



MÜHLHAUSEN
Mittelalterliche Reichsstadt



MÜHLHAUSEN/THÜRINGEN

INTEGRIERTES ENERGETISCHES QUARTIERSKONZEPT „MARTINI-VORSTADT“ IN MÜHLHAUSEN

Erstellt von der Tilia GmbH im Auftrag der Stadt Mühlhausen

Übersicht Ansprechpartner

Das integrierte energetische Quartierskonzept „Martini-Vorstadt“ in Mühlhausen/Thüringen wurde in den Jahren 2023/2024 erstellt von:

AUFTRAGGEBER



Stadt Mühlhausen
Ratsstraße 25
99974 Mühlhausen

Ansprechpartner:
Christoph Reimann
Mail: christoph.reimann@muehlhausen.de

BEARBEITUNG



Tilia GmbH
Inselstraße 31
04103 Leipzig

Bearbeitung: Martin-Joseph Hloucal, Martin Mehner, Simone Mindermann, Cosima Rocktäschel, Frank Vogt
Ansprechpartnerin: Simone Mindermann
Kontakt: simone.mindermann@tilia.info



Das integrierte energetische Quartierskonzept für das Modellquartier wurde mit Hilfe von Fördermitteln der KfW-Bank im Rahmen des Programms 432 „Energetische Sanierung“ und Unterstützung der Thüringer Aufbaubank erstellt.

Inhaltsverzeichnis

0	Zusammenfassung.....	1
1	Einleitung.....	2
1.1	Anlass und Zielsetzung	2
1.2	Auswahl und Abgrenzung des Quartiers	3
1.3	Übergeordnete Klimaschutzziele	4
1.3.1	Europäische und nationale Ziele	4
1.3.2	Klimaschutzpolitik in Land und Gemeinde	5
1.4	Vorangegangene Konzepte und Planungen	7
2	Bestandsanalyse	9
2.1	Quartiersstruktur.....	9
2.1.1	Portrait Stadt und Quartier	9
2.1.2	Demografie, Bevölkerungsentwicklung.....	12
2.1.3	Siedlungs- und Gebäudestruktur.....	14
2.2	Energetische Ausgangssituation.....	17
2.2.1	Bestandssituation Wärme	17
2.2.2	Bestandssituation Strom	24
2.2.3	Verkehr und Mobilität	28
2.2.4	Gesamte Energie- und CO ₂ -Bilanz	33
3	Potenzialanalyse.....	35
3.1	Solarenergie	35
3.1.1	Photovoltaik	36
3.1.2	Solarthermie	43
3.2	Geothermie und Umweltwärme	43
3.2.1	Umweltwärme.....	43
3.2.2	Biomasse.....	46
3.3	Abwärme	47
3.4	Effizienz- und Einsparpotenziale	47
3.4.1	Energetische Sanierung	48
3.4.2	Einsparungen Strom Wohngebäude	52
3.4.3	Fernwärmeausbau.....	53

3.4.4	Kraft-Wärme-Kopplung	56
3.4.5	Hufeland Klinikum	56
3.4.6	Gewerbe	57
3.4.7	Straßenbeleuchtung	58
3.5	Verkehr und Mobilität	58
3.5.1	Fußgänger und Fahrrad	59
3.5.2	Öffentliche Verkehrsmittel	59
3.5.3	Mitfahrzentralen und Carsharing	60
3.5.4	Elektromobilität und Ladeinfrastruktur	61
3.6	Klimaanpassung und blau-grüne Infrastruktur	62
4	Maßnahmenkatalog	66
4.1	Maßnahmen: Organisation	67
4.2	Maßnahmen Wärmeerzeugung und -infrastruktur	70
4.3	Maßnahmen: Stromerzeugung und -verbrauch	73
4.4	Maßnahmen: Verkehr	77
4.5	Maßnahmen: grüne Infrastruktur	78
5	Entwicklungspfad des Quartiers Martini-Vorstadt	79
5.1	Entwicklung Wärmebedarfe und -versorgung	79
5.2	Entwicklung Strombedarfe und -versorgung	81
5.3	Entwicklung CO ₂ -Emissionen	83
6	Umsetzung und Wirksamkeitskontrolle	85
6.1	Handlungskonzept	85
6.2	Umsetzungsstrategie	87
6.2.1	Bedeutung personeller Ressourcen	87
6.2.2	Bedeutung der Finanzierungsoptionen	87
6.2.3	Bedeutung der Akteurseinbindung	87
7	Öffentlichkeitsarbeit und Akteursbeteiligung	89
7.1	1. Akteursworkshop: Projektstart – 30.03.2023	90
7.2	2. Akteursworkshop: Ideenfindung für Maßnahmen – 30.06.2023	90
7.3	3. Akteursworkshop: Abstimmung der Maßnahmen – 03.11.2023	91
8	Dokumentation und Erfolgskontrolle	92

9	Ausblick	95
10	Anhang	96
10.1	Förderkatalog	96
10.1.1	Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Energiesuffizienz (ES)	96
10.1.2	Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Energieeffizienz (EE)	99
10.1.3	Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Energiekonsistenz (EK)	106
10.1.4	Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Kompensation (K)	111
10.1.5	Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Umsetzungsunterstützung (UU)	111
10.2	Abbildungsverzeichnis	114
10.3	Tabellenverzeichnis	117
10.4	Abkürzungsverzeichnis	118
10.5	Literaturverzeichnis	120

Hinweis zum Sprachgebrauch

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit verzichten wir bei der Benennung von Personengruppen in diesem Bericht durchgängig auf Movierungen (Einwohner, Fußgänger etc.), wobei dabei immer weibliche, männliche sowie Personen diverser Geschlechter gemeint sind.

0 Zusammenfassung

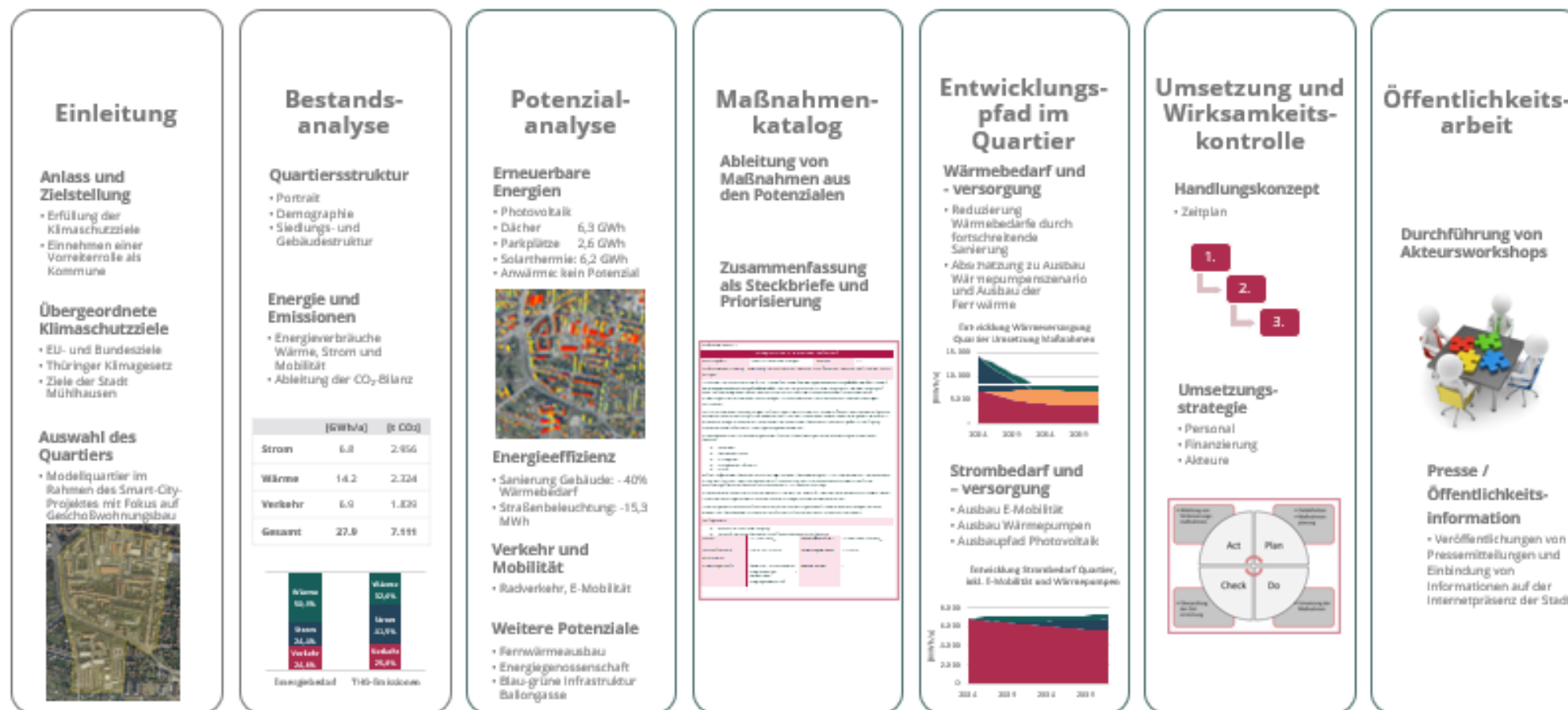


Abbildung 0-1: Überblick der Themengebiete und wichtigsten Ergebnisse

1 Einleitung

1.1 Anlass und Zielsetzung

Das Klima verändert sich spürbar. Ursache hierfür ist vor allem die erhöhte Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre. Weltweit verursacht der Klimawandel enorme Schäden mit unmittelbaren Auswirkungen auf die Gesundheit und Ernährungssicherheit von Millionen Menschen. Wetterextreme – hochsommerliche Extremtemperaturen, starke Niederschläge, Wasserknappheit und Dürreperioden nehmen zu und erfordern eine umfassende Vorsorge und Klimaanpassung – auch in Deutschland. Die Stadt Mühlhausen hat sich das ehrgeizige Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2035 klimaneutral zu sein. Für den Erfolg ist ein konsequentes, effizientes Handeln zur Verringerung der Treibhausgasemissionen notwendig und erfordert das Mitwirken von Bewohnern, Politik, Verwaltung und Unternehmen. Im Juli 2020 wurde ein Maßnahmenkatalog zur Klimaveränderung /Klimaschutzkonzept einstimmig vom Mühlhäuser Stadtrat beschlossen (1). Mit einer mittelalterlichen Altstadt, dichtbesiedelten Wohngebieten, Leerstand in der Innenstadt und zehn eingemeindeten Dörfern bedarf es differenzierter und maßgeschneiderter Lösungen, um Risiken für die Bevölkerung, die kommunale Infrastruktur oder das Stadtgrün zu mindern. Die 2023 fertiggestellte Strategie der Smart City Mühlhausen für die Zukunft kommender Generationen verfolgt mit der Umsetzung digitaler Lösungen konsequent das strategische Ziel der Klimaneutralität. Der Fokus liegt dabei auf 3 ausgewählten Modellquartieren, um der urbanen Vielfalt und den unterschiedlichen Bedürfnissen der Bürger und Bürgerinnen gerecht zu werden und um bestehende und neue Krisen in Zukunft besser gemeinsam zu bewältigen (2). Die drei ausgewählten Quartiere weisen dabei einen hohen Grad an Modellhaftigkeit für eine mittelgroße Stadt auf. Es handelt sich um die Quartiere „Südwestliche Altstadt“ (historischer Stadtkern), die „Martini-Vorstadt“ (vorwiegend Plattenbebauung) und den Ortsteil „Bollstedt“ (ländlicher Raum). Zusätzlich hat die Stadt Mühlhausen im Jahr 2022 beschlossen, für jedes Quartier ein integriertes energetisches Quartierskonzept zu erarbeiten unter Inanspruchnahme des KfW-Förderprogramms 432 „Energetische Stadtsanierung“ sowie der kumulierbaren Förderung KlimaINVEST der Thüringer Aufbaubank.

Die Stadt Mühlhausen hat auf Basis einer öffentlichen Ausschreibung die Tilia GmbH mit der Erstellung der integrierten energetischen Quartierskonzepte beauftragt. Das hier vorliegende Konzept für das Quartier „Martini-Vorstadt“ wird von der Tilia GmbH in enger Absprache mit der Stadt Mühlhausen, den Stadtwerken Mühlhausen und den Akteuren im Quartier erstellt. Bei dem Quartierskonzept wird durch die Ermittlung der Potenziale zum Ausbau von erneuerbaren Energien, zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Senkung des Energieverbrauchs gezielt und strukturiert eine Strategie zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen erarbeitet. Es gibt damit den Bewohnern, Unternehmen und öffentlichen Liegenschaften im Quartier ein Instrumentarium an die Hand, um die Energiewende gezielt zu unterstützen.

In dem vorliegenden Bericht wird zunächst das Quartier detailliert vorgestellt. Diese Einführung wird ergänzt durch die Vorstellung der Klimaschutzziele der EU, auf Bundesebene sowie auf lokaler Ebene und der Beschreibung der für das Quartier relevanten vorausgegangenen Konzepte im Kapitel 1. Im Kapitel 2 wird die städtebauliche und energetische Ausgangssituation im Quartier untersucht. Das

3. Kapitel widmet sich der Analyse der Potenziale für den Einsatz von erneuerbaren Energien im Quartier, welche wertvolle Hinweise für die Auslegung der zukünftigen energetischen Versorgung geben. Weiterhin werden im Kapitel 3 die Einsparpotenziale des Gebäude- und Verkehrssektors untersucht. In Kapitel 4 werden konkrete Maßnahmen für das Quartier vorgeschlagen, die in Kapitel 5 in einen Entwicklungspfad überführt wurden. Kapitel 6 fokussiert auf eine Umsetzungsstrategie mit Erfolgskontrolle. Für ein tragfähiges und umsetzungsorientiertes energetisches Quartierskonzept ist die Einbeziehung der Akteure vor Ort, insbesondere bei der Aufstellung und Abstimmung von Maßnahmen- und Zeitplänen, von besonderer Bedeutung, da ein Teil der Energie- und CO₂-Einsparpotenziale außerhalb der direkten Handhabe der öffentlichen Hand liegt. Das Konzept wird unter Beteiligung ausgewählter Akteure erstellt (Kapitel 7).

1.2 Auswahl und Abgrenzung des Quartiers



Abbildung 1-1: Darstellung des Quartiers (Quelle: Luftbild Stadt, Eigene Markierung)

Das Quartier „Martini-Vorstadt“ in Mühlhausen liegt sehr zentral im südöstlichen Stadtgebiet von Mühlhausen.

Im Norden des Quartiers schließt das Bahnhofsviertel mit der Thomas-Müntzer-Straße an. Im Westen und Süden wird das Quartier durch die L247 Langensalzaer Straße begrenzt. Das Hufeland Klinikum auf der

anderen Seite der Langensalzaer Straße könnte für das Quartier wichtiger Partner sein und gehört deswegen mit zum Quartiersbereich. Im Osten grenzt das Quartier an ein Wohnquartier mit gemischter Mehrfamilien und Ein- und Zweifamilienhausbebauung jenseits der Thälmannstraße. Die heutige Nutzung ist eine Mischnutzung aus Wohnen, Gewerbe und sozialen Nutzungen, die für innerstädtische Quartiere typisch sind. Die Innenstadt ist ohne öffentliche Verkehrsmittel oder PKW in wenigen Minuten zu Fuß zu erreichen.

1.3 Übergeordnete Klimaschutzziele

1.3.1 Europäische und nationale Ziele

Das Internationale Übereinkommen von Paris zum Klimaschutz 2015 verpflichtet zur Begrenzung des Temperaturanstiegs auf deutlich unter 2°C und möglichst auf 1,5°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau. Mit dem Europäischen Green Deal soll Europa bis 2050 klimaneutral werden und bis 2030 mindestens 55 Prozent der Treibhausgase im Vergleich zu 1990 einsparen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen Wirtschaft und Gesellschaft in vielen Bereichen neu ausgerichtet werden. Der konkrete Weg, die Ziele des Grünen Deals zu erreichen, sind im Paket „Fit für 55“ festgelegt (3).

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich im Klimaschutz ambitionierte Ziele gesetzt und diese im geänderten Bundes-Klimaschutzgesetz vom 31. August 2021 festgeschrieben (4):

- Deutschland soll bis 2045 treibhausgasneutral und bis 2050 klimapositiv sein, also mehr CO₂ kompensieren als es verursacht.
- Mit einem konsequenten, deutlich schnelleren Ausbau soll der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch bis 2030 auf mindestens 80 Prozent steigen.

Das aktualisierte Klimaschutzgesetz wurde vom Bundeskabinett am 21. Juni 2023 auf den Weg gebracht.

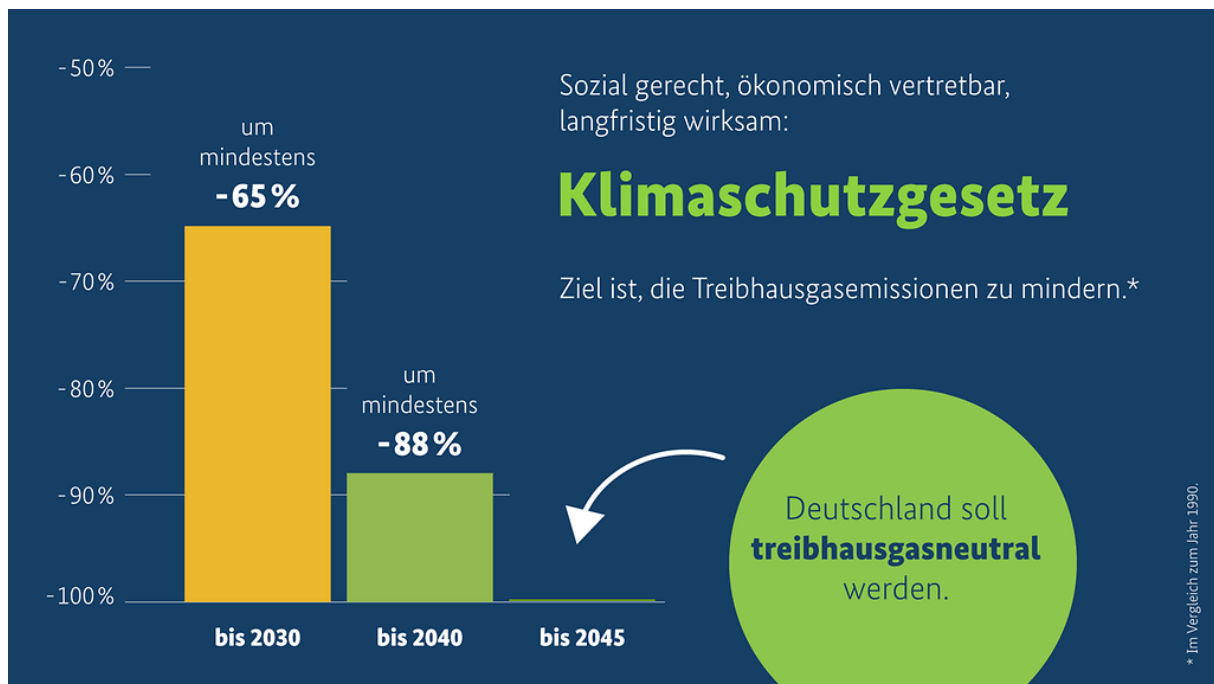


Abbildung 1-2: Deutschland auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität

1.3.2 Klimaschutzpolitik in Land und Gemeinde

Der Freistaat Thüringen hat in seinem Klimagesetz (ThüKlimaG) vom 14. Dezember 2018 den rechtlichen Rahmen für klimaverträgliches Handeln vorgegeben. Es vereint Klimaschutz und Klimaanpassung und legt das Ziel fest, den Ausstoß von Treibhausgasen bis 2050 schrittweise bis zu 95 Prozent zu senken. Verbunden mit dem Vorhaben ist ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand in Thüringen bis zum Jahr 2050 (5).

