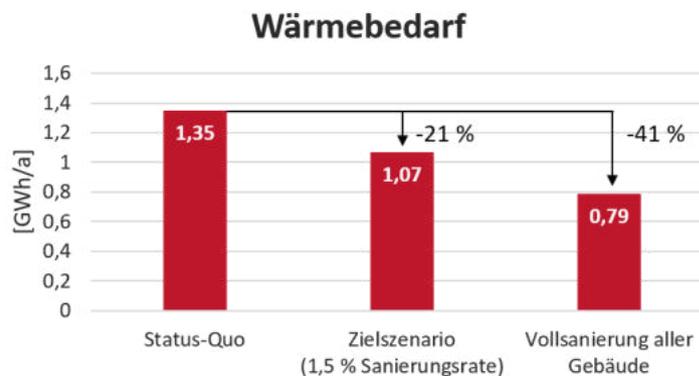


Abbildung 79: Sanierungspotenzial im Sternenviertel

Sanierungsmaßnahmen werden i. d. R. mit Förderquoten von 10 bis 30 % unterstützt. Eine Vollsanie- rung aller Gebäude würde jährliche Einsparungen bei den Betriebskosten von etwa 33.000 € bewirken (Annahmen: Kosten Wärmepumpenstrom 25 ct/kWh; Durchschnittliche Jahresarbeitszahl 3 (Vollsanie- rung 3,5)). Allerdings amortisieren sich die hohen Investitionskosten in diesem Szenario erst nach mehr als 100 Jahren, selbst unter Berücksichtigung von Fördermitteln.

Auch im Sternenviertel verdeutlichen die Ergebnisse die Notwendigkeit einer sorgfältigen Priorisierung und Planung der Maßnahmen, um die wirtschaftliche Tragfähigkeit und die angestrebten Einsparziele in Einklang zu bringen.

### Erzeugungspotenzial

Die Analyse digitaler Orthofotos des Betrachtungsgebiets zeigt, dass derzeit lediglich 8 der insgesamt 75 Gebäude im Sternenviertel mit einer PV- oder Solarthermieanlage ausgestattet sind. Im Musiker- viertel weist ein hoher Anteil der Dachflächen eine Ausrichtung nach Nord-Ost bzw. Süd-West auf. Dabei sind insbesondere die nach Süd-West ausgerichteten Dachflächen für den Eigenverbrauch am Nachmittag und frühen Abend besonders geeignet. Insgesamt beträgt das nutzbare Dachflächenpo- tenzial etwa 4.100 m<sup>2</sup>, wobei bauliche Einschränkungen wie Dachgauben und Schornsteine berücksich- tigt wurden. Das PV-Potenzial im Sternenviertel wird entsprechend auf eine installierbare Leistung von 840 kWp geschätzt. Damit könnten jährlich rund 750 MWh Strom erzeugt werden, was einen wichti- gen Beitrag zur lokalen Energiewende leisten würde. Die mögliche Nutzung von Solarthermieanlagen könnte eine jährliche Wärmeerzeugung von etwa 1.720 MWh ermöglichen. Ein Großteil dieser Wärme fällt jedoch im Sommer an, wenn der Wärmebedarf gering ist. In der Praxis werden Solarthermieanla- gen i. d. R. so ausgelegt, dass sie 60 % des Warmwasserbedarfs decken können. Das wirtschaftliche Potenzial fällt somit deutlich geringer aus.

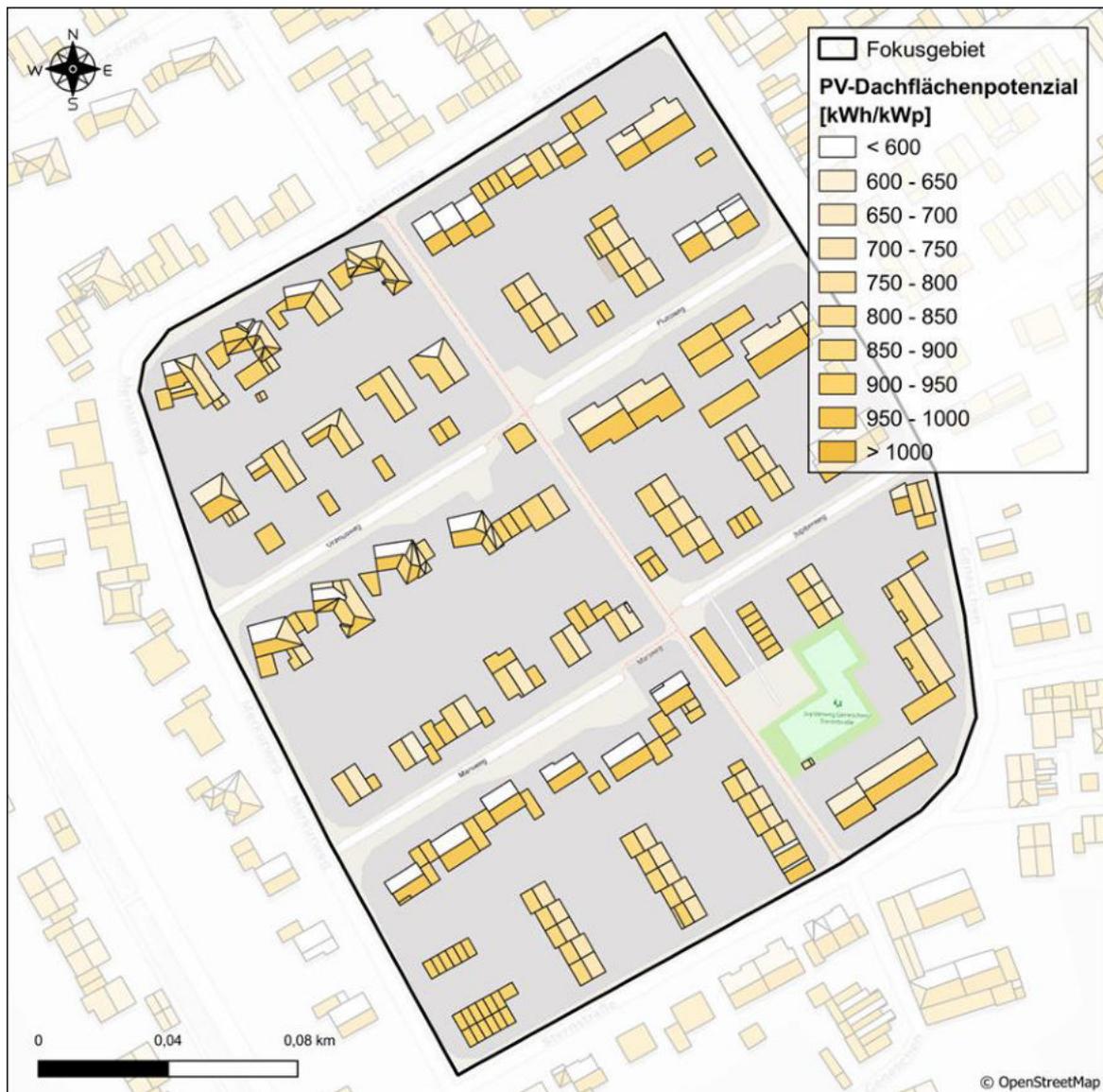


Abbildung 80: Volllaststunden von PV-Dachflächenanlagen im Sternenviertel

Die Bestandsanalyse zeigt, dass bereits 17 der 75 Gebäude im Sternenviertel mit einer Wärmepumpe ausgestattet sind.

