



Integriertes Klimaschutzkonzept für die Stadt Mühlacker: Potenzialanalyse

Lampertheim, 21.11.2023

Ansprechpartner:

Bianca Kohler / Sophia Fuchs

EnergyEffizienz GmbH

Gaußstraße 29a

68623 Lampertheim

Telefon: 06206 / 5803581

Fax: 06206 / 5804712

E-Mail: b.kohler@e-eff.de / s-fuchs@e-eff.de

Inhaltsverzeichnis

1 Potenzialanalyse.....	4
1.1 Stromsektor.....	6
1.1.1 Effizienzsteigerung in Haushalten, Gewerbe und Industrie.....	6
1.1.2 Windenergie.....	8
1.1.3 Photovoltaik.....	13
1.1.4 Wasserkraft.....	19
1.1.5 Biogasanlagen.....	19
1.1.6 Faulgas / Kläranlagen.....	21
1.1.7 Zusammenfassung der Potenziale im Stromsektor und die resultierende Entwicklung des Strombedarfs.....	23
1.2 Wärmesektor.....	25
1.2.1 Sanierung der Wohngebäude.....	25
1.2.2 Effizienz im Wärmeverbrauch der Sektoren Gewerbe und Industrie.....	29
1.2.3 BHKWs.....	30
1.2.4 Heizöl.....	30
1.2.5 Erdgas.....	32
1.2.6 Biomasse.....	33
1.2.7 Abfall.....	37
1.2.8 Solarthermie.....	39
1.2.9 Wärmepumpen/Geothermie.....	40
1.2.10 Nah- und Fernwärme.....	48
1.2.11 Wasserstoff.....	57
1.2.12 Fazit zum Wärmesektor.....	57
1.3 Verkehrssektor.....	61
1.4 Zusammenfassung der Potenziale.....	64
1.5 Reduktionspfad hin zur Klimaneutralität.....	66
1.6 Leitlinien der Potenzialanalyse.....	69
1.7 Indikatoren.....	70
Literaturverzeichnis.....	73

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BHKW	Blockheizkraftwerk(e)
BISKO	Bilanzierungs-Systematik Kommunal
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DifU	Deutsches Institut für Urbanistik
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
E-Fahrzeuge	Elektrofahrzeuge
EnEV	Energieeinsparverordnung
EW	Einwohnerin(nen) und Einwohner
fm	Festmeter (Raummaß für Rundholz)
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde(n)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCA	Life cycle assessment
LED	Lichtemittierende Diode
Lkw	Lastkraftwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MWh	Megawattstunde(n)
N ₂ O	Lachgas
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkw	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
SUV	Sport Utility Vehicle
TABULA	Typology Approach for Building Stock Energy Assessment
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt

1 Potenzialanalyse

In der Potenzialanalyse werden für die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr Potenziale zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen ermittelt. Anschließend erfolgt die Entwicklung zweier denkbarer Szenarien bis zum Zieljahr 2040 mit dem Zwischenziel 2030.

Potenziale

Grundsätzlich verwenden Nachhaltigkeitsmodelle häufig drei sogenannte Säulen der Nachhaltigkeit¹, um Emissionen zu reduzieren:

1. **Suffizienz** beschreibt die Verringerung des Ressourcenverbrauchs oder Vermeidung von Energieverbrauch. Dies kommt einer Reduzierung der Nachfrage nach Gütern, also einer Veränderung des Lebensstils, gleich.
2. **Effizienz** richtet sich auf eine effiziente Nutzung von Ressourcen und Energie.
3. **Konsistenz** beschreibt naturverträgliche Technologien, welche die Stoffe und die Leistungen der Ökosysteme nutzen, ohne diese zu zerstören. Hierbei geht es um die Vereinbarkeit von Natur und Technik. So sollen beispielsweise naturgefährdende Stoffe vermieden oder technisch gebunden werden.

Insbesondere die Suffizienz und Effizienz sind die bekanntesten Prinzipien und sollten in ihrer Bedeutung nicht verkannt werden, da die klimafreundlichste Energie diejenige ist, die nicht gebraucht und deshalb nicht produziert werden muss. Entsprechend werden Einsparmöglichkeiten zuerst betrachtet, gefolgt von den Potenzialen zur Nutzung regenerativer Energien. Es werden die vorhandenen Potenziale dargestellt und Aussagen zur Nutzbarkeit vor Ort (soweit möglich) anhand von natürlich oder regulatorischen Beschränkungen getroffen.

Szenarien

Auf Basis der Potenziale werden zwei Szenarien erstellt, die eine mögliche Energieversorgungssituation in der Zukunft – je nach Ausmaß des lokalen Klimaschutzes - beschreiben. Es ist wichtig zu beachten, dass die Szenarien Zukunftsbilder darstellen, die selten genauso eintreten wie geplant, aber hilfreiche Wenn-Dann-Überlegungen darstellen und einen Orientierungspunkt für eine strategische Implementierung von lokalem Klimaschutz geben. Folgende zwei Szenarien werden in jedem Sektor betrachtet:

Trendszenario

Das Trendszenario (auch „Business-as-usual-Szenario“ genannt) basiert auf der bisherigen Entwicklung der Verbräuche in der Stadt Mühlacker. Dieses Szenario zeichnet sich dadurch aus, dass in Zukunft keine zusätzlichen Anstrengungen unternommen werden, Energiewende und Klimaschutz in der Stadt voranzutreiben. Vielmehr wird der bisherige Trend fortgeschrieben.

Klimaschutzszenario

Im Gegensatz zum Trendszenario basiert dieses Szenario auf der Annahme, dass sowohl in der Stadt vermehrt Klimaschutzaktivitäten durchgeführt als auch auf bundespolitischer und gesetzgeberischer Ebene zusätzliche Aktivitäten zu Energiewende und Klimaschutz vorangetrieben werden. Dabei steht insbesondere das Ziel Baden-Württembergs bis 2040 weitgehende Treibhausgasneutralität zu

¹ (relaio, 2018)

erreichen, im Vordergrund. Die getroffenen Annahmen des Szenarios beruhen auf einer Analyse der lokalen Potenziale sowie den Ergebnissen bundesweiter Studien, welche Anpassungen notwendig und sinnvoll erscheinen. Insbesondere die Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ (2021)² von Prognos AG et al. als auch der Ariadne-Report „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045“ (2021)³ wurden für die Annahmen im Strom- und Wärmesektor genutzt. Für den Verkehrssektor wurden insbesondere die Ergebnisse der „Renewability-Studie“⁴ als Grundlage genommen. Da nicht für jede Gebietskörperschaft ein einheitliches Zielbild erstellt werden kann, da die lokalen Potenziale und Ausgangsbedingungen berücksichtigt werden müssen, dienen die Studienergebnisse lediglich als Orientierung und die lokalen Szenarien können in ihren Annahmen abweichen. Auch ist darauf hinzuweisen, dass es verschiedene Möglichkeiten gibt, dem Ziel der Treibhausgasneutralität näher zu kommen. Unterschiedliche Studien gewichten etwa den Einfluss verschiedener Technologien und Energieträger stärker oder schwächer (Beispiel Wasserstoff). Entsprechend sind auch andere Entwicklungen als hier formuliert denkbar, jedoch erscheint das dargestellte Szenario unter den gegebenen Ausgangsbedingungen und den getroffenen Annahmen als besonders passend.

Im jeweiligen Fazit sind alle relevanten Veränderungen des Sektors (Strom, Wärme, Verkehr) übersichtlich dargestellt. Welche Ausbauziele dafür notwendig sind und welches Potenzial in der Stadt Mühlacker vorhanden ist, wird in den jeweiligen vorherigen Unterkapiteln im Detail erläutert.

² (Prognos, 2021)

³ (Ariadne-Projekt, 2021)

⁴ (Öko-Institut e.V, 2016)

1.1 Stromsektor

Um Aussagen über die Potenziale im Stromsektor treffen zu können, wird untersucht, wie sich der Stromverbrauch selbst entwickeln wird. Den Einsparungen liegen zwei zentrale Annahmen zugrunde: technischer Fortschritt hin zu energieeffizienteren Geräten sowie Verhaltensänderung hin zu einem sparsameren Umgang mit Energie. Dabei ist im Zuge der Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrssektors (Wärmepumpen, Elektromobilität) von einer Steigerung des Strombedarfs auszugehen.

Im Weiteren wird geprüft, welche Technologien eingesetzt werden können, um einen möglichst hohen Anteil des Strombedarfs durch lokale und emissionsarme Erzeugung zu decken. Neben großen Erzeugungsanlagen wie Windkraft, Biogas und Freiflächen-Photovoltaik spielen auch kleine Anlagen für den Eigenbedarf wie PV-Dachflächenanlagen eine Rolle. Während Dachflächen-PV in jeder Kommune ausgebaut werden kann, können sich die Voraussetzungen für Großprojekte regional stark unterscheiden, weshalb in der Praxis überregional gedacht und kooperiert werden sollte.

1.1.1 Effizienzsteigerung in Haushalten, Gewerbe und Industrie

Den Energieverbrauch selbst zurückzufahren, ist der erste Schritt zur Reduzierung der CO₂-Emissionen in der Stadt. Werden in diesem Bereich große Fortschritte erzielt, fällt der Aufwand zur Substitution von Energieträgern und gegebenenfalls zur Kompensation deutlich geringer aus. In der Energieeffizienzstrategie 2050 hat sich Deutschland das Ziel gesetzt, den Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 um 50 % zu reduzieren. Bis 2030 soll eine Reduktion um 30 % des Primärenergieverbrauchs erreicht werden. Dazu sind verschiedene Maßnahmen im Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE 2.0) festgelegt.

Ein wichtiger Faktor, der zur Reduktion des Stromverbrauchs beiträgt, ist der technologische Fortschritt und die Produktion immer effizienterer Geräte. Das EU-Energielabel bietet dabei eine gute Orientierung. Daneben spielt die Verhaltensänderung eine entscheidende Rolle. Das Bewusstsein für vorhandene Einsparpotenziale durch z.B. das vollständige Abschalten nicht genutzter technischer Geräte etc. muss gestärkt werden. Für Unternehmen bestehen – wie auch für Haushalte – geförderte Möglichkeiten der Energieberatung, um Einsparpotenziale zu identifizieren. Der Einsatz energieeffizienter Anlagen wird in Zukunft entscheidend sein (Beleuchtung, Lüftung, IKT; Maschinen, etc.).

Grundsätzliches Potenzial

Es wird angenommen, dass es in Mühlacker durch den vermehrten Einsatz energiesparender Anlagen (Haushaltsgeräte, Beleuchtung usw.) zu einem Rückgang des Stromverbrauchs der Haushalte kommt. Entscheidend sind auch Änderungen von Verhaltensmustern. Das Bewusstsein für vorhandene Einsparpotenziale durch z.B. das vollständige Abschalten nicht genutzter technischer Produkte etc. muss gestärkt werden. Wie die Analyse der Stromverbräuche in der Bilanz zeigt, wird rund 87 % des Stroms in den Bereichen Haushalt sowie Industrie verbraucht. Aktuell liegt der gesamte Stromverbrauch bei circa 205.000 MWh/a.

Szenarien

Deutschlandweit sank der Nettostromverbrauch in den Jahren 2010-2019 um rund 5 %.⁵ Unter den verschiedenen Verbrauchergruppen ist kein relevanter Unterschied zu verzeichnen. Entsprechend hoch ist die Notwendigkeit umfassende Veränderungen vorzunehmen, um die deutschlandweiten Ziele zu erreichen. Angelehnt an bisherigen deutschlandweiten Entwicklungen wird im **Trendszenario** für alle Sektoren eine Reduktion von weiteren rund 6 % bis 2030 und 12 % bis 2040 angenommen.

Die Energieeffizienzstrategie Deutschlands sieht ambitionierte Reduktionsziele für den Energieverbrauch vor. Im **Klimaschutzszenario** wird von einer für den Zeitraum bis 2040 heruntergebrochenen Zielsetzung einer Stromverbrauchsreduktion um 25 % für die Haushalte, das Gewerbe und für die Industrie ausgegangen. Bis 2030 wird die Reduktion des klassischen Stromverbrauchs⁶ um 15 % angenommen. Ausgenommen bei diesen Reduktionen sind die elektrische Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpen und der Stromverbrauch verursacht durch Elektromobilität. Ihr Energieverbrauch und die resultierenden Emissionen werden im vorliegenden Konzept in den Sektoren Wärme und Verkehr betrachtet.

Der Einfluss der Stromverbrauchsreduktion auf den Strombedarf in den verschiedenen Szenarien ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Werte basieren auf dem „klassischen“ Stromverbrauch und betrachten keine Wärmepumpen oder Elektromobilität. Durch ihren Stromverbrauch wird der in folgender Abbildung dargestellte Rückgang des „klassischen“ Stromverbrauchs überkompensiert. Dies wird im folgenden Fazit zum Stromsektor informativ ergänzend dargestellt.

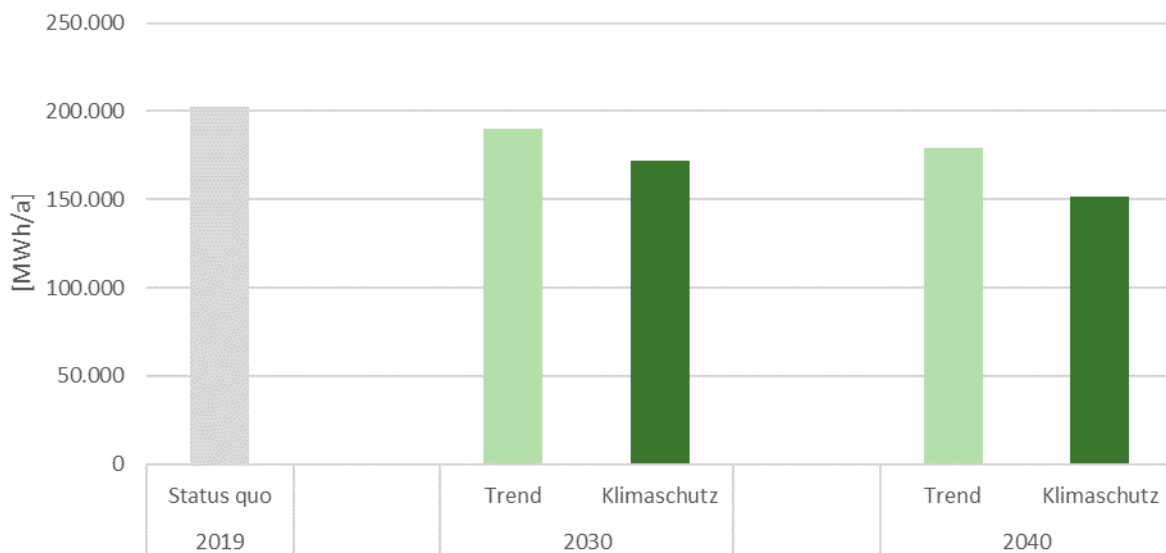


Abbildung 1: Resultierender Stromverbrauch und Emissionen nach Szenarien in der Stadt Mühlacker

Trendszenario: Im Trendszenario sinkt der Gesamtstrombedarf in Mühlacker um rund 23.000 MWh auf ca. 182.000 MWh bis 2040. Die Realisierung des Reduktionspotenzials entspricht einer Emissionseinsparung von 11.000 t CO₂, wenn mit den Bundesstrommix von 2019 gerechnet wird.

Klimaschutzszenario: Im Klimaschutzszenario führt der ambitionierte Reduktionstrend dazu, dass der Gesamtstrombedarf bis 2030 um rund 30.000 MWh auf 175.000 MWh sinkt. Damit können Emissionen

⁵ (BMWi, 2019)

⁶ Klassischer Stromverbrauch im Sinne herkömmlicher elektrische Verbraucher (ohne Strom- und Verkehrssektor)

in Höhe von jährlich ca. 14.900 t CO₂ eingespart werden. Bis 2040 sinkt der Gesamtstrombedarf um ca. 51.000 MWh auf 154.000 MWh, wodurch 25.000 t CO₂ eingespart werden.

Dabei ist zu beachten, dass die hier beschriebenen Emissionseinsparungen im Vergleich zum Bundesstrommix von 2019 und dessen Emissionsfaktor berechnet wurden. Die tatsächliche Emissionseinsparung wird im Jahr 2040 deutlich geringer ausfallen, da der Emissionsfaktor des Bundesstrommix sich entsprechend der derzeitigen Ausbauziele für erneuerbare Energien stark verbessern wird. Um jedoch die Klimaschutzwirkung der einzelnen Maßnahmen darzustellen, wird für die Einzeldarstellungen der Vergleich mit den Emissionen von 2019 herangezogen.

1.1.2 Windenergie

Grundsätzliches Potenzial

Auf der Gemarkung der Stadt Mühlacker sind gemäß Energieatlas Baden-Württemberg keine Windkraftanlagen installiert (Stand 2023). Im Flächennutzungsplan sind ebenfalls keine Flächen für Windkraftanlagen ausgewiesen⁷. Angesichts der seit 2022 geltenden gesetzlichen Verpflichtung zur Ausweisung von 1,8 % der baden-württembergischen Landesfläche⁸ für Windkraftanlagen bis zum Jahr 2025, ist eine Intensivierung der entsprechenden Planungs- und Umsetzungsaktivitäten in Mühlacker zu erwarten.

Die Einzelheiten der Raumplanung im überörtlichen Interesse für die Stadt Mühlacker sind über den Regionalplan Nordschwarzwald 2015 geregelt⁹. Die Stadt Mühlacker liegt ausschließlich innerhalb der Planungsregion Nordschwarzwald und ist auf die Vorschriften der zuständigen Behörden angewiesen. Abgestimmt mit Planungen auf Regionalebene besteht für Gemeinden und Städte die Möglichkeit, in der Flächennutzungsplanung Konzentrationszonen und eine damit einhergehende Ausschlusswirkung für Windenergie festzulegen. Sofern dies – wie bei Mühlacker der Fall¹⁰ - nicht erfolgt, werden Vorhaben zur Errichtung von Windkraftanlagen allein im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Verfahren geprüft. Die gesetzgeberische Kulisse im Sektor der Windenergie entwickelt sich rasant, weswegen weitere Erneuerungen, Änderungen und Revisionen bezüglich der Flächenkulisse im Gange sind.

Die potenziellen Hindernisse während der Planung und dem Ausbau von Windkraftenergieanlagen will die Landesregierung im Rahmen der „Regionalen Planungsoffensive“ (gestartet im März 2022) mit Hilfe neuer Planhinweiskarten beheben. Dank dieser sollen zeitnah all diejenigen Flächen identifiziert werden, die sich aus Sicht der Regional- und Landesplanung als Potenzialflächen für den Ausbau von Windkraft- sowie Freiflächen-PV-Anlagen erweisen. Ganz besonders geeignete Flächen sollen abschließend entsprechend dem Flächenziel als Vorranggebiet ausschließlich für Windkraftnutzung oder Freiflächen-PV festgesetzt werden.¹¹ In diesem Prozess sind die Regionalverbände verpflichtet, bis Ende 2023 die erste Anhörung mit den beiden Flächenkulissen für Windkraft und PV-Freiflächenanlagen zu beschließen. Während der Vorbereitungen zu den Anhörungen und Ausarbeitung der Kartenmaterialien ist eine enge Zusammenarbeit mit den einzelnen Akteuren vor Ort

⁷ (Stadt Mühlacker, 2013)

⁸ (Landesregierung Baden-Württemberg, 2022)

⁹ Raumnutzungskarte gem. Regionalplan 2015 Nordschwarzwald (Regionalverband Nordschwarzwald, 2017)

¹⁰ (Regionalverband Nordschwarzwald, 2017)

¹¹ Weitere Informationen sind auf der Webseite der baden-württembergischen Regierung zu nehmen (Landesregierung Baden-Württemberg, 2022)

wird unterschieden zwischen Flächen, die sich entweder sehr gut oder nur bedingt für die Installation der Windkraftanlagen eignen. Für die bedingt geeigneten Flächen sind jeweils separate Untersuchungen und Abschätzungen der vorhandenen Restriktionen notwendig, obwohl die Flächen bereits außerhalb der Ausschlussflächen liegen. Erst nach der ortsgenauen Überprüfung lassen sich hier konkrete Aussagen über die Potenziale und theoretische Windenergieerträge treffen. Diese Flächen werden dementsprechend im Rahmen der vorhandenen Analyse außer Acht gelassen.

Diejenigen Flächen, die sowohl außerhalb der Ausschlussflächen liegen und aufgrund der bekannten Flächenrestriktionen zunächst nicht überprüft werden müssen, sind laut dem Energieatlas als „besonders geeignet“ kategorisiert. Wie in Abbildung 3 ersichtlich findet sich eine solche Fläche im südöstlichen Ausläufer der Stadtgemarkung um Großglattbach. Die Nähe zur anderen Siedlung in der benachbarten Gemeinde wird vom Energieatlas berücksichtigt.

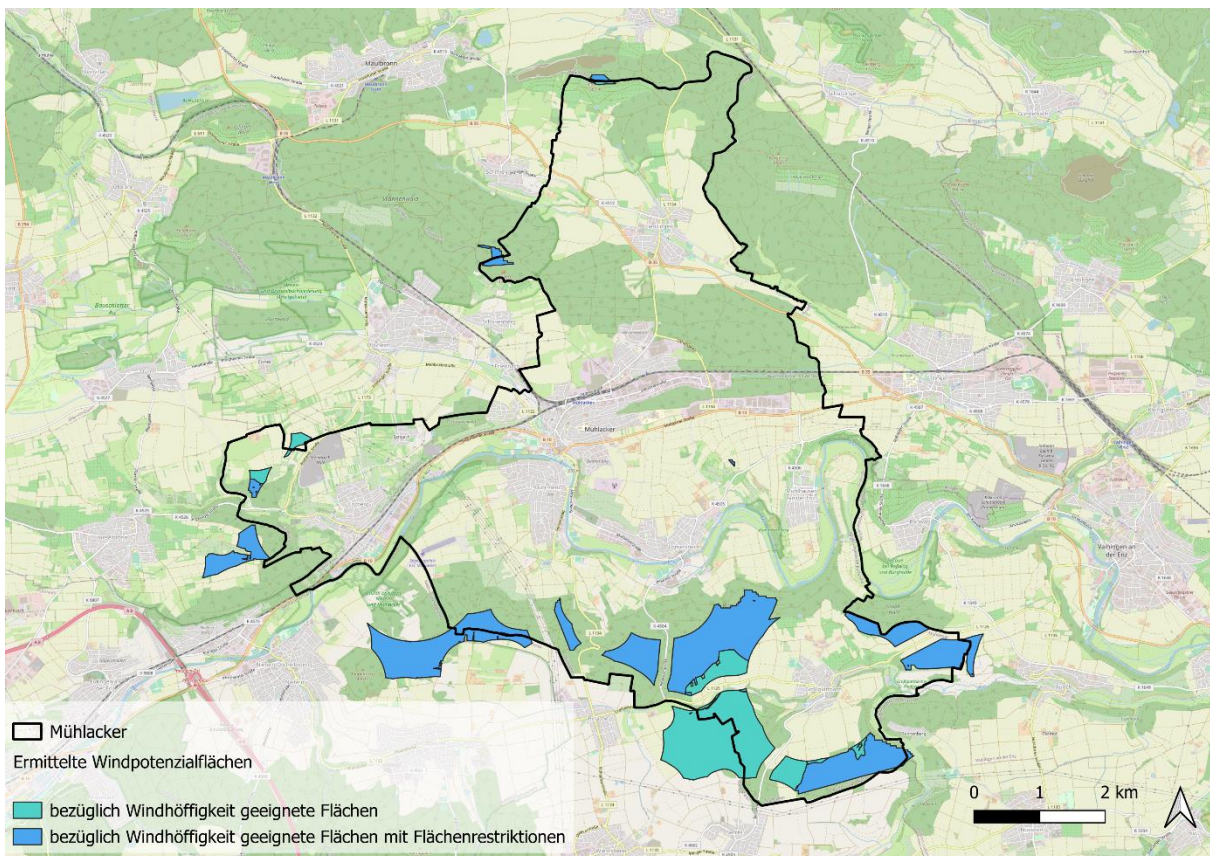


Abbildung 3: Übersicht der für die Installation der Windkraftanlagen geeigneten Flächen auf der Gemarkung der Stadt Mühlacker. Quelle der Daten: Energieatlas Baden-Württemberg. Hintergrundkarte: OpenStreetMaps. Eigene Darstellung der Energy Effizienz GmbH

Teilweise sind auf den potenziellen Flächen weitere Einzelheiten der lokalen Raumplanung und Natur- und Umweltschutzaspekte genauer zu berücksichtigen. Diese werden im vorliegenden Konzept nicht weiter erhoben. Im Folgenden werden ergänzend die Windgeschwindigkeiten als Indikator für das grundsätzliche Potenzial für Windkraft dargestellt. Die folgende Abbildung bietet eine Basis für die Identifizierung der potenziell geeigneten Flächen.

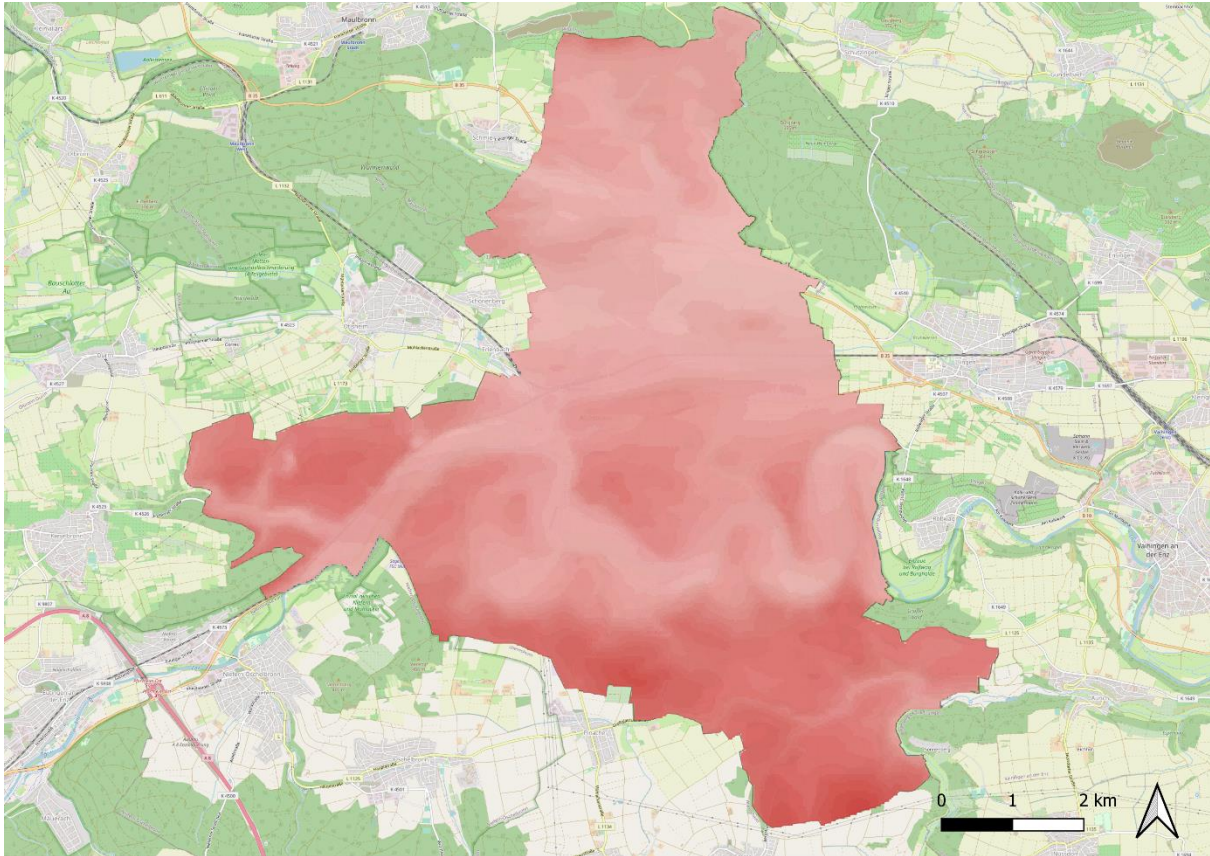


Abbildung 4: Karte der mittleren Windgeschwindigkeiten auf der Fläche der Stadt Mühlacker (Höhe: 160 m). Dunklere Gebiete weisen auf die höhere mittlere Windgeschwindigkeit hin. Für die pixelgenaue Abbildung der jeweiligen Windgeschwindigkeiten s. Originalquelle. Quelle der Daten: Energieatlas Baden-Württemberg. Hintergrundkarte: Open Street Maps. Eigene Darstellung der EnergyEffizienz GmbH

Auf der Gebietsfläche der Stadt Mühlacker werden die höchsten Windgeschwindigkeiten im südlichen Gemeindegebiet unterhalb der Enz gemessen (5,50-6,50 m/s). Das größte Potenzial für Wind findet sich demnach um Großlattbach. Nachdem hier vereinzelte Potenzialflächen über die Gemarkungsgrenzen hinausgehen, sind an dieser Stelle interkommunale Projekte in Betracht zu ziehen.

Szenarien

Folgende zwei Szenarien werden für die Windenergie betrachtet:

Trendszenario

Die Stadt Mühlacker bekennt sich ausdrücklich zum Ausbau der Windenergie und verfolgt das Ziel, städtische Flächen zum Ausbau der Windenergie zu nutzen¹⁴. Da das Thema Windenergie bereits konkret als Energieerzeugungsmöglichkeit behandelt wird, können für die vorliegende Arbeit bestehende Planungsansätze berücksichtigt werden. Aktuell befinden sich im Gemarkungsgebiet Großlattbach fünf Windenergieanlagen in Planung, deren Errichtung ab 2027 forciert wird. Abbildung

¹⁴ (Stadtverwaltung Mühlacker, 2022)

5 zeigt das gewählte Projektgebiet, welches die zwei größeren der insgesamt vier aktuellen Suchräume (Abbildung 3) auf dem Gemarkungsgebiet umfasst.



Abbildung 5: Geplantes Projektgebiet für Windkraftanlagen in Mühlacker-Großglattbach Quelle: (KommunalPartner Beteiligungsgesellschaft mbH & Co. KG, n.a.)¹⁵

Zur finalen Dimensionierung sind noch relevante Voruntersuchungen ausständig. Mit der Beteiligung der Stadtwerke Mühlacker und der Bürgerenergie Region Mühlacker Energiegenossenschaft handelt es sich um ein Projekt mit starkem kommunal-regionalem Engagement.

Für das Trendszenario wird angenommen, dass bis 2030 die geplanten fünf Windenergieanlagen des Typs Vesta V172 mit je 7,2 MW Nennleistung zugebaut werden können. Gerechnet wird mit rund 1.550 Vollaststunden pro Jahr. Damit ließe sich ein Windertrag i.H.v. rund 55.800 MWh bis 2030 erwarten. Das entspricht einer Emissionseinsparung von rund 26.000 t CO₂/a, wenn mit dem Bundesstrommix von 2019 verglichen wird.

Klimaschutzszenario

Das grundsätzliche Potenzial zum Ausbau von Windkraft ist auf der Gemarkung der Stadt Mühlacker aufgrund der Gegebenheiten (Bebauung, Naturschutzgebiete, Vorranggebiete etc.) sowie der vorhandenen Windgeschwindigkeiten begrenzt. Der weitere Ausbau von Windkraft wurde bereits umfassend geprüft. Von einem weiteren Ausbau der Windkraft ist nicht auszugehen, da sich andere mögliche Flächen in Schutzgebieten befinden. Für das Klimaschutzszenario wird deshalb wie im Trendszenario von der Realisierung der geplanten fünf Windenergieanlagen und keiner weiteren Anlagen ausgegangen. Die Stromeinspeisung liegt entsprechend bei 55.800 MWh/a und die Emissionseinsparung bei rund 26.000 t CO₂/a. Orientiert man sich am erwarteten Strombedarf in 2040, der sich insbesondere durch den zusätzlichen Bedarf für Wärmepumpen und E-Mobilität noch erhöht, kann mit der Windkraft ein Anteil von 20 % durch Eigenerzeugung vor Ort gedeckt werden.

¹⁵ (KommunalPartner Beteiligungsgesellschaft mbH & Co. KG, n.a.)

1.1.3 Photovoltaik

Grundsätzliches Potenzial

Zum Bilanzjahr 2019 befanden sich nach den Daten des Marktstammdatenregisters im Stadtgebiet 852 Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von 12,5 MWp im Betrieb. Zum Dezember 2022 waren es bereits 1.170 Anlagen mit einer installierten Leistung von 17,8 MWp.

Bis 2019 wurden die meisten Anlagen in den PV-Boom-Jahren zwischen 2008-2011 errichtet (vgl. Abbildung 6). Danach hat sich das Tempo der Installation von neuen Anlagen aufgrund veränderter Förderbedingungen abgeflacht, nach 2015 ist wieder ein leichter Anstieg zu beobachten. Nach 2019 ist der Ausbau weiter gestiegen und hat im Jahr 2022 mit über 140 zugebauten Anlagen einen neuen Höchststand erreicht.