Sieben Hauptziele wurden vereinbart (5):

1. Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um bis zu 95 % ggü. 1990
2. Klimaverträgliches Energiesystem mit einem Mix aus 100 % erneuerbarer Energien bis 2040
3. Vorbildwirkung der öffentlichen Hand beim Klimaschutz (Klimaneutrale Landesverwaltung bis 2030)
4. Unterstützung für kommunalen Klimaschutz (Unterstützung von Land und Bund bei der Erstellung von CO₂-Minderungskonzepten und Aufstellung von Wärmekonzepten für Landkreise und Gemeinden)
5. Wärme als wichtiger Faktor der Energiewende (klimaneutraler Gebäudebestand 2050, bereits 2030 bei sanierten Gebäuden 25 % erneuerbare Energien)
6. Zukunftsgerichtete Projekte (Unterstützung für Kommunen und Landkreise bei Klimaanpassungskonzepten)
7. Dialog mit Bürgern (Beteiligung der Öffentlichkeit bei Erarbeitung der Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsstrategie)

Demnach wird vom Freistaat Thüringen ein deutlicher Fokus auf den Bereich Wärme gelegt, da im Gebäudesektor ein Großteil der Emissionen entsteht. Es handelt sich bei der Energiewende um mehr als eine Stromwende.

Im Rahmen der Kommunalrichtlinie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nuklearer Sicherheit etabliert der Landkreis das Thema Klimaschutz langfristig in der Landkreisverwaltung und im Landkreis und hat einen Klimamanager engagiert. Eine Klimaschutz- oder Energiestrategie auf Kreisebene ist seit April 2022 in Erstellung und soll bis Mitte 2024 fertiggestellt werden.

Die Stadt Mühlhausen hat das ambitionierte Ziel, bis zum Jahr 2035 klimaneutral zu sein. Im Juli 2020 wurde ein Maßnahmenkatalog zur Klimaveränderung einstimmig vom Mühlhäuser Stadtrat beschlossen (6). Mit der konsequenten Umsetzung können Ressourcen effizienter genutzt und der CO₂-Ausstoß reduziert bzw. Emissionen möglichst vollständig kompensiert werden, um die Klimaziele der Stadt und in Deutschland zu erreichen. Der Erfolg ist abhängig von zielstrebigem, nachhaltigem und gemeinschaftlichem Handeln in privaten Bereichen, kommunalen Bereichen, Stadt und Landschaft, großen und kleinen Zusammenhängen.

Wesentliche Einzelziele daraus sind:

1. Öffentlicher Bürgerbeteiligungsprozess bei der Umsetzung der Energiewende,
2. Mehr Sicherheit und Verkehrsberuhigung auf Fuß- / Radwegen schaffen,
3. Energieeinsparung: Treibhausgase reduzieren durch Energieeinsparung durch Nutzung regenerativer Energiequellen,
4. Stadtentwicklung: Möglichkeiten zur Treibhausgasvermeidung und der langfristigen CO₂-Bindung erkunden und nutzen, auf Folgen des Klimawandels reagieren, die Biodiversität verbessern,
5. Mitmachkultur: Aktive Mitgestaltung und Fantasie von jedem Einzelnen

Dabei soll der Beitrag der Stadt Mühlhausen zur Klimapolitik des Bundes auch mit städtebaulichen Entwicklungszielen korrespondieren. Durch das hier vorgelegte integrierte energetische Quartierskonzept wird zur Umsetzung der vorgenannten Ziele ein Beitrag geleistet.

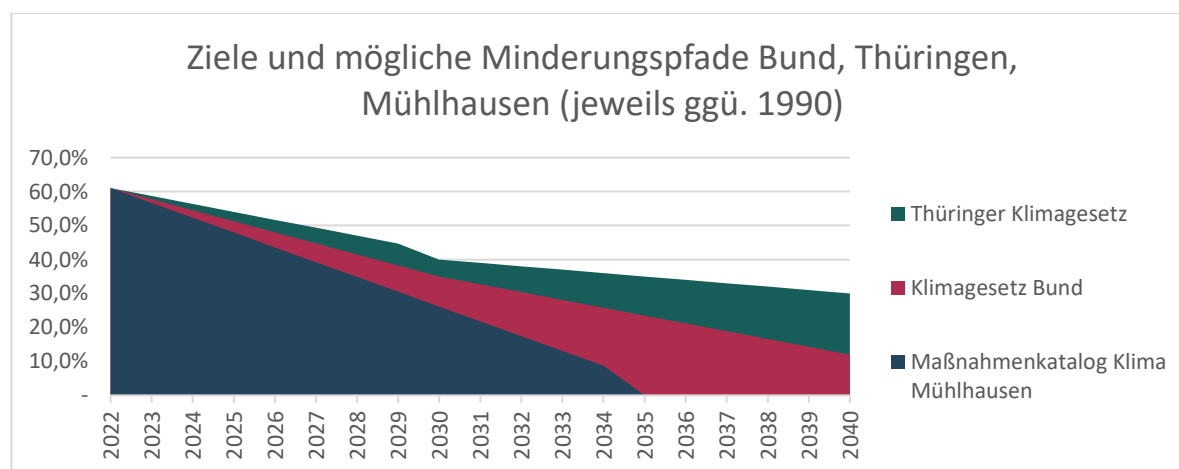


Abbildung 1-3: Emissionsminderungspfade der politischen Ebenen, abgeleitet aus den Zielen (eigene Darstellung)

In der Zusammenschau der aufgeführten Ziele der unterschiedlichen politischen Ebenen können vereinfachte Emissionsminderungspfade als Zielkorridor definiert werden. Dabei wurden folgende Vereinfachungen vorgenommen:

- Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) werden als CO₂-Emissionen oder CO₂-Äquivalente dargestellt
- „klimaneutral“ bedeutet THG-Emissionen = 0

Das Ausgangsniveau der Emissionen für 2022 wurde für die Bundesrepublik auf Basis der Daten aus dem Climate Action Tracker ermittelt. (6)

1.4 Vorangegangene Konzepte und Planungen

Das Quartierskonzept wird eingebettet in die bereits bestehenden städtebaulichen und energetischen Planungen und Ziele der Stadt Mühlhausen, die aufgeführten übergeordneten Konzepte und konkreten Planungen, die das Untersuchungsgebiet betreffen, hinsichtlich ihrer klimarelevanten und städtebaulichen Aussagen ausgewertet. Einige maßnahmenkonkrete Planungen wurden bei den weiterführenden Überlegungen einbezogen.

Dazu gehören insbesondere:

Integriertes städtebauliches Entwicklungskonzept (ISEK) 2018 (7)

Das ISEK dient als Handlungs- und Entscheidungsgrundlage in Fragen der Stadtentwicklung bis zum Jahr 2030. Die darin aufgeführte inhaltliche und räumliche Strategie ist bei der weiteren kommunalen Planung maßgeblich zu berücksichtigen. Das ISEK 2018 bildet eine solide Basis für weitere Planungen (z. B. Überarbeitung des Flächennutzungsplans).

Maßnahmenkatalog zu Klimaveränderung 2020 (8)

Erklärtes Ziel der Stadt Mühlhausen ist eine CO₂-Neutralität bis 2035. Es sind entsprechende Strategien und Maßnahmen zu entwickeln. Ziel ist es, ein nachhaltiges Umdenken zu initiieren und nachhaltiges Handeln zu fördern. Es geht um zukunftsicheren und verantwortungsbewussten Umgang mit den Ressourcen der Stadt.

Radverkehrskonzept Alltag Stadt Mühlhausen 2023 (9)

Das Radverkehrskonzept bietet eine wichtige Grundlage für die schrittweise Herstellung eines engmaschigen alltagstauglichen Verbindungsnetzes als Arbeitsgrundlage für (Fahrrad)-Verkehrsprojekte der kommenden Jahre. Das Radverkehrskonzept Alltag wurde vom Mühlhäuser Stadtrat in seiner Sitzung am 14.12.2023 beschlossen.

Teilkonzept Stadtgrün-Minderung der Folgen des Klimawandels 2024 (10)

In diesem Teilkonzept werden Vorhaben für Grün-, Freiflächen und Straßenräume hergeleitet, die in überschaubaren Zeiträumen umgesetzt werden können, klimatisch wirksam werden und damit zur Minderung der Folgen des Klimawandels beitragen.

Smart City Strategie Mühlhausen 2023 (11)

Mühlhausen soll als Smart-City-Standort durch die neuen Strukturen, Projekte und Maßnahmen sowie die begleitende Öffentlichkeitsarbeit gestärkt und bekannt gemacht werden. Dabei sollen alle kommunalen Unternehmen, die Wirtschaft, die Wissenschaft, weitere Interessensgruppen und die Bürger der Stadt eingebunden werden.

2 Bestandsanalyse

2.1 Quartiersstruktur

2.1.1 Portrait Stadt und Quartier

2.1.1.1 Lage in der Region

Die große kreisangehörige Stadt Mühlhausen liegt im Landkreis Unstrut-Hainich-Kreis im Freistaat Thüringen. Die Stadt liegt eingebettet in die fruchtbare Talaue der Unstrut, einem Nebenfluss der Saale und zwischen den Höhen des Nationalparks Hainich und dem Eichsfeld. Mit einer Fläche von 86,43 km² und einer Einwohnerzahl von 37.901 (12) ist sie neuntgrößte Stadt im Land Thüringer. Die Stadt Mühlhausen liegt 55 km entfernt von der Landeshauptstadt Erfurt. Nachbarorte sind der Kurort Bad Langensalza (20 km) sowie im Süden Eisenach (35 km) und Gotha (41 km). Die Stadt ist als mittelalterliche Reichsstadt durch seine historischen Bauwerke und Stadtmauer geprägt und liegt nördlich des Nationalparks Hainich. Zu Mühlhausen gehören die zehn Ortsteile: Windeberg, Felchta, Görmar, Saalfeld, Seebach, Grabe, Höngeda, Bollstedt, seit 2023 Hollenbach und seit 2024 Eigenrieden (13).

Geografisch liegt Mühlhausen günstig mitten in Deutschland und Europa. Durch seine günstige Lage und die gute Verkehrsanbindung ist es ein zukunftsweisender Standort für die Bereiche Wirtschaft und Tourismus. Die Verkehrsanbindung wird sichergestellt durch die beiden Bundesstraßen 247 und 249. Die B247 dient als Verbindungsstraße in Nordthüringen und nach Niedersachsen und zwischen den Autobahnen A38 sowie A4 und A71. Ihr Ausbau zwischen Mühlhausen und Bad Langensalza, der bis Mitte 2025 beendet sein soll, bildet ein wichtiges Infrastrukturprojekt für den ganzen Unstrut-Hainich-Kreis und den Freistaat Thüringen und verbessert die Anbindung der mittelalterlichen Reichsstadt Mühlhausen (14). Die Bahn verbindet die Stadt mit Göttingen, Erfurt und Kassel. Der nächstgelegene Flughafen ist etwa 55 Kilometer entfernt in Erfurt.

2.1.1.2 Historische Entwicklung der Stadt

Mühlhausen ist eine geschichts- und traditionsreiche Stadt, deren Anfänge bis in das Mittelalter zurückreichen. Die Stadt wurde 967 erstmals urkundlich erwähnt. Die heutige Kernstadt besteht aus der älteren Unterstadt um St. Blasius (seit der Reformation „Divi-Blasii“) und der jüngeren Oberstadt um St. Marien. Seit dem frühen 13. Jahrhundert umschließt eine Stadtmauer von fast 3 km Länge die etwa 49 Hektar umfassenden Stadtkern von Mühlhausen. Von den sieben Doppeltoren des fast vollständig erhaltenen Stadtmauerrings mit Wehranlage ist heute nur noch das Frauentor erhalten. Die 11 mittelalterlichen Turmspitzen, die über die roten Dächer der Stadt ragen, verleihen der Stadt seit dem Mittelalter den Beinamen „mulhusia turrita“, das turmreiche Mühlhausen.

Im Mittelalter galt Mühlhausen nach Erfurt als bedeutendste Stadt Thüringens mit hoher wirtschaftlicher und kultureller Bedeutung als einstige freie Reichsstadt (1256 bis 1803). Während des Bauernkrieges 1525 wurde der Prediger Thomas Müntzer zum Wortführer der radikalen Reformation und rückte die Stadt in den Mittelpunkt deutscher Geschichte.

Die reichsstädtische Epoche Mühlhausens endete mit der Besetzung durch preußische Truppen im April 1802. Mit der Industrialisierung in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts konnte sich Mühlhausen in wenigen Jahren zu einer florierenden Stadtregion entwickeln. Die mittelalterliche Altstadt ist weitestgehend erhalten und wurde mit erheblichen Mitteln denkmalgerecht saniert. Trotz tiefer Umbrüche, die auch Mühlhausen erlebte, bietet die Stadt heute ein großartiges Ensemble historischer Bauten (15).

Heute hat Mühlhausen als Mittelzentrum mit Teilfunktionen eines Oberzentrums wichtige Versorgungsfunktionen sowohl für die eigene Bevölkerung als auch für das Umland zu erfüllen.

2.1.1.3 Ansässige Unternehmen

Ein starker Mittelstand bildet das Rückgrat der Wirtschaft in Mühlhausen und ist ein grundlegender Bestandteil der Stadtgesellschaft. Als besondere Wachstumsmotoren haben sich sechs Branchen-Cluster herausgebildet (16). Dazu gehören

1. Mobilitätsbranche (v. a. Automotive, Schienenfahrzeugbereich, Fahrräder)
2. Maschinen- und Anlagenbau
3. Elektro- und Steuerungstechnik
4. Lebensmittelproduktion
5. Gesundheitswesen
6. Verwaltungs- und Justizbereich

Die breit gefächerte Branchenstruktur garantiert der Stadt und der Region Stabilität und Arbeitsplatzsicherheit. Einer der größten Arbeitgeber der Stadt und der Region Unstrut-Hainich ist das Ökumenische Hainich-Klinikum Pfafferode mit ca. 1.100 Mitarbeitern. Weitere große Arbeitgeber sind der öffentliche Dienst in den Verwaltungen der Stadt Mühlhausen, des Kreises Unstrut-Hainich und des Freistaates Thüringen (17).

Im Quartier „Martini-Vorstadt“ befindet sich das Hufeland Klinikum, welches ein weiterer großer Gesundheitsdienstleister der Region und damit wichtiger Arbeitgeber der Menschen in und um Mühlhausen ist. Des Weiteren gibt es eine Kita, drei Supermärkte, ein Gartencenter, einen Metallwarenhändler, zwei Autowerkstätten, einen Denkmalpflegebetrieb und eine radiologische Gemeinschaftspraxis sowie die öffentlichen Einrichtungen Arbeitsamt und Finanzamt.

2.1.1.4 Leben im Quartier

Das Quartier „Martini-Vorstadt“ liegt in unmittelbarer Nähe zum historischen Stadtzentrum. In wenigen Gehminuten lassen sich Altstadt, Bahnhof und Krankenhaus erreichen. Es ist geprägt von unterschiedlichsten Bauepochen: gründerzeitliche mehrgeschossige Wohnbebauung, DDR-Geschosswohnungsbau der 1970/80er Jahre (Zeilen- und Mäanderstruktur) sowie Einfamilienhausbebauung unterschiedlichster Bauzeiten und Gewerbestruktur. Das Quartier ist gut infrastrukturell angebunden. Auf freien bzw. brach gefallen Flächen haben sich mehrere großflächige Einzelhandelsbetriebe angesiedelt. Diese dienen insbesondere der Nahversorgung im Gebiet.

Die Quartiersbewohner sind heterogener und internationaler im Vergleich zu anderen Stadtvierteln, diese Pluralität bildet sich vor allem in neue und andere Formen des Zusammenlebens ab. Gut funktionierende soziale, unterstützende Netzwerke, Initiativen und Projekte unterstützen die Integration der zugezogenen Anwohner, viele mit sozial schwierigen Verhältnissen oder Flüchtlingsstatus. Insbesondere die engagierte Wohnungswirtschaft vor Ort unterstützt durch die Entwicklung von multifunktionalen Räumen, barrierefreies Wohnen wie zuletzt der neu eingerichtete Treffpunkt der städtischen Wohnungsgesellschaft in der Langensalzaer Straße.

Laut dem ISEK gehört das Quartier zum Umstrukturierungsgebiet mit kurz- bis mittelfristigem Handlungsbedarf im Hinblick der Aufwertung. Um positive Entwicklungsansätze zu ermöglichen, Wegzug und Leerstand zu vermeiden sowie die Lebensqualität im Quartier zu erhöhen, sind die Kosten der Lebenshaltung im Quartier gering zu halten. Als Antwort darauf werden aktuell neue Ansätze gefunden, die die Teilhabe, Interaktion und Partizipation der Bewohner zulassen und befördern. Im Rahmen der Smart City Maßnahmen entstehen aktuell Pläne für einen Quartiersgarten in Zusammenarbeit mit dem Studiengang Landschaftsarchitektur der Fachhochschule Erfurt. Der Quartiersgarten soll das Viertel nicht nur optisch aufwerten, sondern auch als Ort der Erholung dienen, das Kleinklima verbessern und Raum für gemeinsames Gärtnern bieten. Dabei knüpfen sie an die Tradition mancher Innenhöfe in gründerzeitlichen Wohngebieten oder die Hausgemeinschaftsgärten in den Neubaugebieten der DDR, die auch in Mühlhausen vielerorts erfolgreich betrieben wurden. (18).