Im Sternenviertel gibt es vermehrt Gebäude mit ausreichend Potenzialflächen für die Hebung des Potenzials von oberflächennaher Geothermie:

- Erdwärmesonden: Geeignet für etwa 42 der 75 Gebäude
- Grundwasserbrunnen: Geeignet für etwa 45 der 75 Gebäude
- Erdwärmekollektoren: Geeignet für etwa 14 der 75 Gebäude

Die gemeinsame Nutzung von Ressourcen in Form von Nachbarschaftslösungen oder Nahwärmenetzen stellt eine wirtschaftlich attraktive Option dar. So könnten z. B. Bewohner eines Stichwegs mit rund 10 Reihenhäusern gemeinsam in die Errichtung eines Grundwasserbrunnens investieren. Durch die geteilte Nutzung der (Flächen-)Ressourcen können die Wirtschaftlichkeit gesteigert und die Investitionskosten pro Haushalt gesenkt werden.

## Wärmenetz

Auch im Sternenviertel liegt die Wärmeliniendichte mit 1.000 - 2.000 kWh/m\*a unterhalb üblicher Potenzialkriterien (vgl. Potenzialanalyse). Aufgrund der niedrigen Wärmeliniendichte besteht im betrachteten Gebiet kein Potenzial für die Errichtung eines Wärmenetzes. Alternativen wie dezentrale Lösungen, der Einsatz von Wärmepumpen oder Nachbarschaftslösungen sollten daher vorrangig geprüft werden, um die Wärmeversorgung effizient und nachhaltig zu gestalten.

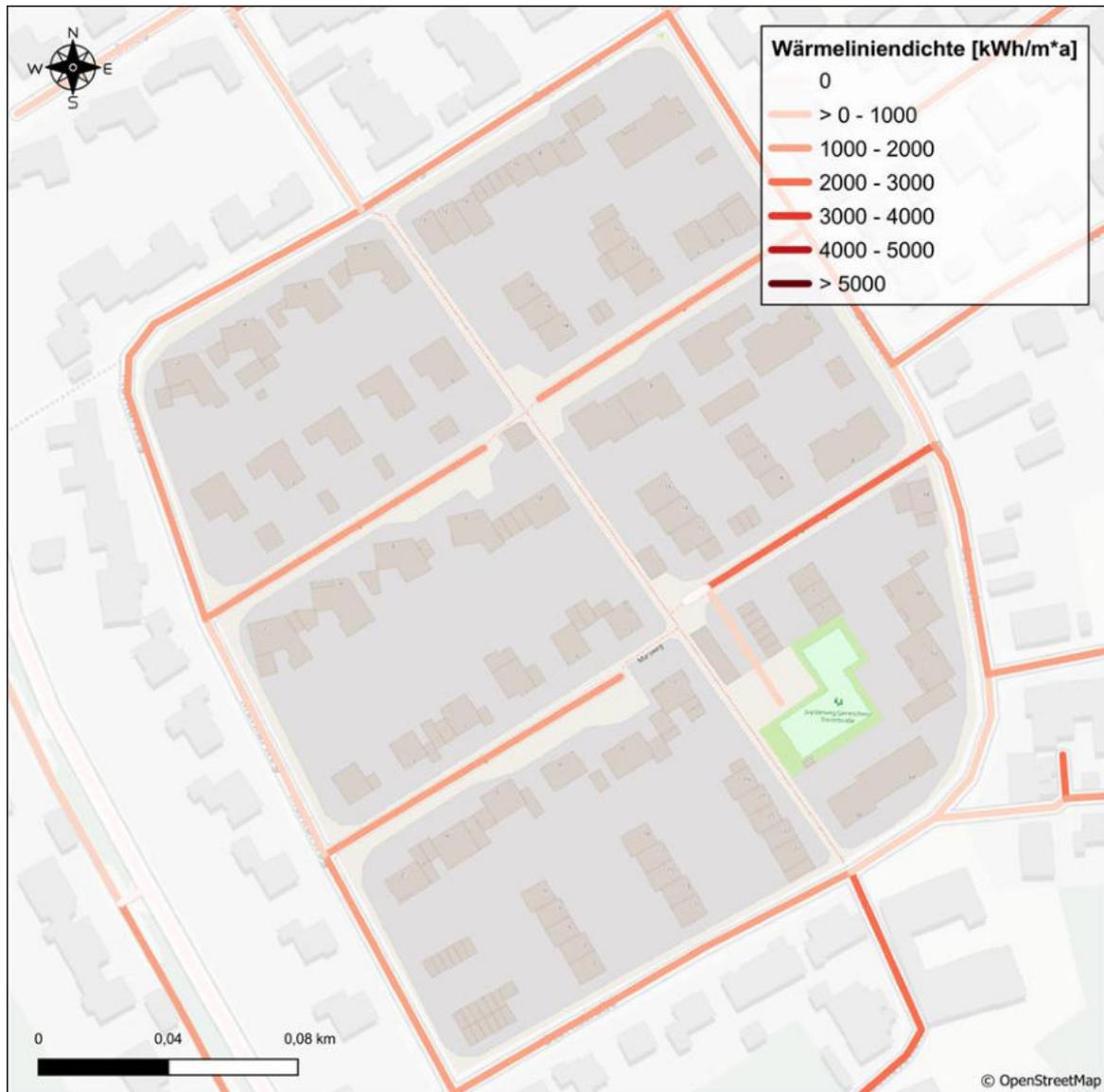


Abbildung 81: Wärmeliniendichten im Sternenviertel

### 8.2.3 Zukünftige Wärmeversorgungsoptionen

Die abgeleiteten Erkenntnisse für das Sternenviertel sind nahezu identisch mit den Schlussfolgerungen für das Musikerviertel (siehe Kapitel 8.1.3). Eine dezentrale Wärmeversorgung wird als die geeignete Option für die Zukunft bewertet. Lediglich kann ein höherer Anteil von Sole-Wasser- bzw. Wasser-Wasser-Wärmepumpen gegenüber Luft-Wasser-Wärmepumpen aufgrund der höheren Verfügbarkeit von Potenzialflächen auf den einzelnen Grundstücken sinnvoll sein.