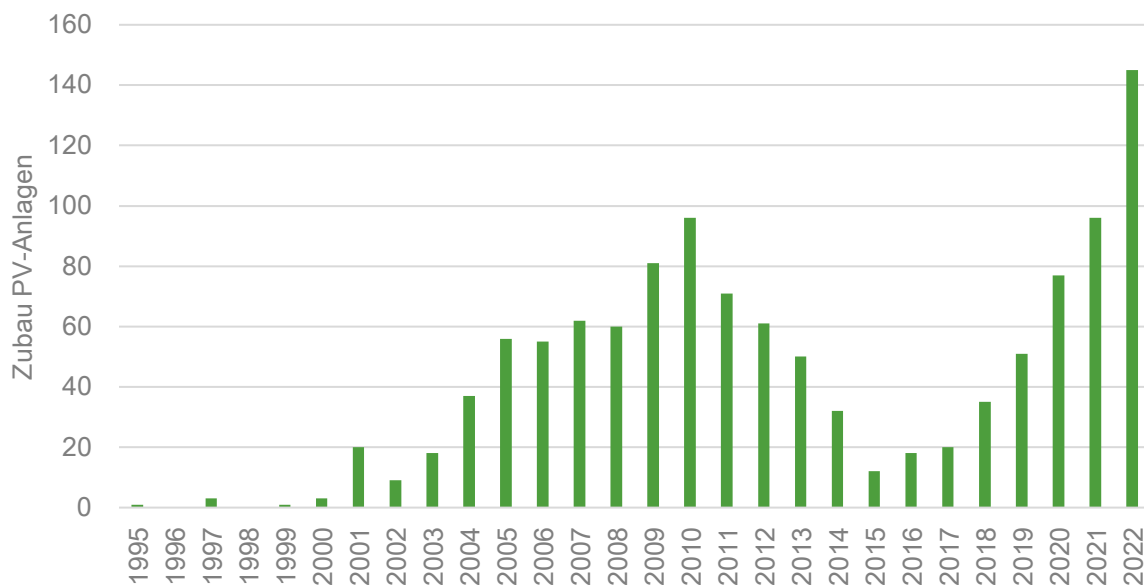


Abbildung 6: Anzahl jährlich zugebauter Photovoltaikanlagen in der Stadt Mühlacker, Quelle der Daten: Marktstammdatenregister. Eigene Darstellung der EnergyEffizienz GmbH

In 2020 und 2021 wurden durchschnittlich 115 Anlagen pro Jahr auf Wohngebäuden und sechs Anlagen auf Gewerbedächern installiert. Im Bilanzjahr 2019 wurde durch die Anlagen rund 12.000 MWh Strom erzeugt und damit CO₂-Emissionen in Höhe von ca. 5.200 t CO₂ vermieden. Wären die Dachflächen-PV-Anlagen ausschließlich auf Wohngebäuden verbaut, würde dies einen Anteil von ca. 13 % der 6.470 Wohngebäude (Stand 2019) ausmachen. Im Jahr 2022 sind es 18 %. Es wird daher ein weiterhin großes Potenzial für PV-Dachanlagen in der Stadt Mühlacker gesehen.

Der Datenservice des Energieatlasses Baden-Württemberg bietet eine Übersicht über die für PV-Installationen geeigneten Dachflächen. Das Potenzial lässt sich dabei gebäudescharf ermitteln, so dass den Gebäudebesitzern eine erste Abschätzung vorliegt. Das Tool bietet auch eine erste Abschätzung der Wirtschaftlichkeit. Die folgende Abbildung zeigt ein beispielhaftes Ergebnis. Dies entspricht einer ersten Abschätzung des Potenzials für PV, der eine Vor-Ort-Überprüfung auf statische Voraussetzungen etc. folgen muss. Das Gesamtpotenzial für Dachflächen-PV wird anhand der Gebäudezahl als sehr hoch eingeschätzt, auch wenn ein konkreter Wert auf Basis der Datengrundlage nicht ermittelt werden kann.

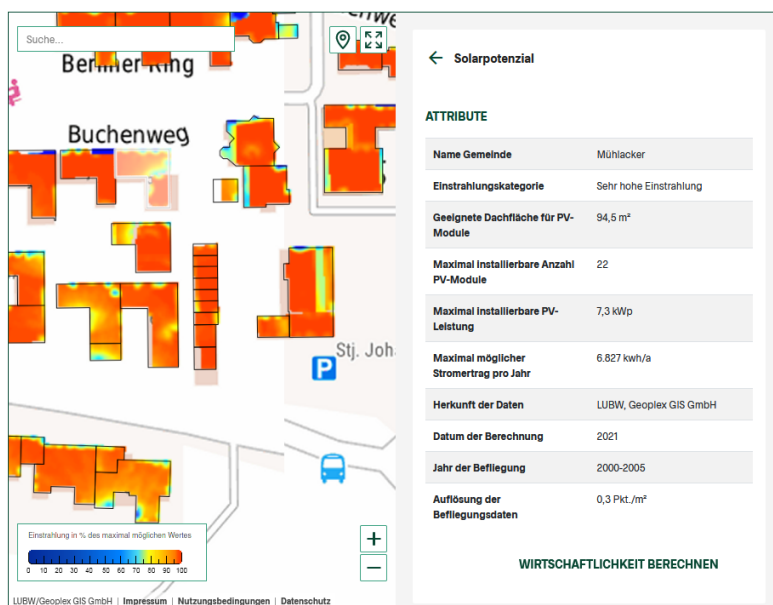


Abbildung 7: Beispiel der PV-Potenzialberechnung mit Hilfe des Energieatlasses Baden-Württemberg (Screenshot). Quelle: Energieatlas Baden-Württemberg

Die Installation der PV-Anlagen auf den Gebäudedächern in Baden-Württemberg hat sich im Laufe der letzten Jahre intensiviert. Ausschlaggebend sind die Novellierung des lokalen Klimaschutzgesetzes (2021) und das postulierte Ziel der Klimaneutralität bis 2040. Auf Basis dieses Gesetzes wurden mehrere neue Verordnungen und Regelungen verabschiedet. Diese bilden heutzutage eine der ambitioniertesten gesetzlichen Kulissen für PV-Ausbau in Deutschland. Bereits ab Januar 2022 wurde die PV-Pflicht für die Neubauten von Nichtwohngebäuden beschlossen, im Mai folgte die Pflicht auch bei Neubauten von Wohngebäuden. Das gleiche gilt ab Januar 2023 für grundlegende Dachsanierungen¹⁶. Die Parkplatzflächen sind ebenso als geeignete Standorte für PV-Anlagen definiert. Baden-Württemberg bietet damit ein Vorbild der landesweiten Solar-Offensive.

Bezüglich Freiflächen-PV-Anlagen sind nach EEG 2023 grundsätzlich

- a) auf einem 500 m breiten Streifen entlang von Schienen, Autobahnen und allen Bundesstraßen
- b) auf Konversionsflächen und bereits versiegelten Flächen und
- c) nach Landesverordnung freigegebenen benachteiligten Grünlandflächen möglich.

Darüber hinaus wurden mit der EEG-Novelle „besondere Solaranlagen“ wie Agri-PV und Grünland-PV, Floating-PV, Moor-PV und Parkplatz-PV in die Förderung aufgenommen.

Soll die Anlage nicht über das EEG gefördert werden, ist auch die Installation als nicht-privilegiertes Bauvorhaben im Außenbereich möglich.

Die Flächenkulisse in Mühlacker gestaltet sich wie folgt: Auf der Gemarkung der Stadt lassen sich zum einen ca. 163 benachteiligte Gebiete mit einer Gesamtfläche von 352 ha finden, die sich theoretisch für die Installation der Freiflächensolaranlagen eignen. Die Gebiete finden sich ausschließlich im Gebiet um Großlattbach. Die Daten des Energieatlasses Baden-Württemberg beinhalten folgende Daten zur Größe der benachteiligten Gebiete:

¹⁶ (Landesregierung Baden-Württemberg, 2022)

Tabelle 1: Übersicht der benachteiligten Gebiete auf der Gemarkung der Stadt Mühlacker

Gesamt	
Anzahl	163
Gesamtfläche (ha)	352,09
Median (ha)	1,00
Mittel (ha)	2,16
Ackerland	
Anzahl	120
Gesamtfläche (ha)	338,22
Median (ha)	0,98
Mittel (ha)	2,82
Grünland	
Anzahl	43
Gesamtfläche (ha)	13,87
Median (ha)	0,19
Mittel (ha)	0,32

Das gesamte Flächenpotenzial beträgt mit 352 ha ca. 6 % der Fläche der Gesamtfläche der Gemarkung Mühlacker (5.428 ha)¹⁷. Die größte Fläche in der Kategorie „Ackerland“ weist den Wert von 13,77 ha auf, während das größte Grundstück in der Kategorie „Grünland“ ca. 3,74 ha groß ist. Unter der Annahme, dass der durchschnittliche Jahresertrag einer Freifläche ca. 1.100 MWh pro Hektar beträgt¹⁸, lassen sich allein auf den jeweiligen größten Flächen ca. 15 GWh/a auf der größten Ackerlandfläche und 4 GWh/a auf dem größten Grundstück in der Kategorie „Grünland“ Solarstrom erhalten.

Für die Flächenkulisse kommen zum anderen Konversionsflächen sowie Flächen entlang von Autobahnen und Schienen hinzu. Das kumulierte Flächenpotenzial an Seitenrandstreifen entlang der Bahnlinien ergibt insgesamt ca. 18,89 ha. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich dieses Potenzial auf die Bestimmungen des EEG 2017 bezieht. Mit dem EEG 2023 wurde die Breite der Seitenrandstreifen entlang von Autobahnen und Bahnstrecken als für die Errichtung von PV-Freiflächenanlagen in Frage kommend von 200 m auf 500 m erhöht. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung waren diese Änderungen jedoch noch nicht in den verfügbaren Daten hinterlegt. Das Potenzial ist demnach als höher einzuschätzen. Weiteres Potenzial auf Deponieflächen lässt sich innerhalb der Gemarkung Mühlacker nicht identifizieren.

Die folgende Grafik stellt die grundsätzlich geeigneten Flächen für PV-Freiflächenanlagen dar, wobei zwischen Flächen ohne Restriktionen als sehr gut geeignete Flächen und Flächen mit weichen Restriktionen (z.B. Landschaftsschutz) als bedingt geeignete Flächen unterschieden wird.

¹⁷ (Städte-Verlag E. v. Wagner & J. Mitterhuber GmbH, n.a.)

¹⁸ Rottmayr, 2021: S. 11. Andere Annahmen vom Jahr 2019 gehen vom dem Jahresdurchschnittswert von 450 MWh/ha aus (Solar.RED, 2019)

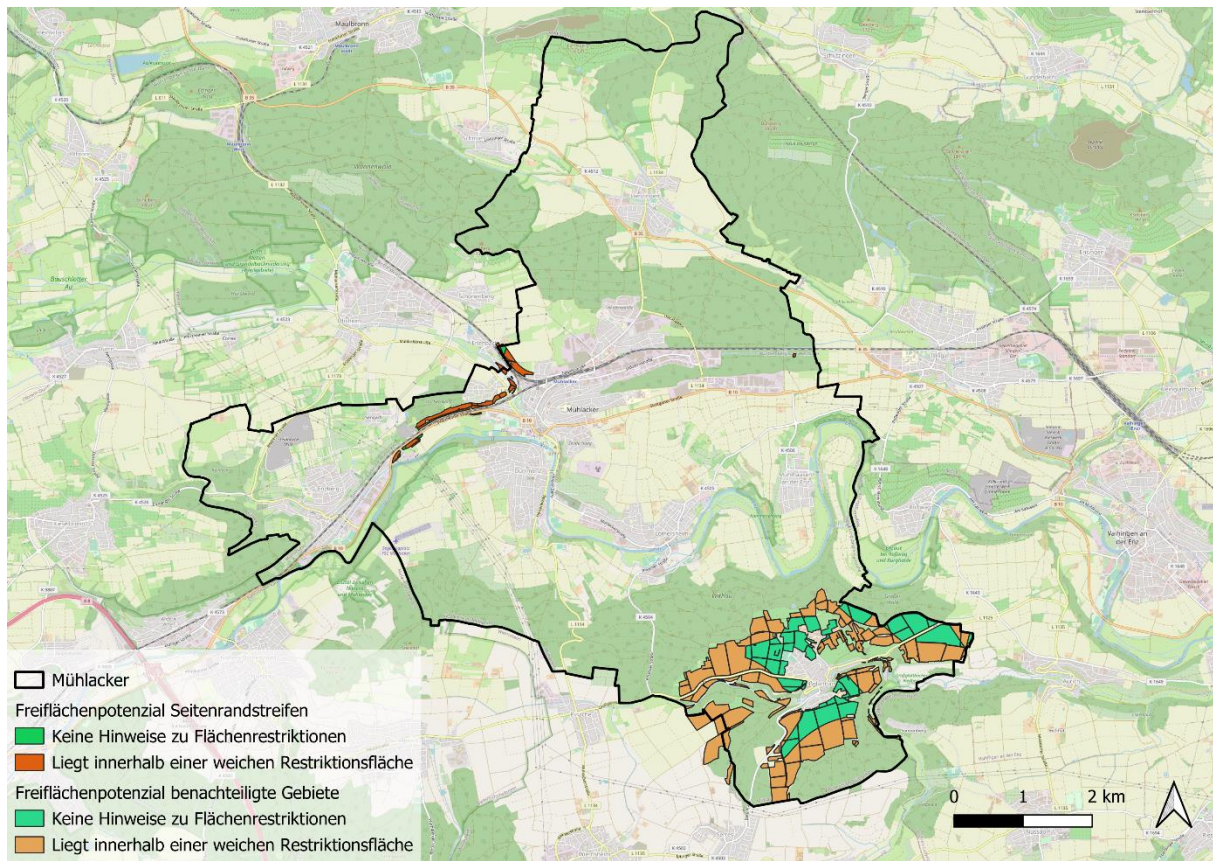


Abbildung 8: Übersicht der Potenzialflächen für Freiflächen-PV in der Stadt Mühlacker auf Konversionsflächen und benachteiligten Gebieten. Quelle der Daten: Energieatlas Baden-Württemberg. Hintergrundkarte: OpenStreetMaps. Eigene Darstellung der Energy Effizienz GmbH

Einige Beschleunigungsfaktoren bezüglich der organisatorischen Planung lassen sich im Umgang mit den Konversionsflächen und Seitenrändern entlang den Verkehrsarterien identifizieren. Diese Informationen sind ebenfalls im Energieatlas Baden-Württemberg zu finden.

Die folgende Karte zeigt ergänzend die mittleren Jahreswerte für die Globalstrahlung auf der Gemarkung der Stadt (in kWh/m²). Das Spektrum der Solarstrahlungswerte rangiert in der gesamten Stadtgemarkung im Bereich von 1.100 kWh/m². Damit liegt die Region im oberen Mittelfeld der Sonneneinstrahlung, wenn ganz Deutschland betrachtet wird.

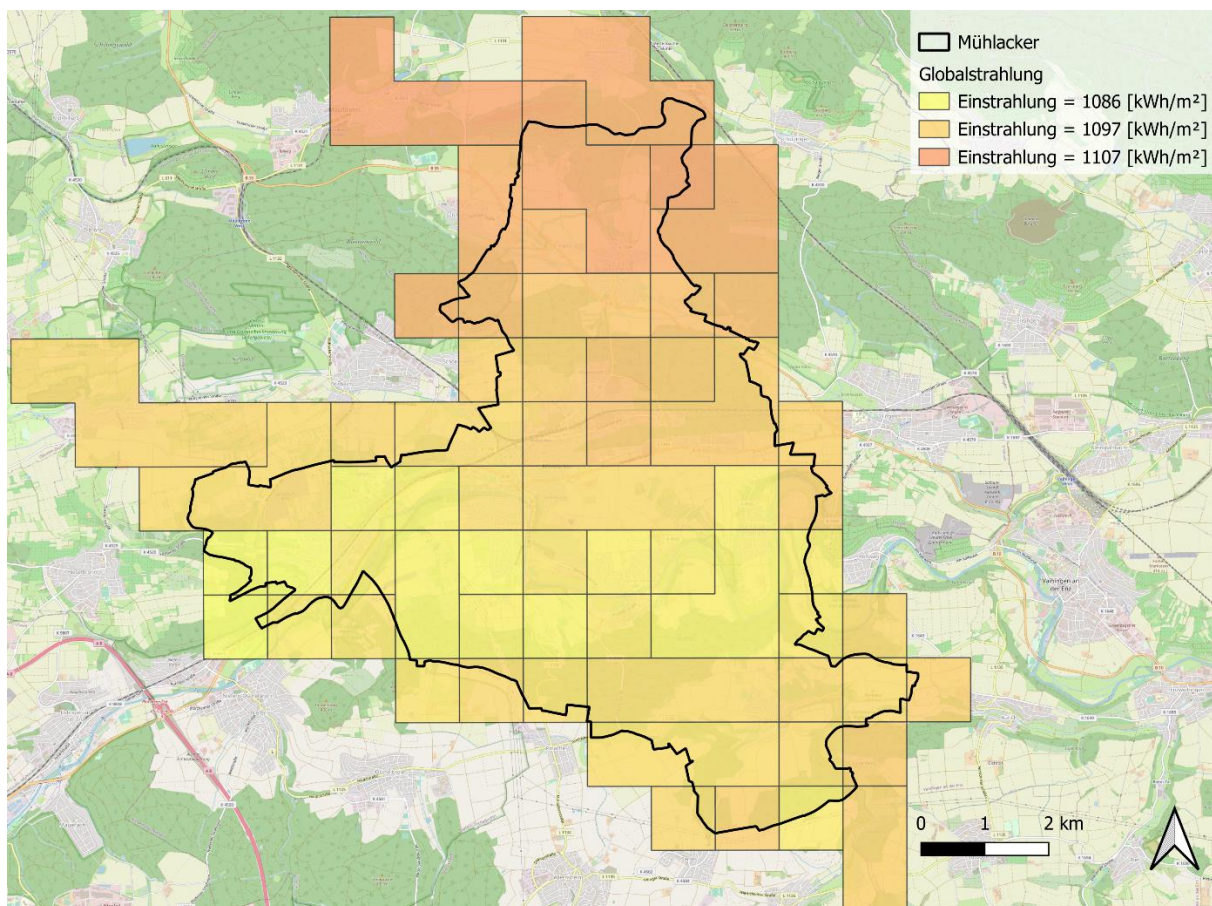


Abbildung 9: Karte der mittleren Jahreswerte für die Globalstrahlung. Für die clustergenaue Darstellung der Einstrahlungswerte s. Originalquelle. Quelle der Daten: Energieatlas Baden-Württemberg. Hintergrundkarte: Open Street Maps. Eigene Darstellung der EnergyEffizienz GmbH

Szenarien

Für die Zukunft wird angenommen, dass Altanlagen nach einer Lebensdauer von 25 Jahren vom Anlagenbetreiber erneuert werden und somit ein Verlust der am Netz angeschlossenen Anlagen nicht verzeichnet wird. Im Folgenden sind sowohl die Ausbauraten, welche für die einzelnen Szenarien angenommen werden, als auch die sich daraus ergebenden Einspeisemengen und Emissionsreduktionen angegeben:

Trendszenario

Der Trend der aktuellen Ausbauraten wird fortgesetzt: Es werden jährlich 115 Anlagen auf Wohngebäuden und vier gewerbliche Anlagen installiert. Damit wird der Trend der Jahre 2021 und 2022 fortgeschrieben¹⁹. Es wird von einer durchschnittlichen Anlagengröße von 8 kWp bei Wohngebäuden und 41 kWp bei gewerblichen Anlagen ausgegangen. Ergänzend wird die Errichtung von Freiflächen-PV mit 11, MWp bis 2030 und 23 MWp bis 2040 angenommen. Das entspricht nach aktuellem technologischen Stand 9,2 bzw. 18,4 ha. Dies entspricht der Fläche, die benötigt wird, um 10 % des Strombedarfs aus dem Bilanzjahr 2019 zu decken. 2030 können mit den angenommenen Ausbauraten rund 22.000 MWh/a bereitgestellt werden, was einer Emissionseinsparung von knapp

¹⁹ Damit sind bis 2030 ca. 27 % der Dächer aller Wohngebäude belegt, bis 2040 ca. 42 %.

9.600 CO₂ entspricht. Bis 2040 würden insgesamt rund 43.000 MWh/a erzeugt und damit eine Einsparung jährlicher Emissionen in Höhe von ca. 19.000 t CO₂ ermöglicht.

Klimaschutzszenario

Eine ambitionierte Ausbaurrate mit 196 Dachflächen-PV-Anlagen auf Wohngebäuden²⁰ sowie 40 Anlagen im gewerblichen Sektor wird angenommen. Im Rahmen des hier vorliegenden Szenarios soll ein Trendwert als Orientierungspunkt für den weiteren Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik aufgezeigt werden. Als Trendwert wird ein notwendiger Ausbau angenommen, der die Deckung des erwarteten Strombedarfs in 2040 (inkl. Strombedarf für Wärmepumpen und E-Mobilität) durch Photovoltaik zu 60 % ermöglicht. Dafür werden zusätzlich zur Nutzung der Dachflächen, PV-Freiflächenanlagen mit rund 90 MWp installierter Leistung (erwarteter Stromertrag: ca. 81.000 MWh/a) bis 2040 benötigt. Wird von einem Durchschnittswert von 0,8 ha pro MWp ausgegangen, entspräche dies rund 72 ha. Würde die Hälfte davon bis 2030 realisiert, kann mit den getroffenen Annahmen bzgl. Dachflächen-PV sowie Freiflächenanlagen die Stromeinspeisung aus Photovoltaik bis 2030 um rund 101.000 MWh/a steigern, was einer zusätzlichen Emissionseinsparung von 44.300 t CO₂/a entspricht. Bis 2040 steigt die Stromeinspeisung in diesem Szenario um insgesamt rund 157.000 MWh/a. Die zusätzliche Emissionseinsparung liegt bei rund 69.000 t CO₂/a, wenn mit den Emissionsfaktoren des Bundesstrommix von 2019 verglichen wird.

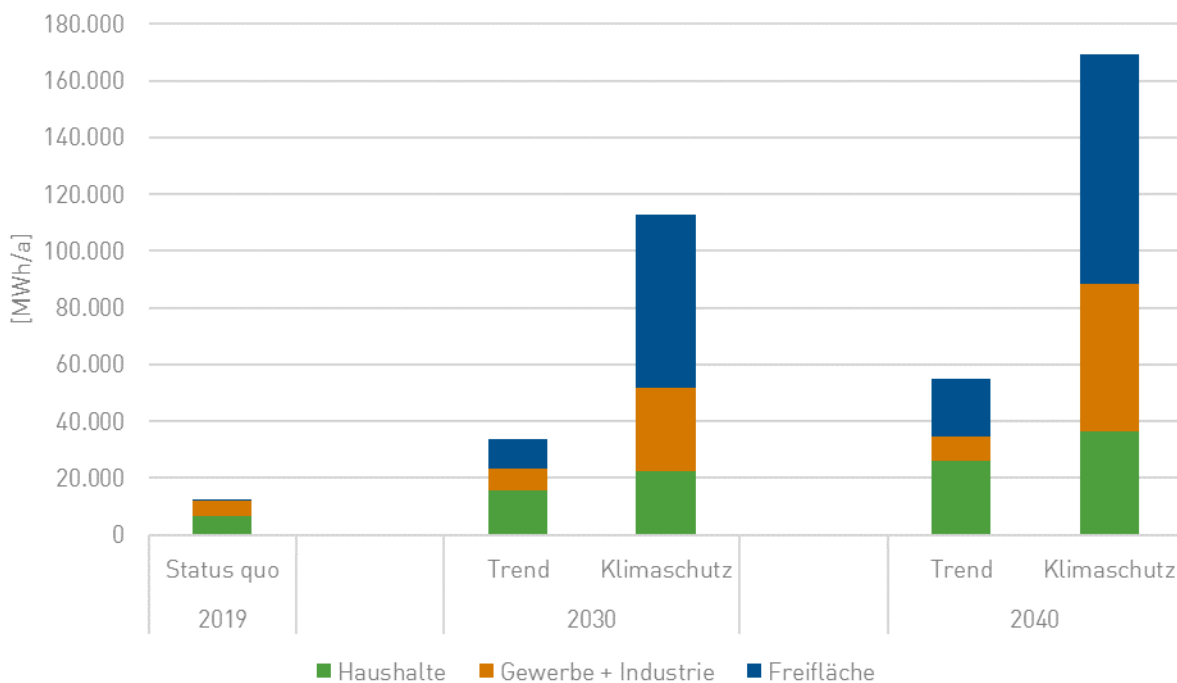


Abbildung 10: Entwicklung des Photovoltaikausbaus in der Stadt Mühlacker nach Szenarien

Hierbei wird die beschriebene Emissionseinsparung verglichen mit dem Emissionsfaktor von 2019 dargestellt. Die tatsächliche Einsparung sinkt im Trendszenario und fällt im Klimaschutzszenario sogar auf 0. Dies begründet sich in der Annahme eines im Jahr 2040 deutlich verbesserten Strommixes aufgrund der Ausbauziele für erneuerbare Energien der Bundesregierung. Würde man den durch Photovoltaik produzierten Strom jedoch mit dem jetzigen Stromemissionsfaktor vergleichen, wären die Einsparungen offensichtlich. An dieser Stelle sei angemerkt, dass eine Verbesserung des

²⁰ Ausbaurrate orientiert sich an einem Anteil an belegten Wohngebäuden von 75 % bis 2040 (2030: 44 %)

Bundesstrommixes sich nur durch lokales Engagement realisieren lässt. Dadurch werden die in der Realität sinkenden Emissionseinsparungen relativiert, die nur eine Folge des notwendigen ambitionierten Ausbaus der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ist.

1.1.4 Wasserkraft

Auf der Gemarkung der Stadt Mühlacker sind laut Energieatlas Baden-Württemberg fünf Wasserkraftanlagen mit insgesamt 2,57 MW Leistung und durchschnittlich 4.950 Vollaststunden in Betrieb. Die Stromerzeugung aus Wasserkraft beläuft sich auf rund 12.700 MWh/a.



Abbildung 11: Übersicht der Wasserkraftanlagen in Mühlacker. Quelle: Energieatlas Baden-Württemberg

Bezüglich des weiteren Potenzials für Wasserkraft bietet der Energieatlas Baden-Württemberg zwei Standorte für einen möglichen Ausbau der vorhandenen Nutzung. Das Potenzial beträgt rund 172 kW. Die Wirtschaftlichkeit des Ausbaus wird allerdings für beide Anlagen als „grenzwertig“ eingeschätzt. Von den hohen Potenzialen des lokalen Ausbaus der Wasserkraft lässt sich nicht zuletzt aufgrund der häufig vorkommenden Dürreperioden²¹ absehen. Aufgrund des für effektiven Klimaschutz notwendigen massiven Ausbaus erneuerbarer Energien und des nur als gering eingeschätzten Potenzials für Wasserkraft wird für die Szenarien keine weiteren Ausbaumaßnahmen diesbezüglich angenommen.

1.1.5 Biogasanlagen

Bei der Vergärung organischer Masse unter Ausschluss von Luft entstehen Gase, die unter dem Begriff „Biogas“ gefasst werden. Das erzeugte Biogas, welches neben Methan noch weitere Gase enthält, kann direkt in einem Blockheizkraftwerk zur Strom- und Wärmegewinnung eingesetzt oder auf Biomethanqualität aufbereitet und ins Erdgasnetz eingespeist werden²². Potenzielles Substrat für die Erzeugung von Biogas findet sich vor allem im landwirtschaftlichen Bereich durch Energiepflanzen und der Verwertung von Reststoffen (Vergärung von Gülle/Festmist etc.). Außerdem kann Biogas bei der Abfallverwertung genutzt werden, wie in der Vergärung von Bioabfällen, der Verbrennung von Grüngut und bei Kläranlagen. Ein großer Vorteil der Stromerzeugung aus Biogas ist die konstante Energiebereitstellung, die im Gegensatz zu den fluktuierenden Energiequellen der Wind- und Photovoltaikenergie steuerbar ist. Sie wird deshalb als Ersatz für das Erdgas in der Spitzenlast

²¹ Die stadtinternen Quellen weisen auf die Anzahl von 33 Trockenperioden (mind. 4 aufeinanderfolgende Trockentage) auf der Gemarkung der Stadt Mühlacker pro Jahr (Zeitraum 2021-2050) hin.

²² Methananteil von mindestens 96 % (Erdgas Südwest GmbH, 2019)

gesehen.²³ Aufgrund der geänderten gesetzlichen Regelungen stagnierte mit Einführung des EEG 2013 der Ausbau von Biogasanlagen weitestgehend.

Das Potenzial der Biogasanlagen in Deutschland wird in verschiedenen Studien als eine der möglichen Antworten auf die Gas- und Energieknappheit eingeschätzt.²⁴ Gleichzeitig wird aufgrund von Zielkonflikten zwischen der klimafreundlichen Energiebereitstellung und der ausreichenden Lebensmittelversorgung der Anbau von Energiepflanzen häufig kritisch gesehen.²⁵ Eine Lösung bietet der Wechsel der Einsatzstoffe von Energiepflanzen hin zu landwirtschaftlichen Rest- und Abfallstoffen, welche ein noch großes und teilweise ungenutztes Potenzial bieten.²⁶ Die gegenwärtige Erzeugung der ca. 32.000 GWh Strommenge durch fast 13.000 Anlagen (deutschlandweit)²⁷ weist auf eine bereits vorhandene Infrastruktur und Erfahrungen in der Planung, Umsetzung und Betrieb der Anlagen hin, was zukünftige Investitionen stärken sollte. Auch die Repowering-Maßnahmen der bestehenden Anlagen sollen berücksichtigt werden, da diese den Stromertrag erheblich erhöhen können.²⁸ Die Stromerzeugung aus Biogas beträgt derzeit deutschlandweit mengenmäßig rund 15 % der Stromerzeugung aus Erdgas. Mit verstärkten Anstrengungen wird davon ausgegangen, dass fast 50 % des derzeitigen Gasverbrauchs zur Stromerzeugung durch Biogas gedeckt werden könnte.²⁹

Grundsätzliches Potenzial

Seit 2007 befindet sich im Industriegebiet der Stadt Mühlacker eine Biomethananlage mit 5 MW Gasleistung bzw. 2 MW elektrischer Leistung in Betrieb.³⁰ Es handelt sich dabei um die erste Anlage in Baden-Württemberg, die Biomethan in das Erdgasnetz einspeist. Verarbeitet werden insbesondere Mais, Gras sowie für die Produktion von Nahrungsmitteln ungeeignetes Getreide sowie 15.000 Tonnen Mist und 15.000 m³ Gülle. Die Energiepflanzen werden von rund 120 Landwirten auf Feldern mit einer Gesamtvertragsfläche von ca. 1000 Hektar angebaut.³¹ Der Substrateinsatz beläuft sich auf rund 30.000 Tonnen pro Jahr, woraus jährlich rund 45.000 MWh aufbereitetes Biomethan in das Gasnetz eingespeist werden.

Vor dem Hintergrund der vorrangigen Nutzung von Flächen für den Anbau von Lebensmitteln wird die Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe wie Gülle sowie ggf. Grassilage dem Einsatz nachwachsender Rohstoffe zur Energiegewinnung vorgezogen. Um die Biogas- bzw. Biomethanpotenziale in der Stadt Mühlacker genauer quantifizieren zu können, ist eine vertiefte Potenzialanalyse erforderlich. Ausgangsbasis ist die Erhebung der potenziellen, lokalen Substratquellen. In Tabelle 2 sind die landwirtschaftlich genutzten Flächen nach Nutzungsart dargestellt.

Tabelle 2: Angaben zur Bodennutzung in Mühlacker im Jahr 2020, Quelle: statistisches Landesamt (2021)³²

	Landwirtschaft	davon Ackerland	davon Grünland
Fläche in ha	2.250	1.507	738

²³ (DBFZ, 2022)

²⁴ (DBFZ, 2022), (Neumann, 2022)

²⁵ (UBA, 2020)

²⁶ (Neumann, 2022)

²⁷ (DBFZ, 2022), S.19

²⁸ (DBFZ, 2022)

²⁹ (DBFZ, 2022)

³⁰ (Biomethananlage Mühlacker GmbH & Co. KG, n.a.)

³¹ (Biomethananlage Mühlacker GmbH & Co. KG, n.a.)

³² (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2021)

Der Großteil der landwirtschaftlichen Flächen in Mühlacker wird als Ackerland genutzt. Zwar eignen sich diese Flächen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe für Biogasanlagen, jedoch ist hier besonders auf die Flächennutzungskonkurrenz zu verweisen. Auf Grünflächen hingegen fällt Grüngut an, welches – sofern nicht mehr für die Tierhaltung benötigt wird und keiner sinnvollen Nutzung zugeführt wird – in Biogasanlagen verwertet werden kann. Unter Berücksichtigung deutschlandweiter Berechnungen³³ erweist sich die Grünlandfläche der Stadt Mühlacker für die Herstellung von schätzungsweise 3.500 MWh/a regenerativen Stroms geeignet.