Abbildung 2-1: Quartiersbegehung Tilia (eigene Fotos)

Die Städtebaulichen Entwicklungsziele für des Quartiers wurden in der Smart City Strategie Mühlhausen wie folgt formuliert (2):

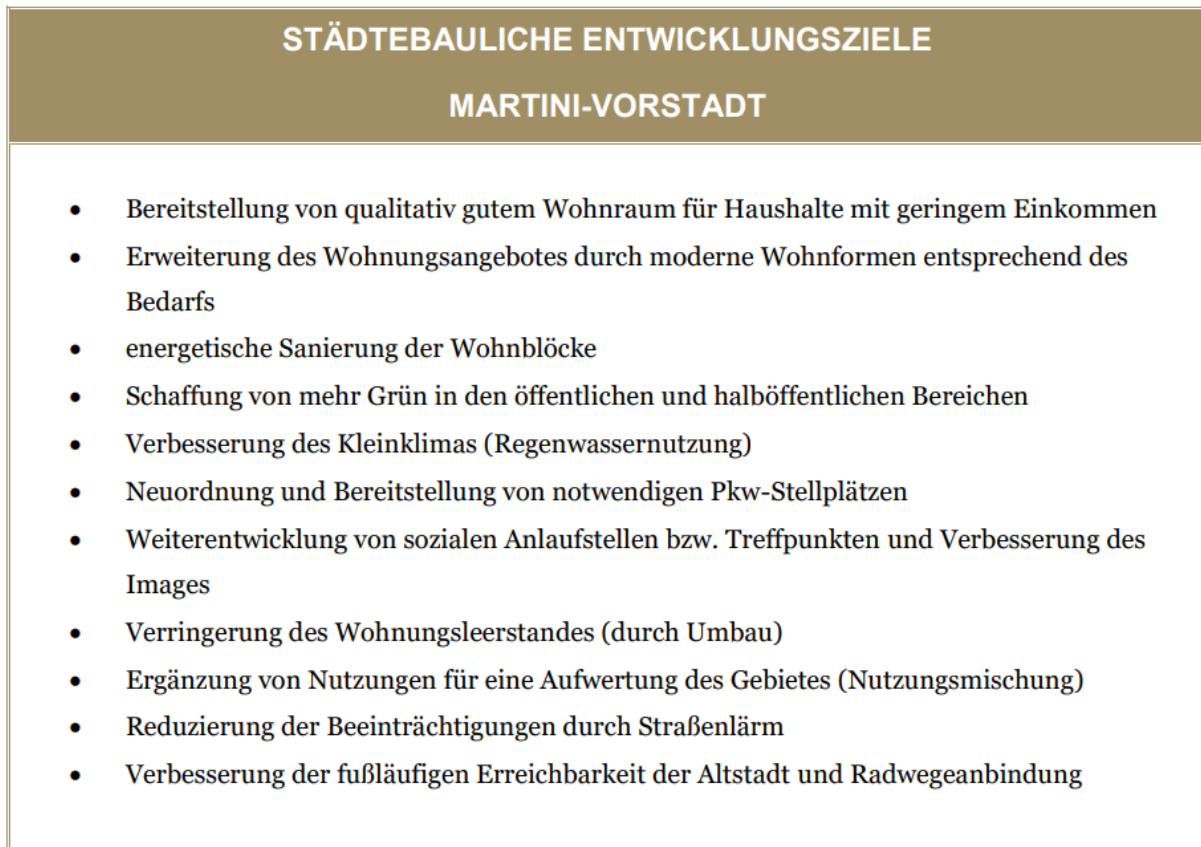


Abbildung 2-2: Städtebauliche Entwicklungsziele der Martini-Vorstadt

Das Quartierskonzept soll in dieser Richtung Maßnahmen entwickeln und vorschlagen.

2.1.2 Demografie, Bevölkerungsentwicklung

Von der Gesamtbevölkerung von 37.901 Einwohnern leben ca. 1.600 Einwohner im Quartier. Das entspricht einem Anteil von 4,2 % der Gesamtbevölkerung.

Für das Quartier existiert keine gesonderte Erhebung zu demografischen Strukturdaten. Daher wurde auf Daten auf Ebene des Stadtteils „Bahnhof“ gemäß Gliederung durch das integrierte Stadtentwicklungskonzept (ISEK) (17) zurückgegriffen. Darin wird der Stadtteil als „junger“ Stadtteil beschrieben, der zuletzt seit 2015 Zuzug erfährt. Ebenso stellt die erst kürzlich erstellte Wohnungsmarktanalyse (20) fest, dass das Quartier eine im Vergleich zur Gesamtstadt jüngere Altersstruktur aufweist, da die Geburtenrate über Fortzügen und der Sterberate liegt. Nach Datenlage aus dem ISEK ist das Martini-Viertel eines mit den meisten jungen Menschen unter 24 Jahren in ganz Mühlhausen. Nur in der Altstadt ist der Anteil junger Menschen noch höher.

2.1.2.1 Prognose

Eine Prognose der Bevölkerungsentwicklung ist mit einigen Unsicherheiten behaftet. Insbesondere der Wanderungssaldo wie auch die Geburtenrate nehmen darauf starken Einfluss. Das Thüringer Landesamt für Statistik geht von einer Bevölkerungsreduktion bis zum Jahr 2040 um knapp 5.000 Einwohner auf 31.400 Einwohner aus (21). Das entspricht einer Reduktion von 13 %. Dabei steigt der Anteil über der über 75-jährigen Einwohner deutlich an, wie die Abbildung 2-3: Änderung der Altersstruktur bis zum Jahr 2040 zeigt.

Je weiter die Prognose in die Zukunft reicht, desto größer wird die Unsicherheit. Das Statistische Landesamt geht von einem Bevölkerungsrückgang zwischen 2020 und 2040 in Höhe von 4520 Einwohnern aus. Das entspricht vereinfacht einem Rückgang um 0,6 % pro Jahr.

Gleichzeitig mit der Reduzierung der Bevölkerung kommt es zu einem Anstieg des Durchschnittsalters. Laut Prognose wird besonders die Gruppe der 70 bis 80-jährigen Menschen wachsen, während die Gruppe der 30 bis 60-jährigen, also die Anzahl der Personen im Erwerbsalter sinkt. Damit wird wahrscheinlich auch ein Rückgang der Kaufkraft in der Bevölkerung der Stadt einher gehen. Ein gegenläufiger Effekt, nämlich ein Anstieg der Kaufkraft im Quartier, würde sich ergeben, wenn es gelingt, die jungen Menschen, welche heute das Quartier prägen auch im Erwerbsalter im Quartier zu halten. Dies muss bei der Entwicklung von Maßnahmen berücksichtigt werden.

Im Rahmen dieses Konzeptes wird vereinfachend ein linearer Rückgang der Bevölkerung im Quartier von -0,6 % pro Jahr unterstellt.

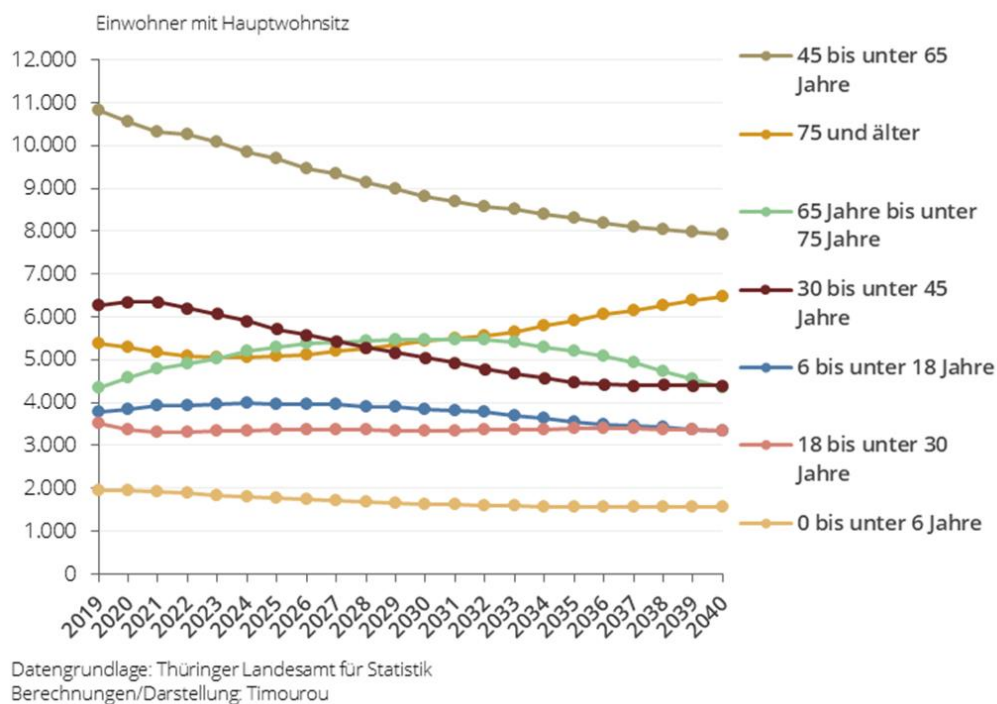


Abbildung 2-3: Änderung der Altersstruktur bis zum Jahr 2040

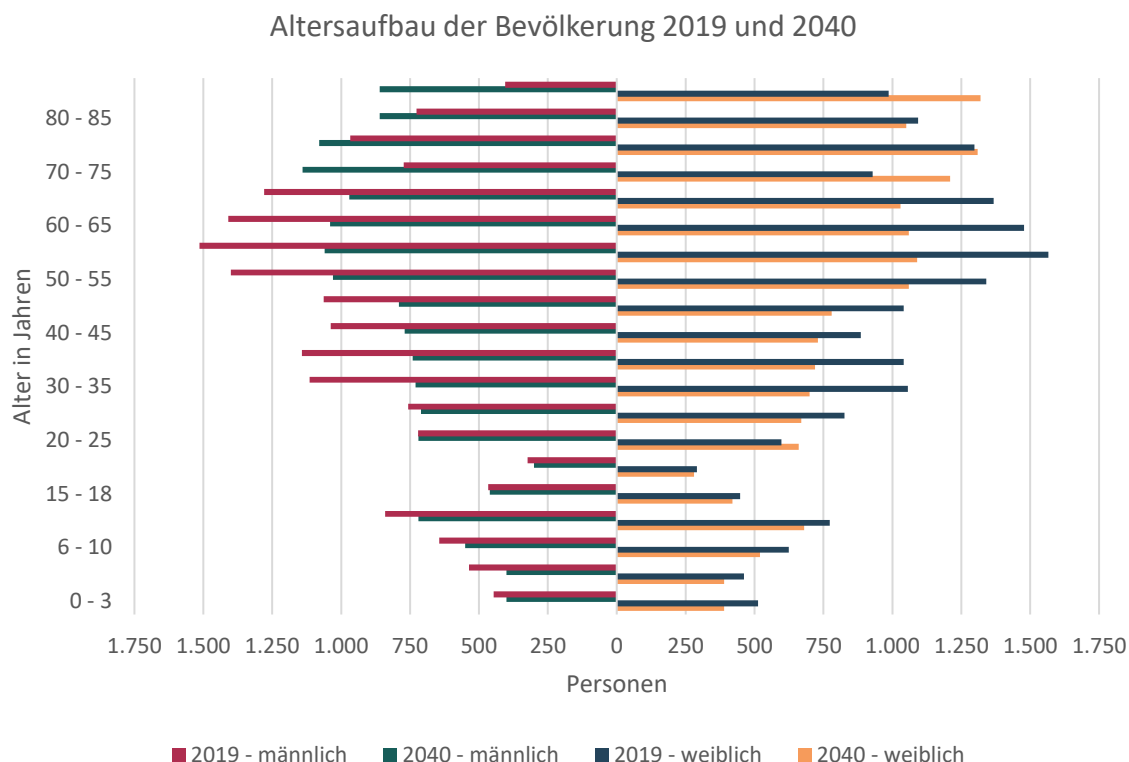


Abbildung 2-4: Altersaufbau der Bevölkerung Mühlhausens in den Jahren 2019 und 2040

(Berechnung und Darstellung Tilia, Datengrundlage: Statistisches Landesamt Thüringen)

2.1.3 Siedlungs- und Gebäudestruktur

Das Quartier ist geprägt von unterschiedlichsten Baupochen - gründerzeitliche mehrgeschossige Wohnbebauung und Gewerbestruktur, DDR-Geschosswohnungsbau der 70/80er Jahre (Zeilen- und Mäander-Struktur) sowie Einfamilienhausbebauung unterschiedlichster Bauzeiten. Das Wohngebiet Martini-Vorstadt mit Geschosswohnungsbau der 80/90er Jahre ist ein Sonderfall: Nach Abriss einzelner Blöcke nach 2002 erfolgte die Entwicklung eines großflächigen Handelsbereiches. Im Süden des Quartiers befindet sich überwiegend eine geschlossene Gründerzeitbebauung.

Die bestehende Bebauung ist teilsaniert. Aus Gesprächen mit der Stadt lässt sich der Schluss ziehen, dass die allgemeine Attraktivität des Quartiers im Vergleich zu anderen Stadtteilen niedrig ist. Die Gebäude haben in der Regel eine mittlere Größe von 2- und 3-Raumwohnungen. Etwa 10 % sind Einraumwohnungen und Wohnungen mit vier und mehr Räumen. Die durchschnittliche Haushaltsgröße beträgt 1,98 Personen. Es weist Entwicklungspotenziale in der städtebaulichen Struktur (Teilbereiche mittlerer Sanierungs- und Umstrukturierungsbedürftigkeit, vereinzelt Baulücken, ggf. kleinere Brachflächen, notwendige Aufwertung/Neuanlage von Freiräumen/Straßenräumen, unzureichende Grünvernetzung) auf. Gleichzeitig besteht ein geringer Leerstand.

Laut Smart City Strategie weist das Quartier Schwächen auf mit kurz- bis mittelfristigem Handlungsbedarf (Aufwertung) und ist gekennzeichnet durch:

- wenig Gewerbe, kaum Industrie
- demografischer Wandel mit zunehmend alternder Bewohnerschaft
- geringes Freizeitangebot für Jugendliche
- keine Einbindung in überregionale Grünstrukturen
- fehlender Bezug zur Unstrut
- starke Ausprägung des MIVs
- kein direkter Bahnanschluss
- Entfernung zur Autobahn
- geringe Versorgung mit Waren des täglichen Bedarfs
- nicht erschlossenes Bebauungsgebiet
- unzureichende gastronomische Versorgung

Um positive Entwicklungsansätze zu ermöglichen, Wegzug und Leerstand zu vermeiden sowie die Lebensqualität im Quartier zu erhöhen, sind die Kosten der Lebenshaltung im Quartier gering zu halten. Das Quartier ist Stadtumbaugebiet nach ³171b Baugesetzbuch (17).

2.1.3.1 Grün- und Freiflächen

Die Grünflächen im Quartier beschränken sich auf mehrheitlich Rasenflächen zwischen den Wohnblocks. In Abbildung 2-5: Orthofoto infrarot mit Quartiersgrenzen, rote Flächen zeigen Grünflächen im Quartier an (Quelle: offene Geodaten Thüringen) Abbildung 2-5 ist ein Luftbild des Quartiers im Infrarotspektrum dargestellt. Grünflächen sind darauf in Rot gut zu erkennen.



Abbildung 2-5: Orthofoto infrarot mit Quartiersgrenzen, rote Flächen zeigen Grünflächen im Quartier an (Quelle: offene Geodaten Thüringen)

2.1.3.2 Sommerliche Hitzeinseln

Derzeit erarbeitet die Stadt ein Teilkonzept Stadtgrün-Anpassung an die Folgen des Klimawandels. In diesem Zuge wurde eine Betrachtung der sommerlichen Hitzeinseln vorgenommen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2-6: Übersicht sommerliche Hitzeinseln als Auszug aus dem Teilkonzept Stadtgrün-Anpassung an die Folgen des Klimawandels der Stadt Mühlhausen (Quelle: Mellon GmbH) Abbildung 2-6 für das Quartier dargestellt. Es zeigt sich, dass insbesondere die versiegelten Parkflächen der Einzelhändler im Norden des Quartiers inkl. der angrenzenden Bereiche, wie auch im Bereich des Hufeland Klinikums, besondere Hotspots bilden, wo mit Anpassungsmaßnahmen begegnet werden sollte.

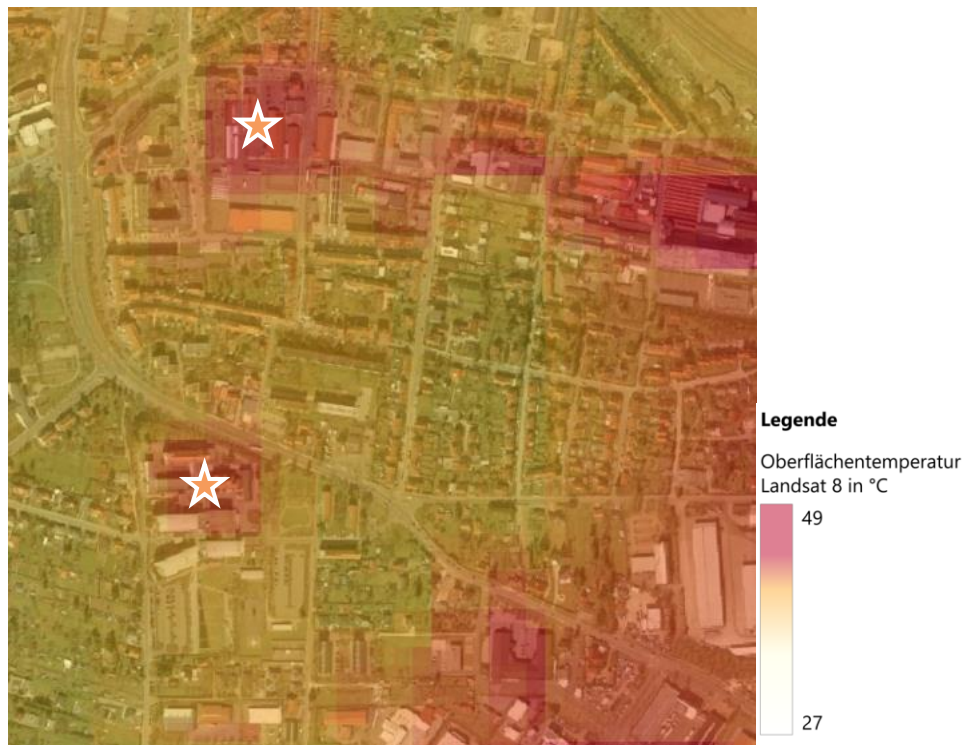


Abbildung 2-6: Übersicht sommerliche Hitzeinseln als Auszug aus dem Teilkonzept Stadtgrün-Anpassung an die Folgen des Klimawandels der Stadt Mühlhausen (Quelle: Mellon GmbH)

2.2 Energetische Ausgangssituation

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die energetische Ausgangssituation im Quartier. Die Analyse erfolgte auf Grundlage von jährlichen Verbrauchswerten, die durch die Stadtwerke Mühlhausen als Netzbetreiber zur Verfügung gestellt wurden. Lagen jeweils Werte für mehrere Jahre vor, so wurde ein Mittelwert gebildet. Eine Witterungskorrektur fand aus Gründen der Einfachheit nicht statt. Zu den Daten für die energetische Ausgangssituation gehören die Energieerzeugung (Technologie, Energieträger), die Energieinfrastruktur (Strom- und Wärmenetze, Speicher etc.), der Endenergieverbrauch sowie die spezifisch verursachten CO₂-Emissionen in den Bereichen Wärme, Strom und Verkehr.

Die hier ermittelten CO₂-Emissionen gelten als die zentrale Ziel- und Messgröße in der Klimawissenschaft und -politik. Daher wird für jeden Energiebereich Wärme, Strom und Verkehr, die spezifische CO₂-Bilanz berechnet. Dabei erfolgt keine Berücksichtigung der jeweiligen Vorketten und auch nicht anderer klimawirksamer Emissionen, das sogenannte Treibhausäquivalent.

2.2.1 Bestandssituation Wärme

Die Wärmeversorgung im Quartier basiert überwiegend auf Fernwärme und Erdgas. Der Status Quo der zugehörigen Infrastruktur ist nachfolgend beschrieben.

2.2.1.1 Wärmeerzeugung und Infrastruktur

Das Quartier ist vollständig mit Erdgas erschlossen. Zudem sind die Gebäude im Geschosswohnungsbau fast ausschließlich mit Fernwärme der Stadtwerke Mühlhausen versorgt. Fernwärme- als auch Erdgasnetz werden von der Stadtwerke Mühlhausen Netz GmbH betrieben.