## 9 Umsetzungsstrategie

Der letzte Schritt im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung umfasst die Definition von Umsetzungsmaßnahmen, mit denen die in der Wärmeplanung gesetzten Ziele zu realisieren sind. Diese Umsetzungsstrategie nach § 20 WPG ist somit als ein Maßnahmenplan zu verstehen, der eine Brücke schlägt von den Analysen und Gebietseinteilungen im Wärmeplan zur Implementierung zielführender Maßnahmen zur Erreichung der Wärmewende in dem beplanten Gebiet [5].

Die Inhalte des Maßnahmenkatalogs für die Gemeinde Schwalmtal wurden dementsprechend aus den zuvor erläuterten Ergebnissen der Bestands- und Potenzialanalyse sowie des Zielszenarios abgeleitet. Um einen ganzheitlichen und übergeordneten Blick auf die Umsetzungsstrategie sowie deren Fokussierung bzw. Schwerpunktsetzung zu ermöglichen, wurden vorliegend die Maßnahmen in verschiedene Strategiefelder zugeordnet [5]. Bei dem Strategiefeld „*Erneuerbare Energien*“ handelt es sich um Maßnahmen, die darauf abzielen, das Potenzial erneuerbarer Energien vor allem auf Einzelgebäudeebene zu erschließen. Hierbei werden neben den geothermischen Potenzialen für Erdwärmepumpen vor allem auf die Potenziale für Dachflächen-PV und Dachflächen-Solarthermie auf privaten Gebäuden wie auch kommunalen Liegenschaften fokussiert. Die Maßnahmen im Strategiefeld „*Sanierung & Modernisierung*“ zielen darauf ab, den Wärme- bzw. Energiebedarf in Wohngebäuden, gewerblich genutzten Objekten sowie betrieblichen Prozessen durch Sanierung und Modernisierung wie auch Effizienzsteigerung zu reduzieren. Zum einen kann die Gemeinde Schwalmtal in diesem Zusammenhang durch ihr eigenes Handeln bei der Wärmewende eine Vorbildrolle einnehmen, insbesondere über die energetische Sanierung und Dekarbonisierung kommunaler Liegenschaften. Zum anderen kann sie u. a. durch die Schaffung von Informations- und Beratungsangeboten Akteure in der Gemeinde Schwalmtal dazu motivieren, Maßnahmen in diesem Handlungsfeld anzugehen. Diese informierenden und beratenden Tätigkeiten können der Gemeinde Schwalmtal auch in den beiden, weiteren Strategiefeldern „*Heizungsumstellung*“ und „*Verbraucherverhalten*“ zugeordnet werden. In diesem Kontext spielen die Bereitstellung von Informationen und Beratung über nachhaltige Heizoptionen, Fördermittel und Energieeinsparmöglichkeiten eine wesentliche Rolle. Das letzte Strategiefeld „*Netzausbau*“ umfasst Maßnahmen, die sich dem Ausbau bzw. der Verdichtung der Stromnetz- sowie Wärmenetzinfrastruktur in der Gemeinde Schwalmtal widmen.

Neben der Beschreibung des Beitrages zur Zielerreichung sowie dem Ausweis der benötigten Akteure bei der Umsetzung der einzelnen Maßnahmen wird hinsichtlich der zeitlichen Umsetzbarkeit zwischen verschiedenen Zeithorizonten unterschieden. Kurzfristige Maßnahmen zielen auf eine zeitnahe Umsetzung in den nächsten Jahren ab, während mittelfristige Vorhaben eine gewisse Planungs- und Durchführungszeit von mehreren Jahren erfordern. Zusätzlich werden fortlaufende Maßnahmen definiert werden, die kontinuierlich umgesetzt werden, ohne an einen festen Endzeitpunkt gebunden zu sein. Ebenfalls orientiert am Leitfaden zur methodischen Vorgehensweise bei kommunalen Wärmeplanung wird abschließend noch die Rolle beschrieben, die die Gemeinde Schwalmtal bei der Umsetzung der einzelnen Maßnahmen unter Einbeziehung der benötigten Akteure einnimmt. Entsprechend der nachstehenden Umsetzungsstrategie kann die Gemeinde Schwalmtal zum einen in ihrer Rolle als Verbraucherin direkt Einfluss auf den Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen der eigenen Liegenschaften nehmen u. a. durch die energetische Sanierung der Gebäude, den Austausch veralteter Heizungssysteme durch klimafreundliche Alternativen oder die Realisierung von Effizienzmaßnahmen. In der Rolle als Motiviererin kann sie Dritte zu Investitionen in klimafreundliche Wärmeversorgung anregen u. a. durch gezielte Information und Beratung von Bürgerinnen und Bürger sowie Unternehmen oder die Durchführung von Informationskampagnen zur Wärmewende.

Die Umsetzungsstrategie für die Wärmewende in der Gemeinde Schwalmtal bis zum Jahr 2045 ist in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst. Einzelne Maßnahmen könnten auch zeitnah in den beiden zuvor betrachteten Fokusgebieten umgesetzt werden, um dann die dort gesammelten Erfahrungen und Fortschritte bei der Wärmewende auch auf andere Gebiete in der Gemeinde Schwalmtal zu übertragen. Darüber hinaus wird die Umsetzungsstrategie kontinuierlich überprüft und gegebenenfalls angepasst, um sicherzustellen, dass die Ziele bis zum Jahr 2045 erreicht werden. Zu diesem Zweck werden regelmäßige Evaluierungen und Überarbeitungen der Maßnahmen notwendig sein, insbesondere im Hinblick auf technologische Entwicklungen und sich ändernde (regulatorische) Rahmenbedingungen.