Tabelle 3: Viehhaltung in Mühlacker im Jahr 2020, Quelle: statistisches Landesamt (2021)³⁴

Rinder	Milchkühe	Schafe	Einhufer	Hühner
2.042	740	54	57	5.995

Die Zahl der Rinder in Mühlacker liegt Stand 2020 bei 2.042 sowie weiteren 740 Milchkühen. Die Anzahl an Schafen und Einhufern liegt bei 54 bzw. 57 Stück. Zudem befinden sich 5.995 Hühner im Gebiet. Grundsätzlich lassen sich sämtliche tierische Exkremate wie Gülle, Jauche, Mist oder Hühnertrockenkot in Biogasanlagen vergären und energetisch nutzen. In der Praxis wird jedoch hauptsächlich Rindergülle verwertet.³⁵ Über die Energiegewinnung hinaus ist dies eine wichtige Maßnahme im Sektor Landwirtschaft, um Methan- und Lachgasemissionen aus der Tierhaltung (Wirtschaftsdünger) zu vermeiden. Das Potenzial der allein aus der Rinder- und Milchkuhhaltung anfallenden Gülle liegt in Mühlacker bei rund 5.200 MWh/a. An dieser Stelle ist auf die Vorteile überregionaler Kooperation hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Erweiterung der bestehenden Biogasanlagen oder Errichtung einer weiteren hinzuweisen. Gleichwohl sollten relevante Trends und Entwicklung in der Landwirtschaft im Auge behalten und mitgedacht werden: so reduziert sich 2020 die Zahl der Tiere (in Großvieheinheiten) in Mühlacker im Vergleich zum Jahr 2016 um 9,6 %, wobei der vollständige Ausstieg aus der Schweinehaltung ein wesentlicher Faktor darstellt.³⁶

1.1.6 Faulgas / Kläranlagen

Weiteres Potenzial zur Herstellung von klimafreundlichem Strom bietet die energetische Verwertung von Faulgasen, welche bei der Abwasserentsorgung anfallen. Die Abfallstoffe können ein hohes Potenzial zur Energiebereitstellung bergen. Innerhalb der Gemarkung Mühlacker wird Abwasser durch den Eigenbetrieb Stadtentwässerung über vier kommunalen Kläranlagen entsorgt und aufbereitet³⁷. Eine weitere Kläranlage in Großglattbach wird gemeinsam mit der Gemeinde Wiernsheim im Abwasserzweckverband betrieben. Neben drei kleineren Anlagen des Eigenbetriebs in Enzberg, Lienzingen und Mühlacker befindet sich mit der Kläranlage Lomersheim eine der größten Anlagen im Enzkreis in Mühlacker. Die Kläranlage Lomersheim ist auf bis zu 40.000 Einwohner ausgerichtet und gehört damit in die Kategorie „Größenklasse 4“ von Kläranlagen³⁸. Es fällt, einschließlich dem Schlamm der kleineren Anlagen, in der Regel ausreichend Klärschlammmenge an, um sie energetisch zu nutzen. Dies ist auch in der Kläranlage Lomersheim der Fall: Über den Faulturm wird aus dem Klärschlamm Faulgas gewonnen, welches im BHKW vor Ort verbrannt wird. Damit kann fast der gesamte

³³ (Neumann, 2022)

³⁴ (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2021)

³⁵ (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2021)

³⁶ Statistisches Landesamt

³⁷ (Mühlacker, 2006)

³⁸ (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2015)

Wärmebedarf sowie 68 % des eigenen Strombedarfs dieses Klärwerks klimafreundlich und autark gedeckt werden. Mit zwei Photovoltaikanlagen, die ca. 28 MWh erzeugen, kann ein strombezogener Autarkiegrad von rund 72 % erreicht werden. Insgesamt lag die Stromerzeugung durch Klärgas bei 557 MWh und durch PV bei 28 MWh/a, während der Strombezug aus dem öffentlichen Netz bei 227 MWh/a lag (2021). Gleichzeitig wurden in Zeiten mit Stromüberschuss auf der Kläranlage Lomersheim 79 MWh/a in das Netz des Versorgers eingespeist. Zur Deckung des gesamten Wärmebedarfs von 822 MWh/a wurden noch geringfügige Mengen Erdgas genutzt (3,4 MWh/a).

Die Stromverbräuche der Kläranlagen in Mühlacker im Zeitraum 2019-2021 sehen wie folgt aus:

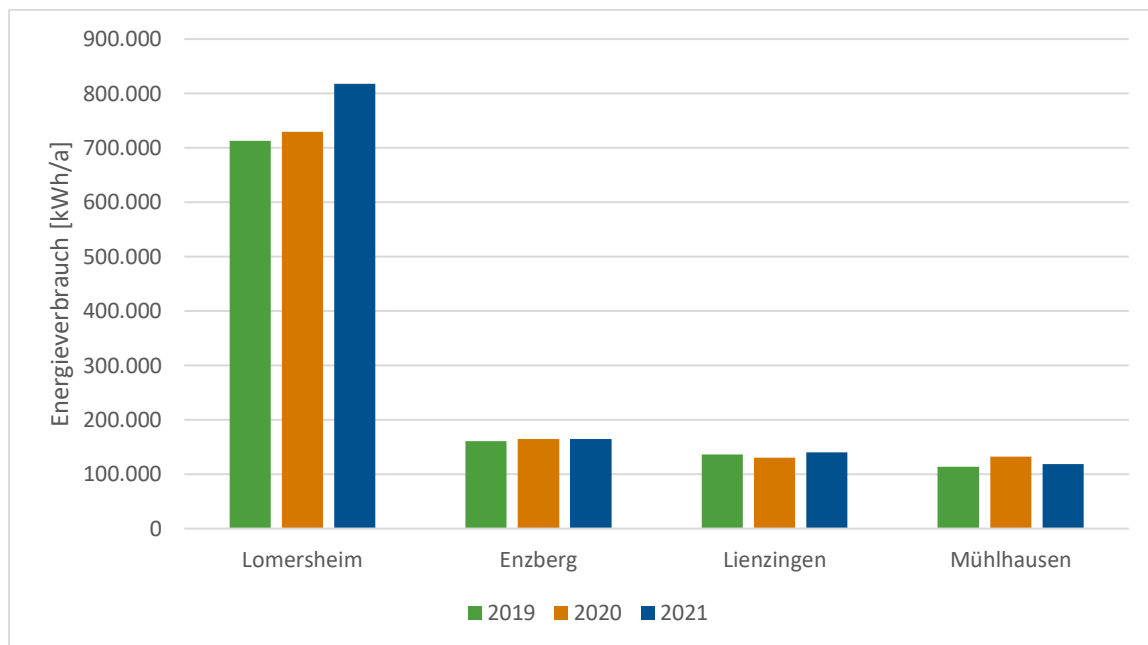


Abbildung 12: Stromverbräuche der Kläranlage in Mühlacker. Quelle: Klimaschutzmanagement Mühlacker

Zum Wärmeverbrauch liegen nicht für alle Kläranlagen im Gebiet Daten vor. In der Kläranlage Lomersheim kann nur noch durch kleinteiligere energetische Maßnahmen, wie etwa Verfahrensumstellungen bzw. -optimierungen oder ggf. dem weiteren Ausbau von PV, optimiert werden. Relevante Analysen für weitere energetische Optimierungs- und Einsparpotenziale bietet der „Leitfaden Energieeffizienz auf Kläranlagen“ der Landesregierung von Baden-Württemberg³⁹. Für größere Anlagen der Größe 3-5 wird hier ein hohes durchschnittliches Einsparpotenzial attestiert, welches je nach Ausgangssituation und den ausgewählten Modernisierungsmaßnahmen stark variiert. Für kleinere Anlagen wie in Enzberg, Lienzingen und Mühlacker wird das Potenzial als gering eingestuft. Die Auflistung der möglichen Maßnahmenkomplexe sowie die quantitativen Ergebnisse der Potenzialbewertung aller Kläranlagen in Baden-Württemberg zusammen mit dem technologischen Hintergrund lassen sich dem Dokument entnehmen⁴⁰.

³⁹ (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2015)

⁴⁰ (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2015)

1.1.7 Zusammenfassung der Potenziale im Stromsektor und die resultierende Entwicklung des Strombedarfs

Die Analyse des Stromsektors hat gezeigt, dass Windkraft, Photovoltaik und Stromeinsparung die wesentlichen Stellschrauben zur Verringerung der Emissionen im Stromsektor in der Stadt Mühlacker sein werden.

Abbildung 13 stellt den Stromverbrauch und dessen Reduktionspotenzial der Einspeisung aus erneuerbaren Energien gegenüber. Beim Stromverbrauch ist schraffiert ebenfalls der zusätzliche Strombedarf durch die Nutzung von Wärmepumpen⁴¹ und Elektromobilität dargestellt. Für die Gesamtbetrachtung des Stromsektors von großer Bedeutung, wird er in der Bilanz jedoch unter den Sektoren „Wärme“ und „Verkehr“ bilanziert.

Es ist erkennbar, dass die Stromeinspeisung in allen Szenarien ansteigt. Dies ist auf den Zubau von PV- und Windenergieanlagen zurückzuführen. Im **Trendszenario** deckt die lokale Stromeinspeisung den bestehenden Strombedarf **im Jahr 2030 zu 49 %**, bis **2040** steigt dieser Anteil auf **57 %**. Im Klimaschutzszenario kann eine Deckung des Eigenbedarfs von **78 % (2030)** erreicht werden, während im Jahr **2040** eine **75 %** bilanzielle Deckung des projizierten Strombedarfs erreicht werden kann. Dies ist keinesfalls ausgeschlossen, so sind für Windenergieanlagen und insbesondere für Freiflächen-PV grundsätzlich Flächen vorhanden, jedoch muss der Wille hierzu und etwaige Nutzungskonflikte mitbedacht und im Vorhinein geprüft werden. Auch die Kooperation mit den benachbarten Kommunen bezüglich der weiteren Windenergieanlagen stellt einen wesentlichen Baustein des deklarierten Ziels der Klimaneutralität 2040 dar. Dabei ist zudem zu beachten, dass die Prozentwerte den stark ansteigenden Strombedarf durch die Nutzung von Wärmepumpen und Elektromobilität berücksichtigt.

⁴¹ Für die genauen quantifizierbaren Daten zur Anzahl und Verbrauch der einzelnen Wärmepumpen s. Kapitel 1.2.10

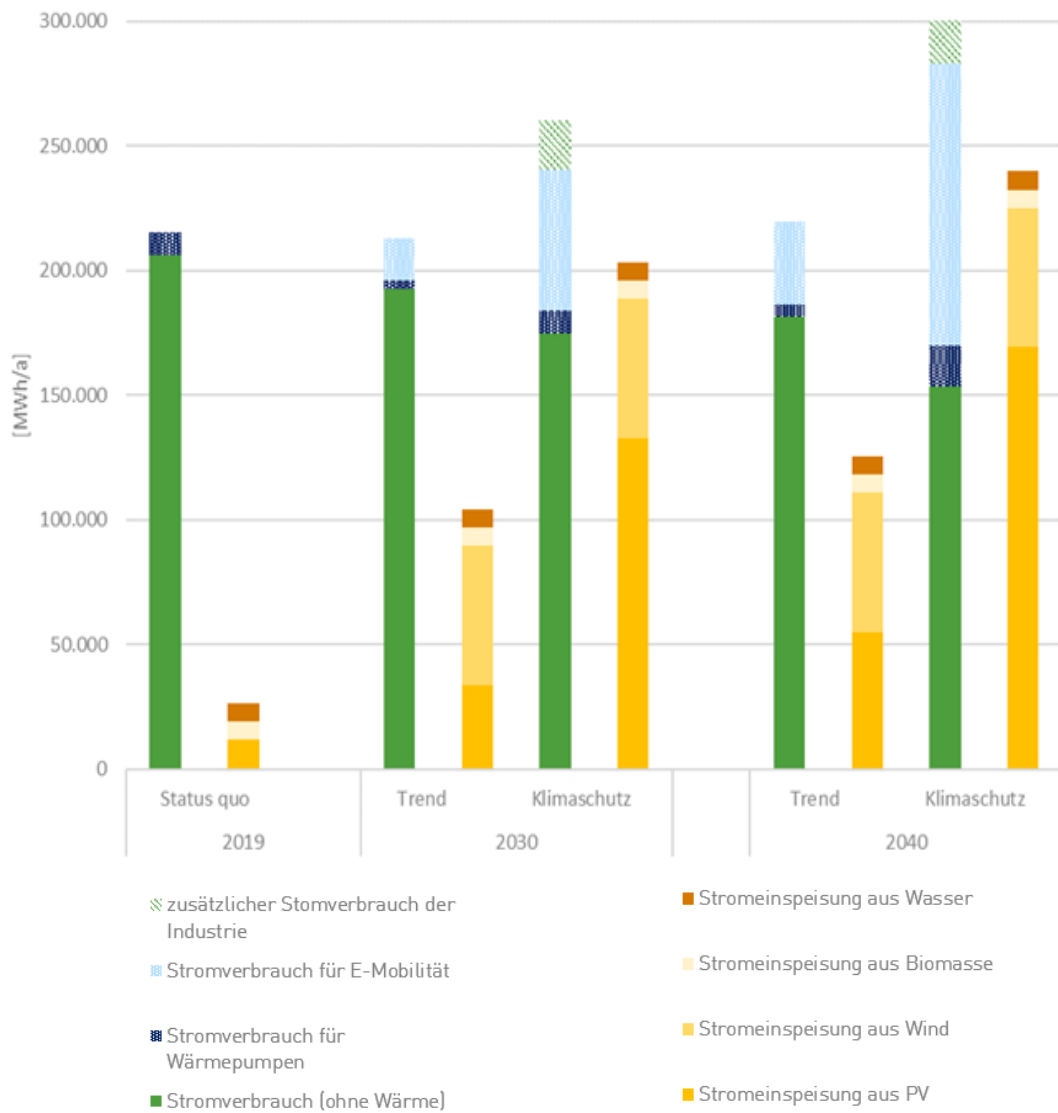


Abbildung 13: Entwicklung des Strombedarfs und der Stromeinspeisung aus Erneuerbaren (Status quo und Zukunftsszenarien 2030 und 2040)

1.2 Wärmesektor

Die aktuelle Struktur der Energie- und insbesondere Wärmeversorgung in Baden-Württemberg wird hauptsächlich durch fossilbetriebene Anlagen bestimmt. Der Anteil der erneuerbaren Energiequellen am Wärmeverbrauch des Landes Baden-Württemberg liegt bei rund 16 %⁴². Dem hingegen wird in der Stadt Mühlacker bereits rund 22 % des Wärmeverbrauchs durch regenerative und lokale Energiequellen gedeckt. Dies lässt sich insbesondere auf den hohen Anteil von Biogas (17 %) an der Wärmeversorgung zurückführen. Jedoch nehmen die fossilen Energieträger Öl mit 17 % und Erdgas mit 53 % auch heute noch den größten Anteil am Wärmeverbrauch ein. Da Ölheizungen sukzessive ausgetauscht werden müssen und der Einsatz von Gas aus verschiedenen Gründen diskutiert wird, werden in diesem Kapitel verschiedene Möglichkeiten zur klimafreundlichen Umgestaltung des Wärmesektors in Mühlacker betrachtet.

In einem ersten Schritt wird untersucht, wie sich der Wärmebedarf in den unterschiedlichen Szenarien bis 2040 entwickelt. Hierfür wird der Einfluss durch Sanierung von Wohngebäuden sowie durch Energieeffizienzmaßnahmen im gewerblichen und industriellen Sektor analysiert. Anschließend wird ermittelt, wie der verbleibende Wärmebedarf möglichst klimaneutral gedeckt werden kann. Dazu werden die Ausgangssituation und Potenziale verschiedener Energieträger innerhalb der Gemarkung Mühlacker betrachtet. Untersucht werden die fossilen Energieträger Öl und Gas sowie die alternativen Energiequellen Biomasse, Abfall, Solarthermie und Umweltwärme. Abschließend werden Möglichkeiten und Vorteile von Nahwärmenetzen sowie Wasserstoff thematisiert.

1.2.1 Sanierung der Wohngebäude

Grundsätzliches Potenzial und Szenarien

Im Wärmebereich besteht großes Minderungspotenzial durch thermische Sanierungen und dem Ausbau einer erneuerbaren Wärmeversorgung. Dabei ist die Reduktion des Heizwärmebedarfs insofern noch vor dem Austausch fossiler Heizungssysteme zu betrachten, als dass der Austausch im Idealfall erst nach einer Sanierung erfolgt, um eine Überdimensionierung zu vermeiden. Eine wesentliche Rolle nehmen die Wohngebäude ein, deren Energieeinsparpotenzial im Folgenden dargestellt wird.

Zur Untersuchung des Sanierungspotenzials in privaten Haushalten wird zunächst der Wohnungsbestand der Stadt Mühlacker auf Grundlage von Daten aus der Zensus Befragung 2011 sowie des statistischen Landesamts (1991-2019) erhoben. Die Ermittlung des Wärmebedarfs erfolgt nicht auf Basis realer Verbrauchswerte, sondern anhand der typischen spezifischen Wärmebedarfen in kWh/(m²*a) gemäß TABULA⁴³. Die TABULA-Methodik bezieht sich auf ein auf EU-Ebene elaboriertes Konzept zur Ermittlung der Wärmebedarfs- und Durchschnittswerte des Energieverbrauchs zur Wärmeversorgung von Gebäuden verschiedener Haustypen, Baualters, Konstruktion etc. Die Verwendung dieser flächenbezogenen Wärmebedarfe ist nötig, um das Einsparpotenzial bei Sanierungen auf einen bestimmten Standard zu ermitteln. Diese werden prozentual auf den tatsächlichen Wärmeverbrauch angerechnet.

In den Szenarien werden unterschiedlich ambitionierte Sanierungsraten, Sanierungszyklen und Sanierungsstandards angenommen und über den betrachteten Zeitraum bis 2040 angewendet. Auch

⁴² BICO2

⁴³ (Institut Wohnen und Umwelt, 2022)

wenn dem Begriff Sanierungsrate eine genaue Definition fehlt, wird darunter gemeinhin sowohl Komplett-sanierungen als auch Einzelmaßnahmen (Fenster-austausch, Dachdeckensanierung etc.) verstanden. Deutschlandweit und dem Trendszenario zugrunde liegt die Sanierungsrate aktuell bei 0,8 % pro Jahr. Zur Verwirklichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung wird im Klimaschutz-szenario mit der hierfür erforderlichen Sanierungsrate von 2 – 3 % gerechnet. Der Sanierungszyklus beschreibt die Dauer, bis ein bestimmter Teil des Gebäudes saniert wird. Bei der Gebäudehülle liegt der Zeitraum bei etwa 30 bis 40 Jahren⁴⁴. Als Sanierungsstandard werden im Trendszenario die Anforderung des GEG⁴⁵ herangezogen, der als Mindeststandard bei der Sanierung von bestimmten Bauteilen eingehalten werden muss⁴⁶. Für Ein- und Zweifamilienhäusern liegt der Standard für den Wärmebedarf nach Sanierung bei 74 kWh/(m²*a) und für Mehrfamilienhäuser 77 kWh/(m²*a). Das Klimaschutz-szenario basiert auf der TABULA-Methodik⁴⁷ – je nach Baualterklasse und Haustyp wird eine Reduktion des Wärmebedarfs auf 40 bis 60 kWh/(m²*a) angenommen. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die den Szenarien zugrunde gelegten Sanierungs-raten und Sanierungsstandards.

Tabelle 4: Annahmen zur Berechnung der Einsparpotenziale von Wohngebäuden

Szenario	Sanierungs- quote p.a.	Sanierungsstandard	Wärmebedarf nach Sanierung
Trend	0,83 %	Gebäudeenergiegesetz (GEG)	74 – 77 kWh/(m ² *a)
Klimaschutz	3 %	Sanierungspaket TABULA	40 – 50 kWh/(m ² *a)

Der Großteil des Gebäudebestands entfällt auf Gebäude, die vor 1979 errichtet wurden und 67 % des Wohnbestandes ausmachen⁴⁸. Gebäude dieses Baualters haben gem. TABULA einen Heizwärmebedarf von durchschnittlich 211 kWh pro m² und sind in Mühlacker für einen großen Anteil am Wärmeverbrauch der Wohngebäude beteiligt.⁴⁹ Es ist daher davon auszugehen, dass die Sanierung des Gebäudebestands einen großen Beitrag zum Klimaschutz in der Stadt Mühlacker leisten kann. Auf Grundlage der Sanierungsquoten ergibt sich der in Abbildung 14 für das Trendszenario und in Abbildung 15 für das Klimaschutz-szenario abgebildete Entwicklungstrend bis 2040.

⁴⁴ (BMWi, 2014, S. 5)

⁴⁵ Ehemals EnEV

⁴⁶ (GEG, 2020)

⁴⁷ (Episcopo Tabula, 2022)

⁴⁸ (Zensus Datenbank, 2011)

⁴⁹ (Institut Wohnen und Umwelt, 2022)

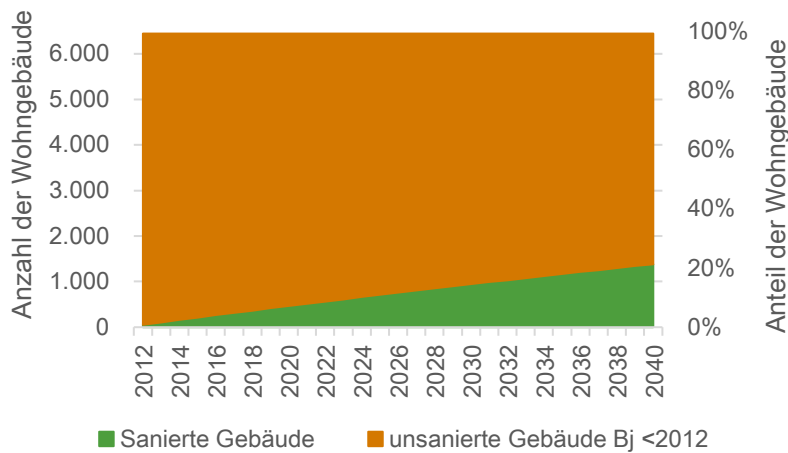


Abbildung 14: Entwicklung des zusätzlichen Anteils sanierter Gebäude am Bestand im Trendszenario

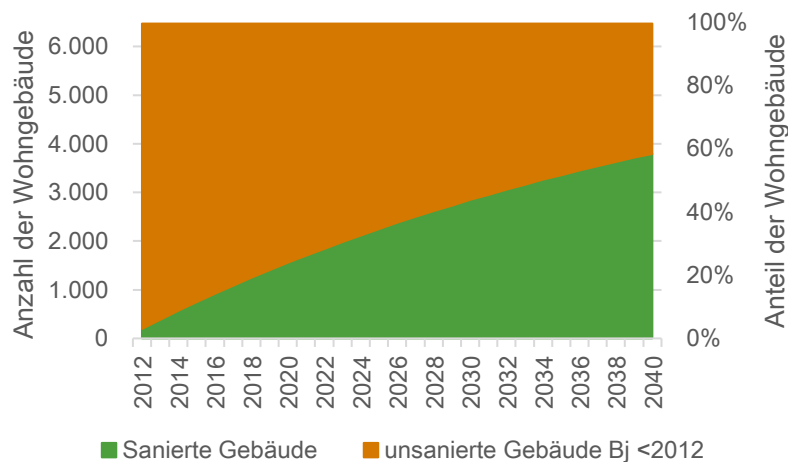


Abbildung 15: Entwicklung des zusätzlichen Anteils sanierter Gebäude am Bestand im Klimaschutzszenario

Im Trendszenario wird bis 2030 ein Sanierungsanteil zusätzlich zum bereits sanierten Bestand von 15 % erreicht. Bis 2040 steigt dieser Anteil auf 21 %. Wie aus den Abbildungen ersichtlich ist dieser Anteil im Klimaschutzszenario deutlich höher. So beläuft sich der Anteil sanierter Gebäude am Bestand bis 2030 bereits auf 44 %. Bis 2040 wären mit 59 % die Mehrheit der Bestandsgebäude saniert. Unter Rücksichtnahme auf die verschiedenen Sanierungsstandards ergeben sich daraus die in Abbildung 16 dargestellten Wärmebedarfe gegenüber dem Status Quo.

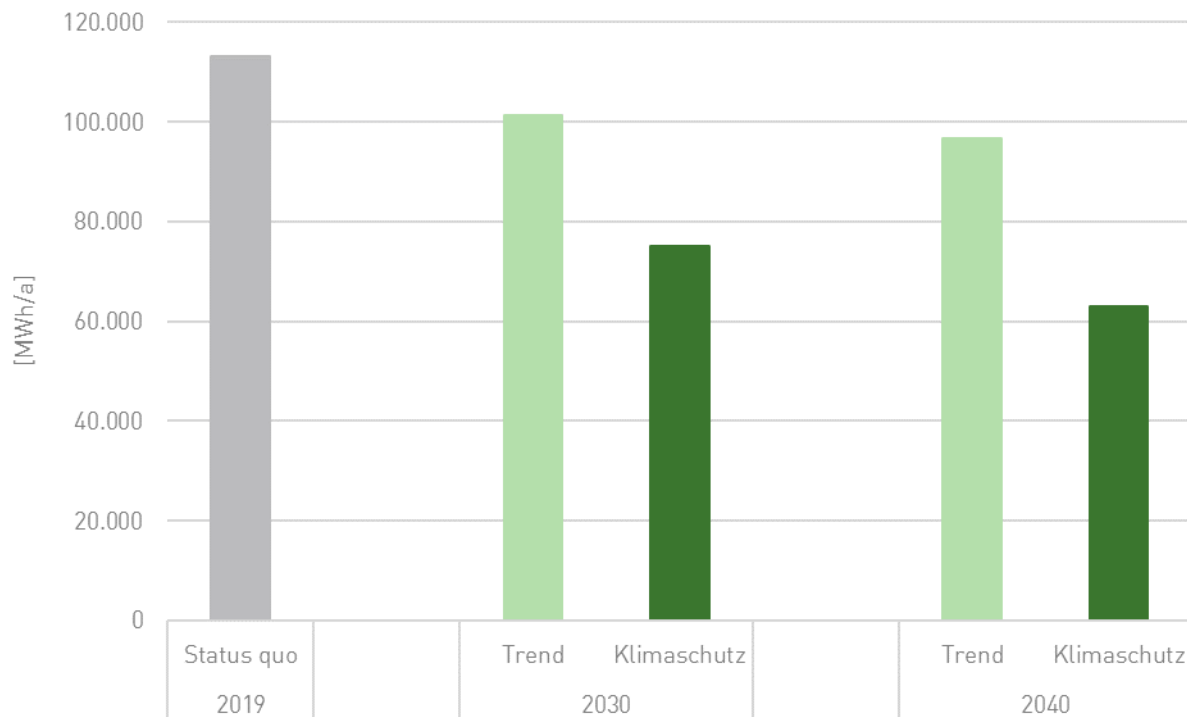


Abbildung 16: Wärmebedarf der Wohngebäude in der Stadt Mühlacker nach Szenarien

Für 2030 ergibt sich für das Trendszenario eine Reduzierung des Wärmebedarfs um 10 %, für das Klimaschutzszenario um 34 %. Für 2040 steigt die Reduktion des Wärmebedarfs auf 15 % im Trendszenario und 44 % im Klimaschutzszenario.

1.2.2 Effizienz im Wärmeverbrauch der Sektoren Gewerbe und Industrie

Grundsätzliches Potenzial

Die Sektoren Gewerbe und Industrie werden in kommunalen Klimaschutzkonzepten meist nur am Rande betrachtet, da die Einflussmöglichkeiten der Kommune als vergleichsweise gering eingeschätzt werden. Die Energie- und CO₂-Bilanz beeinflussen sie jedoch je nach Situation vor Ort teilweise enorm. Nachdem in der Stadt Mühlacker Industrie und Gewerbe durchaus vertreten sind, spielt das (verarbeitende) Gewerbe eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Um Aussagen über den zukünftigen Energieverbrauch der Sektoren Gewerbe und Industrie zu treffen, wird auf bundesweite Annahmen zurückgegriffen.⁵⁰ Die tatsächlichen energetischen Reduktionspotenziale sind stark unternehmensabhängig. Es ist zu beachten, dass im Sektor GHD der Wärmeverbrauch überwiegend auf verbrauchter Raumwärme beruht. Im Gegensatz dazu macht im Industriesektor der Hauptanteil des Wärmeverbrauchs die Prozesswärme aus. Entsprechend unterschiedlich sind die Einspar- und Effizienzmöglichkeiten sowie sinnvollen Maßnahmen diesbezüglich. Während im Sektor GHD Gebäudesanierungen in Betracht gezogen werden sollten, ist im Industriesektor der Einsatz effizienter Geräte und optimierter Abläufe entscheidend.

Die Sektoren Gewerbe und Industrie haben in Mühlacker derzeit einen Wärmeverbrauch von insgesamt rund 167.000 MWh und damit einen Anteil von 56 % am Wärmebedarf. Deutschlandweit hat sich der Wärmeverbrauch im Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen in den Jahren 2010-2019 um 11,3 % reduziert. Im Industriesektor hingegen ist der Wärmeverbrauch im selben Zeitraum nur um 3,1 % gesunken.⁵¹

Um die Ziele der Bundesregierung Richtung Klimaneutralität zu erreichen, sind massive Einsparungen auch in den Sektoren Gewerbe/Handel/Dienstleistungen als auch Industrie erforderlich. In der Studie „Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045“⁵² wird als notwendige Energieeinsparung für eine klimaneutrale Gesellschaft von einer Energieverbrauchsreduktion im Sektor GHD um rund 38 % verglichen mit dem Basisjahr 2015 und im Sektor Industrie um 23 % ausgegangen.

Szenarien

Im **Trendszenario** wird der bisherige Trend (2010-2019) fortgeschrieben. Entsprechend wird bis 2030 eine Reduktion des Wärmeverbrauchs im GHD-Sektor um 14 % und bis 2040 um 25 % angenommen. Für den Industriesektor liegt die angenommene Reduktion des Wärmeverbrauchs bei 4 % bis 2030 und 7 % bis 2040. Der Gesamtwärmeverbrauch der beiden Sektoren sinkt bis 2030 um rund 8.700 MWh/a und bis 2040 um 16.000 MWh/a. Das entspricht einer durchschnittlichen Emissionsminderung von 2.500 t CO₂/a bis 2030 und 4.500 t CO₂/a bis 2040.

Im **Klimaschutzszenario** wird sich an den Zielen des Ariadne-Reports orientiert und die Einsparziele mit Basisjahr 2015 bis zur Klimaneutralität auf die Sektoren GHD und Industrie in Mühlacker angewendet. Entsprechend wird bis 2030 eine Reduktion des Wärmeverbrauchs im GHD-Sektor um 20 % und bis 2040 um 38 % angenommen. Für den Industriesektor liegt die angenommene Reduktion des Wärmeverbrauchs bei 12 % bis 2030 und 23 % bis 2040. Der Gesamtenergieverbrauch der beiden

⁵⁰ (Prognos, 2021)

⁵¹ (BMW, 2019)

⁵² (Ariadne-Projekt, 2021)

Sektoren sinkt bis 2030 um rund 22.000 MWh/a und bis 2040 um 43.000 MWh/a. Das entspricht einer durchschnittlichen Emissionsminderung von 6.000 t CO₂/a bis 2030 und 12.000 t CO₂/a bis 2040⁵³.

1.2.3 BHKWs

Ein Ansatz zur Effizienzsteigerung, der aufgrund seiner Bedeutung ergänzend separat betrachtet werden soll, besteht in der Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen). Das Prinzip zur gleichzeitigen Wärme- und Stromerzeugung führt dazu, dass weniger Energie beim Umwandlungsprozess verloren geht. Dadurch kann ein deutlich höherer Wirkungsgrad erreicht werden als bei der alleinigen Erzeugung von Strom oder Wärme. Entsprechend wird ihre Nutzung von Seiten des Bundes über den KWK-Zuschlag gefördert. Auch die Nutzung im Privatgebäudebereich in Form von Mini-BHKWs wird extra gefördert.

Sinnvoll ist ein Einsatz der BHKW-Technik insbesondere bei einem gleichmäßigen und hohen Wärme- und Strombedarf. Häufig bietet sich die Nutzung von BHKWs zur Energieversorgung mehrerer Gebäude an. Damit eignen sie sich zur Wärmeerzeugung für Nah- und Fernwärmenetze, deren Ausbau in einem späteren Kapitel genauer betrachtet wird und für eine klimafreundliche Wärmeversorgung eine wichtige Rolle spielt. Während zum einen die erhöhte Effizienz zur Reduktion der Emissionen beiträgt, ist zum anderen der Betrieb mit regenerativen Energieträgern, etwa Biomasse, Wärmepumpen oder Solarthermie, entscheidend. Mögliche Ausbauraten zur Nutzung der regenerativen Energieträger zur Wärmeproduktion werden in den folgenden Unterkapiteln betrachtet. Insgesamt ist die verstärkte Nutzung von KWK-Anlagen sowohl in der Nahwärmeversorgung als auch im Einzelgebäudebereich im Sinne des Klimaschutzes zu empfehlen, wobei die Nutzung regenerativer Energieträger zur wirkungsvollen Emissionsreduktion entscheidend ist.