Abbildung 2-7: Übersicht leitungsgebundener Wärme- und Erdgasversorgung im Quartier (grün: Fernwärme Bestand, blau: Fernwärme geplant; gelb: Erdgas) (Quelle: eigene Darstellung, Datenbasis Stadtwerke Mühlhausen, OpenStreet-Map)

Die leitungsgebundene Wärmeversorgung im Quartier wird vom Fernwärmenetz „Ballongasse“ der Stadtwerke Mühlhausen bereitgestellt. Die Fernwärme wird überwiegend in Kraft-Wärme-Kopplung aus Erdgas gewonnen. Durch den Zubau einer Solarthermieanlage am Schadeberg im Jahr 2021 wird der Primärenergiefaktor weiter verbessert. Mit über 2.500 MWh/a deckt die Anlage ca. 14 % der Wärmemenge in diesem Fernwärmegebiet ab und stellt damit den Anteil erneuerbarer Energien an der Fernwärme dar.

In den letzten Jahren wurden seitens der Stadtwerke folgende Modernisierungsmaßnahmen im Fernwärmenetz „Ballongasse“ vorgenommen oder sind geplant:

- 2018: Neubau BHKW, Ballongasse 999 kW_{elt}
- Ausbau Öl/Gas-Kessel 4.000 kW_{therm}
- 2020: Netzneubau Ballongasse – Spielbergstraße
- 2024/2025 Einbindung Biomasseheizwerk auf dem Schadeberg (in Umsetzung)

Zudem wurden bis 2022 ca. 39 dezentrale Wärmeversorgungsprojekte durch die Stadtwerke umgesetzt.

2.2.1.2 Wärmebedarf

Der Wärmebedarf (Endenergie) im Quartier beträgt 14,2 GWh/a. Er wurde auf Basis der Daten aus dem Wärmekataster der Stadtwerke Mühlhausen ermittelt. Mehr als die Hälfte des Wärmebedarfes (51,5 %) wird über Fernwärme bereitgestellt (6,9 GWh/a). Der Anteil von Erdgas beträgt 39 % mit 5,8 GWh/a (siehe Abbildung 2-8: Wärmeversorgung nach Versorgungsarten Abbildung 2-8). Unter die sonstigen Wärmeversorgungen mit 10 % fallen Feuerungsanlagen mit Flüssiggas, Heizöl und Wärmepumpen (1,5 GWh/a). Wegen der eher geringen Relevanz für den Gesamtenergiebedarf wurden diese nicht weiter aufgeschlüsselt. Die räumliche Verteilung der Wärmeversorgungsarten ist zur Übersicht in Abbildung 2-8: Wärmeversorgung nach Versorgungsarten dargestellt. Es wird ersichtlich, dass besonders die gründerzeitliche Bebauung in der Schadebergstraße und südlichen Rudolf-Breitscheid-Straße sowie die Pfannschmidtstraße noch überwiegend mit Erdgas versorgt werden.

Wärmeversorgung nach Versorgungsarten [MWh/a]

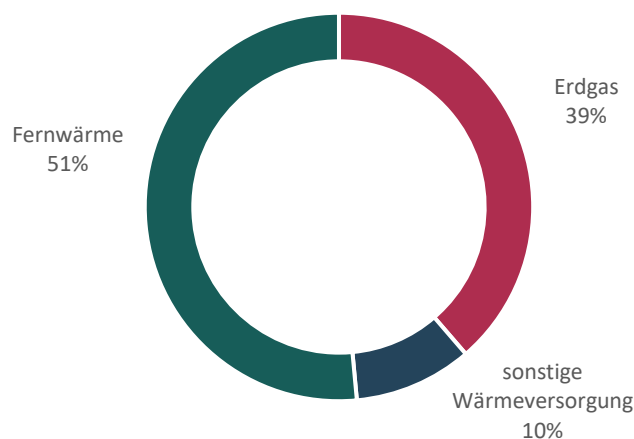


Abbildung 2-8: Wärmeversorgung nach Versorgungsarten



Abbildung 2-9: Wärmeversorgung im Quartier nach Versorgungsarten, rot: Erdgas, grün: Fernwärme, grau: mitversorgt über anderen Hausanschluss, blau: sonstige Wärmeversorgung, grüne Linie: Fernwärmenetz, gelbe Linie: Erdgasnetz Bestand, blaue Linie: Fernwärme geplant (Quelle: eigene Darstellung, Datenbasis Stadtwerke Mühlhausen, OpenStreet-Map)

Betrachtet man die Verteilung der Wärmenutzung nach den Eigentümern, fällt auf, dass der größte Einzelnutzer das Hufeland Klinikum ist. Zudem entfallen auf die größten vier Wohnungsunternehmen im Quartier 35 % des Wärmebedarfs. Diese sind die Städtische Wohnungsgesellschaft Mühlhausen GmbH, Wohnungsgenossenschaft Mühlhausen e. G., AGU Immo GmbH und die MHL Wohnen UG.

Die grafische Aufbereitung der räumlichen Verteilung der Wärmeverbräuche zeigt die Orte des höchsten (schwarz) und niedrigsten (gelb) Wärmeverbrauchs im Quartier. Die größten Wärmebedarfe zeigen sich beim Hufeland Klinikum und im Bereich der Blockbauten im Nordwesten des Quartiers.

Wärmebedarfe nach Eigentümerstruktur

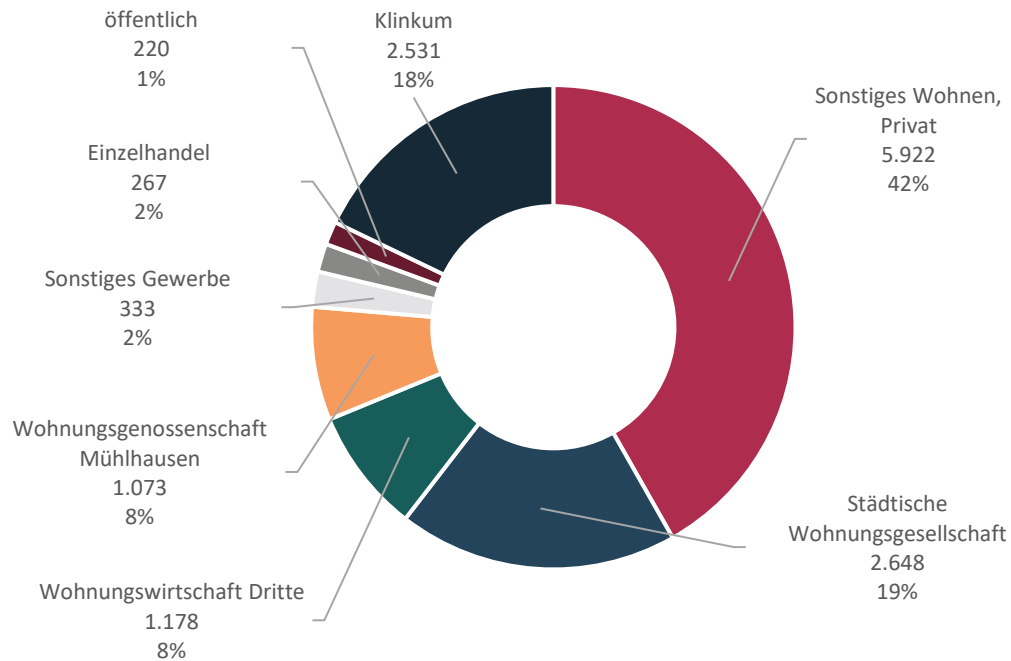


Abbildung 2-10: Verteilung Wärmeverbrauch nach Nutzergruppen

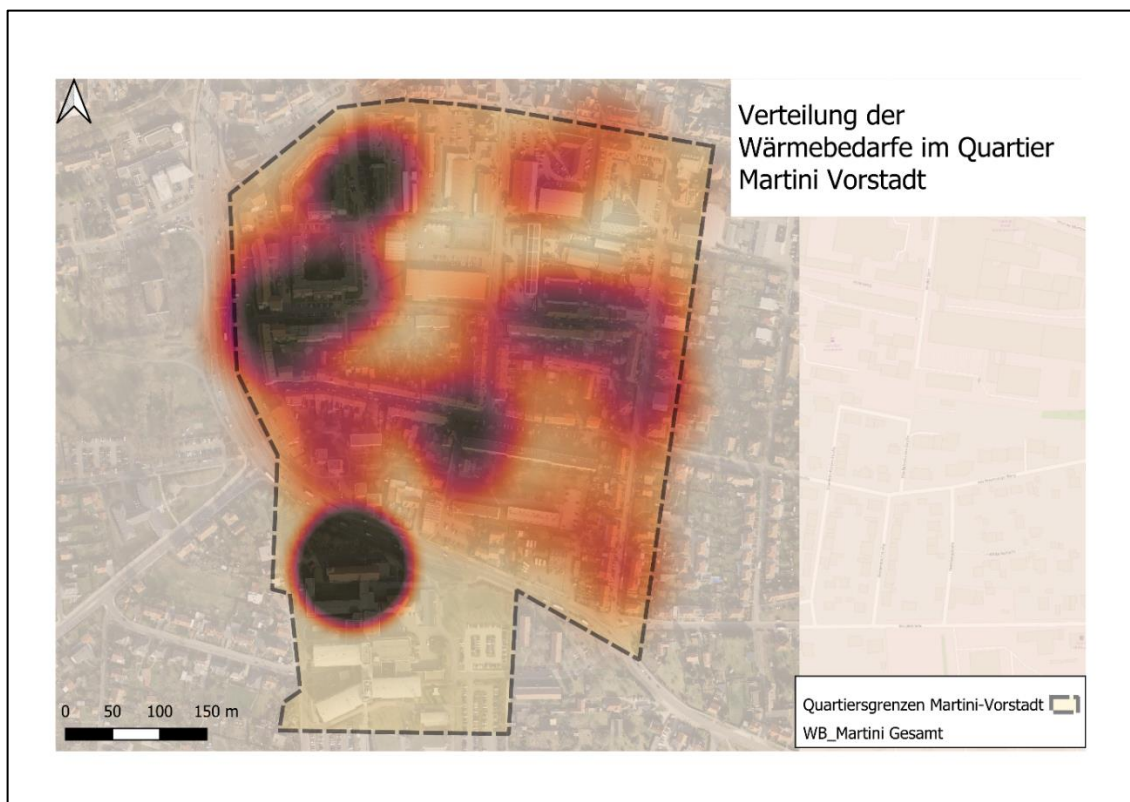


Abbildung 2-11: räumliche Verteilung der Wärmebedarfe im Quartier „Martini Vorstadt“, Parameter für die Darstellung: Maximum 800 MWh/a (schwarz), einheitliche Kreisgröße

2.2.1.3 CO₂-Bilanz

CO₂-Emissionen gelten als die zentrale Ziel- und Messgröße in der Klimawissenschaft und -politik. Daher wird für jeden Energiebereich Wärme, Strom und Verkehr, die spezifische CO₂-Bilanz berechnet. Dabei erfolgt keine Berücksichtigung der jeweiligen Vorketten.

Anhand von CO₂-Faktoren können die durch die Wärmeenergie verursachten CO₂-Emissionen weitestgehend berechnet werden. Der CO₂-Faktor der Fernwärme liegt bei 0,111 t CO₂/MWh. Dieser wurde nach der Norm FW 309-6:2021 für das Fernwärmenetz „Ballongasse“ ermittelt. Der für Erdgas (H_i Heizwert) liegt bei 0,201 t CO₂/MWh (22). Für Sonstige Wärmeversorgungen wurde der CO₂-Faktor von Heizöl mit 0,266 t CO₂/MWh angesetzt. Die jährlichen ca. 14,1 GWh Wärmeverbrauch verursachen damit ca. 2.324 Tonnen CO₂ pro Jahr. Es wird bereits ersichtlich, dass eine bedeutende Reduzierung der Emissionen bei der Substitution von Erdgas durch Fernwärme besteht.

2.2.1.4 Lastgang

Um die Verbrauchsdaten für Wärme zeitgenau zu kennen, wurde ein synthetisches Lastprofil, konsolidiert für alle Sektoren anhand der Stundenwerte, entwickelt. Hier fließen normierte Werte und Standards ein, die auf Messungen vergleichbarer Zielgruppen beruhen. Das synthetische Lastprofil wird deshalb auch als Standardlastprofil (SLP) bezeichnet.

Anhand der Nomenklatur für Standardlastprofile (23) wurden die quartierspezifischen Gebäudetypen wie folgt zugeordnet:

- Wohnen: Mehrfamilienhaus
- Kita, Wohnheim: Gebietskörperschaften
- Krankenhaus: Beherbergung
- GHD, Lebensmittelmärkte: Einzelhandel, Großhandel

Dazu wurden die Temperaturdaten des Testreferenzjahres (mittleres Jahr, Bezugszeitraum 1995 – 2012) aus dem Klimaberatungsmodul für den Standort Mühlhausen des Deutschen Wetterdienstes herangezogen. (24).

Anhand der Zuordnung der Gebäude zu den Standardlastprofilen und deren typischer Heizlast sowie den Temperaturen vor Ort, konnte mit Hilfe eines eigenen Berechnungstools ein stundenscharfer Lastgang ermittelt werden (vgl. Abbildung 2-12: Synthetisches Lastprofil des Wärmeverbrauchs mit zugehöriger Jahresdauerlinie aller Verbraucher im Quartier im Jahresverlauf Abbildung 2-12). Die Abbildung zeigt diesen Lastgang zusammen mit der geordneten Jahresdauerlinie.

Das Lastprofil bildet das typische Badewannenprofil mit einem reduzierten Verbrauch in den Sommermonaten. Die maximale Leistung, die abgerufen wird, beträgt rund 5,7 MW, das Minimum liegt hingegen bei 1 MW. Gerade in den Sommermonaten, in denen der Wärmebedarf hauptsächlich durch den Trinkwarmwasserbedarf gekennzeichnet ist, liegt die angeforderte thermische Leistung nur selten über 2 MW.

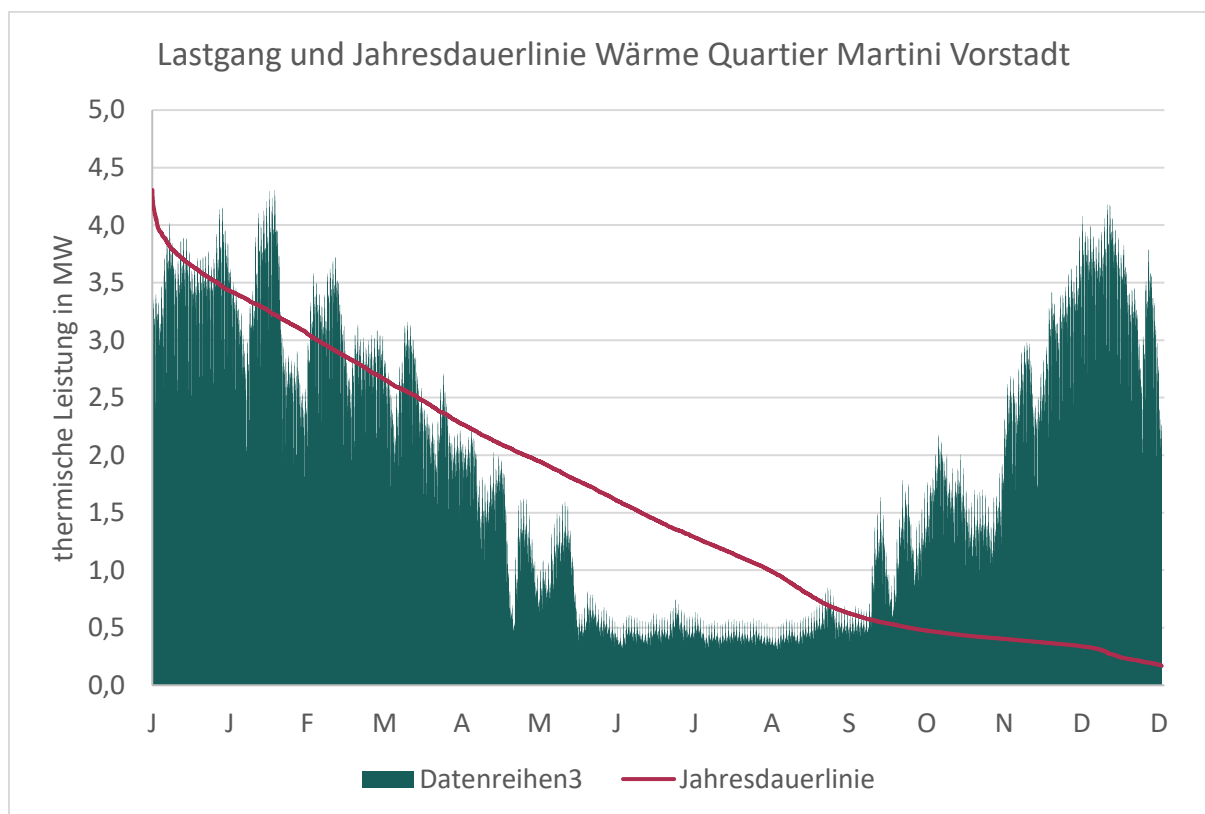


Abbildung 2-12: Synthetisches Lastprofil des Wärmeverbrauchs mit zugehöriger Jahresdauerlinie aller Verbraucher im Quartier im Jahresverlauf

2.2.1.5 CO₂-Bilanz

Anhand von CO₂-Faktoren können die durch die Wärmeenergie verursachten CO₂-Emissionen berechnet werden. Der CO₂-Faktor für Erdgas bezogen auf den Brennwert liegt bei 0,181 t/MWh und der für Heizöl bei 0,255 t/MWh (25). Für die Fernwärme wurden die Daten der Stadtwerke Mühlhausen GmbH herangezogen, deren CO₂-Faktor bei 0,111 t/MWh liegt. Insgesamt wird durch die Wärmeversorgung des Quartiers 2.324 t/a an CO₂ emittiert (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: CO₂-Bilanz Wärme

Medium	Endenergieverbrauch [MWh]	CO ₂ -Faktor [t CO ₂ /MWh]	CO ₂ -Emissionen [t CO ₂]
Fernwärme	6.906	0,111	767
Erdgas	5.769	0,201	1.160
sonstige	1.494	0,266	397
Wärme gesamt	14.172		2.324

2.2.1.6 Zusammenfassung Wärme

Durch einen Energieverbrauch von jährlich ca. 14 GWh für Wärme im Quartier werden etwa 2.324 t/a Kohlenstoffdioxid emittiert. Der größte Einzelverbraucher ist das Hufeland Klinikum mit einem Wärmeverbrauch von rund 2,5 GWh (18% von Gesamt) und einer Kohlenstoffdioxid-Emission von ca. 281 t/a.

Die städtischen und privaten Wohnungsgesellschaften mit vorwiegend Blockbauten verantworten ca. 35 % des gesamten Wärmebedarfes. Mehr als die Hälfte des Wärmebedarfes (51,5 %) wird über Fernwärme bereitgestellt (6,9 GWh/a). Der Anteil von Erdgas beträgt 39 % mit 5,8 GWh/a.

Aufgrund der ähnlichen Emissionsfaktoren der Wärmeversorgungsarten im Quartier verteilen sich die CO₂-Emissionen entsprechend den Wärmeverbräuchen im Quartier. Mit zunehmendem Anteil erneuerbarer Energien in der Fernwärme in der Zukunft könnte der Anteil der Emissionen durch Fernwärme kleiner werden. Auch der schrittweise Austausch alter Gas- und Ölkessel durch klimaneutrale Wärmeerzeuger wird in Zukunft die CO₂-Emissionen weiter absenken (siehe dazu Abschnitt 5.3).

2.2.2 Bestandssituation Strom

Der folgende Abschnitt betrachtet die elektrische Energie. Nach der kurzen Beschreibung der aktuellen Situation der Infrastruktur wird der Bedarf und seine unterschiedliche Verteilung beleuchtet. Im nächsten Schritt werden die strombasierten CO₂-Emissionen berechnet.