Nr.	Quelle	Strategie-feld	Maßnahme	Erforderliche Umsetzungs-schritte	Beitrag zur Zielerreichung	Benötigte Akteure	Zeitliche Umsetzbar-keit	Rolle der Kommune
1	Aus Be-stands- und Poten-zialanalyse	Erneuer-bare Ener-gien	Kommunikation der EE-Poten-ziale an Gebäudeeigen-tümer	Kommunikation der EE-Poten-ziale für Dachflächen-PV und -Solarthermie sowie oberflächennahe Geothermie an Gebäudeeigentümer, z. B. über Homepage der Gemein-de Schwalmtal, Informa-tionsveranstaltungen und Printmedien   Umsetzung vor allem auch in den beiden Fo-kusgebieten	Beitrag zur Nutzung erneuer-barer Energien bzw. Deckung des Wärmebedarfs aus er-neuerbaren Energien, Beitrag zur Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissi-onen	Intern: Ver-waltung Extern: -	kurz- bis mittelfristig umsetzbar	Motivatorin
2	Aus Be-stands- und Poten-zialanalyse	Erneuer-bare Ener-gien	Konkretisierung der EE-Poten-ziale durch Dachflä-chen-PV und -Solarthermie auf kommunalen Liegen-schaften	Analyse der energetischen Vorteile und Effizienz von Dachflächennutzung durch PV- und Solarthermie-Tech-nologien; Analyse der spezifi-schen Anforderungen und Vo-raussetzungen beider Sys-teme (u. a. Bewertung der statischen Gegebenheiten der Dachflächen sowie mögliche bauliche Einschränkungen); Abwägung der Dachflächen-nutzung für PV oder Solar-thermie	Beitrag zur Nutzung erneuer-barer Energien bzw. Deckung des Wärmebedarfs aus er-neuerbaren Energien, Beitrag zur Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissi-onen	Intern: Ver-waltung Extern: Pla-nungs-/In-genieur-büro	kurz- bis mittelfristig umsetzbar	Motivato-rin, Ver-bräucherin
3	Aus Be-stands- und Poten-zialanalyse	Sanierung & Moder-nisierung	Förderung von Sanierung und Modernisierung von alten Gebäuden	Schaffung von Beratungs-angeboten für private Eigentü-mer(-gemeinschaften), Unter-stützung bei der Beantragung von Fördermitteln für Sanie-rungen (z. B. Dämmung, Fens-tertausch), ggf. standardi-sierte Empfehlungen über Muster-Gebäudesteckbriefe. Direkte Adressierung von Ei-gentümern unsanierter Ge-bäude   Umsetzung vor allem auch in den beiden Fokusge-bieten	Erhöhung der Energieeffizien-z, Verringerung des Wär-mebedarfs, Beitrag zur Re-duktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen	Intern: Ver-waltung Extern: Energiebe-rater, Hand-werksbe-triebe (be-ratend)	fortlau-fende Maß-nahme	Motivatorin
4	Aus Be-stands- und Poten-zialanalyse	Heizungs-umstellung	Förderung der Umstellung von Gas- und Ölheizungen auf Wärmepumpen (oder Hybridheizungen)	Beratung privater Eigentümer bei der Heizungsumstellung, Motivation für die individu-elle Analyse der Gebäudeeig-nung für Wärmepumpen, Aufklärung zu bestehenden BEG-Fördermitteln   Umset-zung vor allem auch in den beiden Fokusgebieten	Austausch der fossilen Hei-zungen, Beitrag zur Nutzung erneuerbarer Energien bzw. Deckung des Wärmebedarfs aus erneuerbaren Energien, Beitrag zur Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen	Intern: Ver-waltung Extern: Energiebe-rater, Hand-werksbe-triebe (be-ratend)	fortlau-fende Maß-nahme	Motivato-rin, Ver-bräucherin (im Falle kommunaler Liegen-schaften)
5	Aus Zielszena-rio	Verbrau-cherver-halten	Förderung von Energie-sparmaßnahmen	Einrichtung von Beratungs-stellen für Bürger und Bürge-rinnen, Durchführung von In-formationenkampagnen (Flyer,	Steigerung des Bewusstseins für Energieeinsparung, Erhö-hung der Energieeffizienz,	Intern: Ver-waltung Extern:	fortlau-fende Maß-nahme	Motivatorin

				Social Media, Veranstaltungen)	Verringerung des Wärmebedarfs, Beitrag zur Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen	Energieberater, Verbraucherzentrale		
6	Aus Zielszenario	Sanierung & Modernisierung	Sanierungs- und Dekarbonisierungsfahrplan für kommunale Liegenschaften	Analyse des Sanierungsbedarfs, Erstellung energetischer Gutachten für kommunale Liegenschaften, Abschätzung der Sanierungskosten und Abstimmung mit Haushaltsplan, Entwicklung eines Sanierungsfahrplanes, parallel Klärung der benötigten bzw. möglichen Heizungstechnologie	Erhöhung der Energieeffizienz, Verringerung des Wärmebedarfs, Beitrag zur Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen	Intern: Verwaltung Extern: Energieberater, Fachplaner für Sanierung	kurz- bis mittelfristig umsetzbar	Verbraucherin
7	Aus Zielszenario	Sanierung & Modernisierung	Sicherstellung Sanierungsquote	Sanierungsquote von 1,0 - 1,5% zur Erreichung des Zielszenarios erforderlich, kann von der Gemeinde Schwalmtal nur indirekt beeinflusst, sie kann jedoch motivierend und beratend wirken   Umsetzung vor allem auch in den beiden Fokusgebieten	Erhöhung der Energieeffizienz, Verringerung des Wärmebedarfs, Beitrag zur Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen	Intern: Verwaltung Extern: -	fortlaufende Maßnahme	Motivatorin
8	Aus Zielszenario	Netzausbau	Informationsaustausch mit Stromnetzbetreibern	Austausch von georeferenzierten Ergebnissen zur KWP, insbesondere zum Anteil und zur Verteilung von Wärmepumpen zwecks Berücksichtigung in den Ausbauplanungen des Stromnetzbetreibers, regelmäßige Aktualisierung im Zuge der Fortschreibung der KWP	Ausbau des Stromnetzes, Versorgungssicherheit	Intern: Verwaltung Extern: Stromnetzbetreiber	fortlaufende Maßnahme	Motivatorin
9	Aus Zielszenario	Netzausbau	Verdichtung Wärmenetz	Austausch mit dem Wärmenetzbetreiber zu den Potenzialen einer Verdichtung des Wärmenetzes in Waldniel, Planung der Wärmenetztransformation, Bestimmung der Nachfrage an dem Anschluss von Gebäuden im Gebiet zur Wärmenetzverdichtung	Verdichtung und Dekarbonisierung des Wärmenetzes	Intern: Verwaltung Extern: Wärmenetzbetreiber	fortlaufende Maßnahme	Motivatorin

## 10 Fazit

Die kommunale Wärmeplanung stellt einen wesentlichen Schritt auf dem Weg zu einer nachhaltigen, CO<sub>2</sub>-neutralen und zukunftsfähigen Wärmeversorgung in der Gemeinde Schwalmtal dar. Durch die detaillierte Bestandsanalyse, die umfassende Potenzialanalyse und das Zielszenario für das Jahr 2045 konnte eine fundierte, digitale Grundlage für die weitere Planung und Umsetzung der Wärmewende geschaffen werden. Die zentralen Ergebnisse verdeutlichen, dass die Gemeinde Schwalmtal vor einer bedeutenden Herausforderung steht, um die Wärmeversorgung vollständig auf erneuerbare Energien und innovative Technologien umzustellen und gleichzeitig die Energieeffizienz zu maximieren.