1.2.4 Heizöl

Die Annahmen zum Trend beruhen auf den derzeitigen Entwicklungen insb. der am 1. Januar 2021 eingeführten CO₂-Steuer auf Heizöl, Gas, Benzin und Diesel. Der Preis von derzeit 25 Euro pro Tonne CO₂ soll auf 55 Euro pro Tonne im Jahr 2025 gesteigert werden. Die Mehrkosten für Heizöl belaufen sich von 8 ct pro Liter im Jahr 2021 bis 17,4 ct – bis 2025⁵⁴. Zusätzlich besteht ein Verbot zum Einbau neuer Ölheizungen ab 2026⁵⁵, so dass von einer moderaten Reduktion des Ölverbrauchs in Zukunft ausgegangen werden kann. Gleichzeitig ist das bundesweite Ziel der Treibhausgasneutralität nur mit einem vollkommenen Verzicht auf fossile Energieträger möglich, sodass im Klimaschutzszenario der Energieträger Öl vollständig aufgegeben wird.

Grundsätzliches Potenzial

Der Gesamtanteil von Heizöl lag 2019 bei 13 % der Wärmebereitstellung in der Stadt Mühlacker und resultiert in hohen Emissionen von rund 12.200 t CO₂/a.

Laut Daten der Schornsteinfegerinnung sind im Gebiet der Stadt Mühlacker insgesamt 1.800 Öl-Heizungsanlagen installiert (Stand 2019). Angesichts der Tatsache, dass die Anlagen über 30 Jahre unter die Austauschpflicht fallen,⁵⁶ und häufig aufgrund nachlassender Effizienz bereits nach 20 Jahren

⁵³ Bei Annahme der Wärmebedarfsdeckung durch Erdgas und Erdöl zu gleichen Anteilen.

⁵⁴ (Barmalgas, 2021)

⁵⁵ Bis auf einzelne Ausnahmen.

⁵⁶ (Mein Eigenheim, 2022)

ein Austausch notwendig sein kann, kann eine gewisse Prognose bzgl. der Austauschrhythmen getroffen werden – diese Annahmen werden in den folgenden Szenarien genauer beleuchtet,

Die der Analyse zu Grunde liegenden Schornsteinfegerdaten ermöglichen keine jahresscharfe Bestimmung der Baujahre, sondern bieten nur eine Klassifizierung nach Bauperiode. Anlagen unbekannter Bauperiode werden der mittleren Bauperiodenklasse (1989 bis 1997) zugeordnet. Für die Berechnungen wird jeweils das mittlere Jahr der Zeitperiode angesetzt. Auch sind keine exakten Leistungswerte gegeben, weshalb hier der mittlere Wert der jeweiligen Leistungsklasse herangezogen wird. Die Ergebnisse der Szenarien sind daher als grober Richtwert zu verstehen, die tatsächliche Situation kann variieren.

Szenarien

Im Rahmen des vorliegenden Klimaschutzkonzepts wird für das **Trendszenario** eine moderate, aber stetige Reduktion des Öleinsatzes über alle Verbrauchergruppen hinweg um rund 33 % bis 2030 und um 66 % bis 2040 angenommen.

Bezüglich der konkreten Anzahl der **Anlagen** soll an dieser Stelle ein genauere Blick auf die installierten Ölheizungen und deren Alter geworden werden. Es wird im Trendszenario von einem eher moderaten Austauschrhythmus ausgegangen, sobald diese ein gewisses Alter (30 Jahre) erreicht haben. Ein Austauschrhythmus von 30 Jahren betrifft in Mühlacker rund 1.037 Haushalts-Anlagen mit einer kumulierten Leistung von 29 MW⁵⁷. Bis 2040 wären insgesamt 1.578 Anlagen mit einer Leistung von insgesamt 41 MW auszutauschen. Dies entspricht rund 90 % des Bestandes an Ölheizungen im Haushaltssektor. Im GHD-Sektor sind 33 Anlagen zu insgesamt 4 MW auszutauschen, da sie bis zum Jahr 2030 ihr Alter von 30 Jahren erreichen werden⁵⁸. Bis zum Jahr 2040 trifft dies auf 52 gewerbliche Anlagen zu. Aussagen zu ihrem technischen Stand und zur Leistungseffizienz liegen nicht vor. Tabelle 5 enthält Angaben zu den bis 2030 und bis 2040 zu ersetzenden Anlagen.

Tabelle 5: Die zu ersetzenden Ölheizungen in Mühlacker im Austauschrhythmus von 30 Jahren⁵⁹

	Anlagen Bestand	Anzahl zu ersetzender Anlagen (bis 2030)	Anzahl zu ersetzender Anlagen (bis 2040)
Private Haushalte	1.743	1.037	1.578
GHD-Sektor	57	33	52
Summe	1.800	1.070	1.630

Im **Klimaschutzszenario** wird der Nutzung von Öl bis 2030 bereits um 75 % reduziert und bis 2040 in alle Sektoren vollständig aufgegeben. Die Annahmen beruhen auf den oben genannten politischen Entscheidungen und der Notwendigkeit eines vollkommenen Verzichts auf fossile Energieträger, um das Ziel der Treibhausgasneutralität für Deutschland zu erreichen.

⁵⁷ Wert stellt Mittelwert dar. Die Range ist auf die Einzelheiten der Primärdaten der Schornsteinfegerinnung zurückzuführen – die Anlagen in den Übersichtstabellen werden kumuliert je Leistungsklasse (4 bis 25 kW, 25 bis 50 kW et al.) betrachtet.

⁵⁸ Als obere Grenze wurde der Wert von 150 kW angenommen – dies kann allerdings variieren.

⁵⁹ Anlagen bis 100 kW werden dem Haushalt zugeordnet, größere Anlagen zum GHD-Sektor. Die Tabelle stellt den Mittelwert dar. Dies ist auf die Einzelheiten der Primärdaten der Schornsteinfegerinnung zurückzuführen – die Anlagen in den Übersichtstabellen werden kumuliert je Leistungsklasse (2 bis 10 kW, 11 bis 25 kW et al.) betrachtet.

Im Klimaschutzszenario soll dementsprechend ein schnellerer und umfassenderer Austausch der Ölheizungen erfolgen. Durch die Reduktion des Austauschrhythmus um zehn Jahre erreicht man die im Trendszenario für 2040 ermittelten Ergebnisse bereits 2030. Bis 2040 bedeutet dieses Szenario den Ersatz aller 1.743 privater Anlagen mit einer kumulierten Leistung von rund 45 MW sowie sämtlicher 57 gewerblicher Ölheizungsanlagen zu insgesamt 7 MW an Wärmeleistung. Die Werte geben eine grobe Abschätzung über den Bedarf an neuen Heizungen und der entsprechenden Leistung. Jedoch kann keine 1-zu-1-Übertragung (weder der Anzahl der Anlagen noch der Leistungskapazitäten) angenommen werden, da die technische Auslegung der Anlagen sehr unterschiedlich sein können. Die Anzahl der auszutauschenden Anlagen können obenstehender Tabelle 5 unter „Anlagen Bestand“ entnommen werden.

1.2.5 Erdgas

Die Nutzung von Erdgas spielt für die Energieversorgung in Deutschland eine zentrale Rolle. Ohne eigene bedarfsdeckende Ressourcen wird vor dem Hintergrund des Ukrainekriegs jedoch die enorme Gefahr einer Importabhängigkeit von ausländischem Gas aus nicht demokratischen Ländern mehr als deutlich und die Notwendigkeit einer schnellen Umrüstung auf eine autarke Energieversorgung wichtiger denn je. Die zukünftigen Entwicklungen zur Gasversorgung in Deutschland sind derzeit nicht absehbar, weshalb sich im Trendszenario an einer Fortschreibung der bisherigen Gasversorgung orientiert wird. Die Folgen des russischen Angriffs auf die Ukraine unterstreichen jedoch die Notwendigkeit eines Wechsels zum Klimaschutzszenario, in dem der Gasverbrauch durch die Nutzung regenerativer Energieträger weitgehend aufgegeben wird.

Insgesamt sind gasbetriebenen Heizungsanlagen in der Stadt für ca. 75 % der Wärmebereitstellung zuständig. In der Stadt Mühlacker sticht in diesem Zusammenhang die bestehende Biomethananlage mit einer installierten Leistung von 5 MW hervor, die seit 2007 in Betrieb ist. Mit dieser wird Biogas auf Erdgasqualität aufbereitet (Methananteil von 96 %), sodass dieses in das Gasnetz eingespeist werden kann. Die Biomethananlage in Mühlacker ist die erste Anlage in Baden-Württemberg, die Biomethan in das Erdgasnetz einspeist. Pro Jahr werden rund 45.000 MWh aufbereitetes Biomethan in das Gasnetz eingespeist. Insgesamt können damit 17 % des Wärmeverbrauchs gedeckt werden. Der Anteil von konventionellem Erdgas an der Wärmeversorgung liegt bei 59 %. Ein hoher Anteil des Erdgasverbrauchs ist auf die Industrie zurückzuführen (76 %).

Laut Daten der Schornsteinfegerinnung sind 5.880 Gasheizungsanlagen in der Stadt Mühlacker installiert (Stand 2019). Ein Erdgasnetz ist in der Gemarkung Mühlacker nur südlich der Enz vorhanden. Langfristig wird für das Klimaschutzszenario jedoch der vollständige Wechsel auf regenerative Energieträger angenommen. Ob eine verstärkte Biogasproduktion oder Ersatzprodukte wie Wasserstoff über die bestehenden Gasnetze auch für die Wärmeerzeugung genutzt werden, bleibt von den zukünftigen technologischen und politischen Entwicklungen abhängig. Nach derzeitigem Stand wird in der vorliegenden Potenzialanalyse davon ausgegangen, dass andere Technologien (Wärmepumpen, Biomasse, Nahwärme) vorrangig genutzt werden.

Szenarien

Durch Sanierungs- und Effizienzmaßnahmen sowie einem moderaten Umstieg auf erneuerbare Energien sinkt der Gesamtbedarf an Erdgas. Die weitere Entwicklung basiert auf dem im Trendszenario

angenommenem Zubau erneuerbarer Energien. Zusätzlich ist die Substitution von Heizöl zu berücksichtigen, da die Ausbauraten von erneuerbaren Energien derzeit nicht ausreichen, den Wärmebedarf vollständig zu decken. So wird Gas noch länger, insbesondere als Übergangslösung, genutzt werden, bis sich die erneuerbaren Energien etabliert haben. Demnach würde der Energieverbrauch an Erdgas bis 2030 und 2040 auf einem ähnlichen Niveau wie bisher bleiben.

Im **Klimaschutzszenario** wird Erdgas bei den privaten Haushalten als auch im Gewerbesektor bis 2030 um rund die Hälfte und bis 2040 vollständig auf null reduziert. Insgesamt sinkt der Energieverbrauch an Erdgas bis 2030 um 80.000 MWh (45 %) sowie bis 2040 vollständig um rund 176.000 MWh (100 %). Die Emissionen reduzieren sich um 20.000 t CO₂ bis 2030 bzw. 43.700 t CO₂ bis 2040.

Bezüglich des erforderlichen Austauschs von **Bestandsanlagen** soll ein genauerer Blick auf die derzeit installierten Anlagen und ihr Alter geworfen werden. Tabelle 6 stellt die Auswertung aller Gasheizungen dar, die im Jahr 2030 bzw. 2040 bereits 30 Jahre oder älter sind und deren Austausch Anlass zur Installation regenerativer Wärmesysteme genutzt werden kann⁶⁰.

Tabelle 6: Die zu ersetzenden Gasheizungen in Mühlacker im Austauschrhythmus von 30 Jahren⁶¹

	Anlagen Bestand	Anzahl zu ersetzender Anlagen (bis 2030)	Anzahl zu ersetzender Anlagen (bis 2040)
Private Haushalte	5.690	1.719	4.030
GHD-Sektor	190	64	158
Summe	5.880	1.783	4.188

Nachdem die meisten Anlagen in den 2000er Jahren errichtet wurden, sind 2030 insgesamt rund 1.783 Anlagen von einem Austauschrhythmus von 30 Jahren betroffen. Die kumulierte Leistung dieser Anlagen beträgt im Mittel 45 MW. In den Haushalten wären bis 2030 insgesamt rund 1.719 Haushalts-Anlagen mit einer Leistung von circa 37 MW auszutauschen, bis 2040 rund 4.030 Anlagen mit einer Leistung von rund 87 MW. Dies entspricht rund 70 % des Bestandes an Gasheizungen im Haushaltssektor. Im GHD-Sektor sind von 190 gasbetriebenen Heizkesseln 64 Anlagen zu insgesamt 8 MW auszutauschen, da sie bis zum Jahr 2030 ihr Alter von 30 Jahren erreichen werden. Bis zum Jahr 2040 trifft dies auf 158 gewerbliche Anlagen (22 MW) zu.

1.2.6 Biomasse

In Baden-Württemberg erzeugten die Pelletheizungen ca. 1.555 GWh/a der Wärmeenergie⁶², was dem Anteil in Höhe von 20 % im Vergleich zu den gesamtdeutschen Werten entspricht. Damit liegt Baden-Württemberg auf dem zweiten Platz hinter Bayern mit 2.790 GWh/a und vor Nordrhein-Westfalen mit

⁶⁰ Die der Analyse zugrunde liegenden Schornsteinfegerdaten ermöglichen keine jahresscharfe Bestimmung der Baujahre, sondern bieten nur eine Klassifizierung nach Bauperiode. Anlagen unbekannter Bauperiode werden der mittleren Bauperiodenklasse (1989 bis 1997) zugeordnet. Für die Berechnungen wird jeweils das mittlere Jahr der Zeitperiode angesetzt.

⁶¹ Anlagen bis 100 kW sind dem Haushalt zugeordnet, größere Anlagen dem GHD-Sektor. Die Tabelle stellt den Mittelwert dar. Dies ist auf die Einzelheiten der Primärdaten der Schornsteinfegerinnung zurückzuführen – die Anlagen in den Übersichtstabellen werden kumuliert je Leistungsklasse (2 bis 10 kW, 11 bis 25 kW et al.) betrachtet. Für die Berechnung wird jeweils die mittlere Leistung der Leistungsklasse angesetzt.

⁶² (Agentur für Erneuerbare Energien, 2022)

835 GWh/a. Deutschlandweit stieg die Nutzung von Pelletheizungen zur Wärmebereitstellung in den Jahren 2012 - 2021 konstant an und hat sich im besagten Zeitraum verdoppelt.⁶³

Die Nutzung von Biomasse ist aus Sicht des Klimaschutzes bedingt empfehlenswert. Die bei der Verbrennung freiwerdenden Emissionen – im Gegensatz zu den Emissionen aus fossilen Brennstoffen – werden dem Kreislauf des Wachstums und Kompostierung von Biomasse (insbesondere Holz) zugeordnet, so dass bilanziell nur sehr geringe Emissionen für Aufbereitung und Transport anfallen. Diese Rechnung gelingt allerdings nur, wenn entsprechende Biomasse nachwachsen kann. Zusätzlich ist die Nutzung von Biomasse zur Wärmeversorgung aufgrund bestehender Nutzungskonflikte nur in Maßen zu befürworten.

Der Begriff Biomasse oder Bioenergie ist ein Oberbegriff, der sowohl feste, flüssige als auch gasförmige Biomasse beinhaltet. Unter fester Biomasse werden gemeinhin Holz und Gehölz aus Forst- und Landwirtschaft verstanden, jedoch können auch feste biogene Abfall- und Reststoffe wie Dung, Stroh etc. dazugezählt werden. Die am häufigsten auftretende Form flüssiger Biomasse ist Pflanzenöl für Heizkraftwerke oder Biokraftstoffe. Gasförmige Biomasse ist insbesondere Biogas und Biomethan, welches durch Vergärung von Energiepflanzen produziert wird. Da Holz aus der Forstwirtschaft neben Biogas als wichtigster nachhaltiger Energieträger angesehen wird, wird sich an dieser Stelle darauf fokussiert, zumal Biogas bereits im Kapitel zum Stromsektor betrachtet wird, sowie biogene Abfallprodukte im nachfolgenden Kapitel zu Abfall.

Die Nutzung von Holz zur Energieproduktion ist umstritten. Zum einen stellt Holz einen wertvollen Rohstoff dar, für den höherwertige Verwendungsmöglichkeiten als die Verfeuerung bestehen (z.B. als Baumaterial), zum anderen stellt der Wald als solches eine wichtige CO₂-Senke dar. Holz, welches nicht anderweitig genutzt werden kann, bietet jedoch eine klimafreundliche Energiequelle zur Wärmeversorgung. Die Rolle der Wälder im Kontext der globalen Klima- und Umweltpolitik ist nicht zu unterschätzen. Holz, welches jedoch nicht anderweitig genutzt werden kann, bietet eine klimafreundliche Energiequelle zur Wärmeversorgung.

Grundsätzliches Potenzial

In der Bilanz ist zu erkennen, dass die energetische Nutzung der Biomasse mit rund 6.000 MWh im Jahr 2019 etwa 2 % der Wärmeversorgung in Mühlacker einnimmt. Bezüglich des lokalen Potenzials fester Biomasse wird in Mühlacker der Forstbestand betrachtet. Der Holzbodenfläche im Gemarkungsgebiet setzt sich aus ca. 913 ha Kommunalwald und 618 ha Staatswald und einem Restgebiet an Privatwald zusammen. Die Gesamtfläche liegt laut statistischem Landesamt bei 1.581 ha.⁶⁴ Aus den vorhandenen Informationsquellen wird ersichtlich, dass im Kommunalwald Laubbäume rund 90 % der Waldfläche ausmachen. Die Rotbuche (27 %) und Eiche (24 %) sind die am meisten vertretenen Laubbaumarten, gefolgt von der Hainbuche mit 16 %. Unter den Nadelbäumen sind Fichten, Douglasien und Kiefer zu je rund 3 % im Kommunalwald vertreten. Wie in Abbildung 17 dargestellt kann auf den Flächen des

⁶³ Anzahl der Pelletheizungen 2012: ca. 280.000, Anzahl der Pelletheizungen 2020: 570.000. Quelle: (Statista, 2022)

⁶⁴ (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2021)

Staatswaldes von einer ähnlichen Struktur des Baumbestandes ausgegangen werden.

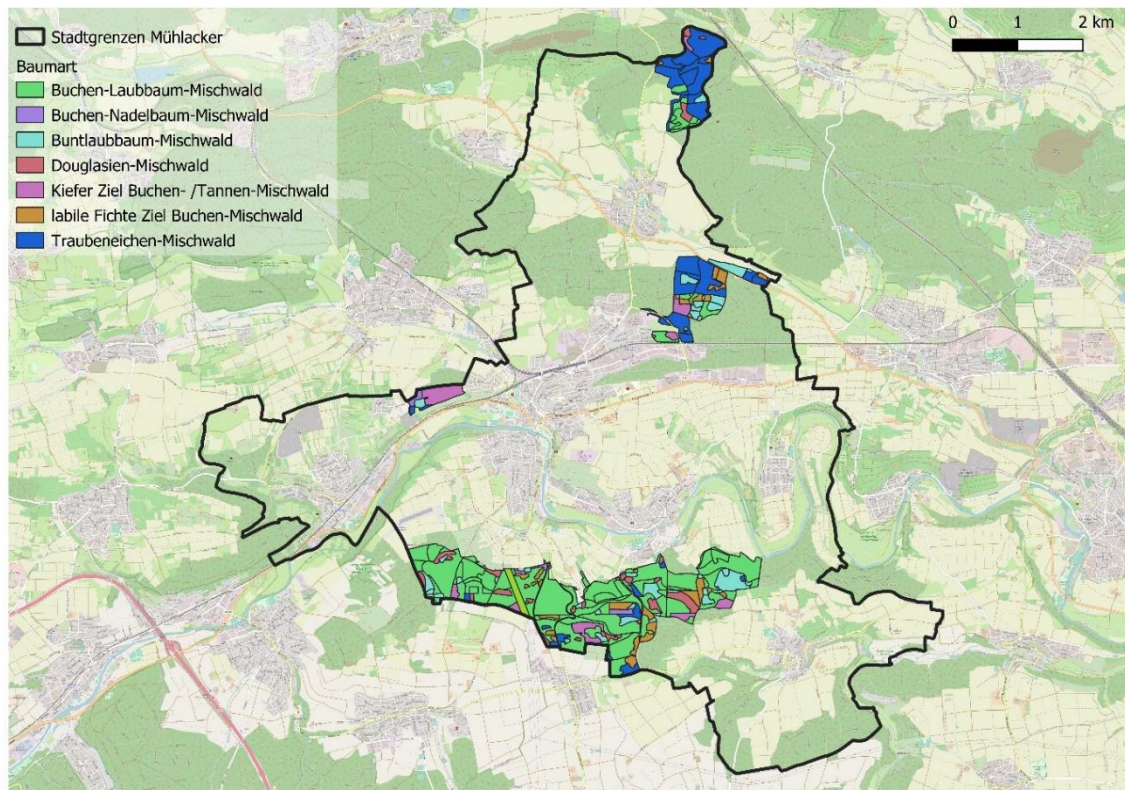


Abbildung 17: Fläche Staatswald innerhalb der Gemarkung Mühlacker nach Baumart, Forst BW

In der Waldstrategie 2020 hat das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft das Ziel formuliert, die Holzernte in Deutschland bis maximal zum durchschnittlichen jährlichen Zuwachs zu steigern, damit der Wald als CO₂-Senke erhalten bleibt.⁶⁵ Die aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse gehen davon aus, dass 1 m³ Holz im Wald ca. 1 Tonne CO₂ speichern kann⁶⁶. Gleichzeitig leiden die Wälder in Deutschland schon seit mehreren Jahren unter dem Klimawandel und der damit verbundenen verstärkten Trockenheit sowie dem vermehrten Auftreten von Schädlingen wie dem Borkenkäfer.⁶⁷ Insofern ist eher mit einer Verringerung des Waldpotenzials in der Zukunft zu rechnen. Grundsätzlich wird nur ein gewisser Teil der gesamten Entnahme des jährlichen Holzzuwachses direkt der energetischen Nutzung zugeführt, der Rest wird stofflich verwertet.

Mithilfe der infrage kommenden Holzmenge, der Baumartenverteilung und der baumartenspezifischen Heizwerte wird das theoretische Potenzial an Energieholz ermittelt. Unter der Annahme, dass die Heizwerte dieser Baumarten zwischen 3,7 und 4,1 kWh/kg betragen und mit den vorhandenen Daten über die jährlichen Zuwachsraten lässt sich ein Potenzial bestimmen. Dem ist hinzuzufügen, dass die Berechnung des Potenzials nach zwei verschiedenen Methodologien verläuft, um die untere und obere Grenze der bestehenden Potenziale zu bestimmen. Abbildung 18 veranschaulicht die Unterschiede der beiden Methodologien.

⁶⁵ (BMEL, 2016, S. 15)

⁶⁶ In Deutschland beträgt CO₂-Speichersaldo ungefähr 0,6 bis 1,7 t CO₂ pro geerntetem m³ Holz, abhängig von Dichte (Hennenberg & Böttcher, 2023)

⁶⁷ (Spiegel, 2021)

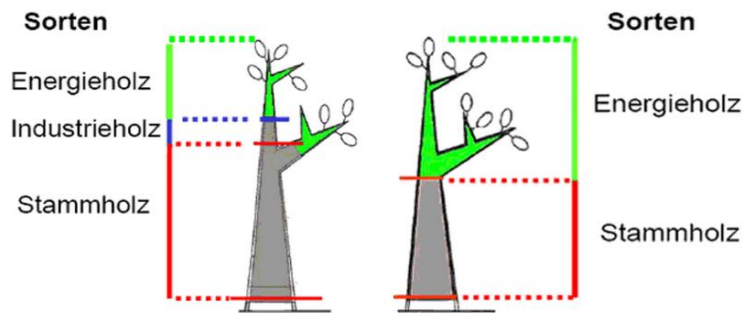


Abb. 1: Herkömmliche Aushaltungsvariante. Abb. 2: "Stammholz-PLUS" Variante.

Abbildung 18: Erläuterung verschiedener Methodologien während der Berechnung des Energieholzpotenzials⁶⁸

Die untere Grenze ergibt sich auf Grundlage der klassischen Herangehensweise, die die Energieholzmengen nach herkömmlicher Aushaltungsvariante berechnet. Zur Ermittlung der oberen Grenze wird die Methodik „Stammholz-PLUS“ verwendet, wo eine deutlich intensivere Benutzung der Stammmengen für Energieholz angenommen wird. Das mittlere Potenzial für die Gemeinde Mühlacker kann auf rund 11.000 MWh angegeben werden⁶⁹.

Tabelle 7: Jährlicher Zuwachs und Energieholzpotenzial nach Herkömmlicher Ausgestaltung und Stammholz PLUS auf der Gemarkung der Stadt Mühlacker⁷⁰

Gebiet	Zuwachs [m ³ /a]	Energieholzpotenzial [MWh/a]	
		Herkömmliche Aushaltung	Stammholz PLUS
Kommunalwald	10.704	3.612	9.289
Staatswald	7.253	2.448	6.294
Gesamt	17.958	6.060	15.583

Unter der Annahme, dass 1 m³ energetisch genutztes Holz im Wald ca. 1 Tonne CO₂ emittiert, bedeutet das in der herkömmlichen Aushaltungsvariante 1.499 t CO₂/a und in der Stammholz PLUS Variante 3.853 t CO₂/a.

Szenarien

Der Rolle von Biomasse wird in verschiedenen bundesweiten Szenarien keine einheitliche Bedeutung beigemessen. Als lokaler Ressource unter dem Einfluss verschiedener Nutzungskonflikte wird für die Stadt Mühlacker eine moderate Nutzung der Ressource zur Wärmeerzeugung angenommen. Für die Szenarien werden auf Basis des bisherigen Zubaus in Mühlacker und in Anlehnung an bundesweite Empfehlungen folgende Annahmen getroffen:

Der lokale Zubau in den betrachteten fünf Jahren (2015-2019) in der Stadt Mühlacker von BAFA-geförderten Pelletheizungen entsprach jährlich durchschnittlich fünf Anlagen bei privaten Haushalten.⁷¹ Im **Trendszenario** wird von einer Fortführung dieses Trends der privaten Haushalte, jedoch keiner Anlage in dem Gewerbesektor und Industrie, ausgegangen. Bis 2030 können so weitere 1.500 MWh/a zusätzlich aus Biomasse bereitgestellt werden, bis 2040 insgesamt 2.800 MWh/a. In der

⁶⁸ Quelle der Abbildung: (Waldwissen, 2007)

⁶⁹ Hierbei wurde die Aufteilung der Holznutzung zur stofflichen und thermischen Verwertung nach ökonomisch-technischer Optimierung verwendet (vgl. (Hepperle, 2006))

⁷⁰ Die Daten basieren auf Auskunft vom Forstrevier des Kommunalwaldes Mühlacker sowie Flächenangabe des Forstreviers des Staatswaldes

⁷¹ BAFA

gesamstädtischen Beheizungsstruktur erhält damit die Biomasse den Anteil von ca. 3,2 % (2040). Die zusätzliche Emissionseinsparung liegt 2040 gegenüber 2019 bei rund 700 t CO₂/a.⁷²

Anmerkung: Neben dem Zubau wird der Verbrauch von Biomasse durch Sanierungsmaßnahmen deutlich reduziert, weshalb die Werte im Fazit nicht exakt der Summe des Status quo und des Zubaus entsprechen.

Um dem Ziel der Klimaneutralität näher zu kommen, werden sowohl ambitionierte Sanierungsraten als auch ambitionierte Ausbauraten der regenerativen Wärmeträger angenommen. Die Ressource Biomasse ist jedoch limitiert und weitere wichtige Nutzungsmöglichkeiten des Rohstoffs bestehen. Daher wird der Zubau im vorliegenden Szenario auf ein sinnvolles Maß beschränkt. Im **Klimaschutzszenario** wird ein jährlicher Zubau von zehn Anlagen pro Jahr für die privaten Haushalte, einer Anlage im gewerblichen Sektor⁷³ und einer Anlage im Industriesektor angenommen. Bis 2030 kann damit eine zusätzliche Wärmezeugung aus der Biomasse von 4.500 MWh/a erreicht werden. 2040 wäre ein zusätzlicher Ertrag von insgesamt ca. 8.500 MWh/a zu erreichen. Durch umfassende Sanierungsmaßnahmen reduziert sich der Bedarf bei den Bestandsanlagen moderat. In der Beheizungsstruktur der privaten Haushalte erhält damit die Biomasse den Anteil von ca. 16 % (2040) und im GHD-Sektor von 8 % (2040) und 2 % im Industriesektor (2040). In der gesamstädtischen Beheizungsstruktur erzielt die Biomasse den Anteil von 7 % (2040).

In der Stadt Mühlacker sind laut Daten der Schornsteinfegerinnung insgesamt 3.919 Heizungsanlagen zu finden (ab 2 kW Leistung), die auf Basis der Biomasse funktionieren. Obwohl von fundierten Prognosen bezüglich der Austausch- bzw. Erneuerungspflicht der Biomasse-Heizungsanlagen abgesehen werden kann, enthält nachstehende Tabelle einen Überblick der Leistungsverteilung der biomassebetriebenen Heizungsanlagen. Anlagen bis 100 kW wurden zu den privaten Anlagen gezählt, ab 100 kW zum GHD-Sektor. Diese Werte können weiterhin eine wichtige Rolle für die kommunale Wärmeplanung erfüllen.

Tabelle 8: Überblick über die biomassebetriebenen Heizungsanlagen in Mühlacker, Quelle: Schornsteinfegerdaten⁷⁴

	Anzahl der Anlagen	Leistung der Biomasse-Heizungsanlagen (min) [MW]	Leistung der Biomasse-Heizungsanlagen (max) [MW]
Private Haushalte	3.914	13	48
GHD-Sektor	5	0,5	0,8
Summe	3.919	14	46

1.2.7 Abfall

An dieser Stelle soll auf das Thema Abfallentsorgung im Enzkreis eingegangen werden, da auch hier energetisches Potenzial vorhanden ist. Während Hausmüll klassischerweise thermisch entsorgt und die Verbrennung zur Energiegewinnung genutzt wird, bergen insbesondere die Abfallarten Grünschnitt

⁷² Die Emissionseinsparung bezieht sich auf den Ersatz einer Öl- oder Gasheizung.

⁷³ Unter der Annahme, dass gewerbliche Annahmen gewerbliche Anlagen die gleiche Größenordnung haben wie Anlagen für private Wohngebäude.

⁷⁴ Als obere Grenze wurde der Wert von 150 kW angenommen – dies kann allerdings variieren. Die Range der Leistung ist auf die Einzelheiten der Primärdaten der Schornsteinfegerinnung zurückzuführen – die Anlagen in den Übersichtstabellen werden kumuliert je Leistungsklasse (2 bis 10 kW, 11 bis 25 kW, 25 bis 50 kW et al.) betrachtet.

und Bioabfall weiteres Potenzial. An dieser Stelle ist zudem auf eine potenzielle Nutzung des vor Ort anfallenden Grünschnitts für lokale Pellet- oder Hackschnitzelanlagen zu verweisen

In vielen Fällen wird das Potenzial bereits zu einem Großteil genutzt, an anderen Stellen jedoch noch nicht vollständig verwertet. Da Abfallversorgung auf Ebene der Landkreise angesiedelt ist, basiert die Behandlung des Themas für die Stadt Mühlacker auf landkreisbezogenen Daten. Hier lassen sich hier erfahrungsgemäß hohe Verknüpfungen und Interdependenzen mit den anderen Gebietskörperschaften in der Nähe identifizieren, die auf eine vertiefende, separate Analyse des Bereichs für die Stadt Mühlacker selbst hinweisen soll.

Tabelle 9 enthält das Abfallaufkommen im Enzkreis in Kilogramm pro Kopf gemäß der Abfallbilanz 2021 des Landes Baden-Württemberg⁷⁵ und das auf die 15.291 Einwohner (EW) der Stadt Mühlacker skalierte Abfallaufkommen für die Jahre 2020 und 2021.

Tabelle 9: Aufkommen an Haus- und Sperrmüll, Bio- und Grünabfällen und Wertstoffen (Haushalt) aus öffentlicher Sammlung 2020 und 2021. Quelle: Abfallbilanz 2021 Baden-Württemberg⁷⁶

Betrachtungseinheit	Jahr	Hausmüll	Sperrmüll	Bio-tonne	Grünabfälle	Wertstoffe (Haushalt)
Enkreis [kg/EW]	2020	137	28	15	192	211
	2021	131	26	17	221	180
Mühlacker [Tonne]	2020	2.097	435	231	2.929	3.232
	2021	2.005	399	259	3.373	2.751
Differenz		-4 %	-8 %	12 %	15 %	-15 %

Besondere Aufmerksamkeit ist hier den Bioabfällen zu widmen, da diese abschließend energetisch verwertet werden können. Der aktuelle Wert für den Landkreis liegt bei ca. 17 kg pro Einwohner (BW: 58 kg/EA). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die tatsächlich anfallende Menge an Biomüll höher ausfallen kann, da diese oft inkorrekt sortiert werden und im Hausmüll landen. Theoretisch kann mindestens ein Drittel des Hausmülls dazu gezählt werden⁷⁷. An Grünabfällen fallen pro Kopf rund 221 kg jährlich an (BW: 94 kg/EA).

Während die Grünabfälle in Baden-Württemberg fast vollständig kompostiert werden, werden nur 33 % der gesammelten Bioabfälle zu Kompost weiterverarbeitet⁷⁸. Die größere Hälfte der gesammelten Biotonnenabfälle wird in Biogasanlagen vergoren und zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt. Während bei der Vergärung Gas anfällt, welches klassischerweise (energetisch) genutzt wird, fällt bei der Kompostierung weniger Gas an, jedoch entweicht dieses ungehindert in die Atmosphäre. Hier entfällt insofern ein doppelter Effekt: Treibhausgase gelangen in die Luft und ihre energetische Verwertungsmöglichkeit wird nicht genutzt.