2.2.2.1 Stromerzeugung und Infrastruktur

Bereits heute findet Stromerzeugung im Quartier statt. Die Auswertungen von Luftbildern ergaben, dass bereits 9 Photovoltaikanlagen im Quartier betrieben werden. Diese stellen eine Leistung von ca. 820 kW_p bereit. Eine dieser Anlagen ist die Photovoltaik-Anlage, die im Jahr 2023 mit 12 kW_p auf dem Dach des Stadtteilbüros und im Zuge der Sanierung durch die Städtische Wohnungsgesellschaft Mühlhausen errichtet wurde. Zusammengenommen wird die Stromproduktion aus Photovoltaik im Quartier auf 8 MW pro Jahr abgeschätzt. Die Wärmeproduktion aus solarthermischen Anlagen im Quartier wird wegen ihres geringen Anteils nicht weiter betrachtet. Die Abbildung 2-13: Lage bestehender Solaranlagen im Quartier (ST - Solarthermie; PV - Photovoltaik) (Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Luftbilder der Stadt Mühlhausen) Abbildung 2-13 zeigt die Lage der Photovoltaikanlagen und solarthermischen Anlagen im Quartier.

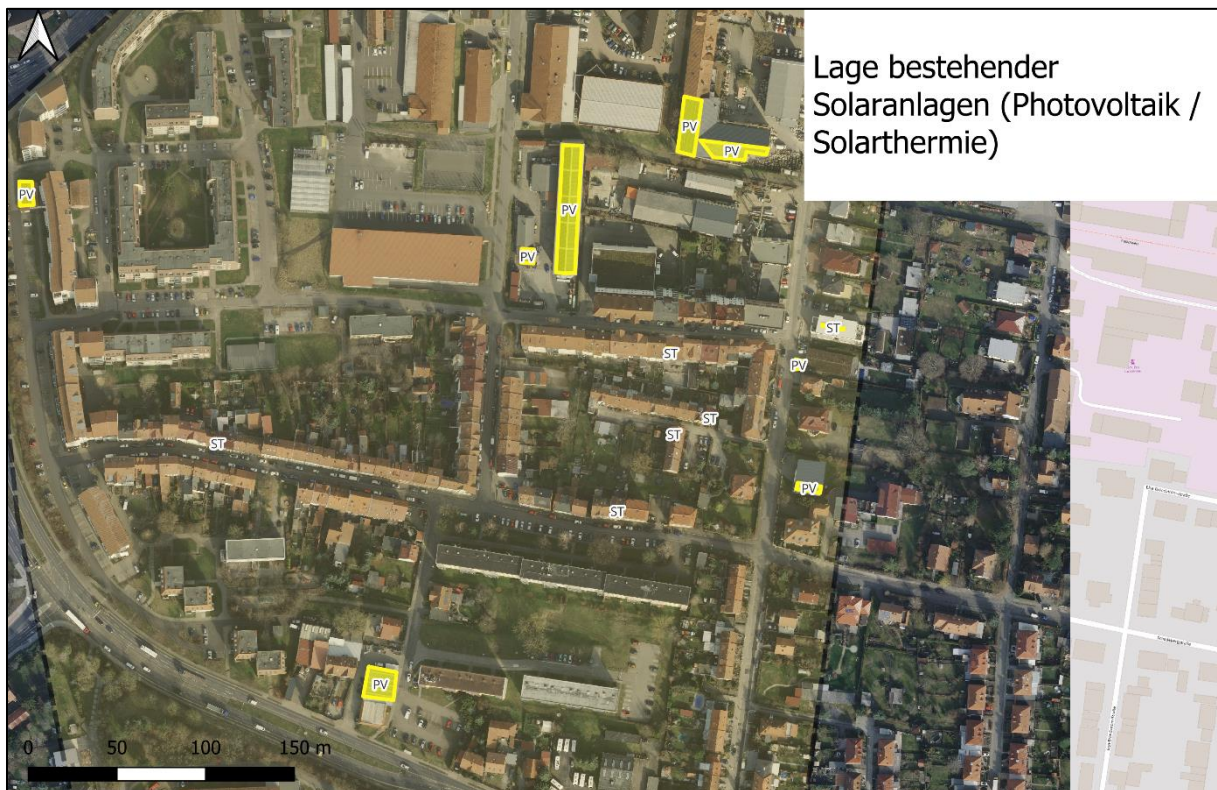


Abbildung 2-13: Lage bestehender Solaranlagen im Quartier (ST - Solarthermie; PV - Photovoltaik) (Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Luftbilder der Stadt Mühlhausen)

Insgesamt erfolgt die Stromversorgung überwiegend über das öffentliche Netz. Das Solarpotenzial wird im Teil Potenzialbetrachtung näher untersucht.

2.2.2.2 Strombedarf

Die Datenerhebung erfolgte auf Basis der Abrechnungsdaten des Verteilnetzbetreibers. Der Gesamtstrombedarf im Quartier beträgt 6,8 GWh/a. Der Strombedarf im Quartier wird dominiert von zwei Nutzergruppen: Dem Hufeland Klinikum und der Wohnnutzung.

Strombedarf Verbrauchsgruppen [MWh/a]

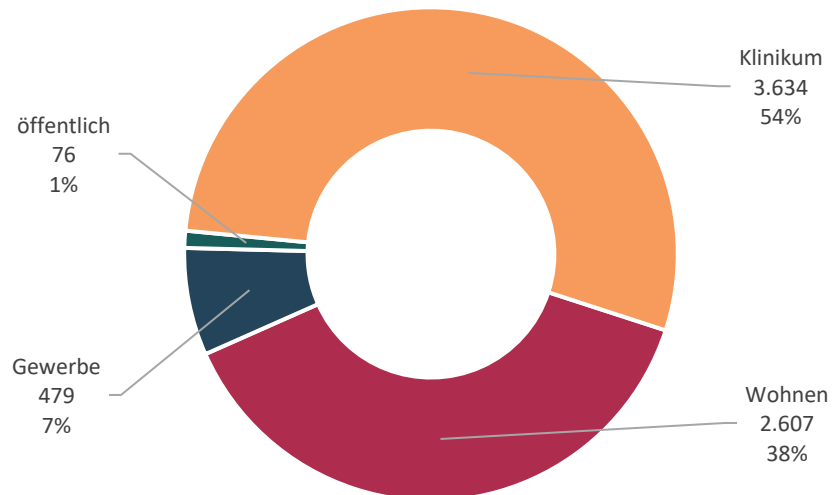


Abbildung 2-14: Strombedarf im Quartier nach Nutzergruppe (Datenquelle: Stadtwerke Mühlhausen GmbH, eigene Darstellung)

Abbildung 2-14: Strombedarf im Quartier nach Nutzergruppe (Datenquelle: Stadtwerke Mühlhausen GmbH, eigene Darstellung)Abbildung 2-14 zeigt die Verteilung des Stromverbrauchs je Sektor. Der größte Verbrauchsanteil mit ca. 3,6 GWh pro Jahr (64 % des Verbrauchs im Quartier) entfällt auf das Hufeland Klinikum. Gefolgt wird es mit ca. 2,6 GWh (38 %) von den Wohngebäuden, d. h. den privaten Haushalten. Die öffentlichen Gebäude nehmen mit 0,076 GWh (1 %) den letzten Platz ein.

2.2.2.3 CO₂-Bilanz

In den weiteren Berechnungen wird bei dem aus dem öffentlichen Netz bezogenen Strom davon ausgegangen, dass die CO₂-Emissionen dieses Energieträgers dem Bundesdurchschnitt der deutschen Stromerzeugung entsprechen. Der durchschnittliche bundesdeutsche Strommix hat für das Jahr 2021 einen Emissionsfaktor von 0,435 kg CO₂/kWh (26).

Dem Strombedarf im Quartier steht eine Stromerzeugung aus Photovoltaik von ca. 8 MWh/a gegenüber. Bei der Betrachtung der Emissionen wird dieser Betrag mit 0 gewertet.

In Tabelle 2 sind die Energiemengen für Verbrauch und Produktion von elektrischer Energie im Quartier aufgeführt. Insgesamt werden im Quartier 6.796 MWh/a an Strom verbraucht. Dem stehen 8 MWh/a erzeugter Energie durch erneuerbare Energien gegenüber. Betrachtet man den durch erneuerbare Energien erzeugten Strom und die CO₂-Emissionen vom 4 t/a, die damit vermieden wurden als Gutschrift, so werden durch die Nutzung von elektrischer Energie im Quartier insgesamt 2.952 t/a CO₂ ausgestoßen.

Tabelle 2: CO₂-Bilanz Strom

Medium	Endenergieverbrauch [MWh]	CO ₂ -Faktor [t CO ₂ /MWh]	CO ₂ -Emissionen [t CO ₂ /a]
Strombedarf	6.796	0,435	2.956
Stromerzeugung PV	8	-0,435	-4
Gesamtbedarf netto	6.788		2.952

Der Stromverbrauch im Quartier geht mit jährlich ca. 3.000 Tonnen CO₂-Emissionen einher. Die Verteilung dieser strombasierten Emissionen korrespondiert mit den Höhen der Verbräuche: Der überwiegende Anteil des Strombedarfs im Quartier wird vom Hufeland Klinikum verantwortet (54 %).

Strombasierte CO₂-Emissionen nach Verbrauchsgruppen [%]

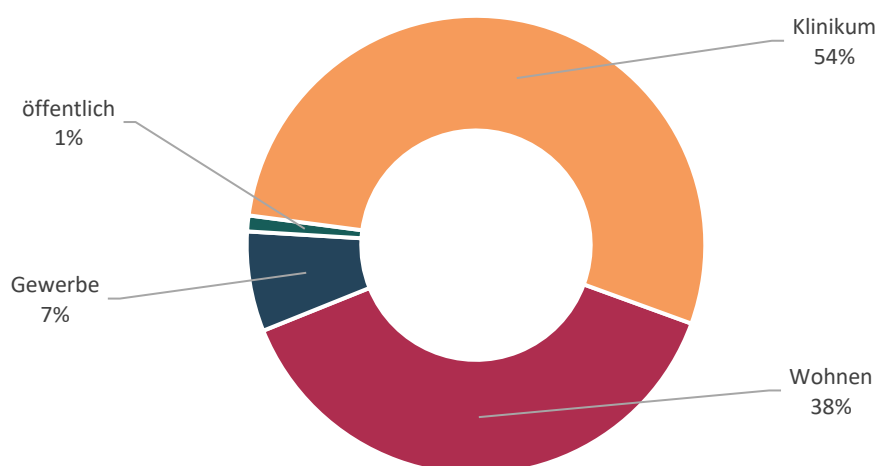


Abbildung 2-15: Verteilung der strombasierten CO₂-Emissionen nach Sektoren

2.2.2.4 Zusammenfassung Strom

Die Analyse der Ausgangsbedingungen im Bereich der Stromversorgung zeigen, dass der hauptsächliche Strombedarf vom Hufeland Klinikum resultiert. Verbesserungen der Energieeffizienz im Hufeland Klinikum können also bezogen auf das Quartier bereits einen großen Beitrag leisten. An zweiter Stelle liegt die Wohnungsnutzung im Quartier. Durch die Vielfalt der Eigentümer und Nutzerstruktur sind hier die Potenziale auf eine Vielzahl von Akteuren verteilt. Bei der Betrachtung der bestehenden Photovoltaik und Solarthermie Anlagen im Quartier wird deutlich, dass das Potenzial hier bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist.

2.2.3 Verkehr und Mobilität

Für die Betrachtung des Verkehrs wird eine kurze Einordnung der gegenwärtigen Situation von Verkehr und Mobilität im Quartier vorgenommen. Anschließend erfolgt die Untersuchung der verkehrsverursachten Kraftstoffverbräuche.

2.2.3.1 Gegenwärtige Situation

Das Quartier ist durch das Radwegenetz der Stadt erschlossen. Das im Dezember 2023 im Stadtrat beschlossene Radverkehrskonzept (27) zeigt die Wegeföhrung wie in Abbildung 2-16: Radwegenetz im Quartier, Ausschnitt aus dem Radverkehrsnetz (Quelle: Stadt Mühlhausen) dargestellt auf.

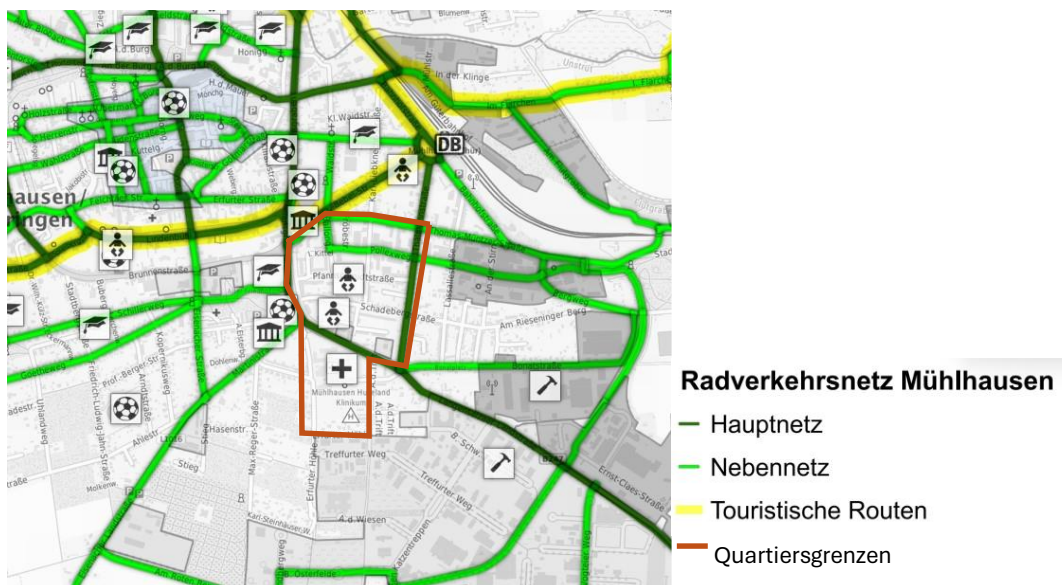


Abbildung 2-16: Radwegenetz im Quartier, Ausschnitt aus dem Radverkehrsnetz (Quelle: Stadt Mühlhausen)

Neben den Radwegenetz ist das Quartier auch durch städtische Buslinien erschlossen. Im oder direkt angrenzend an das Quartier befinden sich 7 Bushaltestellen, die von 4 unterschiedlichen Buslinien angefahren werden. Im Schnitt erreichen die Bewohner des Quartiers nach ca. 300 m oder ca. 6 Minuten die nächste Haltestelle. Damit kann das Quartier bezüglich dem ÖPNV als gut erschlossen bezeichnet werden.

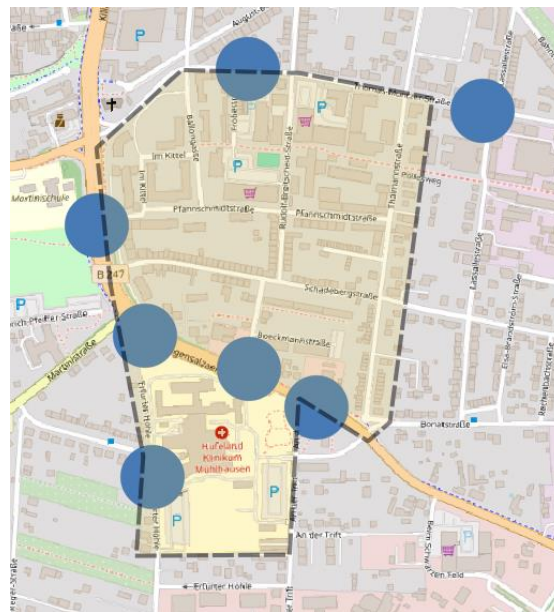


Abbildung 2-17: Lage von Bushaltestellen im Quartier, dargestellt mit 100m-Radius (eigene Darstellung)

Im und angrenzend an das Quartier verläuft die Bundesstraße B247, die eine überregionale Verbindungsstraße darstellt und demnach erheblich zum Verkehrsaufkommen im Quartier beiträgt. Nach der Verkehrszählung des Thüringer Landesamtes für Bau und Verkehr (28) war die Kreuzung der Bundesstraßen B247 mit der B249 (Langensalzaer Straße – Brunnenstraße – Thomas-Münzer-Straße – Kiliansgraben) die am meisten befahrende Straße der Stadt mit täglich 17.727 PKW und 1.802 LKW. Derzeit ist eine Umgehungsstraße im Bau (siehe Abbildung 2-18: Verlauf der neuen B247 (Quelle: via Mühlhausen Thüringen)). Nach Fertigstellung ist zu erwarten, dass die Verkehrsbelastung im Quartier spürbar sinken wird.



Abbildung 2-18: Verlauf der neuen B247 (Quelle: (29) via Mühlhausen Thüringen)

2.2.3.2 Vorhandene Ladeinfrastruktur



Abbildung 2-19: Lage öffentlicher Ladepunkt im Quartier (Quelle: Laderegister Bundesnetzagentur)

Ein wichtiger Punkt für die Nutzung von Elektrofahrzeugen ist die Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur. Derzeit gibt es im Quartier nur einen öffentlichen Ladepunkt mit 150 kW auf dem Parkplatz des Einzelhändlers Netto in der Rudolf-Breitscheid-Straße 24.

Als wichtigsten Anreiz für die Förderung von Elektrofahrzeugen im Quartier ist die Schaffung von zusätzlichen Ladesäulen zu nennen. Diese können bei geeigneten Platzverhältnissen auch in Form von PV-Carports errichtet werden, denn so können Räume des ruhenden Verkehrs zusätzlich für PV-Anlagen genutzt werden, die sonst ungenutzt wären. Als positiver Nebeneffekt kann der vor Ort erzeugte Strom der PV-Anlage direkt zum Laden der Elektrofahrzeuge verwendet werden.

2.2.3.3 Energiebedarf

Zur Ermittlung der Energiebedarfe für den Verkehr erfolgte eine vereinfachte Bilanzierung des motorisierten Verkehrs auf dem Quartiersgebiet. Systembedingt lassen sich die verkehrsbedingten Energiebedarfe nur sehr schwer einem bestimmten Quartier zuordnen, denn die Fahrzeuge bewegen sich sowohl innerhalb als auch über die Grenzen des Quartiers hinweg. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher ein vereinfachter Ansatz zur Bewertung der verkehrsbezogenen Energiebedarfe und THG-Emissionen gewählt. Dabei werden nur die Emissionen und Energiebedarfe betrachtet, die dem Quartier durch motorisierten Individualverkehr mittels Personenkraftwagen (PKW) und Krafträder zugerechnet werden können. Die Zurechnung erfolgt über die Einwohneranzahl.

Für die Analyse wurden auf die Zulassungszahlen des Kraftfahrtbundesamtes sowie deren offizielle Statistiken über mittlere Laufleistung, durchschnittliche Verbräuche, Emissionen, Kraftstoff-Preise und -Energiegehalt zurückgegriffen. Hierbei wurde anhand des Approximationsfaktors von 4,3 % – entwickelt aus dem Verhältnis der Einwohner im Quartier (1.600 Personen) zur gesamten Stadt (37.901 Personen) – die Zulassungszahlen auf Quartiersebene bestimmt.