Die Bestandsanalyse hat einen Überblick über die derzeitige Gebäudestruktur, den Wärmebedarf sowie die vorhandene Wärmeinfrastruktur vor Ort gegeben. Der hohe Anteil an Gas- und Ölheizungen (60 bzw. 29 %) sowie der geringe Anteil erneuerbarer Wärmequellen (8 %) zur Deckung des Gesamtwärmebedarfs von 177 GWh/a der rund 6.500 beheizten Gebäuden betonen den Handlungsbedarf wie auch die Herausforderungen bei der Transformation des lokalen Wärmemarktes. Insbesondere der geringe Anteil an Wärmepumpen bietet noch erhebliches Potenzial zur Steigerung der Nutzung erneuerbarer Energien. Das flächendeckend ausgebaute Gasnetz wird hingegen sukzessive an Bedeutung verlieren, wenn anzunehmen ist, dass zum einen Netze für die Verteilung von fossilem Erdgas bis zum Jahr 2045 nicht mehr benötigt werden und zum anderen eine Umstellung auf Wasserstoff in der Gemeinde Schwalmtal nicht wirtschaftlich darstellbar sein wird, da dafür gegenwärtig keine industriellen Anwendungen vorhanden sind und auch zukünftig voraussichtlich nicht existieren werden. Auch die flächendeckende Erweiterung des bestehenden, kleinen Wärmenetzes im Ortsteil Waldniel dürfte angesichts der geringen Wärmedichten kaum wirtschaftlich realisierbar sein. Der hohe Anteil an Wohngebäuden (rund 91 %), insbesondere geprägt durch Einfamilien- und Reihenhäuser, verdeutlicht, dass Haushalte eine zentrale Rolle spielen bei der Dekarbonisierung des Wärmesektors, welcher gegenwärtig jährliche Emissionen in Höhe von 47.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten verursacht. Um dies zu erreichen, bedarf es einer umfassenden informativen sowie auch finanziellen Unterstützung der Bürgerinnen und Bürger Schwalmtals, um die Wärmewende erfolgreich realisieren zu können. Aber auch der GHD-Sektor ist entscheidend bei der Erreichung der Dekarbonisierungsziele. Denn trotz der vergleichsweise geringen Anzahl an Gebäuden (Anteil von 9 %) nimmt dieser Sektor mit rund 42 % doch einen erheblichen Anteil an der gesamten beheizten Nutzfläche von rund 2,1 Millionen m<sup>2</sup> ein und bedingt etwa 31 % des Wärmebedarfs.

Die Potenzialanalyse hat gezeigt, dass eine Reduktion des Wärmebedarfs um 25 % insbesondere durch eine kontinuierliche Steigerung der Sanierungsrate von 1 % auf 1,5 % erreicht werden kann. Wärmezeugungspotenziale auf Basis erneuerbarer Energien werden insbesondere auf Gebäudeebene gesehen. Es wurde dabei u. a. das dezentrale Erzeugungspotenzial verschiedener Wärmepumpentechnologien analysiert und aufgezeigt, dass Wärmepumpen i. d. R. für jedes Gebäude eine anwendbare Option darstellen. Auf zentraler Ebene, also für die Einspeisung in Wärmenetze, wird das Potenzial hauptsächlich in Geothermie, Biomasse und Freiflächen-Solarthermie gesehen. In Bezug auf Wärmenetze wurde allerdings auch dargelegt, dass nur geringes Potenzial zum Ausbau des bestehenden Wärmenetzes in Waldniel besteht (vgl. hierzu auch die Erkenntnisse zu Wärmedichten im Rahmen der Bestandsanalyse). Die Hebung dieses Potenzials wurde als voraussichtlich nicht hinreichend wirtschaftlich eingestuft, sodass im Rahmen des Zielbildes lediglich eine Nachverdichtung im Gebiet des Bestandsnetzes berücksichtigt ist. Wasserstoff wird im Rahmen der vorliegenden kommunalen Wärmeplanung in der zukünftigen Wärmerversorgung in der Gemeinde Schwalmtal nicht eingeplant, da in der Gemeinde keine Industrieunternehmen vorliegen, die einer stofflichen Nutzung von Wasserstoff bedürfen und den Betrieb eines Wasserstoffnetzes begründen könnten. Aufgrund des erwarteten Zubaus von Wärmepumpen und des damit verbundenen Anstiegs der Stromnachfrage wurde auch das Potenzial zur

Erzeugung erneuerbarer Energien untersucht. Neben PV-Dachanlagen und PV-Freiflächenanlagen wurde dabei vor allem auch der Ausbau der Windenergie betrachtet. Die 13 bestehenden bzw. bis Mitte 2025 geplanten Windenergieanlagen in der Gemeinde Schwalmtal werden potenziell jährlich rund 90 GWh Strom erzeugen. Zudem besteht unter den aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen zusätzliches Potenzial für den Bau von etwa 5 weiteren modernen Windenergieanlagen, wodurch die jährliche Gesamtstromerzeugung sodann auf bis zu 140 GWh steigen könnte.

Das Zielszenario skizziert bis zum Jahr 2045 eine weitestgehende Umstellung der Wärmeversorgung auf dezentrale Systeme wie Wärmepumpen, welche zukünftig die zentrale Rolle für die Wärmewende vor Ort spielen werden. Wasserstoff wird in der Wärmeversorgung Schwalmtals keine wesentliche Rolle einnehmen, da die begrenzte Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff und die voraussichtlich hohen Kosten seinen Einsatz unwirtschaftlich machen werden. Zudem fehlen industrielle Abnehmer, die eine wirtschaftliche Nutzung unterstützen könnten. Eine begrenzte Beimischung von Wasserstoff ins Gasnetz, sodass keine wesentlichen Komponenten des Wärmeversorgungssystems ausgetauscht werden müssten, könnte u. U. mittelfristig als Übergangslösung zur schrittweisen Dekarbonisierung beitragen. In allen Gebieten, bis auf die Ausnahme des Bestandswärmenetzes, ist die dezentrale Wärmeversorgung die geeignetste Versorgungsart unter Gesichtspunkten wie Wärmegestehungskosten, Realisierungsrisiken und kumulierte Treibhausgasemissionen. Die durch die Wärmeversorgung verursachten Treibhausgasemissionen reduzieren sich im Zielszenario demnach von derzeit 47.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten um rund 98 % auf etwa 1.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Diese Restemissionen resultieren hauptsächlich aus der Verbrennung von Biomasse und den verbleibenden Emissionen des genutzten Stroms. Der Endenergiebedarf reduziert sich bis 2045 um 27 % bzw. 75 % (ohne Berücksichtigung der Umweltwärme). Gleichzeitig wird die Stromnachfrage aufgrund des vermehrten Einsatzes von Wärmepumpensystemen auf fast das 4-Fache des aktuellen Wertes steigen. Ferner führt die Umsetzung der Wärmewende zu Investitionsbedarfen für die energetische Gebäudesanierung wie auch für die Modernisierung der Heizungssysteme. Dieser Umstand unterstreicht die Notwendigkeit einer gezielten Förderstrategie, um die Last für die betroffenen Akteure in der Gemeinde Schwalmtal zu reduzieren und die Gebäudesanierungs- und Heizungsmodernisierungsmaßnahmen effektiv umzusetzen.