⁷⁵ (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022)

⁷⁶ Die Informationen zur Verpackung, Papier, Metallen etc. lassen sich dem genannten Bericht entnehmen

⁷⁷ Deutschlandweite Studien zeugen davon, dass ca. 40% des Restmülls der Biomülltonne zuzuordnen ist (Ministerin für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg, 2022) S. 75

⁷⁸ (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022)

Speziell in der Stadt Mühlacker existiert keine Biogasanlage, die auf die Verwertung von Bioabfällen spezialisiert ist (siehe Kapitel 1.1.5 Biogasanlagen).⁷⁹ Pro Tonne Bioabfall lassen sich als grober Richtwert zwischen 85 und 125 m³ Biogas erzeugen (Methangehalt: 50-80%).⁸⁰ Tabelle 10 enthält das rechnerische Potenzial zur Gewinnung von Biomethan aus Bioabfällen für die Stadt Mühlacker.

Tabelle 10: Übersicht zur theoretisch erreichbaren Biomethanmenge aus der Biomüllmenge 2021 der Stadt Mühlacker⁸¹

	Potenzial min	Potenzial max	Potenzial/Kopf min	Potenzial/Kopf max
m ³	13.056	19.200	0,9	1,3

Mit dieser Menge an Biomethan lassen sich rund 131 MWh Energie erzeugen. Im Vergleich dazu werden heute bereits 45.000 MWh in der Stadt Mühlacker erzeugt. Das Potenzial für Biomethan allein aus den Biomüllmengen der Stadt ist demnach gering. Unter der Annahme, dass eine Tonne der verwerteten Biomüllmenge ca. 194 kg CO₂-Äquivalent einspart, werden durch die energetische Verwertung 50 t CO₂ vermieden. Die tatsächlich generierbare Energiemenge hängt von weiteren Faktoren ab und kann an dieser Stelle nicht bestimmt werden. Eine Aussage, inwiefern die Verwertungsquote des Abfallaufkommens im Landkreis gesteigert werden kann, soll an dieser Stelle ebenfalls nicht getroffen werden und bedarf einer eingehenden Potenzialstudie und Analyse.

1.2.8 Solarthermie

Grundsätzliches Potenzial

Der Zubautrend für Solarthermie ist deutschlandweit in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen, obwohl die Technologie geeignet ist, um klimafreundlich Wärme zu erzeugen und auch parallel zur Photovoltaik ausgebaut werden kann. Die gleiche Tendenz ist innerhalb der Stadt Mühlacker zu beobachten. In dem Zeitraum 2018-2019 wurden lediglich sechs von der BAFA geförderte solarthermische Anlagen zugebaut. Derzeit werden mit rund 3.129 MWh/a nur 1 % der Wärmeversorgung in der Stadt Mühlacker über Solarthermie gedeckt.

Szenarien

In den meisten bundesweiten Studien wird der Anteil der Technologie an der lokalen Wärmeversorgung auf unter 5 % beziffert. Demnach besteht Potenzial zum weiteren Ausbau der entsprechenden Wärmeerzeugungsanlagen vor Ort. Wie bei Photovoltaik wird davon ausgegangen, dass die bestehenden Anlagen nach ihrer angenommenen Lebensdauer erneuert werden und der Zubau ergänzend erfolgt. Folgende Ausbauraten werden in den jeweiligen Szenarien angenommen:

Der Zubautrend (2015-2019) liegt bei acht Anlagen bei den privaten Haushalten pro Jahr. Für das **Trendzenario** wird der Trend fortgeschrieben sowie ein jährlicher Zubau von einer gewerblichen Anlage⁸² angenommen. Damit können bis 2030 weitere 400 MWh/a Wärme und bis 2040 zusätzlich

⁷⁹ Der Begriff Grünabfälle umfasst eine Vielzahl von Grüngut mit unterschiedlichem Potenzial zur Erzeugung von Biogas. Daher wird das Potenzial aus den Grünabfällen in der vorliegenden Arbeit nicht tiefer berücksichtigt, an dieser Stelle jedoch grob abgeschätzt. Unter der Annahme, dass mit einer Tonne Grünabfall 60 m³ Biogas mit einem Methangehalt von 55 % erzeugt werden, beläuft sich das theoretische Potenzial auf rund 1.113 MWh/a.

⁸⁰ (Ministerin für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg, 2022) S. 81

⁸¹ Unter der Annahme eines Methangehalts des Biogases von 60 %.

⁸² Unter der Annahme, dass gewerbliche Annahmen gewerbliche Anlagen die gleiche Größenordnung haben wie Anlagen für private Wohngebäude.

rund 800 MWh/a aus Solarthermie bereitgestellt werden. In der Beheizungsstruktur der Wohngebäude erhält damit die Solarthermie den Anteil von ca. 4 % (2040) und im GHD-Sektor von 1 %. Die zusätzliche Emissionseinsparung liegt 2030 gegenüber 2019 bei rund 100 t CO₂/a und 2040 bei 200 t CO₂/a.⁸³

Die Zubaurate im **Klimaschutzszenario** wird unter Berücksichtigung anderer klimafreundlicher Wärmeversorgung (etwa Wärmepumpen und Biomasse) und dem Ziel der Treibhausneutralität bis 2040 gewählt. Es wird eine moderate Erhöhung der Ausbaurate auf 16 private Anlagen sowie vier gewerbliche Anlagen jährlich zugrunde gelegt. So können bis 2030 rund 880 MWh/a Wärme und bis 2040 rund 1.680 MWh zusätzlich aus Solarthermie bereitgestellt werden. Der Anteil von Solarthermie an der Wärmeversorgung der privaten Haushalte steigt auf 7 %, im gewerblichen Sektor auf 2 %. Die Emissionseinsparung liegt 2030 gegenüber 2019 bei rund 230 t CO₂/a und 2040 bei 430 t CO₂/a.

1.2.9 Wärmepumpen/Geothermie

Durch die Kombination eines Wärmetauschers mit einer Wärmepumpe kann die in der Umgebung gespeicherte Wärme zur Beheizung eines Gebäudes und zur Warmwasserbereitung genutzt werden. Als Wärmequellen dienen in der Regel Umgebungsluft, das Erdreich sowie Grundwasser. Die Nutzung der Umgebungsluft ist grundsätzlich uneingeschränkt möglich. Allerdings weisen Luft-Wärmepumpen im Vergleich zu den übrigen Wärmetauschern den geringsten Wirkungsgrad auf. Zudem ist ihr Betrieb mit akustischen Belastungen verbunden, woraus sich Einschränkungen bezüglich Mindestabstände zu Nachbargebäuden ergeben (Standard: 3 Meter). Wird die Wärmepumpe mit grünem Strom betrieben, stellt sie eine der umweltfreundlichsten Heizformen mit geringem Emissionsfaktor dar. Deswegen bietet sich die Kombination einer Wärmepumpe mit einer PV-Anlage an. Entsprechend ihrer Funktionsweise haben Wärmepumpen ein begrenztes Temperaturniveau, welches ihren Einsatz hauptsächlich in Neubauten und sanierten Bestandsgebäuden sinnvoll macht. Durch Kombination mehrerer Wärmepumpen ist jedoch auch die Nutzung im gewerblichen und industriellen Bereich möglich.

Insgesamt sind laut BAFA-Daten (Stand 2019) 58 Wärmepumpen bei Haushalten installiert. Durch den Zubau von weiteren 34 Anlagen bis Oktober 2021 liegt die Anzahl an Wärmepumpen in Haushalten inzwischen deutlich höher. Im Gewerbesektor ist zum Bilanzjahr 2019 eine Wärmepumpe verbaut, 2020 wurden weitere vier Anlagen installiert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die bestehende Datengrundlage sich ausschließlich auf die geförderten Anlagen bezieht. Dies bedeutet, dass die tatsächliche Anzahl der installierten Wärmepumpen höher sein kann. Das Gesamtpotenzial der Stadt Mühlacker für die Nutzung von Wärmepumpen lässt sich nicht beziffern, da insbesondere die hierfür verwendete Umweltwärme aus der Luft annähernd uneingeschränkt vorhanden ist.

In den folgenden Unterkapiteln wird das Thema der Wärmepumpen aufgrund der besonderen Bedeutung im gesamten deutschen Klimaschutzsektor detaillierter betrachtet.

a) Allgemeiner Trend

In der Studie „Durchbruch für die Wärmepumpe“ weist Agora Energiewende darauf hin, dass die Realitätsverhältnisse der neuen Installationen von Wärmepumpen deutlich hinter den formulierten

⁸³ Die Emissionseinsparung bezieht sich auf den Ersatz einer Öl- oder Gasheizung.

Zielen (6.5 Mio. Wärmepumpen bis zum Jahr 2030⁸⁴) bleiben. Die Einführung von zusätzlichen Anreizinstrumenten sowie die eigene Initiative der einzelnen Kommunen und Gebietskörperschaften auf Basis des Subsidiaritätsprinzips sind dementsprechend notwendig. In der Stadt Mühlacker wurden in 2019 und 2020 im Schnitt rund 17 Bafa-geförderte private Anlagen und zwei gewerbliche Anlagen pro Jahr zugebaut. Im Jahr 2020 ist mit über 20 Anlagen ein deutlicher Anstieg des Zubaus zu vermerken (Abbildung 19).

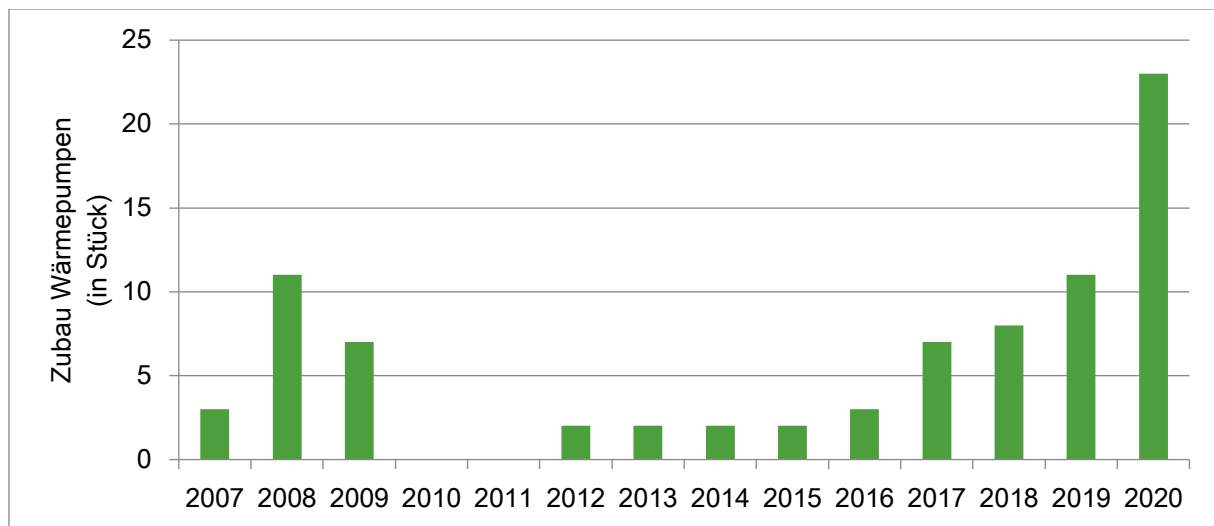


Abbildung 19: Anzahl jährlich zugebauter Wärmepumpen in der Stadt Mühlacker

a) Wärmepumpen und Gebäudebestand

Nimmt man in Betracht, dass die Wärmepumpen prädominant in den Ein- oder Zweifamilienhäusern installiert wurden (s. Studie „Durchbruch für die Wärmepumpe“ von Agora Energiewende), kommen für Mühlacker ca. 5.900 Wohngebäude in die engere Betrachtung für die Nutzung von Wärmepumpen.⁸⁵ Dazu kommt die Anzahl der Wärmepumpen in den geplanten zukünftigen Neubauten. Zudem lässt sich eine verstärkte Nutzung bei den Bestandsgebäuden erkennen (vgl. folgende Abbildung). Die Möglichkeit der Nutzung im Bestand wird grundsätzlich für 2/3 der Bestandsgebäude von Wohngebäuden ohne komplexe Sanierungs- oder Umbaumaßnahmen für möglich erachtet⁸⁶.

⁸⁴ (Prognos, 2021)

⁸⁵ Grundlage der Berechnung: Daten der ZENSUS-Datenbank bezüglich der Anzahl von Ein- und Zweifamilienhäusern in der analysierten Gebietskörperschaft

⁸⁶ (Öko-Institut und Fraunhofer ISE, 2022)

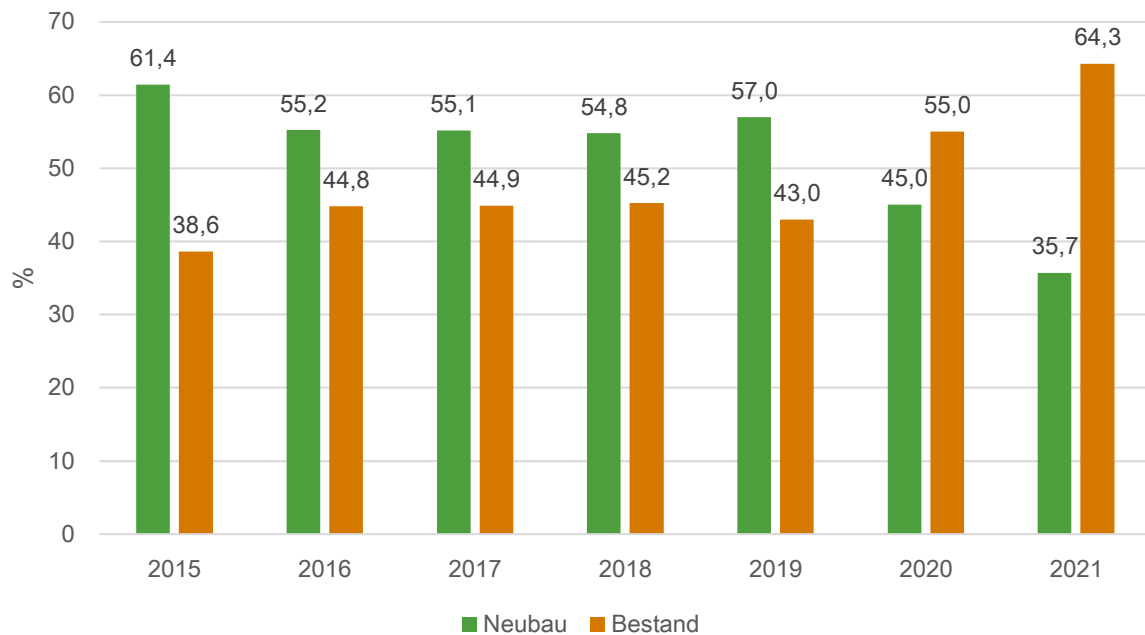


Abbildung 20: Prozentuale Anteile der installierten Wärmepumpen in Neubauten und bestehenden Gebäuden (Vergleich). Grundlage der Daten: Absolute Anzahl der Wärmepumpen in „Durchbruch für die Wärmepumpe“ (Agora Energiewende 2021 basierend auf Marktdaten des Bundesverbands Wärmepumpen (BWP) sowie Destatis (2022)). Eigene Darstellung der relativen Werte und Design der Energy Effizienz GmbH.

Im Folgenden werden relevante Aspekte für die Nutzung oberflächennaher Erdwärmennutzung vor Ort betrachtet.

b) Erdwärmekollektoren & Sonden

Der Energieatlas Baden-Württemberg stellt detaillierte Geoinformationen für Baden-Württemberg zur Verfügung, in der ortsgenaue Informationen zur Eignung des Standorts für oberflächennahe Geothermie abgerufen werden können.⁸⁷ Die Begrenzung der Bohrtiefe für Installation der Erdwärmekollektoren und Sonden in der Stadt Mühlacker ist in Abbildung 21 dargestellt.

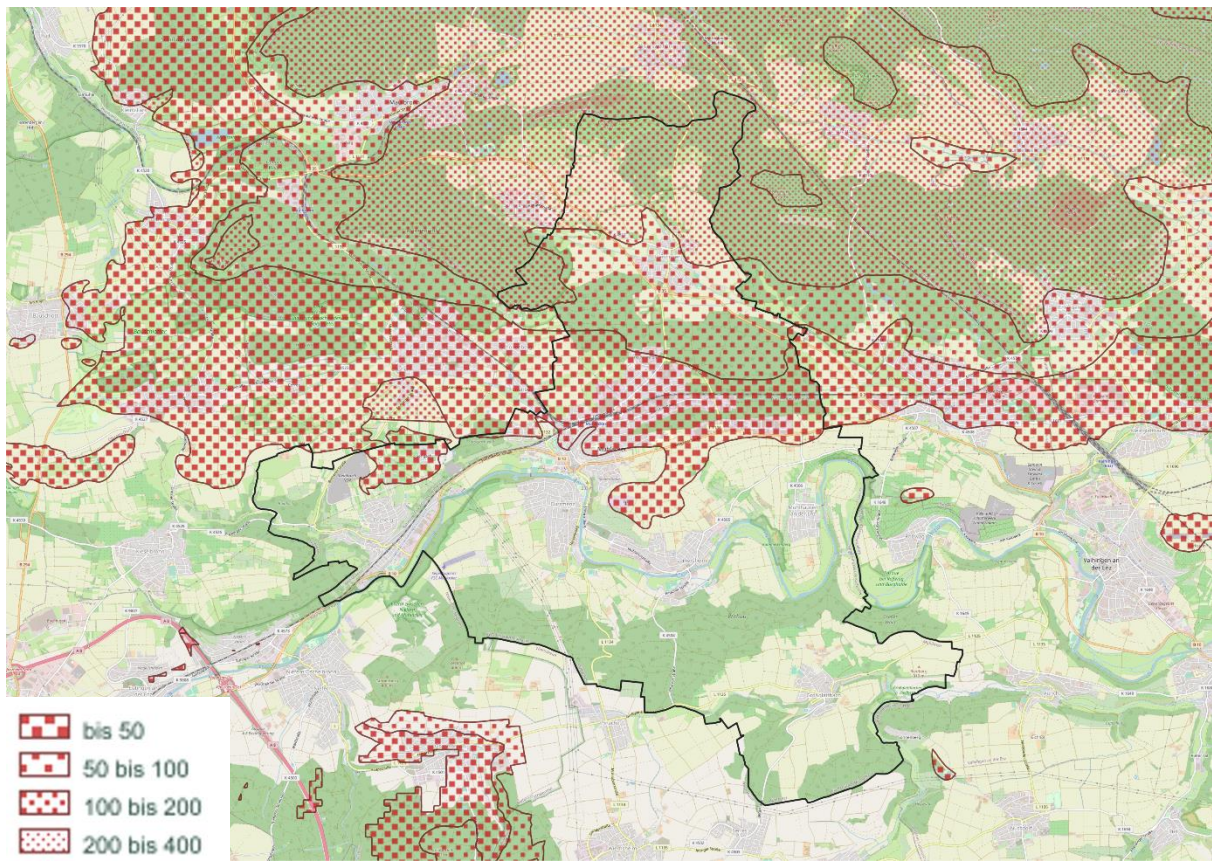


Abbildung 21: Begrenzung der Bohrtiefe auf der Gemarkung der Stadt Mühlacker (in m). Quelle der Daten inkl. Legende: Energieatlas Baden-Württemberg. Eigene Darstellung der Energy Effizienz GmbH

Auf Grundlage der möglichen Bohrtiefen zeigt sich im Gemeindegebiet ein zweigeteiltes Bild: Die südlichen Gemeindeflächen (südlich der Enz) sowie der nördliche Uferbereich eignen sich prinzipiell für Erdbohrungen. Im nördlichen Gemeindegebiet müssen Begrenzungen der Bohrtiefen berücksichtigt werden. Während diese im „Gürtel“ bei Mühlacker bis 50 m Bohrtiefe geht, liegen weiter nördlich erst ab 50 m bzw. 100 m Tiefenbeschränkungen vor.

Die Eignung eines Standorts für eine Wärmegewinnung mittels Wärmepumpen ist im Weiteren von der Wärmeentzugsleistung abhängig. Die spezifische Wärmeentzugsleistung wird anhand einer Prognose zum Bohrprofil (Gesteinsabfolge im Untergrund) berechnet. Abbildung 22 zeigt die Wärmeentzugsleistung des Bodens für eine Tiefe von 2 Metern.

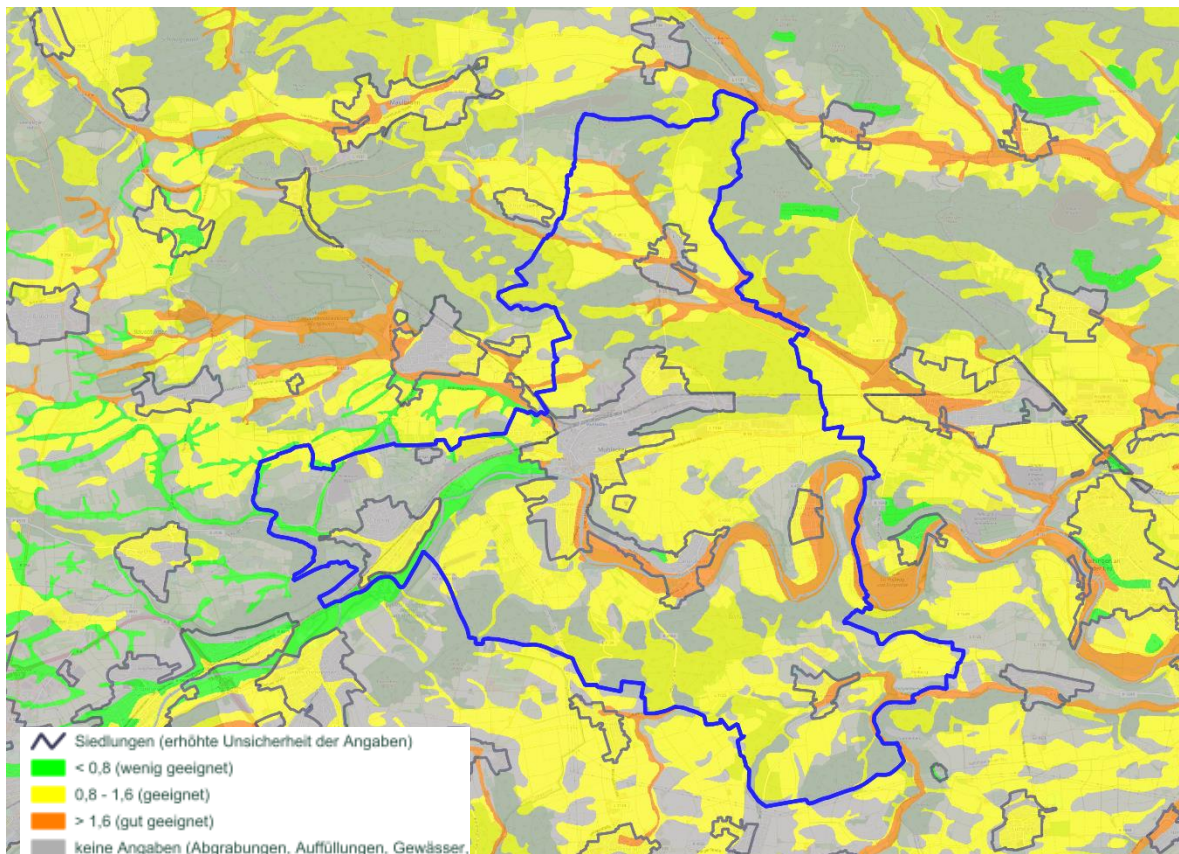


Abbildung 22: Spezifische Wärmeentzugsleistung des Bodens in 1-2 m Tiefe (W/m^2K) auf der Gemarkung der Stadt Mühlacker. Quelle der Daten inkl. Legende: Energieatlas Baden-Württemberg. Eigene Darstellung der Energy Effizienz GmbH

In den grau gefärbten Gebieten sind die Voraussetzungen für Erdwärmekollektoren im Einzelfall zu betrachten. Die restliche gelb markierte Fläche bietet sich jedoch mit einer Wärmeleitfähigkeit zwischen $0,8$ bis $< 1,6$ W/m^2K für den Bau der geothermischen Anlagen an. Werte über $1,6$ W/m^2K finden sich insbesondere im Uferbereich der Enz. Die Effizienz der Erdwärmesondennutzung wird ebenfalls auf Grundlage der Prognose zum Bohrprofil bewertet. Die Effizienz des Untergrundes in der Gemarkung Mühlacker ist in Abbildung 23 dargestellt.

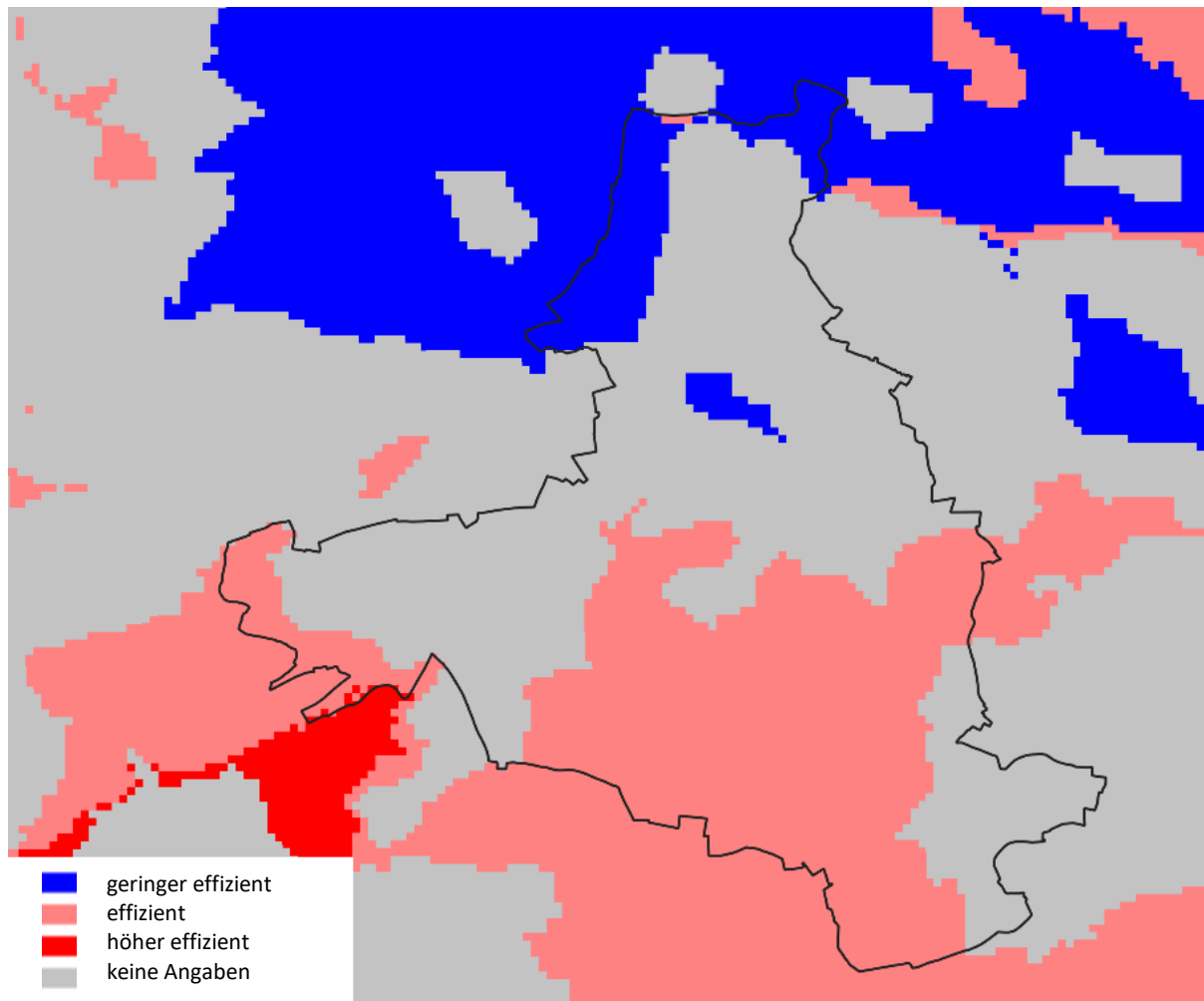


Abbildung 23: Geothermische Effizienz auf der Gemarkung der Stadt Mühlacker, Quelle der Daten inkl. Legende: Energieatlas Baden-Württemberg. Eigene Darstellung der Energy Effizienz GmbH

Die nördlichen Gebiete der Stadtgemarkung sind für den Einsatz der Erdwärmesonden wegen der vorhandenen Einschränkungen der Bohrtiefe nicht geeignet. Jedoch bieten sich die Flächen südlich der Enz sowie in der Nähe zum nördlichen Ufer für die erwähnte Technologie der Wärmeabgewinnung an.

Weiterhin ist die Identifikation von Wasser- und Heilquellenschutzgebieten sinnvoll. Die wasserschutzrechtlichen Regelungen sind einer der wichtigsten Einflussfaktoren während der Planung und Genehmigung von geothermischen Anlagen. Abbildung 24 zeigt die wasserschutzrechtliche Situation in der Gemarkung Mühlacker.

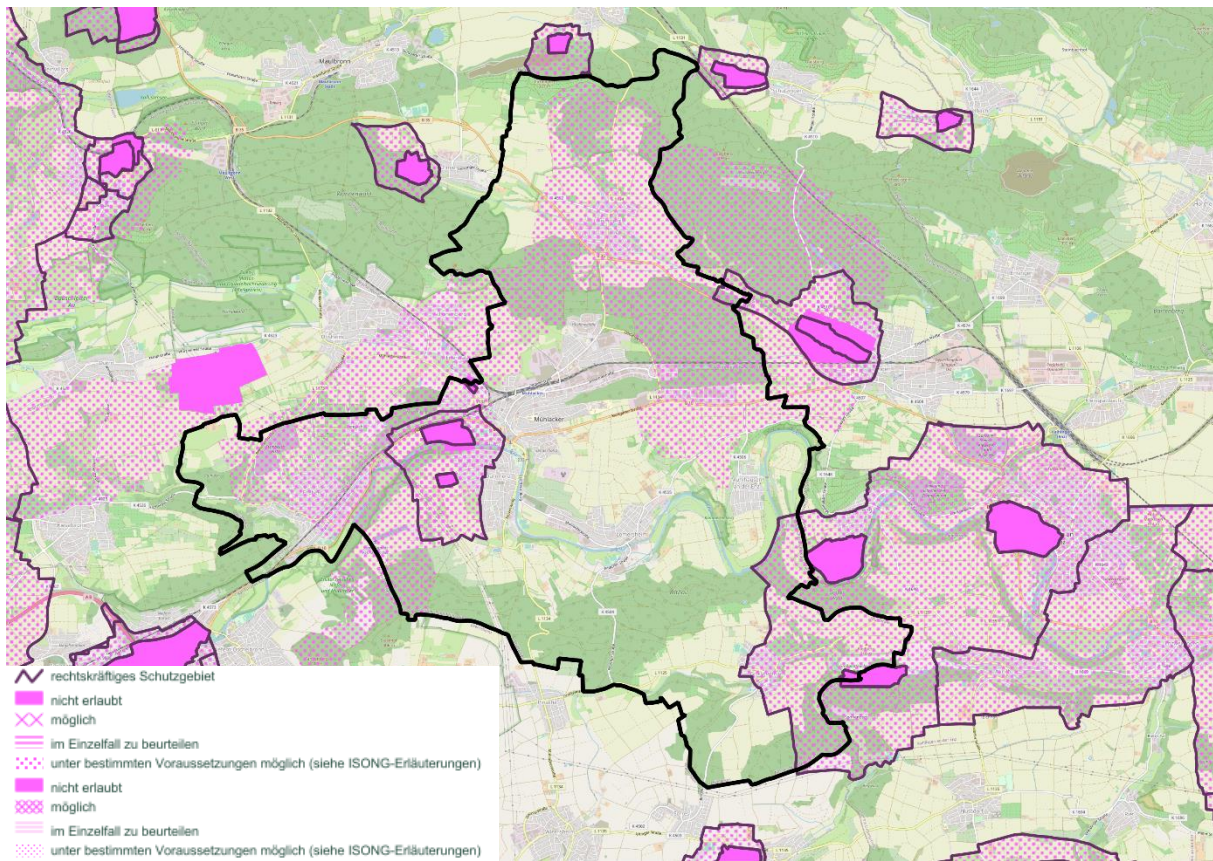


Abbildung 24: Übersicht der Restriktionen aus der wasserschutzrechtlichen Perspektive. Quelle der Daten inkl. Legende: Energieatlas Baden-Württemberg. Eigene Darstellung der Energy Effizienz GmbH

Wie aus der Abbildung ersichtlich liegen im zentralen Stadtgebiet von Mülacker sowie in weiteren Flächen im nördlichen Gemeindegebiet wasserschutzrechtliche Restriktionen vor. Insbesondere im südlichen Gebiet bestehen aus der wasserschutzrechtlichen Sicht keine weiteren Einschränkungen. Allerdings ist hier für die konkrete Planung eine separate Analyse notwendig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zum Grundwasserschutz auch außerhalb der Schutzgebiete Beschränkungen vorliegen können.

c) Tiefe Geothermie

Innerhalb des Bundeslandes Baden-Württemberg lassen sich mehrere Gebiete für die Nutzung der Wärme aus den tiefen unterirdischen Schichten identifizieren. Das konkrete Potenzial hängt von einer Vielzahl an Faktoren ab. Dieses ist daher im Rahmen einer detaillierten Machbarkeitsanalyse/Kommunalen Wärmeplanung zu untersuchen und wird in der vorliegenden Arbeit nicht abschließend bewertet/nur oberflächlich betrachtet.