Tabelle 3: Berechnung Approximationsfaktor

Approximationsfaktor	
Einwohner Quartier „Martini Vorstadt“	1.600
EW Stadt Mühlhausen	37.901
Anteil Einwohner Quartier von Stadt Mühlhausen	4,3

Anhand dieser Daten konnten u. a. die PKW-Dichte, der Energie- und Kraftstoffverbrauch, die Treibhausgasemissionen und die dazu gehörigen Kraftstoffkosten berechnet werden.

Energieverbräuche und damit verbundene Emissionen für den Transport von Gütern (LKW), Bussen und Nutzfahrzeugen (Landwirtschaft) wurden in dieser Bilanzierung nicht betrachtet. Die Daten auf Stadtebene sind bei einer Umrechnung auf das Quartier nicht aussagekräftig.

Die Daten der übrigen zu analysierenden Fahrzeugarten – Krafträder, PKW– sind auf den Webseiten des Kraftfahrtbundesamtes einzusehen (30). In Tabelle 4 ist die Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge in der gesamten Stadt und im Quartier zum 01.01.2022 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 4: Anzahl zugelassener Fahrzeuge in Mühlhausen und im Quartier (zum 01.01.2022)

	Krafträder	PKW	Gesamt
Stadt Mühlhausen	1.332	18.775	20.107
Quartier „Martini Vorstadt“	60	839	1.017

In den vergangenen zehn Jahren ist die PKW-Dichte in Deutschland durchgehend gestiegen. Laut statistischem Bundesamt (31) lag diese trotz öffentlicher Debatten über eine Verkehrswende bundesweit im Schnitt bei 580 Autos pro 1.000 Einwohnern, in Thüringen etwas darunter bei 564 Fahrzeugen auf 1.000 Personen (im Vergleich 2011: 518 Fahrzeuge auf 1000 Personen) (31). Das PKW-Aufkommen ist mit (statistisch) 524 PKWs pro 1.000 Einwohner in Mühlhausen niedriger als der Durchschnitt im Freistaat Thüringen und der gesamten Bundesrepublik Deutschland.

Für die Berechnung der verbrauchten Energiemengen bedarf es einer weiteren Unterscheidung nach der Kraftstoffart und mittlerer Laufleistung und mittlerem Verbrauch der Fahrzeuge. Die statistische mittlere Laufleistung wird nach Daten des Kraftfahrtbundesamtes (32) wie folgt zugrunde gelegt (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Fahrleistung der Fahrzeugtypen nach Kraftstoffart (zum 01.01.2022)

Kraftstoff	Einheit	Krafträder	PKW
Benzin (einschl. Elektro)	km/a	2.155	9.345
Diesel	km/a	-	18.445

Die Anzahl an alternativen Antrieben wie bei Hybriden, Erdgasfahrzeugen sowie Elektroautos steigt

zwar in den vergangenen Jahren kontinuierlich, nimmt aber in Mühlhausen immer noch einen sehr geringen Anteil ein (3 %).

Auch der streckenspezifische Kraftstoffverbrauch wird in der Bilanzierung verarbeitet (vgl. Tabelle 6). Hierfür wurden verschiedene Quellen herangezogen: Krafträder (Erfahrungswerte Tilia), PKW (33), LKW (Erfahrungswerte Tilia), Elektro-Krafträder (34), Elektro-PKW und -LKW (35) sowie Elektro-Busse (36).

Tabelle 6: Typische Kraftstoffverbräuche nach Fahrzeugtypus

Kraftstoff		Krafträder	PKW	LKW	Bus
Benzin	l/100km	3,9	7,7	12	-
Diesel	l/100km	-	6,8	19	36
Elektro	kWh/100km	15	21	-	163

Zur Ermittlung der tatsächlich zu bilanzierenden Energiemengen werden die bisher aufgeführten fahrzeugspezifischen Daten und resultierenden Kraftstoffverbräuche mit Angaben über den volumenspezifischen Energiegehalt (37) verknüpft (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Energiegehalt nach Kraftstoffart

Kraftstoff	Einheit	Energiegehalt
Benzin	kWh/l	8,9
Diesel	kWh/l	9,8

Aus der vorgestellten Vorgehensweise und erhobenen Daten lässt sich die folgende Energie-Bilanz des motorisierten Individualverkehrs ermitteln (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Kraftstoffverbräuche im Quartier

Parameter	Einheit	Krafträder	PKW Benzin	PKW Diesel	PKW alternativ
Anzahl	-	60	550	258	31
Spezifische Fahrleistung	km /a	2.155	9.345	18.445	9.345
Kraftstoffverbrauch	l/100 km	4,00	7,70	6,80	21,00
Energiegehalt	kWh/l	9,02	9,02	9,96	1,00
Kraftstoff-Gesamt	l/a	5.172	395.761	323.599	60.836
Energiebedarf	MWh/a	47	3.570	3.223	61

Insgesamt fällt für den Verkehr ein jährlicher Energiebedarf von rund 6.900 MWh an.

2.2.3.4 CO₂-Bilanz

Zur Ermittlung der CO₂-Mengen werden die bisher aufgeführten fahrzeugspezifischen Kraftstoffverbräuche mit dem CO₂-Faktor (26) verknüpft (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: CO₂-Faktor nach Kraftstoffart

Kraftstoffart	Einheit	CO ₂ -Faktor
Benzin	t CO ₂ /MWh	0,264
Diesel	t CO ₂ /MWh	0,266
Strom (alternativer Antrieb)	t CO ₂ /MWh	0,435

Die Berechnungen ergeben, dass der Verkehr, der dem Quartier zugeordnet wurde, jährlich etwa 1.839 Tonnen an CO₂ verursacht.

Tabelle 10: CO₂-Bilanz Verkehr

	Krafträder	PKW Benzin	PKW Diesel	PKW alternativ
Energiebedarf [MWh/a]	47	3.570	3.223	61
Emissionsfaktor [t CO ₂ /MWh]	0,26	0,26	0,27	0,435
CO ₂ -Ausstoß [t/a]	12,32	942,42	857,33	26,46

Tabelle 10 zeigt die Verteilung der verkehrsbasierten Emissionen entsprechend ihren Verursachern.

2.2.4 Gesamte Energie- und CO₂-Bilanz

Bei der zusammenfassenden Energie- und CO₂-Bilanz werden alle im Quartier anfallenden Energiebedarfe und daraus resultierenden Emissionen in einer übergreifenden Bilanz erfasst. Die jeweiligen Berechnungen wurden in den vorangegangenen Abschnitten unterteilt nach Einsatzbereichen vorgestellt. Aus den Berechnungen ergibt sich nachstehende zusammenfassende Bilanz:

Tabelle 11: Gesamt Energie- und CO₂-Bilanz für das Jahr 2020

Energiebereich	Endenergiebedarf [MWh]	CO ₂ -Emissionen [t CO ₂]
Strom	6.796	2.956
Wärme	14.172	2.324
Verkehr	6.900	1.839
Gesamt	27.868	7.111

Der jährliche Endenergiebedarf im Quartier liegt bei ca. 27.900 MWh. Dabei wird etwa 50 % der Endenergie zur Wärmebereitstellung – Raumwärme und Warmwasser – benötigt. 25 % des Endenergieverbrauchs sind dem Verkehr im Quartier zuzuordnen. 24 % der Endenergie wird als Strom zur Verfügung gestellt. Die energiebedingten CO₂-Emissionen im Quartier liegen insgesamt bei ca. 7.100 Tonnen pro Jahr. Diese entfallen zu 32 % auf den Bereich Wärme, zu 26 % auf den Bereich Verkehr und zu 41 % auf

den Bereich Strom (vgl. Abbildung 2-20: Verteilung der Medien bzgl. Energie- und CO₂-Bilanz Abbildung 2-20).

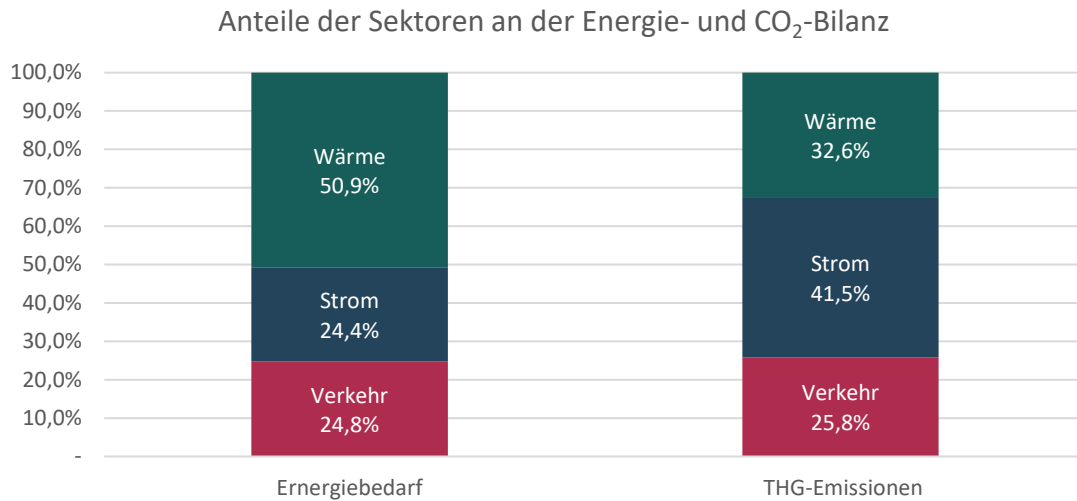


Abbildung 2-20: Verteilung der Medien bzgl. Energie- und CO₂-Bilanz

Es fällt auf, dass die Strombedarfe im Quartier einen hohen Anteil an den Gesamtemissionen haben. Daraus lässt sich ableiten, dass signifikante Einsparungen von Treibhausgas-Emissionen durch Steigerung der Bereitstellung von Strom aus erneuerbaren Energien im Quartier erreicht werden kann.

3 Potenzialanalyse

Um das Ziel der angestrebten Klimaneutralität zu erreichen, müssen zum einen erneuerbare Energien ausgebaut und zum anderen der Energiebedarf gesenkt werden. Um die Potenziale im Quartier hierfür zu identifizieren, werden in diesem Kapitel die erneuerbaren Energien, die Abwärme, die Effizienz- und Einsparungen, der Bereich Verkehr und Mobilität untersucht. Zudem sollen Ansätze zur Verbesserung des Mikroklimas und der Aufenthaltsqualität auf den Grün-, Frei- und Spielflächen aufgezeigt werden.

3.1 Solarenergie

Die Nutzung von Solarenergie erfolgt hauptsächlich durch zwei Technologien: Photovoltaik und Solarthermie. Beide Technologien konkurrieren um Flächen. Neuerdings sind auch Kombinationen beider Technologien auf einer Fläche möglich (sog. PVT-Module). Die Potenzialbetrachtung erfolgt insbesondere bezüglich der Photovoltaik, da der Einsatz der Solarthermie jeweils durch die individuelle Heizungstechnik eingeschränkt wird. Überblickshaft wird das Solarpotenzial anhand der Strahlungsbedingungen im Quartier durch Abbildung 3-1 dargestellt.

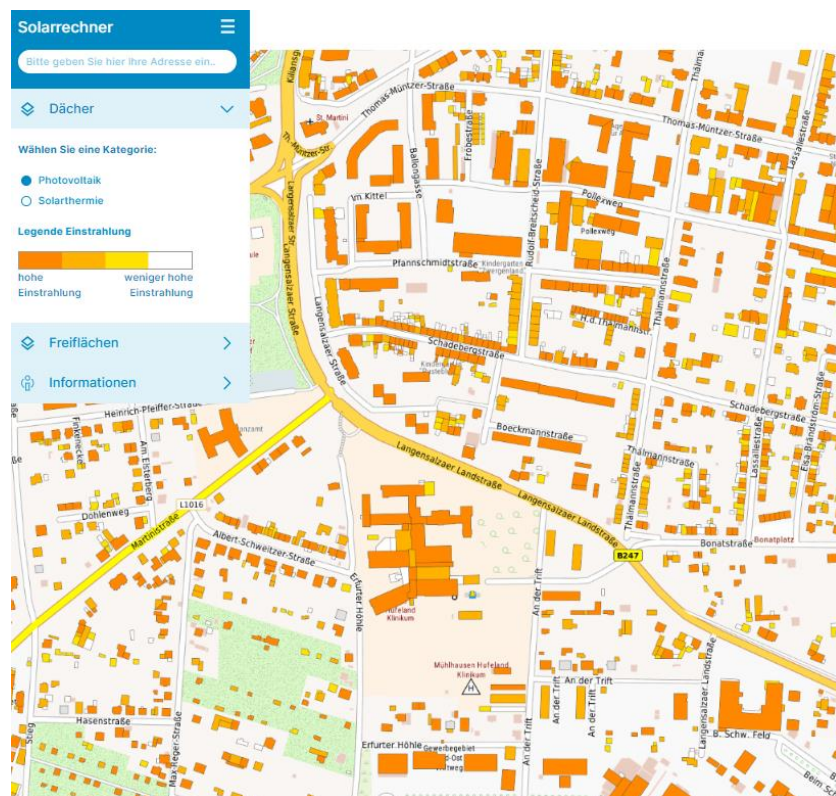


Abbildung 3-1: Einstrahlungsbedingungen im Quartier, rot = besonders hohe jährliche Sonneneinstrahlung, blau = besonders niedrige jährliche Sonneneinstrahlung (Quelle: (38)Solarkataster Thüringen)

3.1.1 Photovoltaik

Die energetische Strahlung der Sonne kann als Solarenergie auf verschiedene Arten zur Energiegewinnung genutzt werden. Sie kann mit Photovoltaikanlagen auf Dach-, Fassaden- oder Freiflächen zur Stromerzeugung verwendet sowie durch Solarthermie-Anlagen zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Zur Nutzung der Potenziale sind Flächen zur Aufstellung von Solaranlagen notwendig. Im Quartier kommen besonders die Dachflächen, Freiflächen wie Parkplätze als auch Fassaden infrage.

Es wurden im Rahmen der Potenzialanalyse die verfügbaren solaren Potenziale auf den Dachflächen der Gebäude im Quartier ermittelt. Einflussfaktoren für die Eignung sind Ausrichtung der Dachflächen, Neigung, Verschattungswahrscheinlichkeit durch umstehende Gebäude und Vegetation, Dachaufbauten (z. B. Oberlichter, Raumluftechnische Anlagen o. ä.) und Bauform.

Mit Hilfe der Betrachtung der Gebäudegrundflächen und Umrechnung in nutzbare Dachflächen wurde das Potenzial für Photovoltaikanlagen inkl. des zu erwartenden jährlichen Ertrags abgeschätzt, wobei mit einem zu erwartenden mittleren spezifischen Jahresertrag von rund 950 kWh/kW_p unabhängig von der Ausrichtung der Dachfläche gerechnet wurde. Daraus ließ sich auch auf das vorhandene Flächenpotenzial der Dachflächen schließen.

Das Gesamtpotenzial im Quartier wurde in folgende drei Cluster aufgeteilt:

1. Potenzial auf Wohnungswirtschaft
2. Potenzial aus Gewerbe
3. Potenzial Gründerzeithäuser und Rest Quartier

Für jeden Cluster wurden unterschiedliche Abschläge zur Ermittlung der tatsächlich nutzbaren Dachflächen gewählt. Die Ergebnisse der Analyse und Potenzialbetrachtung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 12: Potenziale Photovoltaik im Quartier inkl. möglicher Stromerträge und eingesparter Emissionen

Cluster	Flächenpotenzial (m ²)	davon nutzbare Flächen	PV-Potenzial (kWp)	PV-Potenzial (MWh/a)	CO ₂ Einsparung (t CO ₂ /MWh)
Blockbauten	11.000	50,0%	1.400	1.330	578,55
Gewerbe	9.200	70,0%	1.600	1.520	661,20
Rest Quartier	49.800	30,0%	3.700	3.515	1.529,03
Gesamt	70.000		6.700	6.365	2.769

Damit wird das Gesamtpotenzial von Strom aus Photovoltaik von den existierenden Dachflächen im Quartier mit 6.700 kW_p und ca. 6.400 MWh/a an jährlichem Ertrag beziffert. Der derzeitige jährliche Strombedarf im Quartier von ca. 6.800 MWh kann damit bilanziell bereits zu über 90 % abgedeckt werden.

Betrachtet man die einzelnen Cluster, so zeigt sich, dass bereits die Wohnungswirtschaft einen Anteil von 21 % Prozent am Gesamtpotenzial hält. Die betreffenden Gebäude sind in Abbildung 3-2

dargestellt. Mit dem großen Anteil am Gesamtpotenzial kommt der städtischen Wohnungsgesellschaft Mühlhausen und der Wohnungsgenossenschaft als größte Einzeleigentümer eine herausragende Rolle bei der Realisierung der Solarpotenziale im Quartier zu. Diese sollten mit Unterstützung durch die Stadtverwaltung als Vorreiter vorangehen.

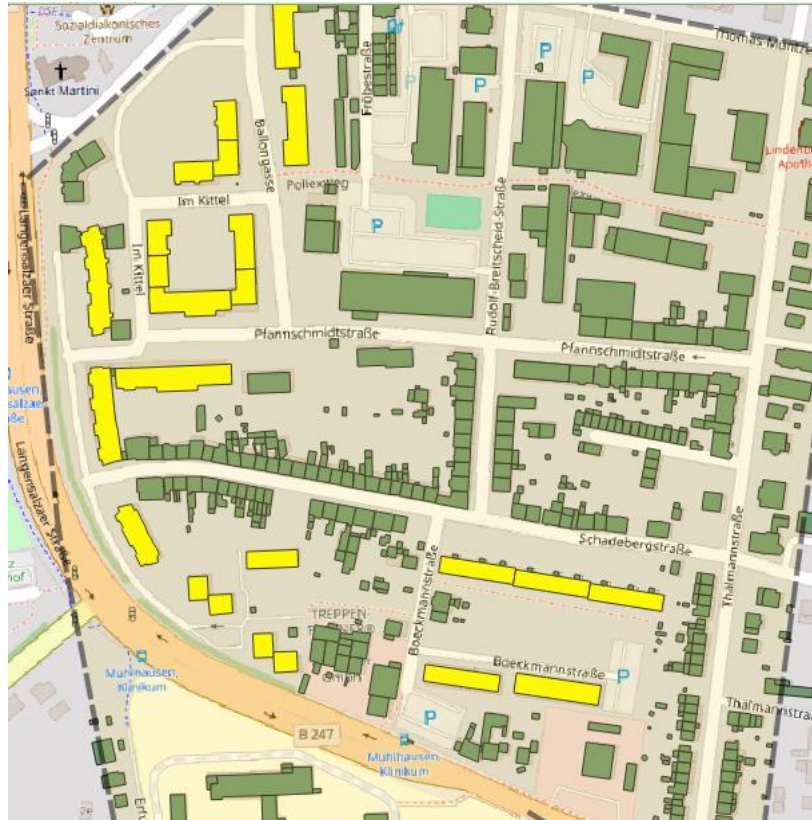
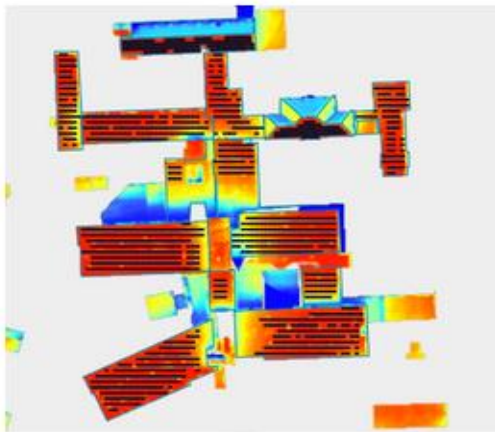


Abbildung 3-2: Potenzialflächen auf Gebäuden der Wohnungswirtschaft (gelb), Quelle: eigene Darstellung, Openstreetmap

Die Gewerbeimmobilien im Quartier vereinen 24 % Prozent des Potenzials. Somit entfallen 55 % auf den Rest des Quartiers, welches durch eine heterogene Eigentümerschaft geprägt ist. Dies bedeutet, dass in der letzten Gruppe die Realisierung des Potenzials eher langfristig und mit größerem Aufwand z. B. für Sensibilisierung möglich ist.