Im Rahmen der vorliegenden kommunalen Wärmeplanung wurden zwei Fokusgebiete (Musikerviertel und Sternenviertel) identifiziert, um anhand dieser Gebiete detailliertere Analysen sowie auf das Gesamtgebiet übertragbare Handlungsempfehlungen für eine zukunftsfähige Wärmeversorgung in der Gemeinde Schwalmtal zu entwickeln. Die Betrachtung dieser beiden Fokusgebiete geht dabei über die gesetzlichen Anforderungen der kommunalen Wärmeplanung hinaus. Für die Gebiete Musikerviertel und Sternenviertel wurden spezifische Potenziale zur Energieeinsparung und Nutzung erneuerbarer Energien identifiziert. Im Musikerviertel ist der hohe Anteil an Gasheizungen auffällig, während im Sternenviertel eine größere Diversität der Heiztechnologien besteht. Sanierungsmaßnahmen können den Wärmebedarf um bis zu 46 % im Musikerviertel und um bis zu 41 % im Sternenviertel reduzieren, sind jedoch mit hohen Investitionskosten verbunden. PV- und Solarthermieanlagen bieten zusätzliches Einsparpotenzial, wobei eine sorgfältige Abwägung zwischen den Technologien vor allem aufgrund der Dachflächenkonkurrenz erforderlich ist. In beiden Gebieten wird eine dezentrale Wärmeversorgung als die geeignetste Option bewertet. Luft-Wasser-Wärmepumpen sind aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse im Musikerviertel besonders geeignet, während im Sternenviertel auch Geothermiepotenziale gebäudeübergreifend in Form von Nachbarschaftslösungen genutzt werden könnten. Die Ergebnisse zu diesen beiden Fokusgebieten verdeutlichen die Erfordernis einer gezielten Förderstrategie und umfassenden Informationskampagnen, um die Akzeptanz und Umsetzung der Maßnahmen zu begünstigen. Dies kann sodann z. B. bei der Formulierung von Umsetzungsstrategien im Kontext der kommunalen Wärmeplanung berücksichtigt werden.

Der letzte Schritt der kommunalen Wärmeplanung umfasst die Definition von Umsetzungsmaßnahmen, um das Zielszenario bis zum Jahr 2045 Ziele zu realisieren. Diese Umsetzungsstrategie dient als Maßnahmenplan, der von den Bestands- und Potenzialanalysen sowie den Gebietseinteilungen gemäß Wärmeplanung hin zu der Implementierung zielgerichteter Maßnahmen führt. Die Maßnahmen sind bei der vorliegenden Wärmeplanung verschiedenen Strategiefeldern zugeordnet. Das Strategiefeld „Erneuerbare Energien“ umfasst vor allem Maßnahmen zur Erschließung des Potenzials erneuerbarer Energien auf Einzelgebäudeebene, einschließlich geothermischer Potenziale für Erdwärmepumpen und Potenziale für Dachflächen-PV und Dachflächen-Solarthermie. Die Strategiefelder „Sanierung & Modernisierung“, „Heizungsumstellung“ sowie „Verbraucherverhalten“ zielen insbesondere darauf ab, den Wärme- bzw. Energiebedarf in Wohngebäuden, gewerblich genutzten Objekten und betrieblichen Prozessen durch Sanierung, Modernisierung, Effizienzsteigerung und Wechsel zu nachhaltigen Heizoptionen zu reduzieren. Die Gemeinde Schwalmtal kann hierbei zum einen in ihrer Rolle als Verbraucherin Vorbildfunktion einnehmen u. a. durch entsprechende Maßnahmen bei den eigenen Liegenschaften. Zum anderen fungiert sie auch als Motivatorin durch die Bereitstellung von Informations- und Beratungsangeboten, damit Bürgerinnen und Bürger sowie Unternehmen Maßnahmen in diesem Handlungsfeld angehen. Das Strategiefeld „Netzausbau“ widmet sich Maßnahmen, die den Ausbau und die Verdichtung der Stromnetz- sowie Wärmenetzinfrastruktur in der Gemeinde Schwalmtal fokussieren. Die Umsetzungsstrategie gilt es allerdings auch kontinuierlich zu überprüfen und anzupassen, um auf diesem Wege sicherzustellen, dass die Ziele bis zum Jahr 2045 erreicht werden. Regelmäßige Evaluierungen und Überarbeitungen der Maßnahmen sind demnach erforderlich, insbesondere im Hinblick auf technologische Entwicklungen und sich ändernde regulatorische Rahmenbedingungen.

Abschließend lässt sich sagen, dass die kommunale Wärmeplanung für Schwalmtal einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung der Klimaziele und zur Förderung einer nachhaltigen, sicheren und bezahlbaren Wärmeversorgung leisten wird. Die Umsetzung erfordert jedoch ein hohes Maß an Zusammenarbeit, Flexibilität und Weitsicht, um die angestrebten Ziele erfolgreich zu erreichen.

# 11 Literaturverzeichnis

- [1] AG Energiebilanzen e.V., „Anwendungsbilanzen zur Energiebilanz Deutschland,“ Oktober 2024.
- [2] Umweltbundesamt, „Erneuerbare Energien in Deutschland - Das Wichtigste im Jahr 2023 auf einen Blick,“ September 2024.
- [3] Bundesministerium der Justiz, „Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (Wärmeplanungsgesetz - WPG),“ Dezember 2023.
- [4] Ministerium des Innern des Landes NRW, „Gesetz zur Einführung einer Kommunalen Wärmeplanung in Nordrhein-Westfalen (Landeswärmeplanungsgesetz NRW – LWPG),“ Dezember 2024.
- [5] ifeu, Öko-Institut e.V., Universität Stuttgart IER, adelphi consult, Becker Büttner Held und Fraunhofer ISI, „Leitfaden Wärmeplanung,“ Juni 2024.
- [6] R. Riechel und J. Walter, Kurzgutachten Kommunale Wärmeplanung, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2022.
- [7] A. Rosenthal-Solacolu, „Die Anforderungen an die kommunale Wärmeplanung mit digitalem Zwilling meistern,“ *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, S. 13-15, Oktober 2023.
- [8] D. Friedrich, „Der Schlüssel zur Wärmewende liegt in der Digitalisierung,“ *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, S. 16-18, Oktober 2023.
- [9] J. Tegethoff, L. Karber und W. Lennert, „Kommunale Wärmeplanung: Digitalisierung und Partizipation als strategische Erfolgsfaktoren,“ *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, S. 26-29, Februar 2024.
- [10] Ö. Yildiz, „Kommunale Wärmeplanung als strategischen Multi-Akteurs-Prozess gestalten,“ *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, S. 32-35, April 2023.
- [11] Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende, „KWP im Kontext der Wärmewende,“ [Online]. <https://www.kww-halle.de/fokusthemen/kwp-im-kontext-der-waermewende>. [Zugriff am 31. Januar 2025].
- [12] C. Maaß, „Wärmeplanung - Grundlage einer neuen Fachplanung,“ *Zeitschrift für Umweltrecht*, S. 22-31, Januar 2020.
- [13] S. Benz, „Die Umsetzung kommunaler Wärmepläne durch das Bauleitplanungsrecht - Status Quo und mögliche Fortentwicklung,“ *Zeitschrift für Umweltrecht - Das Forum für Umwelt- und Planungsrecht*, S. 330-338, Juni 2023.
- [14] D. Heyder, „WPG und GEG - kommunale Wärmeplanung nach dem Wärmeplanungsgesetz und ihre Verknüpfung mit dem Gebäudeenergiegesetz,“ *EnergieKrise aktuell*, S. 16, Februar 2023.
- [15] Bundesministerium der Justiz, „Gebäudeenergiegesetz (GEG),“ Oktober 2023.