Zwar definiert die Norm VDI 4640 Tiefen Geothermie bereits ab 400 m und Temperaturen ab 20°C, in der Praxis sind jedoch Bohrtiefen über 1.000 m und Temperaturen ab 60 °C geläufig.⁸⁸ Der Energieatlas

88 (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, n.a.)

Baden-Württemberg beinhaltet Darstellungen der unterirdischen konstanten Temperaturen in Abhängigkeit zur Tiefe. Abbildung 25 zeigt exemplarisch die Untergrundtemperaturen in 1.000 m Tiefe.

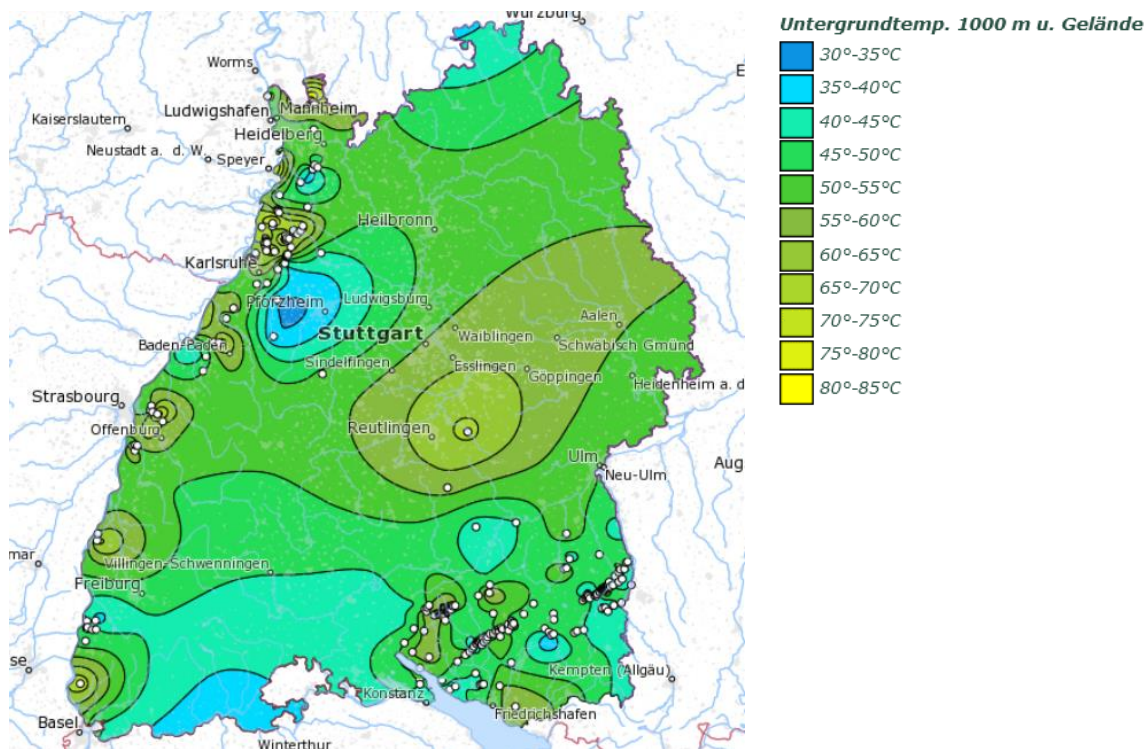


Abbildung 25: Abbildung der Untergrundtemperaturen in Baden-Württemberg (Tiefe: 1000 m). Quelle: Energieatlas Baden-Württemberg

Unter der Stadt Mühlacker können in dieser Tiefe zwischen 40 und 45 °C angenommen werden. Je nach erschlossenem Temperaturniveau kann die Wärme in verschiedenen Stufen genutzt werden. So können höhere Temperaturen zunächst für Fernwärme (ab 70 °C), Verstromung (> 100 °C) und Prozesswärme eingesetzt werden und anschließend beispielsweise im lokalen Thermenbetrieb, in der Landwirtschaft (Gewächshäuser 60 °C bis 70 °C) oder auch in der Fischzucht (30 °C bis 20 °C)⁸⁹. Das Potenzial in Mühlacker ist in dieser Bohrtiefe demnach eher gering einzustufen.

Szenarien

In Mühlacker stellte die Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen mit rund 7.100 MWh/a einen Anteil des Wärmeverbrauchs von knapp 2,4 % dar. Der lokale Zubau von Wärmepumpen in den vergangenen fünf Jahren (2015-2019) in der Stadt Mühlacker von BAFA-geförderten Wärmepumpen entsprach jährlich durchschnittlich sechs Anlagen bei privaten Haushalten sowie durchschnittlich keiner gewerblichen Anlage.⁹⁰ Der Trend der Jahre 2019-2020 jedoch zeigt einen Zubau von 17 privaten und zwei gewerblichen Anlagen jährlich.

Im **Trendszenario** wird von einer Fortführung des Trends für die privaten Haushalte und das Gewerbe⁹¹ jährlich ausgegangen. Die zusätzliche Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen beläuft sich 2030 auf rund 4.500 MWh/a und bis 2040 auf 8.700 MWh/a. In der Beheizungsstruktur der Wohngebäude

⁸⁹ (Bundesverband Geothermie, 2022)

⁹⁰ Wärmepumpenatlas

⁹¹ Unter der Annahme, dass gewerbliche Anlagen die gleiche Größenordnung haben wie Anlagen für private Wohngebäude.

erhalten die Wärmepumpen den Anteil von 9 % (2040), im gewerblichen Bereich von 12 %. Die zusätzliche Emissionseinsparung liegt 2030 gegenüber 2019 bei rund 1.300 t CO₂/a und 2040 bei 2.800 t CO₂/a

Um dem Ziel der Klimaneutralität näher zu kommen, werden im **Klimaschutzszenario** ambitionierte Ausbauraten der regenerativen Wärmeträger angenommen. Wärmepumpen werden bundesweit als grundlegender Bestandteil der Energiewende angesehen.⁹² Es wird ein jährlicher Zubau von 55 Anlagen pro Jahr für die privaten Haushalte, sowie vier im GHD-Sektor und 22 Anlagen im industriellen Sektor⁹³ jährlich angenommen. Bis 2030 können so weitere 23.400 MWh/a Wärme und bis 2040 rund 44.600 MWh/a zusätzlich durch Wärmepumpen bereitgestellt werden. In der Beheizungsstruktur der privaten Haushalte erhalten die Wärmepumpen 2040 den Anteil von 43 %, im GHD-Sektor von 30 % und im Industriesektor von 16 %. Die zusätzliche Emissionseinsparung liegt 2030 gegenüber 2019 bei rund 6.100 t CO₂/a und 2045 bei 13.000 t CO₂/a. Abbildung 26 zeigt einen Überblick zum potenziellen Ertrag und den vermiedenen Emissionen durch Wärmepumpen in den Szenarien.

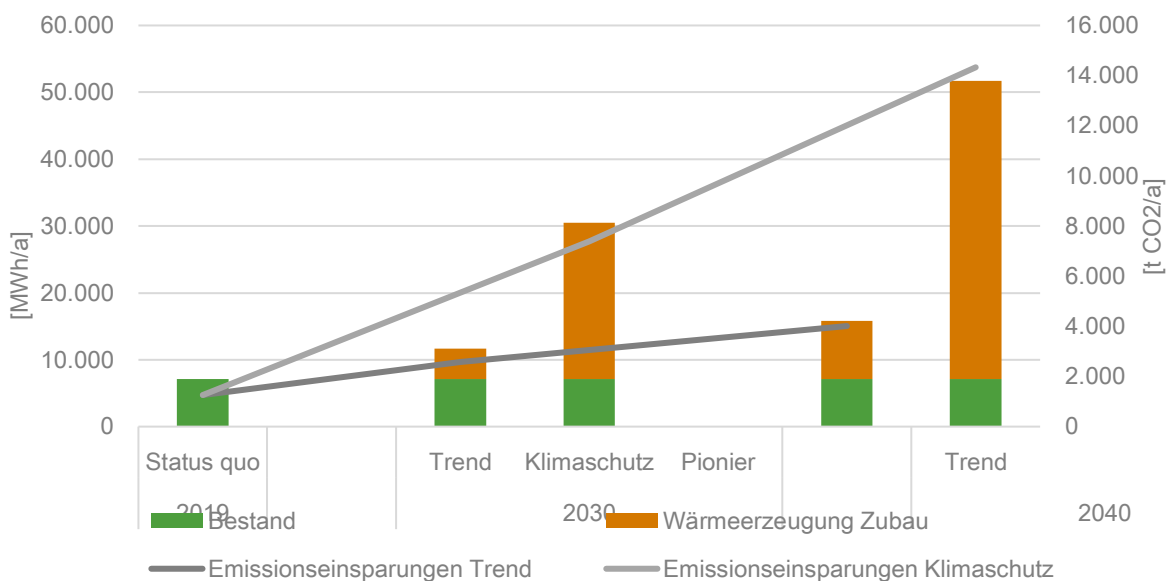


Abbildung 26: Ertrag und vermiedene Emissionen durch Wärmepumpen im Status quo und den Szenarien

1.2.10 Nah- und Fernwärme

Grundsätzliches Potenzial

Der Ausbau der Nah- und Fernwärme wird als wichtiger Faktor zur Umsetzung der Energiewende sowohl im städtischen als auch im ländlichen Raum gesehen. Die Eignung eines Gebiets zur Errichtung und dem effizienten Betrieb von Wärmenetzen hängt von der Wärmebedarfsdichte und der entsprechenden Energieabnahme je Leistungseinheit ab. Zudem müssen weitere Aspekte, wie die Bodenbeschaffenheit oder Neigungen berücksichtigt werden. Im städtischen Raum liegt der entscheidende Vorteil bei den geringen Abständen zwischen den Gebäuden, so dass die Netzlänge und damit Netzverluste geringgehalten werden können. Ein gutes Beispiel bietet die Stadt Stockholm, in

⁹² Vergleiche (Ariadne-Projekt, 2021) und (Prognos, 2021)

⁹³ Die Anzahl der zugebauten Anlagen im GHD-Sektor und industriellen Branche kann sich reduzieren, je nachdem wie die Heizungsanlagen dimensioniert sind. Berechnungsgrundlage ist der Wärmebedarf in MWh/a, der anhand von angenommenen Durchschnittsgrößen der Anlagen (Wärmeverbrauch GHD: 36 MWh/a und Wärmeverbrauch Industrie: 80 MWh/a) auf die Anlagenzahl heruntergerechnet wird.

der rund 70 % der Gebäude mit Fernwärme beheizt werden und zunehmend regenerative Energien dafür genutzt werden. Doch auch im ländlichen Raum können Nahwärmenetze wirtschaftlich und klimafreundlich betrieben werden. Zwar müssen die Faktoren Netzlänge, Netzverluste und Anschlussdichte besonders berücksichtigt werden, jedoch können auch Vorteile gegeben sein, etwa ausreichend zur Verfügung stehender Platz für die notwendige Heizzentrale, ein Thema, welches in Städten häufig eine Herausforderung darstellt. Auch ist die erfolgreiche Umsetzung von der Kooperation aller Beteiligten abhängig, wobei der Aspekt der Dorfgemeinschaft und guter Kommunikationsstrukturen förderlich sein kann.

Nah- und Fernwärme ist nur dann klimafreundlich, wenn nachhaltige Energieträger zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Häufig werden Biomasse oder kleine BHKWs genutzt. Auch Geothermie kann als Wärmequelle genutzt werden. Der Emissionsfaktor ist entsprechend geringer als bei einer herkömmlichen Öl- oder Gasheizung. Gleichzeitig verringert sich der Gesamtaufwand für Wartung und Instandhaltung, und die Hausbesitzer müssen sich nicht mehr eigenständig um ihre Heizanlage kümmern. Nahwärme wird entsprechend dann gegenüber Einzelgebäudeheizungen auf Basis erneuerbarer Energien bevorzugt, wenn die genannten Vorteile genutzt werden sollen. Auf lange Frist ist auch die Umrüstung bestehender Nahwärmenetze auf regenerative Energieträger für das Ziel der Klimaneutralität notwendig.

In der Gemarkung Mühlacker gibt es zwei Nahwärmenetze, welche durch die Stadtwerke Mühlacker betrieben werden. Im Nahwärmenetz Hallenbad/Stadtmitte werden insgesamt 18 gewerbliche Liegenschaften mit einem Anschlusswert von 2,5/1,2 MW = 3,7 MW beliefert. Ein weiteres Nahwärmenetz ist im nördlichen Teil im Wohngebiet Heidenwäldle bereits vorhanden. Im Bilanzjahr 2019 wurden rund 8.200 MWh Wärme für Nahwärmelösungen erzeugt (2,8 % der Wärmeversorgung). Zur Wärmeerzeugung werden primär biomethanbetriebene BHKW's eingesetzt, welche als EEG-Anlagen gleichzeitig ca. 4.400 MWh Strom produziert. Die Spitzenlast wird über Brennwert- und Niedertemperaturerdgaskessel abgedeckt. Zudem forcieren die Stadtwerke Mühlacker für ein Neubaugebiet mit rund 600 Wohneinheiten eine Wärmeversorgung via Fernwärme.⁹⁴ Die Wärmebereitstellung soll über eine hochflexible Biomethan-KWK-Anlage in Abstimmung mit dem Erschließungsträger/Investor gebaut werden. Für die Bestandsgebiete ist in Abbildung 27 die Verteilung der Wärmebedarfsdichte in Mühlacker dargestellt.

⁹⁴ Aussage der Stadtwerke.

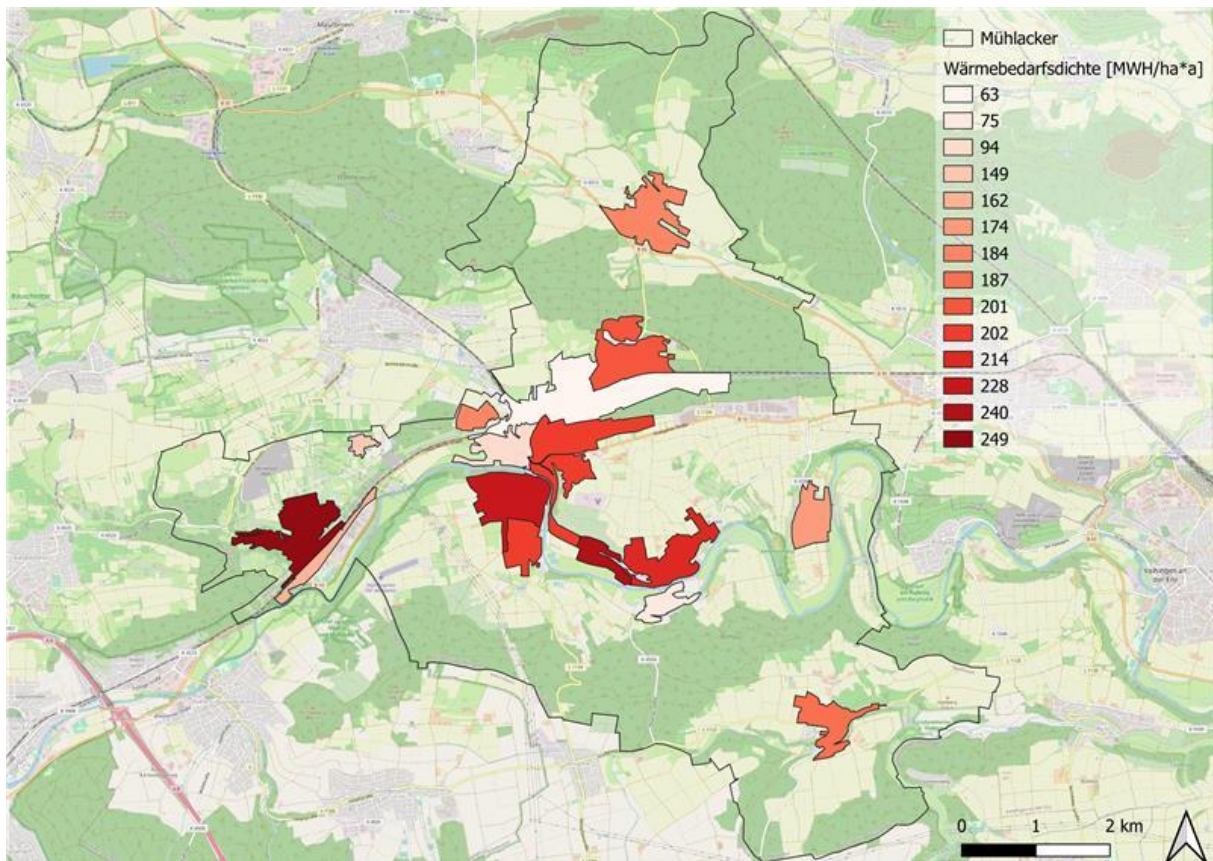


Abbildung 27: Wärmebedarfsdichten in Mühlacker. Quelle der Daten inkl. Legende: Energieatlas Baden-Württemberg. Eigene Darstellung der Energy Effizienz GmbH

Gebiete mit einer hohen Wärmebedarfsdichte zeigen einen potenziell effizienten Betrieb von Fernwärmenetzen an. Die Darstellung basiert auf vereinfachten Modellannahmen und dient als grobe Abschätzung der Eignung eines Gebiets für Fernwärme. Da die realen Wärmeverbrauchswerte stark abweichen können, ist für konkrete Planungen die Ermittlung der aktuellen Wärmebedarfsdichte vor Ort erforderlich. Dabei sind auch weitere Entwicklungen, wie beispielsweise Sanierung und die damit einhergehende Reduktion des Wärmebedarfs zu berücksichtigen. Die Abbildung zeigt jedoch, dass sich zumindest im Hinblick auf die Wärmebedarfsdichten tendenziell ein Großteil des Gebiets für eine effiziente leitungsgebundene Wärmeversorgung eignet. Das Potenzial zur Installation und dem Betrieb dieser Wärmeversorgungsinfrastruktur hängt von weiteren Faktoren ab und wird im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung im Detail analysiert. Dies gilt ebenfalls für mögliche Wärmequellen, die im konkreten Einzelfall zu untersuchen sind. Daher ist zu berücksichtigen, dass die Wärmebereitstellung für die angenommenen Ausbauraten separat zu betrachten ist. Die Szenarien orientieren sich am aktuellen Trend bzw. dem zur Erreichung der Treibhausgasneutralität 2040 erforderlichen Zubaurate.

Bezüglich der Energieträgernutzung zur Beheizung von Nahwärmenetzen sollen einige Möglichkeiten genauer betrachtet werden. Zahlreiche Projekte der lokalen Nahwärmeversorgung nehmen Solarenergie als Hauptenergieträger, außerdem gibt es moderne Nahwärmenetze auf Basis von Geothermie, Biomasse oder auch industrieller Abwärme. (Groß-)Wärmepumpen kommen ebenso infrage.

Insgesamt sind mehrere aussagekräftige Vorteile zu identifizieren, die für die Entwicklung der lokalen Nahwärmenetze sprechen⁹⁵:

- Flexibilität und Vielfalt bei der Nutzung lokaler erneuerbarer Energien, wie große Solarthermie, Tiefe Geothermie, Umweltwärme, Biomasse
- Deckung der verbleibenden Bedarfslücken der Stromerzeugung aus Sonne und Wind (Residuallasten) durch bedarfsgerecht betriebene, stromnetzgeführte Kraft-Wärme-Kopplung in den Heizzentralen
- Erhöhung der Effizienz im Energiesystem aufgrund der Möglichkeit, vielfältige Abwärmequellen nutzen zu können
- Flexibilitätsgewinne im Wärme- und Strombereich durch Einbindung großer thermischer Speicher
- kommunale Steuerungsfunktion zur Senkung des Ausstoßes vermeidbarer Treibhausgasemissionen durch netzgebundene Wärmeversorgung
- Langfristig hohe Versorgungssicherheit
- Zukünftig keine aufwändigen und teuren Anlagenerneuerung
- Erfüllung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes
- Geringe Betriebskosten (Wartung/Instandhaltung usw.)
- Geringerer Raumbedarf für Technik.
- Regionale Wertschöpfung⁹⁶

Wichtige Informationen zu Planungs- und Vertriebsangelegenheiten, die außerhalb dieser Potenzialstudie stehen, sind bspw. im Leitfaden "Nahwärme" des Fraunhofer Instituts⁹⁷ zu finden. Bezüglich der Energieträgernutzung zur Beheizung von Nahwärmenetzen sollen einige Möglichkeiten genauer betrachtet werden. Zahlreiche Projekte der lokalen Nahwärmeversorgung nehmen Solarenergie als Hauptenergieträger, außerdem gibt es moderne Nahwärmenetze auf Basis von Geothermie, Biomasse oder auch industrieller Abwärme. (Groß-)Wärmepumpen kommen ebenso infrage.

a) Biomasse

Biomasse ist ein verbreiteter Energieträger für die Nah- und Fernwärmeerzeugung. Im Kapitel 1.2.7 wird die Nutzung von Biomasse bereits betrachtet.

Im größeren Maßstab zur Nahwärmeerzeugung sind einige Punkte in der Handhabung zu beachten:

- Biomasse ist ein Naturprodukt und nicht einheitlich, bspw. bestehen Schwankungen des Energiegehalts je nach Qualität des Rohstoffs und erfordern daher einen kompetenten Umgang beim Betrieb einer Hackschnitzelanlage.
- Hackschnitzel sind kostengünstiger, aber haben einen geringeren Energiegehalt als Pellets.
- Bei der Integration in Wohngebieten ist insbesondere der Platzbedarf für den Abgaskamin und den Lagerplatz für Pellets/Hackschnitzel und die Geräuschemissionen bei der Anlieferung mitzudenken.

⁹⁵ (zeozweifrei, 2023)

⁹⁶ (Energieagentur RLP, Praxis-Leitfaden Nahwärme, 2016)

⁹⁷ (Dötsch, Taschenberger, & Schönberg, 1998)

- Biomasseressourcen sind begrenzt, für eine nachhaltige Energieversorgung sind insbesondere lokale Biomassevorkommen zu nutzen und weite Transportwege vermeiden.

Eine komfortable Form der Biomasse ist Biogas. Hierbei ist die Voraussetzung ein bestehendes Gasnetz. Der Vorteil liegt dann in der bilanziellen Rechnung von Einspeisung und Bezug von Biogas, wodurch eine räumliche Entkopplung von Erzeuger und Verbraucher möglich ist. Allerdings ist Biogas in der Produktion und Aufbereitung aufwändig. Aus Nachhaltigkeitsgründen ist auch Biogas überwiegend aus Abfallprodukten der Landwirtschaft oder von Bioabfällen der Haushalte zu erzeugen.

b) Solarthermie

Das Thema der Nahwärmeversorgung mit Hilfe solarer Kollektoren und saisonalen Wärmespeichern wird in den letzten Jahren intensiv diskutiert – sowohl in Deutschland als auch im Ausland. Zu diesem Zeitpunkt erscheint vor allem kleinflächige Lösungen für kleine Städte (Einwohnerzahl: ca. 4.000) oder bestimmte Stadtquartiere sinnvoll. Einige Beispiele der erfolgreichen Projektumsetzung in diesem Bereich lassen sich unter anderem in Dänemark beobachten⁹⁸. Der durchschnittlich zu erwartende Ertrag liegt auf Basis der Grundannahmen sowie der bereits bestehenden Projekterfahrungen bei 2.000 MWh/a pro Hektar Landfläche⁹⁹.

Aus technologischer Perspektive erfüllen die solaren Kollektorfelder die Rolle eines Wärmespeichers. Als Quelle der Wärmeenergie dient die direkte Solareinstrahlung, weswegen die Installation der Kollektoren sowohl auf Dächern als auch auf freien Flächen bzw. in benachteiligten Gebieten grundsätzlich vorstellbar ist. Die Kombination mit der Wärmezentrale sowie einem Warmwasserspeicher (unter- oder überirdisch) erhöht die Effizienz des gesamten Projektes, da damit die Möglichkeit entsteht, den Wärmebedarf zu kalten Jahreszeiten mit Hilfe der zur Sommerzeit akkumulierten Wärmeenergie abzudecken.

Die bereits realisierten Projekte weisen einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 1 MWh/a pro 0,5 m² Kollektorfläche auf. Hier müssen allerdings mehrere Faktoren beachtet werden: An- bzw. Abwesenheit des saisonalen Warmwasserspeichers, Nähe der Wärmeverbraucher, Nähe der Wärmezentrale, Effizienz und Abdichtung der bestehenden Wärmenetze etc. Die Investitionskosten variieren ebenfalls stark¹⁰⁰.

⁹⁸ (PlanEnergi, 2018)

⁹⁹ (Solarthemen Media GmbH, 2021)

¹⁰⁰ (PlanEnergi, 2018)

Tabelle 11: Übersicht einiger bereits realisierten solarthermischen Projekte in Deutschland

	Ertrag (MWh/a)	Leistung (MW)	Flächenbedarf	Emissionsei nsparung (t CO2)	Investition skosten (Mio. Euro)	Größe des Wärmespeiche rs (falls vorhanden), m ³
Greifswald ¹⁰¹	8.000	11	Baufläche 4 ha Grundfläche Sondergebiet 40.000 m ² Kollektorfeld Flächen 18.700 m ²	1.780	7	6.000
Lemgo ^{102,103}		5,2	Bruttokollektorfläche 9.128 m ²			Komplex mit Flusswasser- WP und 2 BHKWs
Mühlhausen ^{104, 105}	3.300		Flächenbedarf 19.000 m ² , Kollektorfläche 5.700 m ²	675	3	1.152 Röhrenkollektoren Versorgung von 400 Haushalten
Senftenberg ¹⁰⁶	4	4,5	Grundfläche 20.000 m ² , Kollektorfläche 8.300 m ²			Stadtgröße: 25.000

Auch in angrenzenden Nachbarländern lassen sich mehrere Projekte finden¹⁰⁷.

Tabelle 12: Übersicht einiger realisierten solarthermischen Projekte im Ausland

Ort	Informationen
Silkeborg, Dänemark ¹⁰⁸	100-110 MW Leistung, Kollektorfläche 156.000 m ²
Aalborg, Dänemark ¹⁰⁹	11.000 m ² , 3.300 MWh
Groningen, Niederlande ¹¹⁰	48.000 m ² , 37 MW Leistung; voraussichtliche Erträge: 25 GWh = 520 kWh/m ² a
Silkeborg, Dänemark ¹¹¹	100-110 MW Leistung, Kollektorfläche 156.000 m ²

¹⁰¹ (Stadtwerke Greifswald, 2023)

¹⁰² (Solarthemen Media GmbH, 2021)

¹⁰³ (AGFW-Projekt-GmbH, 2022)

¹⁰⁴ (Stadtwerke Mühlhausen, 2021)

¹⁰⁵ (Solarthemen Media GmbH, 2021)

¹⁰⁶ (RitterXL, kein Datum)

¹⁰⁷ (SHIP Plants, 2023)

¹⁰⁸ (Solarthemen Media GmbH, 2021)

¹⁰⁹ (Aalborg CSP A/S, 2022)

¹¹⁰ (Solrico, 2022)

¹¹¹ (Solarthemen Media GmbH, 2021)

c) Abwärme

Verschiedene industrielle Prozesse erzeugen als Nebenprodukt Wärmeenergie, welche teilweise ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird oder aber mit weiterem Energieaufwand heruntergekühlt wird. Dies wird als relevantes Potenzial zur Nutzung für die Wärmeversorgung desselben oder angrenzender Gebäude gesehen, sofern die Größenordnung ausreichend ist. Die Abkühlung der zu hohen Temperaturen (<80-90°C) für die Einspeisung in die Nahwärmenetze kann mittels eines Wärmetauschers erfolgen. Die bisher veröffentlichten Studien zu den Potenzialen der Abwärmenutzung weisen auf ein großes Potenzial hin: Eine Erhebung spricht für den gesamten deutschen Industriesektor davon, dass 18% bis ca. 50% der Abwärme energetisch genutzt werden könnten¹¹². Andere Veröffentlichungen weisen sogar Werte von 30% bis 90% des energetisch erschließbaren Wärmepotenzials der industriellen Anlagen für die weitere Wärmebereitstellung auf¹¹³.

Die während der industriellen Herstellungsprozesse entstehende Energie lässt sich entweder direkt mittels Wärmetauscher nutzen oder kann langfristig für die Wärmeversorgung zu Spitzenbedarfszeiten gespeichert werden. Dies benötigt zwar zusätzliche infrastrukturelle Maßnahmen, kann damit aber auch zeitversetzten Energiebedarf abdecken.

Die folgende Tabelle bietet eine Übersicht der energetisch verwertbaren Temperaturen je Industriebranche und des jeweiligen Abwärme-Indikators, der auf die theoretisch möglichen nutzbaren Mengen der Wärmeenergie hinweist¹¹⁴.

Tabelle 13: Übersicht der thermischen Potenziale einzelner Industriebranchen

Industriebranche	Temperatur der verwertbaren Wärmeenergie	Abwärme-indikator	Ergänzung
Eisen- und Stahlherstellung	80-250 °C	19%	Die höheren Temperaturebenen beinhalten große Menge der nicht verwertbaren Gase; die Nutzung der Energie für die Wärmebereitstellung erst in den letzten Phasen des Produktionsprozesses möglich
Nichteisenmetallherstellung (Aluminium, Kupfer, Zink, Blei et al.)	40-70 °C		Wegen der bereits vorhandenen effizienten Anlagen der Wärmerückgewinnung meist für die Niedertemperaturanwendungen brauchbar
Zementerzeugung	Ersten Produktionsphasen: 200-450 °C Weitere Produktionsphasen: 100-300 °C		Nutzung der heißen Abgase für die Stromerzeugung, Verdampfung o. ä. möglich
Papierherstellung	20-160 °C	9%	Wird als prioritäre Branche für Abwärmenutzung betrachtet
Glaserstellung	Divergierende Angaben je Herstellungsphase	15%	

¹¹² (Hirzel, Sontag, Benjamin, & Rohde, 2013)

¹¹³ (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2015)

¹¹⁴ (Aydemir, Doderer, Hoppe, & Braungardt, 2019), S. 29

Chemie	Ethylen: 150 °C bei großer Variation Ammoniak: Divergierende Angaben je Herstellungsphase	9%	Grundsätzlich für Verdampfung geeignet
---------------	--	----	--

Eine veröffentlichte Studie des Fraunhofer Instituts zu den Möglichkeiten der Abwärmenutzung listet Unternehmen der Nahrungsmittelindustrie ebenso als potenziell effiziente Quellen der Abwärme auf. Eine Veröffentlichung der dena zur Abwärme weist die Installation der Abwärmegewinnungsanlagen in einem Unternehmen der Papierindustrie als ein Beispiel der erfolgreichen Innovations- und Investitionsaktivitäten aus¹¹⁵. Auch Unternehmen der Holzveredlung und produktionsintensiver Holzverarbeitung bergen Abwärmepotenziale, allerdings in deutlich kleinerem Ausmaß¹¹⁶. Des Weiteren sind Rechenzentren und IT-Cluster große Abwärmequellen.

d) Umweltwärme und Wärmepumpen

Im Vergleich zu den im Kapitel 1.2.10 genannten Einsatzfeldern von Umweltwärme ist die Dimensionierung zum Einsatz in Nahwärmenetzen um ein Vielfaches größer. Dies schlägt sich häufig positiv auf die Wirtschaftlichkeit der Erschließung von klimafreundlichen Wärmequellen nieder. Insbesondere bei Erdwärmesonden sowie der Nutzung von Gewässern als Wärmequelle ist dieser Effekt zu beobachten.

Beim Einsatz von Wärmepumpen sind geringe Netztemperaturen vorteilhaft, um eine kleine Temperaturdifferenz überwinden zu müssen und somit eine möglichst gute Effizienz zu erreichen. Zusätzlich empfiehlt sich beim Einsatz von Wärmepumpen in jedem Fall die Installation von Photovoltaik zu untersuchen, um den benötigten Strom auf regenerative Weise zu produzieren. Im Fall der Planung von Nahwärmenetzen auf Basis von geothermischen Anlagen ist die Installation eines Wärmespeichers zu prüfen. Die Kombination von Wärmepumpen und eines Speichers in den Maßstäben eines Nahwärmenetzes¹¹⁷ hat sich mehrmals in vielen Projekten als eine rentable wirtschaftliche Lösung erwiesen.