Ein Teil dieser Gruppe ist auch das Hufeland Klinikgebäude. Für dieses Gebäude wurde ein Potenzial von 530 kW einzeln analysiert. Ein Auszug aus den Ergebnissen aus dem Thüringer Solarrechner ist in Abbildung 3-3 dargestellt. Damit sind 13 % des Strombedarfs im Hufeland Klinikum bilanziell abdeckbar.



PV-Potenzial Hufeland Klinikum

Leistung: 530 kWp

Stromproduktion: 463 MWh/a

Zum Vergleich:

Strombedarf: 3.600 MWh/a

Abbildung 3-3: Übersicht PV-Potenzial Hufeland Klinikum mit strahlungsgünstigen Flächen (rot) und Beispiel für die Modulbelegung zur Leistungsermittlung (Quelle: Solarrechner Thüringen)

Ein großes Potenzial wird auch in der Umsetzung der Realisierung der Solarpotenziale im Bereich der Wohnungswirtschaft auf den Blockbauten im Quartier gesehen. Ein attraktives Modell ist die Verpachtung der eigenen Dächer an Dritte, welche dann den Mietern den Strom zur Verfügung stellen. Durch die rechtliche und teils technische Komplexität derartiger Projekte hat sich hier ein gewisser Markt an spezialisierten Anbietern für Mieterstrom-Modelle in Mehrparteienhäusern entwickelt. Über die Pacht haben die Wohnungsunternehmen so auch indirekt einen Einfluss auf die Nebenkosten ihrer Mieter.

3.1.1.1 Exkurs Mieterstrom

Lieferkettenmodell: Mieterstromlieferung über dritten Stromlieferanten

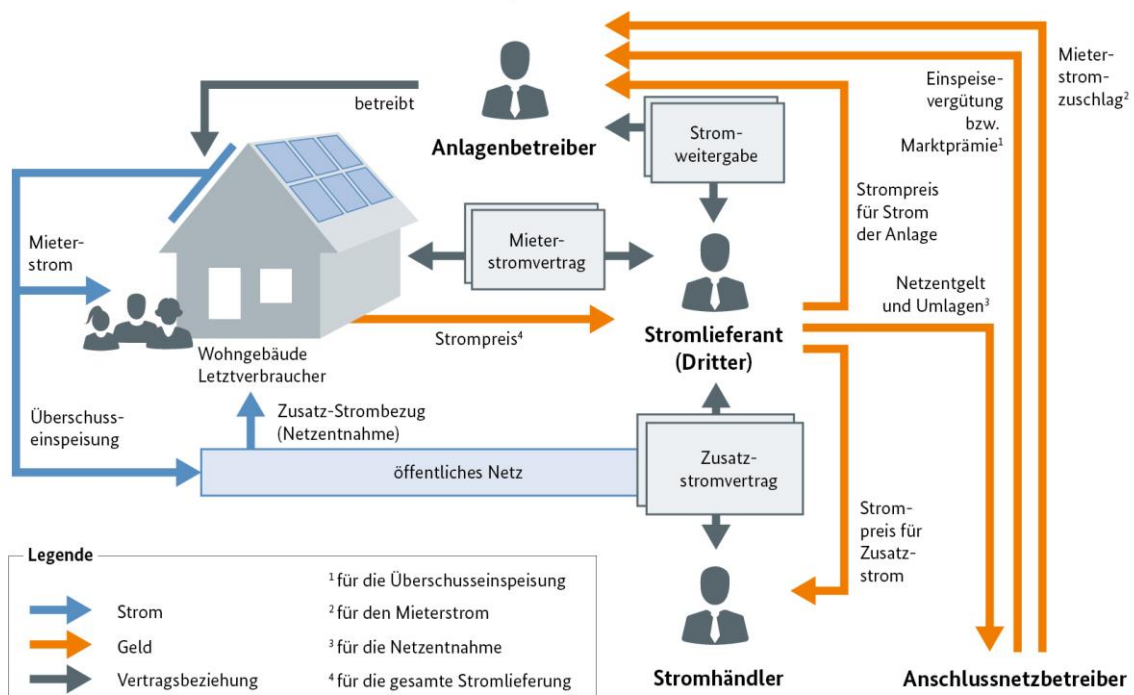


Abbildung 3-4: Lieferkettenmodell der Mieterstromlieferung, als Vereinfachte Variante können auch Anlagenbetreiber und Stromlieferant identisch sein (Quelle: Bundesnetzagentur)

Über ein Mieterstrom-Modell kann der auf dem Dach produzierte Strom aus Photovoltaik direkt von den Mietern im selben Gebäude verbraucht werden und abgerechnet werden. Sie profitieren damit von den günstigen Stromgestehungskosten für Strom aus Photovoltaik. Da nicht der komplette Strombedarf durch Photovoltaik zum eigenen Dach gedeckt werden kann, verbleibt weiterhin ein Reststrombezug auf aus dem öffentlichen Netz.

Der Betreiber der Photovoltaikanlage übergibt den produzierten Strom noch vor dem Einspeisepunkt ins öffentliche Netz an den Stromlieferanten, der diesen an die Miete des Gebäudes weiter reicht. Gleichzeitig versorgt der Stromlieferant die Mieter mit dem benötigten Reststrom aus dem öffentlichen Netz. Der Anlagenbetreiber kann neben dem Strompreis, den er vom Stromlieferanten erhält, auch eine Förderung in Form eines Mieterstrom-Zuschlags erhalten. Für die Einspeisung des nicht vor Ort verbrauchten Stromes in das öffentliche Netz kann er eine Vergütung über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) erhalten.

Für ein Mieterstromprojekt muss jedes Gebäude einzeln kalkuliert werden. Beispielhaft wird hier eine Berechnung mit dem Solarrechner Thüringen (38) für das Gebäude Pfannschmidtstraße 10 bis 14 durchgeführt.

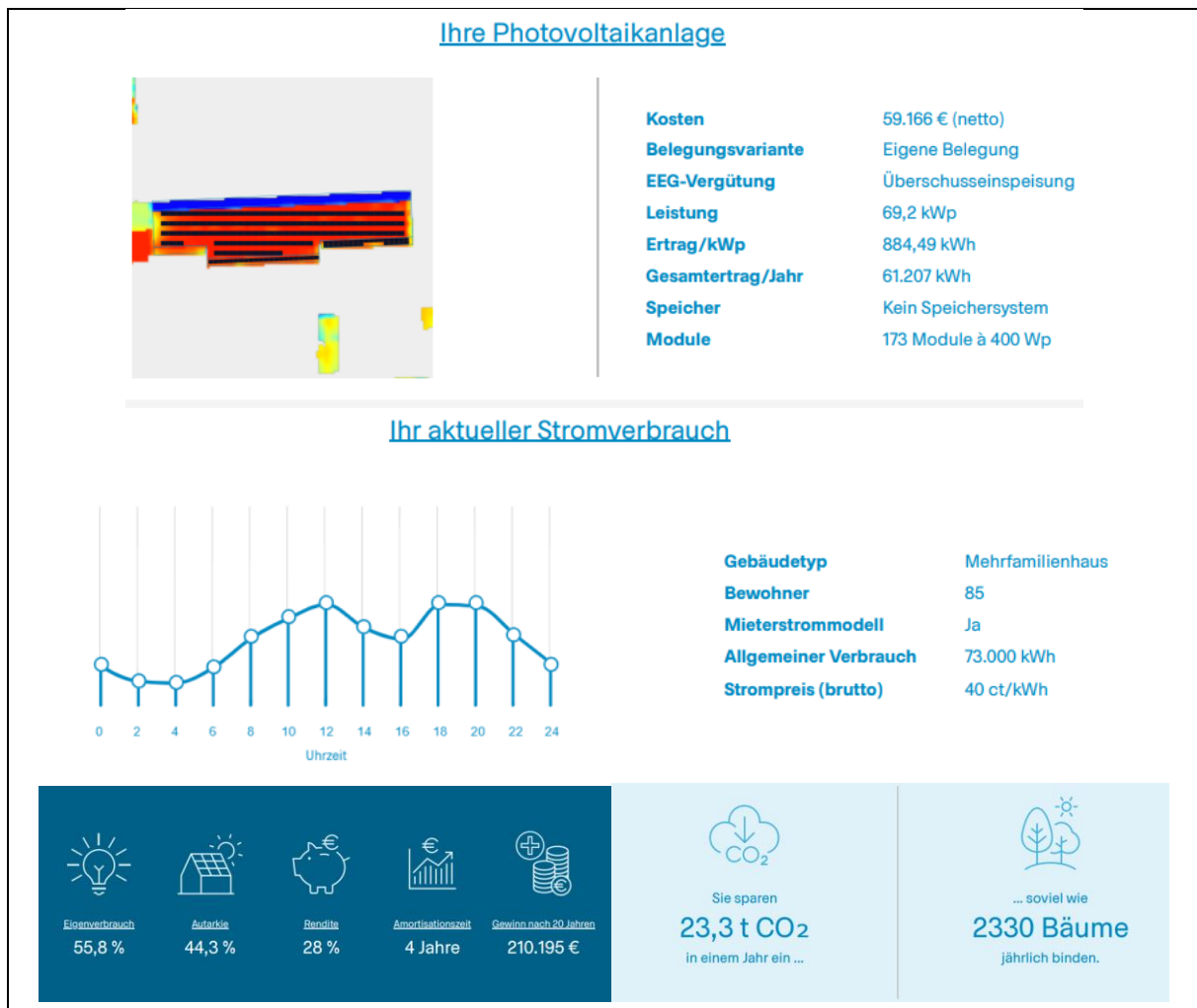


Abbildung 3-5: Grobanalyse Mieterstromprojekt Pfannschmidtstraße, wesentliche Ergebnisse aus der Berechnung mittels Solarrechner Thüringen (38)

Die hohe Eigenverbrauchsquote macht das Beispielprojekt sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch vorteilhaft. Es muss hier jedoch beachtet werden, dass die Investitionskosten hier nur grob geschätzt sind. Insbesondere die baulichen Gegebenheiten am Dach sind hier nicht tiefer betrachtet worden. Eine tiefere Betrachtung des Gebäudes und Aktualisierung der Wirtschaftlichkeitsrechnung im Zuge der Umsetzung wird empfohlen.

3.1.1.2 Fassaden Solaranlagen

Neben Dachflächen können auch Fassaden mit Solarmodulen ausgestattet werden, jedoch aufgrund des schlechteren Einstrahlwinkels mit deutlich schlechterer Effizienz. Hinzu kommt in innerstädtischen Quartieren eine höhere Verschattungswahrscheinlichkeit aufgrund umliegender Gebäude oder Vegetation. Eine Potenzialbetrachtung für das gesamte Quartier wird hier nicht vorgenommen, weil sie als zu wenig belastbar eingestuft wird. Eine Bewertung muss immer am konkreten Objekt im Zusammenspiel mit dem objektbezogenen Energiekonzept erfolgen.

3.1.1.3 Freiflächen-Photovoltaik

Geeignete Flächen für Freiflächen-Photovoltaik befinden sich außerhalb des Quartiers im Umkreis der Stadt. Die Stadt Mühlhausen hat hierfür eine separate Potenzialbetrachtung in Auftrag gegeben, die Fokusgebiete ausweist. Da diese zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht verabschiedet ist, kann hier nicht weiter darauf verwiesen werden. Im Quartier befinden sich keine geeigneten Flächen für Freiflächen Photovoltaik.

3.1.1.4 Parkplatz-Photovoltaik

Parkplatz-Photovoltaik (auch „PV-Carport“) verbindet die Schutzfunktion für Fahrzeuge in Form einer Bedachung des Parkplatzes mit der nachhaltigen Energieerzeugung durch Photovoltaik-Module. Die Lösung eines PV-Carports ist aus mehreren Gründen vorteilhaft:

- Platzsparende Integration: Ein PV-Carport nutzt vorhandenen Raum effizient, da er gleichzeitig als Unterstand für Fahrzeuge und als Energieerzeugungsanlage dient, ohne zusätzliche Fläche zu beanspruchen.
- Reduzierte Energiekosten: Der erzeugte Strom kann zur Eigenversorgung genutzt oder in das Netz der öffentlichen Versorgung eingespeist werden, was zu Einsparungen bei den Energiekosten führt.
- Ladestation für Elektrofahrzeuge: Sein größtes Potenzial entwickelt ein PV-Carport ganz besonders, wenn er mit Ladestationen für Elektrofahrzeuge kombiniert wird.

Nachteilig wirkt sich die durch die zusätzlich benötigte Unterkonstruktion erhöhten Investitionskosten aus. Es muss beachtet werden, dass sich die Investitionskosten gegenüber Photovoltaik Dachanlagen für Parkplatz Photovoltaikanlagen dadurch um circa 50 % erhöhen (36). Dadurch ergeben sich auch höhere Stromgestehungskosten, die die Realisierung derartiger Anlagen oft nur dann wirtschaftlich darstellbar macht, wenn der produzierte Strom ohne die Nutzung des öffentlichen Netzes in der direkten Umgebung abgenommen werden kann.

Im Quartier sind insgesamt Parkflächen mit einer Gesamtfläche von 14.000 Quadratmetern verfügbar. Diese betreffen nur die Flächen die reinen Parkflächen. Abbildung 3-6 zeigt eine Übersicht der Parkflächen im Quartier. Die Flächen entlang der Bundesstraße wurden nicht als Potenzialflächen ausgewiesen, weil hier Grünstreifen und Bäume zwischen den Parklücken als entgegenstehende Faktoren berücksichtigt wurden.

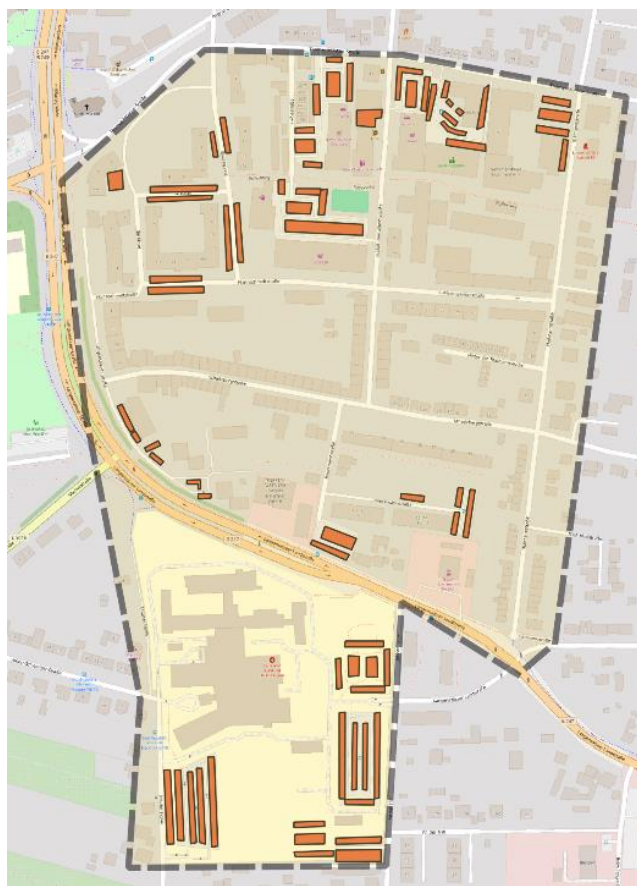


Abbildung 3-6: Übersicht der Parkflächen im Quartier als Potenzialflächen für Parkplatz-Photovoltaik

In der Regel kann nicht das komplette Flächenpotenzial genutzt werden. Einschränkungen kann es objektbezogen durch Verschattungen oder bauliche Einschränkungen wie auch Eigentümerentscheidungen geben. Es wird damit gerechnet, dass 50 % der verfügbaren Parkflächen genutzt werden können.

Dies berücksichtigend kommt die Potenzialbetrachtung zu dem Ergebnis, das im Quartier eine Gesamtleistung auf Parkplatzflächen von ca. 2,8 MWp installiert werden können. Dies entspricht einem jährlichen Stromertrag von 2,7 GWh/a (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Potenzialbetrachtung Parkplatz-Photovoltaik im Quartier

Parameter	Einheit	Wert
Summe Parkflächen Quartier	m²	14.091
Anteil technisch nutzbar		50 %
technisch nutzbares Potenzial	m ²	7.046
spezifischer Flächenbedarf	m ² /kW _p	2,5
PV-Potenzial Leistung	kW _p	2.818
spezifischer Ertrag	kWh/kW _p	950
Ertragspotenzial	kWh/a	2.677.290

3.1.2 Solarthermie

Bei der bisherigen Betrachtung der solaren Potenziale muss herausgestellt werden, dass PV und Solarthermie selbstverständlich in Konkurrenz um die vorhandenen Flächen stehen. Bei der Entscheidung zwischen PV und Solarthermie gilt, dass aktuell Strom als wertvollerer und flexibler einsetzbarer Energieträger gilt. Wärme aus Solarthermie kann dazu nur ortsgebunden genutzt werden und auch nur auf begrenztem Temperaturniveau in Kleinanlagen (bis ca. 80°C). Daher wird der PV klar der Vorrang eingeräumt. Im Quartier wird jedoch über die Fernwärme bereits Solarthermie genutzt, weil die Stadtwerke Mühlhausen eine eigene solarthermische Großanlage als Freiflächenanlage in der Nähe des Heizhauses betreiben. Deren Anteil an der Fernwärme beträgt derzeit rund 15 %. Das theoretisch ermittelte Potenzial sowohl für Flach- als auch Vakuumröhrenkollektoren wird in Tabelle 14 aufgeführt. Bei einem derzeitigen Gesamtwärmebedarf von ca. 14.000 MWh/a wäre, je nach gewählter Technologie, eine rechnerische Deckung von ca. 44 bis 65 % möglich.

Die Hauptunterschiede zwischen Flach- und Vakuumröhrenkollektoren sind:

- höherer spezifischer Jahresertrag und höhere erzielbare Temperaturen bei Vakuumröhrenkollektoren
- günstigerer Preis und bessere optische Integration in die Dachhaut bei Flachkollektoren

Tabelle 14: Theoretisches Potenzial an solarthermischen Anlagen im Quartier

Parameter	Einheit	Wert
Flächenpotenzial	m²	70.063
Anteil nutzbarer Fläche		25%
Nutzbare Fläche	m ²	17.516
Ertrag Solarthermie Flachkollektor	MWh/a	6.166
Ertrag Solarthermie Vakuumröhrenkollektor	MWh/a	9.487

3.2 Geothermie und Umweltwärme

Die oberflächennahe Geothermie und Umweltwärme können zu Heizzwecken mittels Wärmepumpen nutzbar gemacht werden.