- [16] Energy4Climate, „Wärmeplanungsgesetz und GEG - Zusammenhang und Bedeutung für Bürger:innen,“ Februar 2024.
- [17] Statistisches Landesamt NRW, „Bevölkerungsstand nach Gemeinden (Basis Zensus 2022),“ Dezember 2023.
- [18] Umweltbundesamt, „Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland,“ [Online]. <https://www.umweltbundesamt.de/bild/durchschnittlicher-co2-fussabdruck-pro-kopf-in>. [Zugriff am 9. März 2025].
- [19] Umweltbundesamt, „Die Grenzen des Konsums,“ November 2024. [Online]. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-grenzen-des-konsums>.
- [20] Bundesbaublatt, „Sanierungsquote 2023 unter 1 % - Tendenz absteigend,“ Oktober 2023. [Online]. <https://www.bundesbaublatt.de/news/sanierungsquote-2023-unter-1-tendenz-absteigend-4017943.html>. [Zugriff am 1. September 2024].
- [21] Technische Universität Dresden, „Ganzheitliche Bewertung von Wärmepumpensystemen,“ März 2023.
- [22] Solar Heat Europe (ESTIF), „Domestic Hot Water for Single & Multi-Family Houses,“ Juni 2017.
- [23] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „Fragen zur Geothermie für die Wärmeversorgung“.
- [24] Umweltinstitut e.V., „Achtung, Kostenfalle! Risikoinvestition Wasserstoff in der kommunalen Wärmeplanung,“ Februar 2024. [Online].
- [25] Fraunhofer UMSICHT, „Wie Kommunen ihre Wärmeplanung sektorenübergreifend gestalten und erfolgreich umsetzen,“ 2024.
- [26] O. Zadow, „Integrierte kommunale Energieplanung,“ 2017.
- [27] Vereinte Nationen, „Übereinkommen von Paris,“ Dezember 2015.
- [28] Europäische Kommission, „Der europäische Grüne Deal,“ Dezember 2019.
- [29] Deutscher Bundestag, „Bundestag verschärft das Klimaschutzgesetz,“ Juni 2021.
- [30] Bundesregierung, „Klimaschutzgesetz und Klimaschutzprogramm - Ein Plan fürs Klima,“ [Online]. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/klimaschutzgesetz-2197410>. [Zugriff am 1. März 2025].
- [31] ifeu, Öko-Institut e.V., Universität Stuttgart IER, adelphi consult, Becker Büttner Held und Fraunhofer ISI, „Technikkatalog Wärmeplanung,“ August 2024.
- [32] OpenGeodata.NRW, „Daten kommunale Wärmeplanung,“ Dezember 2024.
- [33] OpenStreetMap, „OpenStreetMap,“ [Online].
- [34] Statistisches Bundesamt, „Zensus 2022,“ Juni 2022.
- [35] Wikipedia, „Liste der Baudenkmäler in Schwalmatal,“ September 2011. [Online].
- [36] Institut Wohnen und Umwelt, „IWU-Tool Gradtagzahl,“ Juni 2024. [Online].

- [37] D. Walberg, T. Gniechwitz, K. Paare und T. Schulze, „Wohnungsbau - Die Zukunft des Bestandes,“ Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V., Kiel, 2022.
- [38] EPISCOPE, „TABULA-Datenbank,“ September 2024. [Online]. <https://webtool.building-typology.eu/>.
- [39] K. Rudat, „Der Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung und der Energieaufwand für die Nutzenübergabe,“ *IKZ Haustechnik*, März 2000.
- [40] Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung, „Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden,“ 2021.
- [41] Bundesministerium für Bau- Stadt und Raumforschung, „Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV),“ August 1977.
- [42] Bauinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, „Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) - Informationsbroschüre für Bauherren und Eigentümer von Wohngebäuden,“ Januar 2023.
- [43] Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg, „Kommunale Wärmeplanung - Handlungsleitfaden,“ Dezember 2021.
- [44] Agora Energiewende, Prognos und GEF, „ Wärmenetze – klimaneutral, wirtschaftlich und bezahlbar. Wie kann ein zukunftssicherer Business Case aussehen?,“ 2024.
- [45] Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., „Wasserstoff darf keine Kostenfalle für private Haushalte werden,“ 2024.
- [46] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Analyse - Wie entwickelt sich der Biomethanbedarf auf Basis des Gebäudeenergiegesetzes? - Regulatorische Anforderungen und potenzielle Entwicklung des Biomethanbedarfs bis 2040,“ 2024.
- [47] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, „Wasserschutzgebiete,“ November 2024. [Online]. [https://www.energieatlas.nrw.de/site/z3\\_Wasserschutzgebiete](https://www.energieatlas.nrw.de/site/z3_Wasserschutzgebiete). [Zugriff am 8. Januar 2025].
- [48] Geologischer Dienst NRW, „Geothermie in NRW,“ November 2024. [Online]. <https://www.geothermie.nrw.de/>. [Zugriff am 1. November 2024].
- [49] Bundesamt für Naturschutz, „Schutzgebiete in Deutschland,“ November 2024. [Online]. <https://gdk.gdi-de.org/geonetwork/srv/api/records/bec888f9-ba0c-42dc-846e-177b8265dafa>. [Zugriff am 1. November 2024].
- [50] BMVBS, „Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele des Energiekonzepts im Gebäudebereich – Zielerreichungsszenario,“ 2013.
- [51] Bundesverband Erneuerbare Energie e.V., „BEE-Wärmeszenario 2045 - Bilanzielle Darstellung der Umstellung der Wärmeversorgung auf 100 % Erneuerbare Energien,“ November 2022.
- [52] J. Meyer, L. Zaubitzer, F. Alsmeyer und M. Madsen, „Kurzstudie - Energieeffiziente und CO2-freie Prozesswärme,“ Juli 2024.