¹¹⁵ (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2015)

¹¹⁶ (Pehnt, Bödeke, Arens, Jochem, & Idrissova, 2010), S. 17, S. 19

¹¹⁷ (Bundesverband Geothermie e.V., 2021)

Tabelle 14: Übersicht der Kennzahlen von Erdwärmespeichern

	Wärmeleistung	Höhe (m) / Durchmesser (m) / Fassungsvermögen (l)	Temperatur (°C)	Weitere Details und Investitionskosten
Reuter West, Siemensstadt, Berlin	200 MW	45 / 43 / 56 Mio.	50-98	
Enertrag, Nechlin, Berlin		4 / 18 / 1 Mio.	93	38 MWh; Kombination mit dem Windfeld; 35 Häuser werden versorgt
Kiel¹¹⁸	1.500 MW	60 / 30 / 42 Mio.	60-115	Von Null auf 191 Megawatt in nur 5 Minuten
Zolling¹¹⁹	400 MW	23 / 24 / 10 Mio.	Bis 95	
Mannheim¹²⁰	1.500 MW	36 / 40 / 45 Mio.	98	27 Mio. Euro Kosten; Unterstützt Fernwärmenetz Raum Mannheim, Heidelberg, Speyer
Niederösterreich, Theiß¹²¹	2.200 MW	25 / 50 / 50 Mio.	bis 98	Versorgung der Stadt Theis, Gedersdorf und Grunddorf
Dänemark, Studstrup	1200 MW	// 30 Mio.		
Dänemark, Marstal	4.350 MW	k. A./k. A./ 75 Mio.	k. A.	Fernwärme basiert auf 100% erneuerbare Energien (55 PV und 45 Biomasse)
Schweiz, Ibach bei Schwyz¹²²	1300 MW	50 / 30 / 28 Mio.	50-95	Investitionskosten 6 Mio. Euro
Österreich, Linz¹²³	1.350 MW	65 / 27 / 34,5 Mio.	55-97	

e) Exkurs: kalte Nahwärme

Eine moderne Form der Nahwärmenetze stellen kalte Nahwärmenetze dar. Sie werden aktuell ausschließlich in Neubaugebieten eingesetzt, da ein hoher energetischer Standard der Gebäude dafür Voraussetzung ist. Hierbei wird im Nahwärmenetz Wasser mit einer Temperatur von ca. 10-12°C zirkuliert¹²⁴. Die Temperaturerhöhung erfolgt dezentral in jedem Gebäude einzeln mit Wärmepumpen angepasster Größe auf den Bedarf. Auch hier empfiehlt sich jeweils der Betrieb mithilfe einer eigenen Photovoltaik-Anlage. Folgende Vorteile ergeben sich:

- Geringere Netztemperatur (ca. 15°C), erleichtert Findung der Wärmequelle: Geothermie, Erdwärme, Grundwasser etc.
- weniger Wärmeverluste der Leitungen
- Vorteile gegenüber Luft-Wasser WP: höherer Wirkungsgrad, kein Außenmodul notwendig (Lärmemissionen)
- Mit kaltem Nahwärmenetz ist auch eine Kühlung im Sommer möglich und erwünscht

¹¹⁸ (Stadtwerke Kiel, 2022)

¹¹⁹ (Mündliche Nachfrage beim Betreiber. Nach dewiki.de, 2023)

¹²⁰ (Bundesverband Geothermie e.V., 2023)

¹²¹ (EVN AG, 2012)

¹²² (Agro Energie Schwyz AG, 2020)

¹²³ (Linz AG, 2022)

¹²⁴ (Bundesverband Geothermie e.V., 2023)

Szenarien

In beiden Szenarien beruht der Zubau der Nahwärmeversorgung vollständig auf regenerativen Wärmequellen (Biomasse, Wärmepumpen, Solarthermie, industrielle Abwärme etc.). Im Klimaschutzszenario wird außerdem die bisherige Nahwärmeversorgung zu 100 % auf regenerative Energieträger umgestellt. Die Emissionseinsparungen beziehen sich auf den Emissionsmix für Fernwärme 2040.

Im **Trendszenario** wird der Bau eines weiterer Nahwärmenetzes á 50 Wohngebäude bis 2030 und insgesamt zwei Netzen á 50 Wohngebäuden bis 2040 angenommen, was einer Wärmebereitstellung von 1.400 MWh/a jährlich entspricht. Im gewerblichen und industriellen Sektor werden keine Nahwärmenetze ausgebaut. Im Trendszenario können durch die zusätzliche Versorgung mit Nahwärme bis 2040 rund 700 t CO₂/a eingespart werden.

Anmerkung: Neben dem Zubau wird von einer Reduktion des Verbrauchs innerhalb bestehender Nahwärmenetze ausgegangen, da Sanierungsmaßnahmen den Bedarf deutlich reduzieren. Die Werte im Fazit entsprechen dem Saldo beider Entwicklungen.

Im **Klimaschutzszenario** wird bis 2030 mit einem Zubau von insgesamt fünf Nahwärmenetzen, bis 2040 von insgesamt zehn Nahwärmenetzen mit jeweils 50 angeschlossenen privaten Wohngebäuden gerechnet. Im gewerblichen Bereich werden bis 2040 zwei Nahwärmenetze mit jeweils 25 Anschlüssen errichtet, von denen eines bereits zum Jahr 2030 angenommen wird. Inwiefern kleinere oder größere sowie gemischte Nahwärmnetze aus Haushalten und dem Gewerbe gebaut werden, hängt von den lokalen Gegebenheiten ab. Im industriellen Sektor wird der Anschluss von weiteren Gebäuden an Nahwärmenetze mit einer Wärmeversorgung von rund 12.600 MWh/a angenommen. Damit wird ein Anteil der Nahwärme an der Wärmeversorgung von 15 % bei den privaten Haushalten (2040) und von 30 % beim gewerblichen Sektor (2040) sowie 11 % im industriellen Sektor erreicht. Die komplette Nahwärmeversorgung beruht auf regenerativen Wärmequellen (Biomasse, Wärmepumpen, Solarthermie, industrielle Abwärme etc.). Bis 2030 werden so zusätzliche 9.000 MWh/a durch Nahwärme und bis 2040 rund 19.000 MWh/a über Nahwärme bereitgestellt. Die Emissionseinsparung liegt bei rund 2.400 t CO₂/a bis 2030 und 4.950 t CO₂/a bis 2040.

Anmerkung: Neben dem Zubau wird von einer Reduktion des Verbrauchs innerhalb bestehender Nahwärmenetze ausgegangen, da Sanierungsmaßnahmen den Bedarf deutlich reduzieren. Die Werte im Fazit entsprechen dem Saldo beider Entwicklungen.

1.2.11 Wasserstoff

Zur Nutzung von Wasserstoff gibt es bundesweit verschiedene Pilotprojekte und die Thematik wurde mit der Wasserstoffstrategie auch auf die politische Agenda gesetzt. Der Einsatz wird vorwiegend für den industriellen Sektor vorgesehen, um dort bisherige Gasverbräuche auf eine klimafreundliche Alternative umzustellen. Bezüglich der Nutzung von Wasserstoff über die bestehenden Gasnetze sind die weiteren technologischen und politischen Entwicklungen abzuwarten. Für das Klimaschutzszenario wird für Mühlacker angenommen, dass rund 30 % des Wärmebedarfs über Wasserstoff gedeckt wird.

1.2.12 Fazit zum Wärmesektor

Der Energieverbrauch im Wärmesektor verändert sich nach den jeweiligen Szenarien für die verschiedenen Verbrauchergruppen insgesamt wie folgt.

Wohngebäude

Durch Sanierungsmaßnahmen sowie einer Umstellung auf regenerative Energieträger kann unter den getroffenen Annahmen im Wohngebäudebereich bis **2040** eine **Emissionsreduktion von 50 % im Trendszenario** und **93 % im Klimaschutzszenario** erreicht werden. Für 2030 wird in Trendszenario eine Emissionsreduktion um 39 % und im Klimaschutzszenario um 71 % erwartet. Relevant für die sehr hohe Emissionsreduktionsrate im Klimaschutzszenario sind insbesondere Sanierungsmaßnahmen und eine Umstellung der Energieträger auf einen Mix aus Wärmepumpen, Biomasse und Nahwärme. Auch bei der Nahwärme selbst ist die Nutzung regenerativer Energiequellen (Abwärme, Umweltwärme, Biomasse etc.) entscheidend.

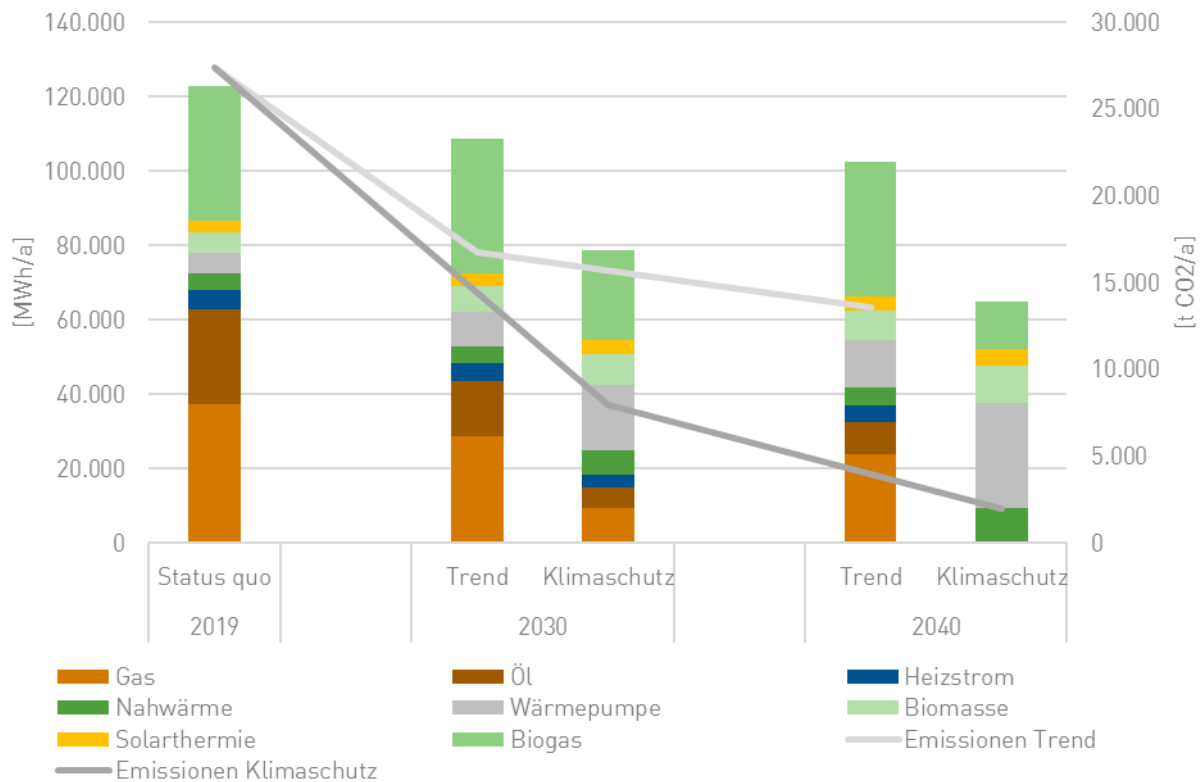


Abbildung 28: Entwicklung der Energieversorgung und Emissionen für Wärme im Wohngebäudesektor nach Szenarien

Gewerbe, Handel & Dienstleistungen

Im gewerblichen Sektor wird bis **2040** eine **Emissionsreduktion von 54 % im Trendszenario** und von **90 % im Klimaschutzszenario** erreicht. Für 2030 wird in Trendszenario eine Emissionsenkung um 29 % und im Klimaschutzszenario um 65 % erwartet. Für die höhere Emissionsreduktion im Klimaschutzszenario relevant, sind insbesondere Effizienz- und Einsparmaßnahmen und eine Umstellung der Energieträger auf Wärmepumpen und Biomasse und Nahwärme. Auch bei der Nahwärme selbst ist die Nutzung regenerativer Energiequellen (Abwärme, Umweltwärme, Biomasse etc.) entscheidend.

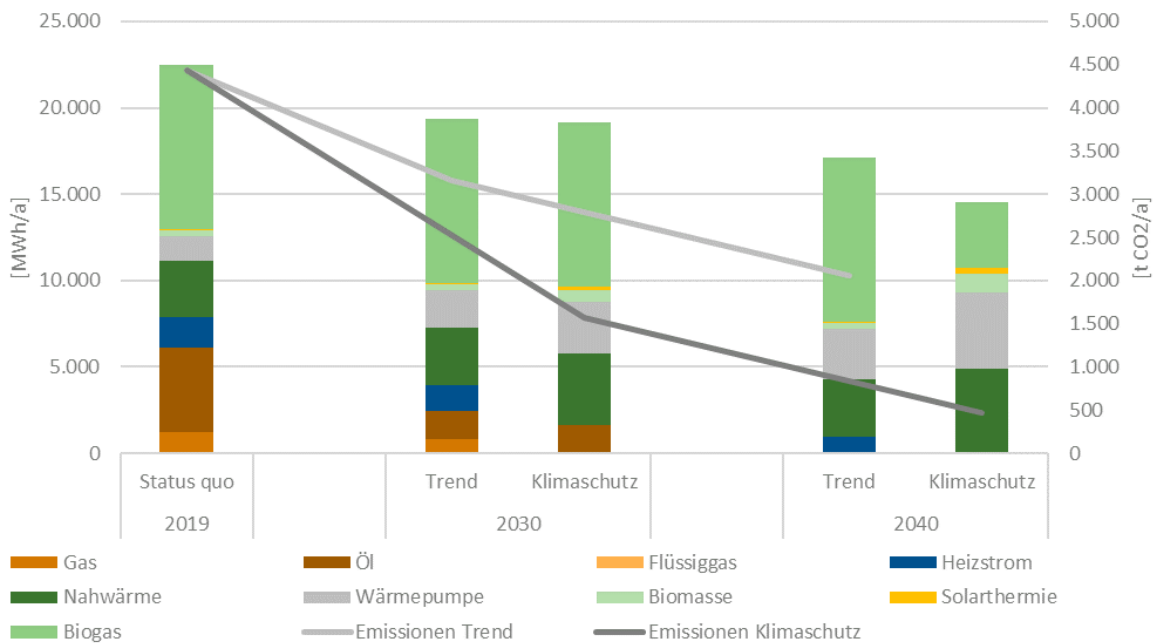


Abbildung 29: Entwicklung der Energieversorgung und Emissionen für Wärme im GHD-Sektor nach Szenarien

Industrie

Im industriellen Sektor wird bis **2040** eine **Emissionsreduktion um 8 % im Trendszenario** und **um 89 % im Klimaschutzszenario** erreicht. Für 2030 wird in Trendszenario eine Emissionsreduktion um 4 % und im Klimaschutzszenario um 26 % erwartet. Relevant sind dafür insbesondere Effizienz- und Einsparmaßnahmen und eine Umstellung der Energieträger. Hierbei kommt sowohl die verstärkte Nutzung von Strom für prozessbedingte Energieverbräuche sowie Wasserstoff zum Tragen. Daneben sind sowohl Wärmepumpe als auch Nahwärmelösungen notwendig.

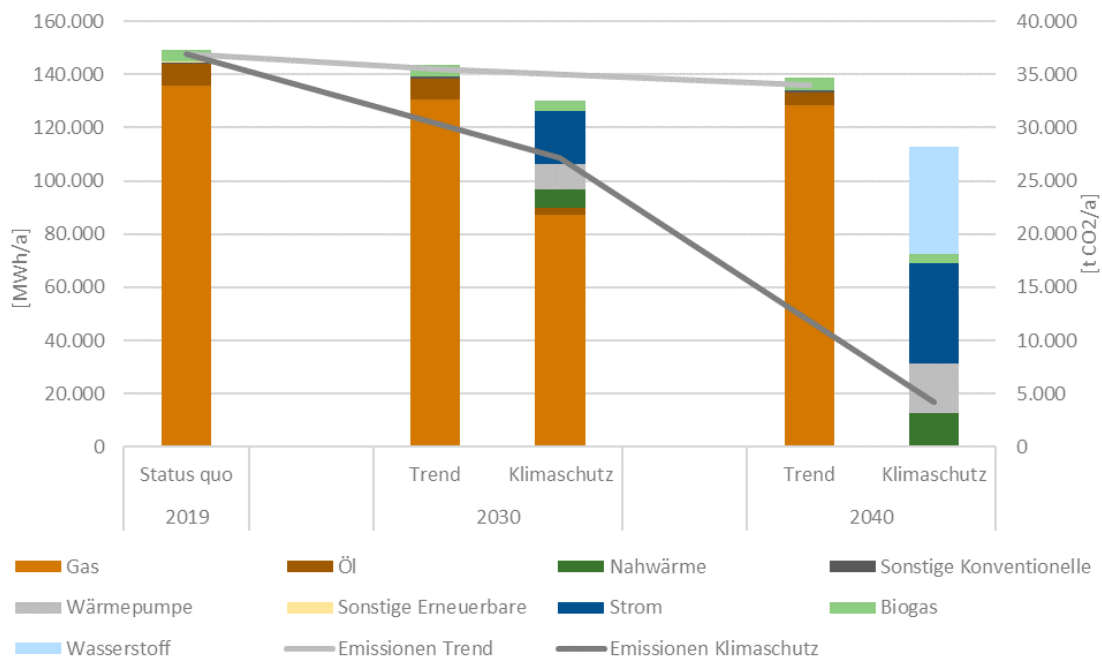


Abbildung 30: Entwicklung der Energieversorgung und Emissionen für Wärme im industriellen Sektor nach Szenarien

Um die dargestellten Veränderungen in Mühlacker zu realisieren, sind massive Umstrukturierungen in den kommenden Jahren erforderlich. Die weitere Sanierung der kommunalen Liegenschaften als Vorbildfunktion liegt innerhalb der direkten kommunalen Einflussmöglichkeiten und sollte zielgerichtet angegangen werden. Im Bereich der privaten Haushalte sind intensive Bewerbungs-, Informations- und Beratungsmaßnahmen notwendig, auch können Bebauungspläne und Empfehlungen beim Neubau wichtige Schritte von Seiten der Stadt sein. Insbesondere wird ein quartiersspezifisches Vorgehen empfohlen. Im gewerblichen und industriellen Bereich wird ebenfalls auf Information gesetzt, einzelne Handlungsmöglichkeiten liegen in kommunalen Förderungen bzgl. energetischen Standards in Gewerbegebieten. Darüber hinaus sind bundesweite Entwicklungen bzgl. Fördermittel und weiteren Rahmenbedingungen relevante Einflussfaktoren. Die Kommunale Wärmeplanung (Zieljahr 2040) wird noch genauere Ergebnisse hinsichtlich des Wärmesektors erarbeiten und auch direkte Maßnahmen entwickeln.

1.3 Verkehrssektor

Viele Verbraucherinnen und Verbraucher legen beim Kauf neuer Fahrzeuge Wert auf möglichst verbrauchsarme Modelle, nicht zuletzt aufgrund der hohen Kosten für die Kraftstoffe. Diesen Trend hat seit einigen Jahren auch die Automobilbranche erkannt. Dies hat zu Folge, dass viele Modelle auch als „Eco“-Variante angeboten werden – diese sind meist durch kleinere Motoren, ein geringeres Gewicht und demnach auch einen geringeren Kraftstoffverbrauch gekennzeichnet. Dem entgegenwirkend ist allerdings auch ein Rebound-Effekt zu beobachten: Schwere Pkw mit hoher Motorleistung und hohem Verbrauch (wie etwa SUVs) finden in den letzten Jahren zunehmend Verbreitung.

Darüber hinaus befindet sich auch die Fahrzeugtechnologie in einem Wandel – insbesondere bei Elektrofahrzeugen ist die Nachfrage seit Mitte 2020 deutlich angestiegen. Dazu gehören rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge, Plug-In-Hybride sowie Brennstoffzellenfahrzeuge. Der Hauptgrund für die erhöhte Nachfrage ist wohl vor allem die Einführung der Innovationsprämie am 08. Juli 2020. Damit wurde die Förderung beim Kauf von Elektrofahrzeugen von der Bundesregierung verdoppelt. Zusätzlich werden Forschungsvorhaben im Bereich der Elektromobilität sowie der Ausbau der Ladeinfrastruktur im öffentlichen und privaten Bereich gefördert. Um die Klimaziele des Bundes für 2030 zu erreichen, wird davon ausgegangen, dass der derzeitige Wert von einer Millionen Elektrofahrzeugen in Deutschland bis 2030 auf 14 Millionen erhöht werden muss.¹²⁵ In Zukunft wird der Elektromotor deutlich an Bedeutung gewinnen. Die regulatorischen Institutionen der EU haben die Zulassung der neuen Verbrennungsmotoren ab 2035 bereits verboten. Sollte dieser Wandel stattfinden, ist mit einer erheblichen Emissionseinsparung im Verkehrssektor zu rechnen.

In den einzelnen Szenarien werden Annahmen für die zukünftige Entwicklung des motorisierten Individualverkehrs (MIV), des gewerblichen Verkehrs und des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) getroffen. Diese werden aus der Studie „Renewability III – Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors“, welche durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit in Auftrag gegeben wurde, abgeleitet.¹²⁶ Ergänzt werden die Annahmen insbesondere im „Klimaschutzszenario“ durch Ergebnisse der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“.¹²⁷ Für die Analyse der Einsparpotenziale werden die Änderungen der Fahrleistungen von Pkw, ÖPNV, Lkw und LNF und die Anteile von E-Antrieben betrachtet. Es ergeben sich folgende Prognosen bis 2040.

¹²⁵ (BMWi, 2021)

¹²⁶ (Öko-Institut e.V., 2016)

¹²⁷ (Prognos, 2021)

Tabelle 15: Prognosen für die Fahrleistung im Verkehrssektor 2019-2030/2040

	2030		2040	
	Trend	Klimaschutz	Trend	Klimaschutz
MIV: Änderung der Fahrleistung	+ 8 %	- 5 %	+ 8 %	- 20 %
ÖPNV: Änderung der Fahrleistung	+ 3 %	+ 18 %	- 2 %	+ 23 %
LKW: Änderung der Fahrleistung	+ 22 %	+ 8 %	+ 47 %	+ 10 %
LNF: Änderung der Fahrleistung	+ 22 %	+ 8 %	+ 47 %	+ 10 %

Tabelle 16: Prognose für die Fahrzeugantriebe PKW im Verkehrssektor 2030/2040¹²⁸

	2030			2040	
	Status quo	Trend	Klimaschutz	Trend	Klimaschutz
Benzin	51 %	44 %	17 %	36 %	2 %
Diesel	48 %	45 %	30 %	38 %	1 %
Strom	<1 %	11 %	52 %	21 %	97 %

Tabelle 17: Prognosen für die Fahrzeugantriebe LKW im Verkehrssektor 2030/2040¹²⁹

	2030			2040	
	Status quo	Trend	Klimaschutz	Trend	Klima-schutz
Diesel	99 %	91 %	32 %	74 %	2 %
Strom	0 %	7 %	47 %	19 %	68 %
Wasserstoff	0 %	1 %	16 %	6 %	30 %

Tabelle 18: Prognosen für die Fahrzeugantriebe LNF im Verkehrssektor 2030/2040¹³⁰

	2030			2040	
	Status quo	Trend	Klimaschutz	Trend	Klima-schutz
Benzin	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %
Diesel	95 %	87 %	49 %	77 %	6 %
Strom	0 %	8 %	46 %	19 %	80 %
Wasserstoff	0 %	0 %	0 %	0 %	9 %

¹²⁸ Der Anteil biogener Treibstoffe liegt bei rund 5 % (3 % Biodiesel und 2 % Biobenzin), LPG bei ca. 1 %. Diese Anteile werden konstant angenommen.

¹²⁹ Der Anteil von Biodiesel liegt bei rund 5 %, Dieser Anteil wird konstant angenommen.

¹³⁰ Der Anteil von Biodiesel liegt bei rund 5 %, Dieser Anteil wird konstant angenommen.

Durch die getroffenen Annahmen verändern sich die Emissionen, wie in der folgenden Grafik dargestellt. Insgesamt ergibt sich im Trendszenario bis 2030 eine Zunahme der Emissionen (ca. 1.822 t CO₂/a, d.h. + 4 %), bis 2040 sinken die Emissionen auf ein ähnliches Niveau wie im Basisjahr 2019. Im Klimaschutzszenario würde unter den getroffenen Annahmen eine Reduktion bis 2030 um 40 % (18.000 t CO₂/a) und bis 2040 eine Senkung um 87 % (39.400 t CO₂/a) erreicht werden.

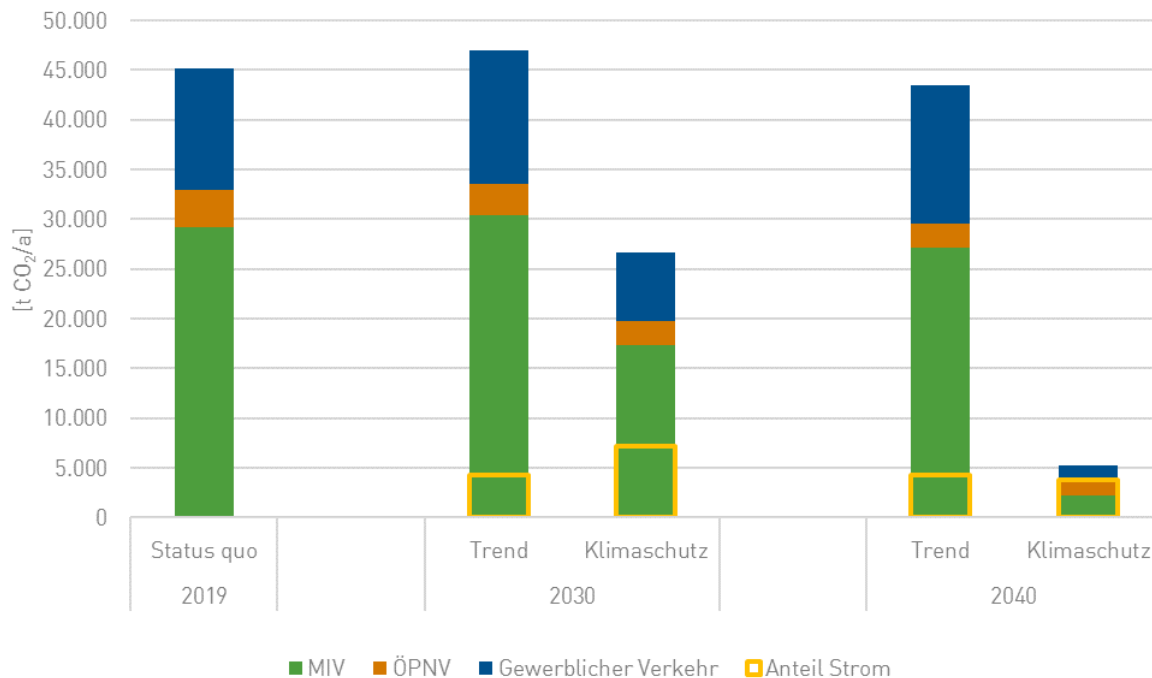


Abbildung 31: Entwicklung der Emissionen im Verkehrssektor (Status quo und Zukunftsszenarien in 2030/2040)

Die Analyse des gesamten Verkehrssektors verdeutlicht, dass ein enormer Handlungsbedarf, jedoch auch großes Emissionsreduktionspotenzial besteht. Über die Umstellung auf den E-Antrieb und Verkehrsvermeidung kann jedoch ein relevantes Potenzial ausgeschöpft werden.

Um klimafreundliche Veränderungen zu realisieren sind auch bundesweite Entwicklungen im Bereich der Förderung, der rechtlichen Rahmenbedingungen und weiterer Anreize sowie Verbote (fossil phase out) notwendig. Insbesondere der Verkehrssektor ist ein Bereich, der zu einem Großteil nur überregional umstrukturiert werden kann, da ein entsprechendes Versorgungsnetz (Tankstellen, Streckennetz etc.) vorhanden sein muss.

Nicht zu vergessen ist jedoch auch der Einfluss der Verhaltensänderungen der Bevölkerung. In der Summe über alle Einwohnerinnen und Einwohner tragen auch kurze Wege, wie die tägliche Fahrt zur Arbeit oder die regelmäßig zurückgelegte Strecke zum Supermarkt, einen großen Anteil am Verkehrsaufkommen der Stadt bei. Einige davon können mittels des Umweltverbunds, d.h. mit dem ÖPNV, per Fahrrad oder zu Fuß zurückgelegt werden, um Emissionen zu vermeiden. Hier können Verbesserungen der Rad- und Fußwege sowie des ÖPNV und gezielte Bewerbung einen positiven Effekt erzielen.

1.4 Zusammenfassung der Potenziale

In diesem Abschnitt wird untersucht, wie sich die Potenziale der einzelnen Sektoren Strom, Wärme und Verkehr auf die Treibhausgasbilanz in der Stadt Mühlacker auswirken. Abbildung 32 stellt die Treibhausgasbilanz des Status quo und der einzelnen Szenarien dar. **Bis 2030** kann im **Trendszenario** eine **Emissionsreduktion von 25 %** und im **Klimaschutzszenario von 51 %** erreicht werden. **Bis 2040** kann im **Trendszenario** ein Anteil der Emissionen von **43 %** und im **Klimaschutzszenario von 92 %** eingespart werden. Es ist zu beachten, dass der Stromverbrauch für E-Mobilität dem Sektor Verkehr zugeordnet ist.

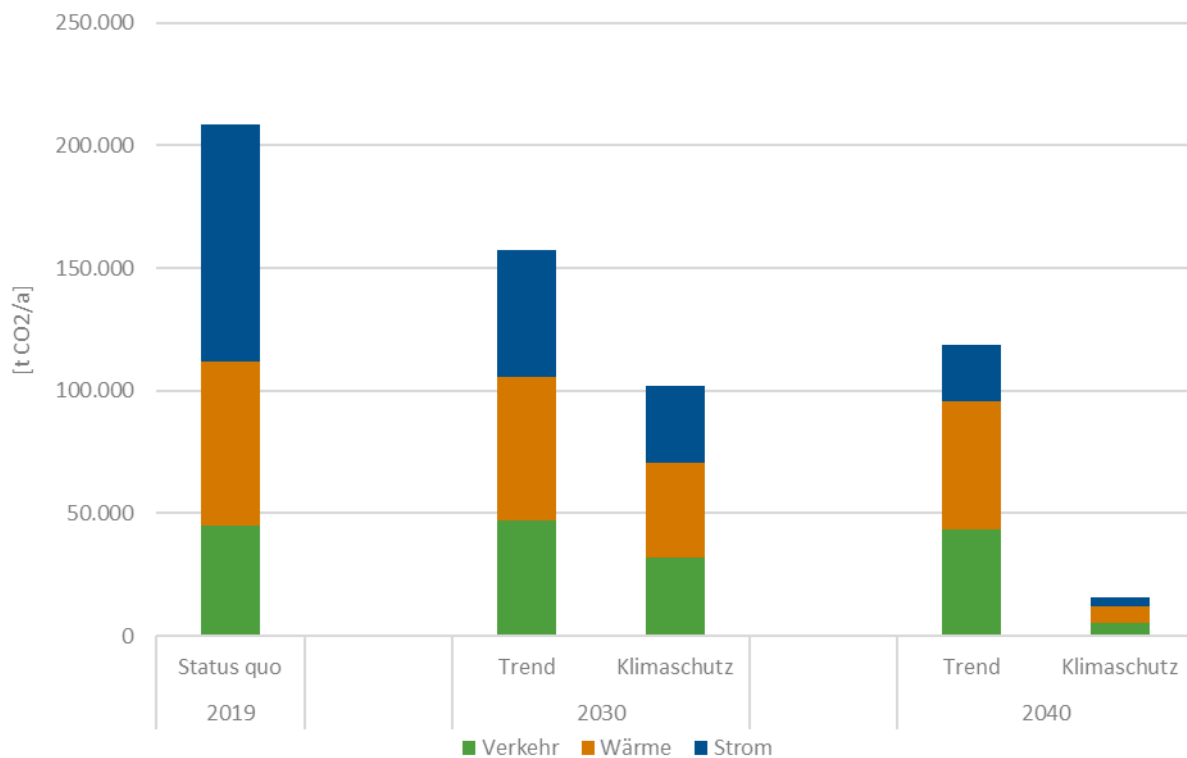


Abbildung 32: Gesamtemissionen nach Sektoren und Szenarien

Die Abbildung zeigt, dass in meisten Sektoren (Verkehr, Wärme, Strom) große Einsparpotenziale bestehen. Um eine Verbesserung des Bundesstrommixes zu erreichen, sind jedoch lokale Aktivitäten zum Ausbau der regenerativen Stromerzeugung essenziell und in den Szenarien vorgesehen. Im Wärmesektor sind deutliche Einsparungen insbesondere durch Maßnahmen zur Steigerung der Sanierungsrate als auch der verstärkten Nutzung von Umweltwärme, Biomasse und Nahwärme sowie die Umstellung auf Strom und Wasserstoff zur Prozesswärmeherstellung im industriellen Sektor ausschlaggebend. Im Verkehrssektor sind die wichtigsten Stellschrauben die lokale Verkehrsvermeidung, der Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs sowie der Umstieg auf alternative Kraftstoffe, bei dem bundesweite Entwicklungen einen deutlichen Einfluss haben.

Abbildung 33 zeigt außerdem die Verteilung der Emissionen nach Verbrauchergruppen und Szenarien.