- [53] Kesselheld, „Gradtagszahl - Gradtagstabelle, Berechnung & Definition,“ [Online]. <https://www.kesselheld.de/gradtagszahl/>. [Zugriff am 1. März 2025].
- [54] A. Herrmann, A. Mädlow, U. Gross und H. Krause, „Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf von Gebäuden und den Ertrag erneuerbarer Energien,“ Februar 2016.
- [55] N. Boers, „Observation-based early-warning signals for a collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation,“ *Nature Climate Change*, S. 680-688, November 2021.
- [56] Umweltbundesamt, „Kippt der Golfstrom und kommt es daher in Europa zu einer Abkühlung?,“ April 2024.
- [57] Bundesamt für Naturschutz, „Natura 2000-Gebiete,“ Januar 2025. [Online]. <https://www.bfn.de/natura-2000-gebiete-0>. [Zugriff am 31. Januar 2025].
- [58] Bundesamt für Naturschutz, „Naturschutzgebiete,“ Januar 2025. [Online]. <https://www.bfn.de/naturschutzgebiete>. [Zugriff am 31. Januar 2025].
- [59] Bundesamt für Naturschutz, „Landschaftsschutzgebiete,“ Januar 2025. [Online]. [www.bfn.de/landschaftsschutzgebiete](http://www.bfn.de/landschaftsschutzgebiete). [Zugriff am 31. Januar 2025].
- [60] BMUV, „Trinkwasserschutzgebiete,“ Dezember 2012. [Online]. <https://www.bmu.de/themen/wasser-und-binnengewasser/trinkwasser/trinkwasserschutzgebiete>.
- [61] MHKBD, „Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen (Landesbauordnung NRW),“ Januar 2024.
- [62] BMUV, „Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm),“ Juni 2017.
- [63] BMWK, „Photovoltaisch-thermische Kollektoren optimieren und bekannter machen,“ November 2024. [Online]. <https://www.energieforschung.de/de/aktuelles/news/2022/photovoltaisch-thermische-kollektoren-optimieren-und-bekannter-machen>. [Zugriff am 31. Januar 2025].
- [64] Rechner Photovoltaik, „Photovoltaik in Schwalmtal,“ Januar 2025. [Online]. <https://www.rechnerphotovoltaik.de/photovoltaik/in/nordrhein-westfalen/schwalmtal>. [Zugriff am 31. Januar 2025].
- [65] Deutscher Wetterdienst, „Das Strahlungsjahr 2023,“ Januar 2024.
- [66] Europäische Union, „Richtlinie (EU) 2023/2413 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Oktober 2023,“ Europäische Union, Oktober 2023. [Online]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023L2413&qid=1699364355105>. [Zugriff am 31. Januar 2025].
- [67] Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt, Holznutzung und Nährstoffnachhaltigkeit, Freiburg, 2018.
- [68] BMEL, „Biodiversität im Wald,“ Mai 2024. [Online]. <https://www.waldkulturerbe.de/service/wissenswertes/wissenswertes-detail/biodiversitaet-im-wald>. [Zugriff am 31. Januar 2025].

- [69] M. Bauer, W. Freeden, H. Jacobi und T. Neu, Handbuch Oberflächennahe Geothermie, Berlin: Springer Spektrum, 2018.
- [70] Geologischer Dienst NRW, „Seismik Rheinland,“ März 2024. [Online]. <https://geowaerme.nrw.de/seismik-rheinland>. [Zugriff am 31. Januar 2025].
- [71] A. Beuth und A. Hamann, „Hemmnisse und Potenziale der Abwasserwärmenutzung zur Gebäudeheizung - technische, wirtschaftliche, planerische und rechtliche Aspekte,“ Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2019.
- [72] F. Urbansky, „Abwasser heizt die Wohnung,“ *Neue Energie - Das Magazin für Klimaschutz und erneuerbare Energien*, S. 30-35, Juli 2023.
- [73] BUND, „Solarthermie - Wärme von der Sonne,“ 2013.
- [74] R. Meissner, „Solarthermie für Fernwärme,“ *UmweltMagazin - nachhaltig, konkret, visionär*, S. 30-33, September 2022.
- [75] S. Ott, „Integrationsmöglichkeiten von Solarthermie & Geothermie in Wärmenetze,“ in *Jahrbuch nachhaltige Ökonomie - Im Brennpunkt: Kommunale Wärmewende*, 2022, S. 75-87.
- [76] BMWK, „Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie,“ Berlin, 2023.
- [77] Bundesnetzagentur, „Wasserstoff-Kernnetz,“ [Online]. <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Kernnetz/start.html>. [Zugriff am 1. März 2025].
- [78] DVGW, *Wasserstoff-Beimischung - Sicherheit in Ihrem Zuhause*, Bonn, 2021.
- [79] Prognos, Öko-Institut e.V. und Wuppertal-Institut, „Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann,“ 2021.
- [80] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität,“ 2021.
- [81] Agora Think Tanks, „Klimaneutrales Deutschland. Von der Zielsetzung zur Umsetzung,“ 2024.
- [82] BMWK, „Strommarktdesign der Zukunft - Optionen für ein sicheres, bezahlbares und nachhaltiges Stromsystem,“ 2024.
- [83] Agora Energiewende, „Ein neuer Ordnungsrahmen für Erdgasverteilnetze,“ 2023.
- [84] E. Kreipl, „Steigende Netzentgelte für Erdgas: Wie kann ein planvoller Gasausstieg gelingen?,“ November 2024. [Online]. <https://www.oeko.de/blog/steigende-netzentgelte-fuer-erdgas-wie-kann-ein-planvoller-gasausstieg-gelingen/>. [Zugriff am 11. Februar 2025].
- [85] R. Erler, M. Friedel und F. Lehnert, „Grüne Flüssiggasversorgung: Aktueller Stand und Entwicklungsmöglichkeiten,“ DVGW, Freiberg, 2021.
- [86] Frontier Economics, „Verfügbarkeit und Kostenvergleich von Wasserstoff,“ 2022.
- [87] C.A.R.M.E.N. e.V., „Marktpreise Pellets - Preisentwicklung bei Holzpellets,“ Februar 2025. [Online].

- [88] R. Mendelevitch, J. Repenning, F. C. Matthes und J. Deurer, „Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland - Rahmendaten,“ Öko-Institut e.V., Berlin, 2024.
- [89] BMWK, „Informationen vor dem Einbau einer neuen Heizung,“ 2024.
- [90] P. D. T. Nussbaume, S. Thalmann, A. Jenni und J. Ködel, „Planungshandbuch Fernwärme,“ Bundesamt für Energie (Schweiz), 2021.
- [91] Bundesnetzagentur, „Beschluss - Festlegung von Netzentgelten für steuerbarere Anschlüsse und Verbrauchseinrichtungen (NSAVER) nach § 14a EnWG,“ November 2023. [Online].
- [92] Monopolkommission, „Wettbewerb 2024 - XXV. Hauptgutachten,“ 2024.
- [93] F. Urbansky, „Wann Wärmenetze effizient sind,“ Oktober 2016. [Online].  
<https://www.springerprofessional.de/energieverteilung/energienutzung/wann-waermenetze-effizient-sind/10809762>.
- [94] J. Grünzweig, T. Lin, E. Rotenberg, A. Schwartz und D. Yakir, „Carbon sequestration in arid-land forest,“ *Global Change Biology*, 6. Mai 2003.
- [95] S. Mischinger, P. Hader, D. T. Mennel, A. R. Müller, H. Seidl und Y. S. d. Santos, „dena-Netzstudie III,“ dena, Berlin, 2022.