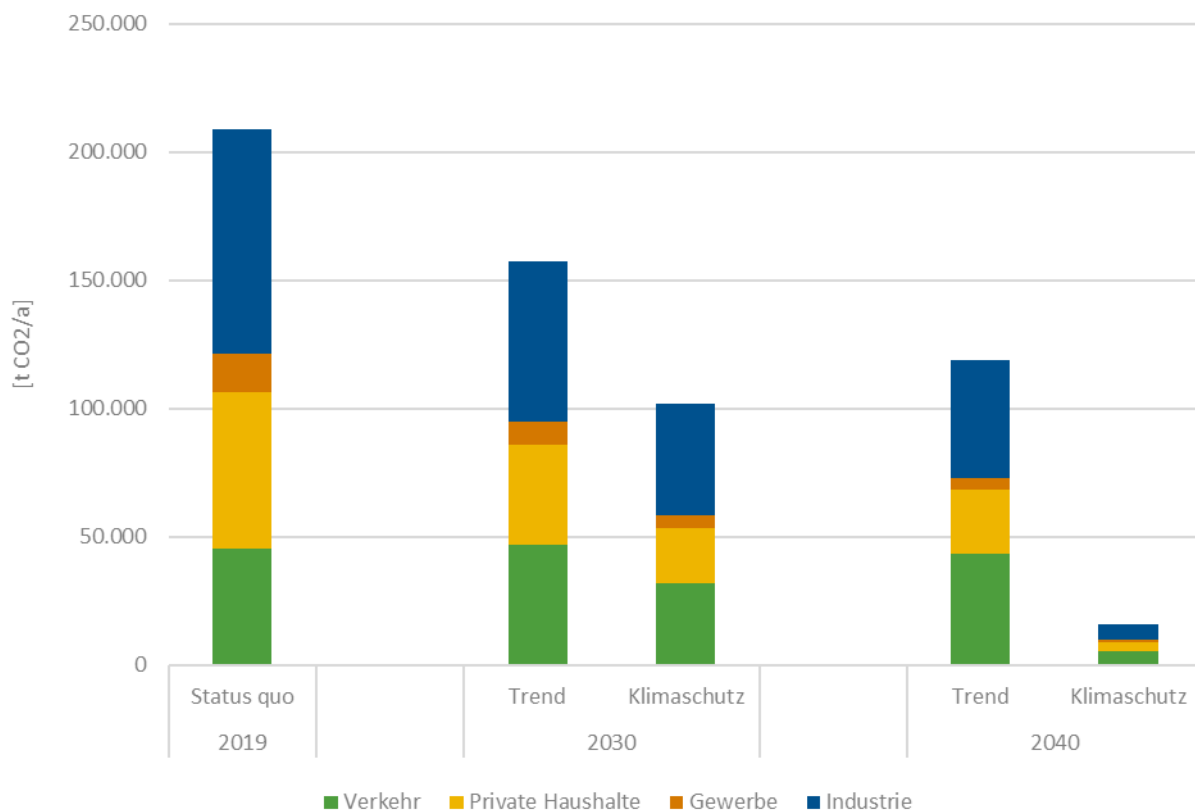


Abbildung 33: Gesamtemissionen nach Verbrauchergruppen und Szenarien

Die dargestellten Szenarien zeigen, dass Treibhausgasneutralität überaus ambitionierte Maßnahmen und das Engagement aller Akteure notwendig ist. Wird der Klimaschutz aktiv angegangen, sind deutliche Emissionsminderungen möglich. Es ist zu erwähnen, dass die getroffenen Annahmen auf den derzeit bestehenden Rahmenbedingungen beruhen. Gesetzliche Regelungen und Pflichten sowie technologische Verbesserungen und die Entwicklung neuer technischer Möglichkeiten können wichtige Parameter zur Zielerreichung grundlegend verbessern.

1.5 Reduktionspfad hin zur Klimaneutralität

Um den zeitlichen Rahmen für das beschlossene Ziel der Klimaneutralität für die Stadt Mühlacker bis 2040 zu betrachten, wird im Folgenden ein möglicher Emissionsreduktionspfad dargestellt. Er basiert auf dem erstellten Klimaneutralitätsszenario. Abbildung 34 stellt die angenommene Reduktion mit Zwischenzieljahr 2030 bis zum Zieljahr 2040 nach Sektoren aufgeschlüsselt dar.

Um das Ziel der Emissionsreduktion bis 2030 von 51 % zu erreichen, müsste die Stadt jährlich ca. 9.900 t CO₂ reduzieren. Wie in der Grafik ersichtlich wird, handelt es sich um keinen linearen Reduktionspfad. Hintergrund sind die Berücksichtigung mehrerer Faktoren: Für den Stromsektor wird angenommen, dass der Bundesstrommix, gemäß der Ziele aus dem EEG2023, bis 2030 zu mindestens 80 % auf erneuerbaren Energieträgern basiert. Entsprechend stark ist die Emissionsreduktion im Stromsektor bis 2030, danach flacht sie sich etwas ab. Im Verkehrssektor hingegen führen die auf bundesweiten Studien beruhenden Annahmen dazu, dass die Emissionen in den kommenden Jahren moderat sinken und erst im Lauf der Zeit eine stärkere Reduktion zu erwarten ist. Gründe hierfür kann der zeitintensive Aufbau einer passenden Infrastruktur für E-Mobilität, Wasserstoff und die verstärkte Nutzung des ÖPNVs sein. Im Wärmesektor wird von einer fast linearen Reduktion ausgegangen, wobei Änderungen in gesetzlichen Rahmenbedingungen hier einen großen Einfluss haben. Für die Zielerreichung einer Emissionsreduktion um 92 % bis 2040 ist eine jährliche Reduktion um 8.700 t CO₂ zwischen 2030 und 2040 nötig. Das bedeutet, dass sich die jährliche Emissionsmenge von 2030 auf 2031 um 8.700 t CO₂ reduzieren muss, von 2030 auf 2032 wären es bereits 17.300 t CO₂. Für die einzelnen Sektoren lassen sich die Reduktionsziele wie folgt darstellen:

Tabelle 19: Übersicht der jährlichen Emissionsreduktionen angesichts des angestrebten Ziels Klimaneutralität 2040 je Sektor

Sektor	Reduktion pro Jahr bis 2030	Reduktion pro Jahr zwischen 2030 bis 2040
Stromsektor	6.092	2.771
Wärmesektor	2.579	3.217
Verkehrssektor	1.191	2.682
Gesamt	9.863	8.670

Je Verbrauchergruppe ergeben sich folgende Reduktionsziele:

Tabelle 20: Übersicht der jährlichen Emissionsreduktionen angesichts des angestrebten Ziels Klimaneutralität 2040 je Verbrauchergruppe

Verbrauchergruppe	Reduktion pro Jahr bis 2030	Reduktion pro Jahr zwischen 2030 bis 2040
Private Haushalte	3.624	1.775
Gewerbe	918	411
Industrie	3.994	3.718
Verkehrssektor	1.191	2.682
Gesamt	9.727	8.587

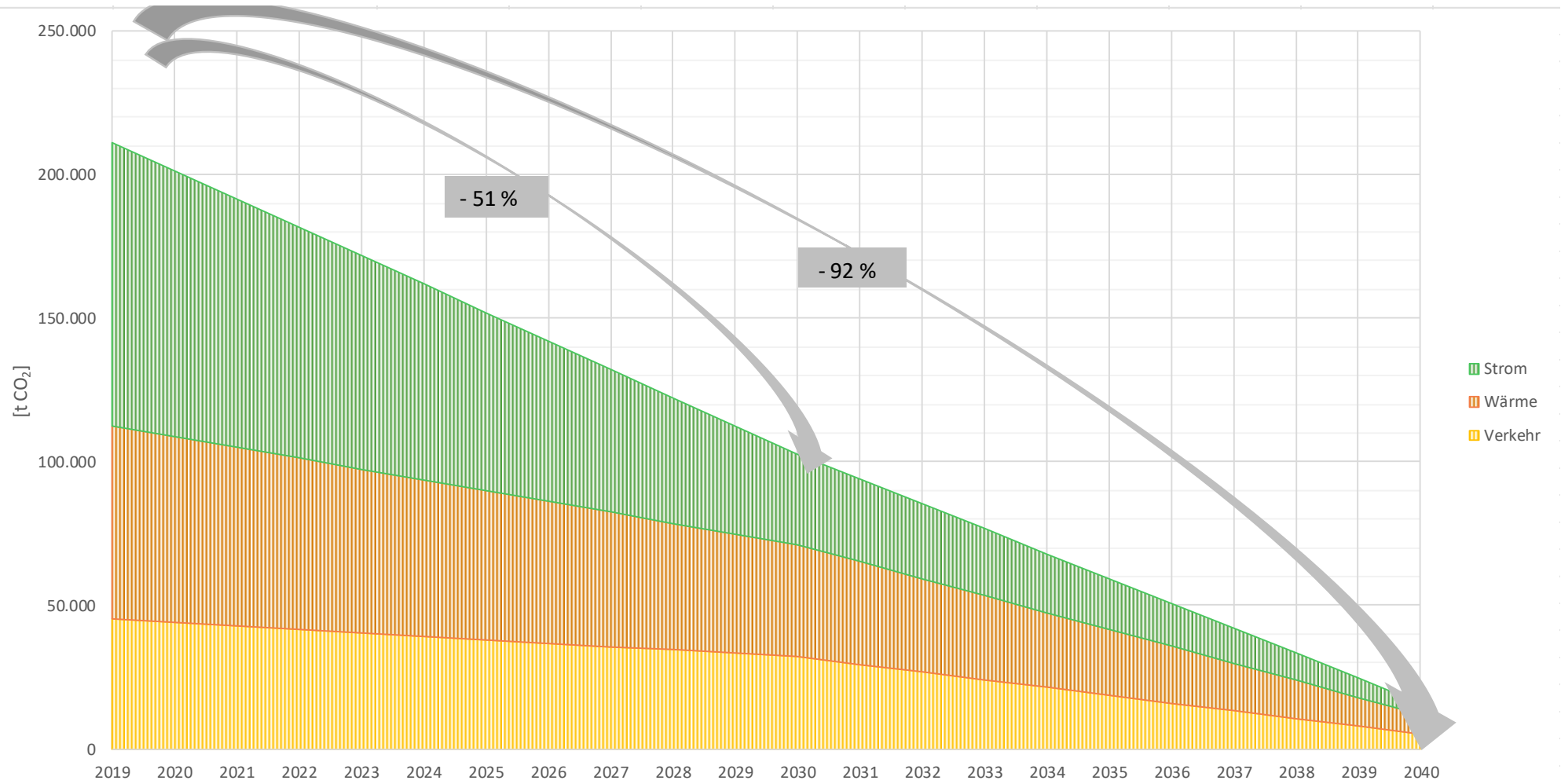


Abbildung 34: Linearer Emissionsreduktionspfad bis 2040 für die Stadt Mühlacker

Potenzialanalyse

Der Reduktionspfad dient als Orientierungshilfe für das zukünftige Controlling der Klimaschutzmaßnahmen. Andere Reduktionspfade sind möglich. Je stärker die Reduktionen zu Beginn sind, desto weniger muss in den Folgejahren an zusätzlichen Maßnahmen erfolgen. Gleichzeitig reduziert sich die Gesamtsumme der Emissionen bis 2040 deutlich. Hier ist auf das theoretische „Restbudget“ an Emissionen zu verweisen.

Der Ansatz des „**Restbudgets**“ an Emissionen ist ein anschauliches Bild für den dringenden Handlungsbedarf im Bereich des Klimaschutzes. Das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) hat Zahlen zum weltweiten Restbudget an Emissionen zur Erreichung der Klimaziele veröffentlicht. Danach bleiben global ab 2018 noch 800 Milliarden Tonnen CO₂ (für einen Temperaturanstieg von maximal 1,75°C und einer Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung von 67 %), die maximal emittiert werden dürfen, um das Klimaschutzziel nicht zu verfehlen. Für Deutschland entspricht dies laut Sachverständigenrat für Umweltfragen, gemessen am Anteil der Weltbevölkerung, einer Restmenge von 6,1 Mrd. Tonnen ab 2022.¹³¹ Für Mühlacker ergibt sich daraus – ermittelt über pro Kopf-Werte und die Zahl von 26.137 Einwohnerinnen und Einwohnern (Stand 2021) – ein Restbudget von rund 1.968.300 t CO₂. Das entspricht einem Durchschnittswert pro Jahr von rund 103.600 Tonnen bis 2040. Im Vergleich dazu liegen die derzeitigen Emissionen bei rund 211.000 t CO₂ (Stand 2019). Wie die Abbildung darstellt, ist das Restbudget für Mühlacker bei Fortführung des aktuellen Emissionsniveaus bereits Anfang 2032 aufgebraucht.

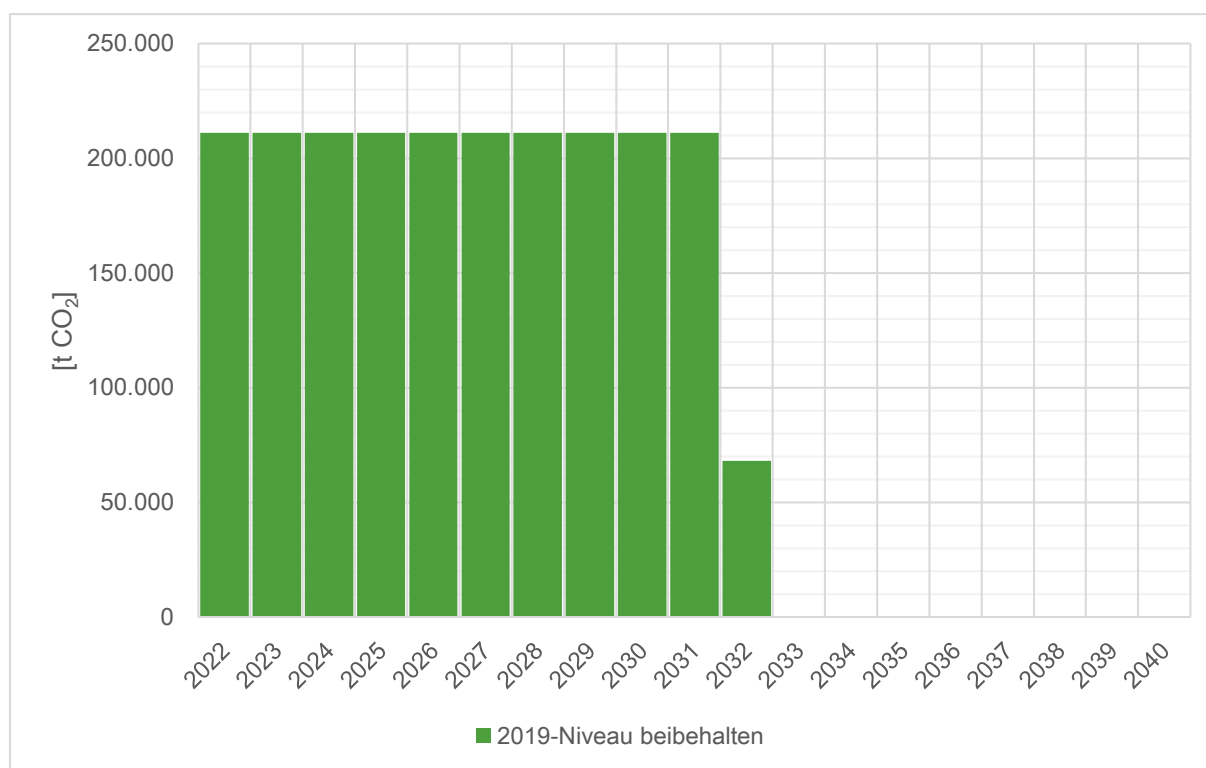


Abbildung 35: Darstellung des CO₂-Restbudgets zur Erreichung des 1,75° Ziels mit einer Wahrscheinlichkeit von 67 % bei gleichbleibenden jährlichen Emissionen (Niveau 2019)

¹³¹ (SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2022))

1.6 Leitlinien der Potenzialanalyse

Aus der vorliegenden Potenzialanalyse wurden konkrete Leitlinien abgeleitet, die für die Stadt Mühlacker als richtungsweisend für das zukünftige Handeln für den Klimaschutz gesehen werden. Sie bilden die Basis des im Anschluss folgenden praxisorientierten Maßnahmenkatalogs.

- 1. Leitlinie: Die Anforderungen für die Erreichung von Klimaneutralität bis 2040 gehen über leichte Anpassungen des lokalen Handelns deutlich hinaus. Klimaneutralität erfordert (neben verbesserten Rahmenbedingungen auf überörtlicher Ebene) eine große organisatorische Leistung vor Ort.**
- 2. Leitlinie: Für den Wärmesektor erscheinen ein massiver Ausbau von Wärmepumpen, der Ausbau und 100%ig ökologische Umbau der Fernwärme (Solarthermie, Biomasse oder Kraft-Wärme-Kopplung) sowie die energetische Sanierung des Gebäudebestands als zentrale technische Hebel. Die Nutzung von Biomasse, Solarthermie und Kraft-Wärme-Kopplung im privaten Umfeld spielt demgegenüber eine untergeordnete Rolle.**
- 3. Leitlinie: Im Verkehrssektor dienen die verstärkte Nutzung von Elektrofahrzeugen (Batterie, für Lkws auch Oberleitungen und synthetische Kraftstoffe), eine Verringerung der Fahrleistung des motorisierten Individualverkehrs sowie ein Ausbau des ÖPNV der Erreichung der Klimaneutralität.**
- 4. Leitlinie: Für den Stromsektor ergibt sich durch die Elektrifizierung erheblicher Teile des Wärme- und Verkehrssektors ein deutlich erhöhter Bedarf. Um auf der Gemarkung von Mühlacker zumindest ca. 85 % des künftigen Strombedarfs selbst zu produzieren, bedarf es neben dem geplanten Bau von fünf Windkraftanlagen eines starken Ausbaus von Dach-Photovoltaik und Freiflächen-Photovoltaik.**
- 5. Leitlinie: Die Stadt Mühlacker kann zur Erreichung des Klimaneutralitäts-Ziels sowohl in Bezug auf die eigenen Liegenschaften und den Fuhrpark aktiv werden als auch mit Maßnahmen zur Planung, Information und Beratung sowie als Energieanbieterin (Stadtwerke).**

1.7 Indikatoren

CO ₂ -Äq pro Einwohner bezogen auf die Gesamtemissionen der Stadt			
Status Quo	2019	8,08	t CO ₂ -Äq/EW
Trendszenario	2025	7,08	t CO ₂ -Äq/EW
	2030	6,07	t CO ₂ -Äq/EW
	2035	5,33	t CO ₂ -Äq/EW
	2040	4,58	t CO ₂ -Äq/EW
Klimaschutzszenario	2025	6,00	t CO ₂ -Äq/EW
	2030	3,93	t CO ₂ -Äq/EW
	2035	2,27	t CO ₂ -Äq/EW
	2040	0,61	t CO ₂ -Äq/EW

CO ₂ -Äq pro Einwohner bezogen auf Emissionen aus dem Sektor private Haushalte			
Status Quo	2019	2,34	t CO ₂ -Äq/EW
Trendszenario	2025	1,92	t CO ₂ -Äq/EW
	2030	1,49	t CO ₂ -Äq/EW
	2035	1,22	t CO ₂ -Äq/EW
	2040	0,95	t CO ₂ -Äq/EW
Klimaschutzszenario	2025	1,58	t CO ₂ -Äq/EW
	2030	0,82	t CO ₂ -Äq/EW
	2035	0,48	t CO ₂ -Äq/EW
	2040	0,14	t CO ₂ -Äq/EW

Energieverbrauch im Sektor private Haushalte pro Einwohner			
Status Quo	2019	11,13	MWh/ EW
Trendszenario	2025	10,90	MWh/ EW
	2030	10,67	MWh/ EW
	2035	10,48	MWh/ EW
	2040	10,30	MWh/ EW
Klimaschutzszenario	2025	9,97	MWh/ EW
	2030	8,81	MWh/ EW
	2035	8,13	MWh/ EW
	2040	7,46	MWh/ EW

Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch				
Status Quo	2019	12,34	%	
Status Quo (ohne elektrische Wärmebereitstellung, Elektromobilität und synthetische Kraftstoffe):	2019	12,89	%	
Trendszenario	2025	30,68	%	
	2030	49,01	%	
	2035	53,07	%	
	2040	57,14	%	
Trendszenario (ohne elektrische Wärmebereitstellung, Elektromobilität und synthetische Kraftstoffe):	2025	33,54	%	
	2030	54,18	%	
	2035	61,67	%	
	2040	69,16	%	
Klimaschutzszenario	2025	48,46	%	
	2030	84,59	%	
	2035	79,65	%	
	2040	74,71	%	
Klimaschutzszenario (ohne elektrische Wärmebereitstellung, Elektromobilität und synthetische Kraftstoffe):	2025	64,68	%	
	2030	116,48	%	
	2035	136,24	%	
	2040	156,01	%	

Anteil erneuerbarer Energien am Wärmeverbrauch				
Status Quo	2019	22,40	%	
Trendszenario	2025	24,41	%	
	2030	26,42	%	
	2035	28,18	%	
	2040	29,94	%	
Klimaschutzszenario	2025	37,19	%	
	2030	51,97	%	
	2035	76,12	%	

	2040	100,26	%
--	------	--------	---

Anteil Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) am Wärmeverbrauch			
Status Quo	2019	2,75	%
Trendszenario	2025	2,90	%
	2030	3,04	%
	2035	3,21	%
	2040	3,39	%
Klimaschutzszenario	2025	5,18	%
	2030	7,60	%
	2035	10,74	%
	2040	13,89	%

Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD): Strom- und Wärmeverbrauch pro sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten			
Status Quo	2019	11,18	MWh/Besch.
Trendszenario	2025	10,63	MWh/Besch.
	2030	10,07	MWh/Besch.
	2035	9,62	MWh/Besch.
	2040	9,17	MWh/Besch.
Klimaschutzszenario	2025	10,21	MWh/Besch.
	2030	9,25	MWh/Besch.
	2035	8,47	MWh/Besch.
	2040	7,69	MWh/Besch.

Energieverbrauch durch motorisierten Individualverkehr (MIV) pro Einwohner			
Status Quo	2019	3,55	MWh/ EW
Trendszenario	2025	3,69	MWh/ EW
	2030	3,82	MWh/ EW
	2035	3,83	MWh/ EW
	2040	3,84	MWh/ EW
Klimaschutzszenario	2025	3,46	MWh/ EW
	2030	3,36	MWh/ EW
	2035	3,09	MWh/ EW
	2040	2,83	MWh/ EW

Literaturverzeichnis

Agentur für Erneuerbare Energien. (05. 04 2022). *Erneuerbare Wärme in den Bundesländern*. Von https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/4621.AEE_RenewsKompakt_Erneuerbare_Waerme_apr22.pdf abgerufen

Arbeitsgemeinschaft der Regionalverbände Baden-Württemberg. (01. 08 2022). *Regionale Planhinweiskarte - Windenergie*. Von https://regionen-bw.de/karten/Wind_Planhinweiskarte_BW_A0.png abgerufen

Ariadne-Projekt. (11. 10 2021). *Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 – Szenarien und Pfade im Modellvergleich*. Von <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitat-2045-szenarienreport/> abgerufen

Barmalgas. (25. 02 2021). *CO2 Steuer in Deutschland ab 2021*. Von <https://barmalgas.de/blog/co2-steuer-in-deutschland-ab-2021/> abgerufen

Bayerisches Staatsministerium für Digitales (2022). Studie: Klärschlamm-trocknungsanlage. Von <https://www.bestellen.bayern.de/> abgerufen

BBSR. (Dezember 2016). *Datenbasis zum Gebäudestand*. Abgerufen am 04. April 2019 von Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2016/ak-09-2016-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2

BMEL. (2016). *Waldstrategie 2020, Nachhaltige Waldbewirtschaftung - eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

BMWi. (2014). *Sanierungsbedarf im Gebäudebestand*. Abgerufen am 08. April 2019 von Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/sanierungsbedarf-im-gebäudebestand.pdf?__blob=publicationFile&v=3

BMWi. (2019). *Energieeffizienz in Zahlen*. Abgerufen am 12. August 2021 von Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=72

BMWi. (2021). *Erstmals rollen eine Millionen Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen*. Abgerufen am 16. 08 2021 von Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/08/20210802-erstmals-rollen-eine-million-elektrofahrzeuge-auf-deutschen-strassen.html>

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (05 2022). *Daten und Fakten. Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft mit Fischerei und Wein- und Gartenbau*. Von https://www.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents_E-510136410/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung_3/Agrarstruktur/Statistik/C_Strukturdaten/BMEL_daten-fakten-2022.pdf abgerufen

- Bundesregierung. (2022). Von Portal Windenergie: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/wind-an-land-gesetz-2052764> abgerufen
- enbw. (2021). Aus alt mach neu: Was bringt Repowering?
- Energie-Fachberater. (01. 07 2021). *Austauschpflicht: Diese Heizungen müssen 2021 raus*. Von <https://www.energie-fachberater.de/news/austauschpflicht-diese-heizungen-muessen-2021-raus.php> abgerufen
- Enovos. (30. 03 2022). *Photovoltaik: Enovos plant 214 MW Solarpark in der Südeifel*. Von Solarserver: <https://www.solarserver.de/2022/03/30/photovoltaik-enovos-plant-214-mw-solarpark-in-der-suedeifel/> abgerufen
- Episcope Tabula. (2022). *DE Germany - Country Page. Residential Building Typology*. Von <https://episcope.eu/building-typology/country/de/> abgerufen
- EPS BHKW GmbH (2020). *Klärschlamm Entsorgung - mit BHKW gegen Entsorgungsengpass* Von <https://eps-bhkw.de/klaerschlammentsorgung/> abgerufen
- Frey, W. (2012). *Möglichkeiten der Faulgasverwertung auf Kläranlagen*. Von http://www.aabfrey.com/wp-content/uploads/2011/09/Text_KAN_2011.pdf abgerufen
- Fritsche, U., & Greß, H.-W. (2019). *Kurzstudie: Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2018 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050*. Abgerufen am 16. August 2021 von http://iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2019_KEV_THG_Strom-2018_2020-2050.pdf
- GEG. (2020). *Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG)*.
- HBEFA. (2021). *Handbook Emission Factors for Road Transport*. Abgerufen am 08. August 2021 von <https://www.hbefa.net/e/index.html>
- Institut Wohnen und Umwelt . (01. 11 2022). „TABULA“ – *Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern*. Von <https://www.iwu.de/forschung/gebaeudebestand/tabula/> abgerufen
- Landesamt für Umwelt (Bayern) (01. 06 2013). *Energie aus Abwasser. Ein Leitfaden für Kommunen*. Von https://www.dwa-bw.de/files/_media/content/PDFs/LV_Baden-Wuerttemberg/Homepage/BW-Dokumente/Homepage%202013/Service/Fachdatenbank/Leitfaden%20Energie%20aus%20Abwasser.pdf#%5B%7B%22num%22%3A106%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22FitR%22%7D%2C-235%2C-12%2C831%2C853%5D abgerufen
- Landesregierung Baden-Württemberg. (12. 09 2022). *Neue Planhinweiskarten für Windkraft und Freiflächen-Photovoltaik*. Von <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/neue-planhinweiskarten-fuer-windkraft-und-freiflaechen-photovoltaik/> abgerufen
- Landesregierung Baden-Württemberg. (31. 03 2022). *Photovoltaik-Pflicht für alle neuen Wohngebäude ab 1. Mai*. Von <https://www.baden->

- wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/photovoltaik-pflicht-fuer-alle-neuen-wohngebaeude-ab-1-mai-1/ abgerufen
- Landesregierung Baden-Württemberg. (31. 10 2022). *Planungshilfe für naturverträglichen Ausbau der Windkraft*. Von <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/planungshilfe-fuer-naturvertraeglichen-ausbau-der-windkraft/> abgerufen
- Landratsamt Zollernalbkreis (31. 10 2022). *Umwelt und Abfallwirtschaft. Wasser- und Bodenschutz: Abwasser*. Von <https://www.zollernalbkreis.de/landratsamt/aemter++und+organisation/abwasser> abgerufen
- Mein Eigenheim. (01. 09 2022). *Austauschpflicht für alte Öl- und Gasheizungen – im Überblick*. Von <https://www.mein-eigenheim.de/heizen/austauschpflicht-fuer-oelheizungen.html> abgerufen
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg. (01. 07 2022). *Abfallbilanz 2021. Ressourcen aus unserer kommunalen Kreislaufwirtschaft*. Von https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/Abfallbilanz-2021-barrierefrei.pdf abgerufen
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT Baden-Württemberg. (01. 09 2019). *Freiflächensolaranlagen. Handlungsleitfaden*. Von https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Handlungsleitfaden_Freiflaechensolaranlagen.pdf abgerufen
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT Baden-Württemberg. (01. 10 2015). *Leitfaden Energieeffizienz auf Kläranlagen*. Von https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/151010_Leitfaden_Energieeffizienz_auf_Klaeranlagen.pdf abgerufen
- Netztransparenz*. (2021). Abgerufen am 12. August 2021 von EEG-Anlagenstammdaten: <https://www.netztransparenz.de/EEG/Anlagenstammdaten>
- Neumann. (2022). *Mehr Biogas ohne Flächenkonkurrenz: Neue Vorschläge auf dem Tisch*. Agrar-online. Abgerufen am 03. November 2022 von <https://www.topagrar.com/energie/news/mehr-biogas-ohne-flaechenkonkurrenz-neue-vorschlaege-auf-dem-tisch-13204930.html>
- Öko-Institut e.V. (2016). *Renewability III – Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors*. Öko-Institut e.V.
- Pinnekamp, Schröder, M.; Bolle, F.-W.; Gramlich, E.; Gredigk-Hoffmann, S.; Koenen, S.; Loderhose, M.; Miethig, S.; Ooms, K.; Riße, H.; Seibert-Erling, G.; Schmitz, M.; Wöffen, B. (2017): *Energie und Abwasser Handbuch NRW; Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf*

- Prognos, Ö.-I. W.-I. (2021). *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann, Studie im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende.*
- Regionalverband Neckar-Alb. (19. 01 2021). *Raumnutzungskarten nach Kommunen.* Von <https://www.rvna.de/Startseite/Regionalplanung/Raumnutzungskarten+nach+Kommunen.html> abgerufen
- Sludge2Energy (2022). *Klärschlamm als klimaneutraler Energieträger.* Von <https://www.sludge2energy.de/de/klaerschlamm/energiegehalt-von-klaerschlamm/> abgerufen
- Solar.RED. (02. 09 2019). *Solaranlagen für Freiflächen.* Von <https://solar.red/solaranlagen-freiflaechen/> abgerufen
- Spiegel. (04. 08 2021). *Der Deutsche Wald schwindet immer schneller.* Von <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/trockenheit-bedroht-den-wald-borkenkaefer-zerstoeren-immer-mehr-holz-a-0a516394-f589-491c-9055-8fcbb2d20d63> abgerufen
- Stadtwerke Mühlacker. Entsorgungsbetrieb (12. 07 2022). *Kläranlage.* Von <https://entsorgung.stadtwerke-Mühlacker.de/abwasser/klaeranlage/> abgerufen
- Statista. (12. 07 2022). *Anzahl der Pelletheizungen in Deutschland in den Jahren 2012 bis 2022.* Von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/171886/umfrage/anzahl-der-pelletheizungen-in-deutschland/> abgerufen
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2021). *Landwirtschaftlich genutzte Fläche seit 1979 nach Hauptnutzungsarten.* Von <https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Bodennutzung/05025033.tab?R=GS417031> abgerufen
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2022). *Rinderbestand und -haltungen (HIT-Auswertung).* Von <https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Viehwirtschaft/05035050.tab?R=GS417031> abgerufen
- Tagesschau. (03. 08 2022). *Wie Biogas die Gaskrise mildern könnte.* Von <https://www.tagesschau.de/wissen/technologie/gaskrise-biogas-biomethan-strom-101.html> abgerufen
- Tetraeder Solar. (2022). Von <https://www.solare-stadt.de/home/> abgerufen
- UBA. (2017). *Klimaschutz im Stromsektor 2030 – Vergleich von Instrumenten zur Emissionsminderung.* Abgerufen am 04. April 2019 von Umweltbundesamt: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/publikationen/2017-01-11_cc_02-2017_strommarkt_endbericht.pdf
- UBA. (2018). *Erneuerbare Energien in Deutschland.* (Umweltbundesamt, Hrsg.) Abgerufen am 04. April 2019 von Umweltbundesamt: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/180315_u_ba_hg_eeinzahlen_2018_bf.pdf

UBA. (2020). *Bioenergie*. Abgerufen am 10. August 2021 von Umweltbundesamt:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#bioenergie-ein-weites-und-komplexes-feld->

UNFCCC. (2022). *Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)*. Von

<https://unfccc.int/topics/land-use/workstreams/land-use--land-use-change-and-forestry-lulucf> abgerufen

Waldwissen. (22. 01 2007). *Prognose regionaler Energieholzpotenziale*. Von

<https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/holz-und-markt/holzenergie/prognose-regionaler-energieholzpotenziale> abgerufen

Wolf, K. (22. 09 2020). Altanlagen: Repowering nur im Ausnahmefall möglich.

Zensus Datenbank. (2011). *Gebäude: Baujahr*. Abgerufen am 04. April 2019 von Zensus2011:

<https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank/online?operation=abruftabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1615562464674&auswahloperation=abruftabelleAuspraegungAuswahlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=3000G-1002&auswahl>