3.2.1 Umweltwärme

Eine Wärmepumpe kann verschiedene Umweltwärmequellen, wie zum Beispiel die Luft oder das Grundwasser, nutzen, um die Wärmeversorgung eines Gebäudes zu sichern. Die Umweltwärme wird in einem Übertragungsmedium wie Luft, Wasser oder Sole der Umwelt entzogen und in die Wärmepumpe geführt. Die übertragene Umweltwärme wird dazu genutzt, um ein Kältemittel zu verdampfen. Dies geschieht auf Grund der Kältemittelleigenschaften bereits bei niedrigen Temperaturen. Der Kältemitteldampf wird im Verdichter der Wärmepumpe unter Einsatz elektrischer Energie verdichtet, um die Wärme auf ein nutzbares Temperaturniveau anzuheben. Die so gewonnene Wärme wird über

einen Wärmetauscher an den Heizkreislauf bzw. ein Wärmenetz weitergegeben. Der Kältemitteldampf wird durch ein Expansionsventil entspannt und wieder dem Kreislauf hinzugefügt.

Die Effizienz einer Wärmepumpe im tatsächlichen Betrieb ergibt sich aus der Jahresarbeitszahl (JAZ) als Quotient aus erzeugter Wärme zu eingesetzter elektrischer Energie. Die Jahresarbeitszahl hängt stark von Quell- und Zieltemperatur ab. Je höher die Quelltemperatur und je niedriger die Zieltemperatur, also der sogenannte Temperaturhub zwischen den Temperaturen, desto höher die Jahresarbeitszahl und umgekehrt.

Eine monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpe erreicht mit der in der relevanten Heizperiode geringen Quelltemperatur lediglich eine JAZ von ca. 2 bis 4. Somit werden aus einer kWh elektrischer Energie ca. 3 kWh thermische Energie erzeugt. Die weiteren 2 kWh werden von der Umweltwärmequelle bezogen. Bei gleicher Zieltemperatur erreicht hingegen eine Wärmepumpe mit Geothermie oder Abwasser als Umweltwärmequelle eine Jahresarbeitszahl von ca. 4 bis 5 (39).

Bei Umweltquelltemperaturen von 5 bis 15 °C sind Heizungsvorlauftemperaturen mit Wärmepumpen von 40 bis 50 °C effizient erreichbar. Höhere Temperaturen können auf Kosten der Effizienz erreicht werden, Großwärmepumpen erreichen gar Temperaturen jenseits der 100 °C. Niedrigere Temperaturen machen zudem Flächenheizungen, z. B. Fußbodenheizungen notwendig, um die niedrigere Temperatur zu kompensieren und dennoch die nötige Heizleistung zu erbringen. Vor diesem Hintergrund ist ein Einsatz dezentraler Wärmepumpen pro Gebäude nur unter erheblichen Sanierungsmaßnahmen flächendeckend denkbar. Der Einsatz dezentraler Wärmepumpen muss immer objektbezogen projektiert werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Großwärmepumpen in das bestehende Fernwärmenetz zu integrieren. Dies erscheint sinnvoll, da der Großteil des Quartiers bereits an die Fernwärme angeschlossen ist. Für deren wirtschaftlichen Einsatz und damit die Ermöglichung des Einsatzes weiterer erneuerbarer Wärmequellen ist eine mittel- bis langfristige Absenkung des Netztemperaturniveaus unabdingbar.

3.2.1.1 Geothermie

Die Nutzung geothermischer Energie aus tiefliegenden Gesteinseinheiten ist insbesondere vor dem Hintergrund sich verknappender fossiler Energierohstoffe und zunehmender Umweltbelastung eine wichtige Option: Erdwärme steht generell immer und überall zur Verfügung, da die Temperatur mit der Tiefe im Mittel um 3 °C pro 100 m ansteigt.

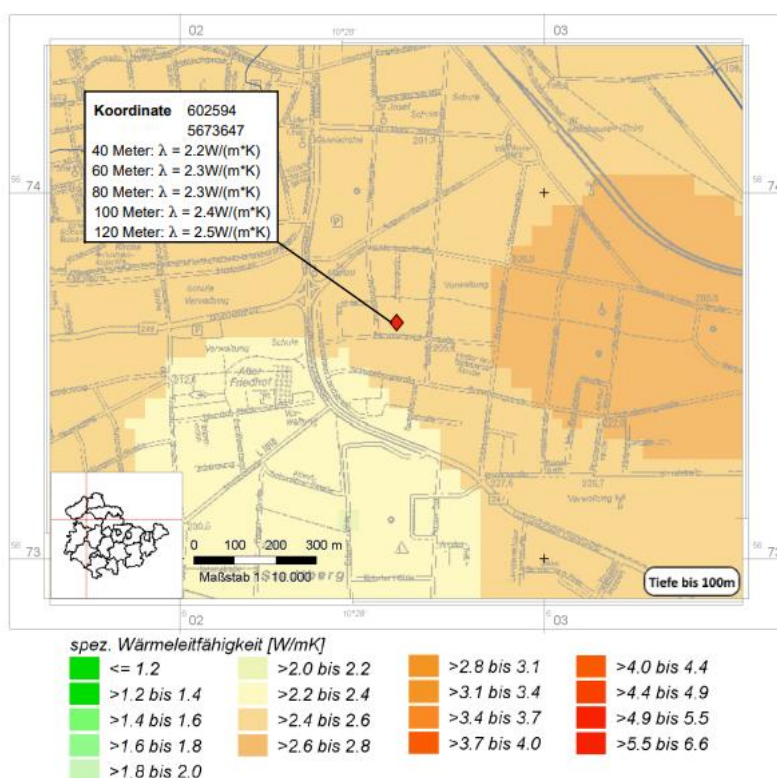


Abbildung 3-7: Übersicht Geothermiepotezial im Quartier zeigt mittelmäßige spezifische Wärmeleitfähigkeiten (Quelle: (40))

Das oberflächennahe Geothermiepotezial, wie in Abbildung 3-7 dargestellt, liegt im mittleren Bereich. Der Boden unter dem Quartier bietet also mäßiges Potenzial der thermischen Nutzung. Eine einzelne Bohrung von 100 m Tiefe kann nach Analyse mit dem Geothermie-Kartendienst ca. 75 kWh an Heizwärme liefern (bei 1.800 Jahresvolllastsstunden) (40). Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie muss immer auf Basis des konkreten Objektes betrachtet werden. Auch aus hydrogeologischer Sicht ist wegen der ungünstigen Untergrundbedingungen jeweils eine Einzelfallprüfung durch die Behörden notwendig. Dennoch kann diese Technik im Einzelfall eine gute Lösung bieten und sollte beim Heizungstausch in Betracht gezogen werden.

Eine auf das Quartier bezogene summarische Potenzialbetrachtung für oberflächennahe Geothermie wird daher nicht weiter ausgeführt.

Tiefengeothermie hingegen reicht bis zu 500 Meter tief (teilweise noch tiefer, in Deutschland aber unüblich) in die Erde und macht sich die höheren Temperaturen in tieferen Schichten zunutze. In dieser Tiefe werden Bohrungen durchgeführt, um auf das heiße Gestein zuzugreifen, das als Wärmequelle dient. Die gewonnene Wärme kann für vielfältige Zwecke genutzt werden, einschließlich der Erzeugung von Strom oder Fernwärme. Im Vergleich zur oberflächennahen Geothermie ermöglicht die Tiefengeothermie den Zugang zu höheren Temperaturen und bietet daher eine leistungsfähigere Energiequelle. Die Erschließung der Tiefengeothermie ist jedoch aufwändiger und für die wirtschaftliche Nutzung sehr auf die örtlichen geologischen Gegebenheiten angewiesen. Die Potenzialbetrachtung

sollte mindestens auf Ebene der Stadt erfolgen. Bei der Standortsuche sollten Wohnquartiere wie die Martini-Vorstadt allein aus Platzgründen und wegen der Risiken für die Bausubstanz nicht in den Blick genommen werden.

3.2.1.2 Abwasserwärme

Die Nutzung der Wärme aus der öffentlichen Kanalisation bietet den besonderen Vorteil, dass große Abwassermengen und die damit einhergehenden großen Wärmemengen genutzt werden können. Je nach Art der Abwasserleitung, kann der nachträgliche Einbau zu einer Reduzierung des Fließquerschnitts führen. Grundsätzlich gilt es, die eintretende Reduzierung der Abwassertemperatur und weitere Eingriffe zu berücksichtigen und mit den Netzbetreibern abzusprechen, sodass die zuständige Kläranlage nicht in ihrem täglichen Betrieb gestört wird. Besonders die biologischen Reinigungsprozesse werden von sinkenden Abwassertemperaturen negativ beeinflusst, da hiervon die Wachstumsrate der Bakterien abhängt und somit auch die Reinigungsqualität. Augenmerk sollte zudem auf den Wiedererwärmungseffekt aus der Umgebungswärme gelegt werden, da sich Anlagen in erhöhter Distanz weniger stark auf die Temperatur auswirken als Anlagen unmittelbar vor der Kläranlage. Für die Abwasserwärmenutzung wird eine Mindestwassermenge von ca. 10 l/s bis 15 l/s benötigt.

Die Nutzung von Abwasserwärme sollte über die Grenzen des Quartiers hinaus betrachtet werden. Ein bewährtes Vorgehen ist das Prüfen der Kanäle auf Eignung bei der Vorplanung zur Sanierung dieser. Idealerweise ergibt sich eine Potenzialkarte, wie z. B. das der Stadt Villingen-Schwenningen (41) anhand der die wirtschaftlich und technisch sinnvolle Einbindung von Abwasserwärme beispielsweise in die Fernwärme abgeschätzt und bewertet werden kann.

3.2.2 Biomasse

Durch vielfältige Einsatzmöglichkeiten kann Biomasse einen wichtigen Beitrag zur Treibhausgas-Reduktion in allen Energiesektoren liefern. Neben der aktuell dominierenden Bereitstellung von Niedertemperaturwärme zur Gebäudeheizung ist mittel- bis langfristig auch eine hohe Nachfrage in anderen Bereichen zu erwarten. Dazu gehören biogene Grundstoffe in der chemischen Industrie, der Flug- und Luftverkehr sowie die Industrie zur Bereitstellung von Prozesswärme auf hohem Temperaturniveau.

Demgegenüber steht ein begrenztes Potenzial an nachhaltiger Biomasse, welches eine Priorisierung des Biomasseeinsatzes unausweichlich macht. Die schlechte Flächeneffizienz beim Anbau von Biomasse erlaubt dabei keine nennenswerte Steigerung der verfügbaren Ressourcen. Es ist daher wichtig zu entscheiden, in welchem Umfang und in welchen Anwendungen die Biomasse als knappe Ressource im Wärmebereich eingesetzt werden sollte.

Die Ergebnisse von Energiesystemstudien zeigen dabei, dass Biomasse aus systemischer Sicht am kostengünstigsten für die industrielle Prozesswärme oder Herstellung von Biogas eingesetzt werden sollte (42).

In Biomassefeuerungsanlagen werden im Regelfall standardisierte Brennstoffe wie Pellets oder Holzhackschnitzel eingesetzt. Eine besonders nachhaltige Option der biomassebasierten Wärmeerzeugung

besteht darin, stattdessen lokal anfallende Reststoffe wie Grünschnitt oder Rest- und Altholz aus Holzverarbeitung oder Logistik zu verwenden. Auf diese Weise entfällt im Idealfall ein Großteil der mit Lieferverkehr und Verarbeitung verbundenen Emissionen.

Wichtigstes Biomassepotenzial ist der Mühlhäuser Stadtwald. Die Stadt Mühlhausen ist Eigentümer und Verwalter des ca. 3.100 ha umfassenden Waldes. Das städtische Forstamt organisiert die Waldbewirtschaftung und die Holzvermarktung. Jährlich fallen etwa 15.000 Festmeter (fm) Holz im Rahmen der nachhaltigen Bewirtschaftung an. Jeweils 1/3 dieser Holzmenge wird zur stofflichen Verwertung und zur Weitergabe an Kleinkunden (Haushalte) verwendet. Die verbleibenden 5.000 fm Biomasse sind für das geplante Biomasseheizwerk der Stadtwerke Mühlhausen vorgesehen und vertraglich gesichert. Die Potenziale des Mühlhäuser Stadtwaldes als Quelle für Biomasse sind damit erschöpft. Es ist jedoch denkbar, dass unter den 5.000 fm, die an Haushalte verkauft werden, auch Abnehmer aus dem Quartier enthalten sind, die so einen Teil ihrer Wärme (z. B. über Kaminöfen) produzieren. Der Erhalt dieser Biomasse-Stückholzkessel ist jedoch politisch immer wieder hinterfragt. Sollte dieser Absatz entfallen, würde auch wieder Biomasse für Großanlagen aus dem Mühlhäuser Stadtwald frei werden.

3.3 Abwärme

Abwärme, die in Folge von industriellen Prozessen entsteht, kann zur Wärmeversorgung anliegender Gebäude und Quartiere verwendet werden. Dabei ist das Temperaturniveau der zur Verfügung stehenden Abwärme relevant, da ggf. eine Temperaturerhebung mittels Wärmepumpe zwischengeschaltet werden muss. Das konkrete Abwärmepotenzial ist stark prozess- und anwendungsabhängig und lässt sich somit nur begrenzt überschlägig bewerten. Hierfür erfolgte zunächst eine Recherche der ansässigen Unternehmen und Branchen. Im Fokus stand dabei insbesondere das verarbeitende Gewerbe der Metall-, Keramik- und Glasverarbeitung.

Im Quartier fällt lediglich Abwärme aus Kühlprozessen der Einzelhändler an. Da diese auf niedrigem Temperaturniveau anfällt, kann sie derzeit nicht im Quartier genutzt werden. Eine Nutzung zur eigenen Gebäudebeheizung wird von den Einzelhändlern objektbezogen bereits umgesetzt.

3.4 Effizienz- und Einsparpotenziale

Die wesentlichen Effizienz- und Einsparpotenziale im Quartier liegen in der energetischen Sanierung der Gebäudehülle, dem Ausbau der Fernwärme, sowie in dem Einsatz Stromsparender Technologien im Gewerbe und in Wohnungen.

3.4.1 Energetische Sanierung

Die wesentlichen Bestandteile der Gebäudesanierung umfassen

- Dämmung des Daches,
- Dämmung der Außenwandflächen
- Dämmung der Kellerdecke
- Austausch der Fenster.

Zur Berechnung der Sanierungspotenziale wurden die einzelnen Gebäude in die oben gezeigten Gebäudekategorien eingeordnet.

Energetische Sanierungen können eine ökologische und wirtschaftlich effiziente Maßnahme darstellen. Da keine belastbaren gebäudescharfen Daten über den Sanierungsstand und mögliche Einsparungen erhoben wurden, wurden für eine exemplarische Betrachtung der Effekte der energetischen Gebäudesanierung drei Typengebäude anhand der TABULA (43) Klassifizierung vorgenommen, die in dieser Form am häufigsten im Quartier zu sehen sind:

Typ 1 - Mehrfamilien-Haus (TABULA: (DE.N.MFH.02.Gen))	
Baujahr:	1860 – 1918
Beheizte Wohnfläche:	ca. 320 m ²
Ähnliche Gebäude im Quartier:	Schadebergstraße
Annahme Ausgangszustand:	Moderate Sanierung
Annahme Sanierung:	Ambitionierte Sanierung bei Sanierungsstand moderat (-45 % Endenergie Wärme) Ambitionierte Sanierung bei Sanierungsstand unsaniert (-66 % Endenergie Wärme)
	

Typ 2 - Mehrfamilien-Haus (TABULA: (DE.N.MFH.06.Gen))	
Baujahr:	1969 – 1978
Beheizte Wohnfläche:	ca. 469 m ²
Ähnliche Gebäude im Quartier:	Im Kittel 2-4
Annahme Ausgangszustand:	Baujahr lässt bereits Wärmedämmung und grundsätzlich guten Energiestandard erwarten
Annahme Sanierung:	Ambitioniert (-28 % Endenergie Heizen; Ziel: 0,06 MWh/m ² *a)
	

Typ 3 – Gewerbe/Sonstiges		Ohne Foto
Baujahr:	k. A.	
Beheizte Wohnfläche:	individuell	
Ähnliche Gebäude im Quartier:	Restliche Gebäude	
Annahme Ausgangszustand:	Moderat saniert	
Annahme Sanierung:	Pauschale Annahme – 30 % Endenergie Wärme	

Dies ermöglicht die Ermittlung der möglichen Einsparungen bei den Gesamtwärmeverbräuchen der jeweiligen Gebäudekategorie im Quartier.

Für die 68 Blockbauten der Wohnungswirtschaft wurde überschlägig die beheizte Gebäudenutzfläche A_n anhand des Brutto-Volumens V_e (Grundflächen multipliziert mit der Geschöszahlen) unter Anwendung eines üblichen Umrechnungsfaktors von 0,32 berechnet. Damit konnte für jedes dieser Gebäude ein spezifischer Ist-Wärmebedarf ausgewiesen werden. Die Werte lagen zwischen $47 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ und $153 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$. Als Zielwert für diese Gebäudeklasse wurde nach Typenklassifizierung gemäß Tabula ein Zielwert von $0,06 \text{ MWh/m}^2\cdot\text{a}$ für die Wärmeversorgung angesetzt. Daraus ließ sich für jedes Gebäude eine energetische Einsparung durch Differenzbildung zwischen Ist- und Ziel-Wert bestimmen. Für die gesamte Klasse der Blockbauten der Wohnungswirtschaft im Quartier wurde so die Einsparung im Bereich Wärme auf 3.177 MWh/a (35 %) ermittelt. Dabei werden 1.589 MWh/a an Fernwärme und 133 MWh/a an Erdgas eingespart. Unter Zugrundlegung der spezifischen Emissionsfaktoren entsteht dadurch eine Einsparung in Höhe von 310 Tonnen CO_2 pro Jahr.

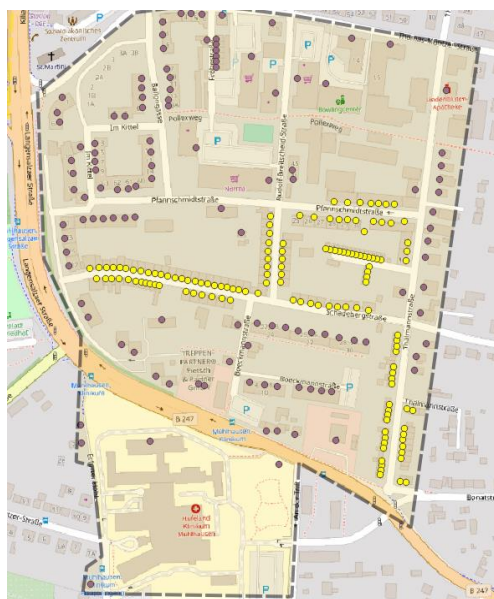


Abbildung 3-8: Lage der Gebäude Typ 1 Mehrfamilienhäuser "Gründerzeit" im Quartier (gelbe Punkte) (eigene Darstellung)

Für die Gründerzeithäuser im Quartier, welche vorrangig in der Schadebergstraße lokalisiert sind, wurde auf Grundlage der Ortsbegehung eine Sanierungsquote auf das Level der moderaten Sanierung von bereits 75 % angenommen. Die Gebäude sind heute fast ausschließlich durch Erdgas versorgt. Zur Bestimmung des Sanierungspotenzials wurde für alle Gebäude ein Zielzustand der ambitionierten energetischen Sanierung angenommen. Für bereits moderat sanierte Gebäude ergibt sich ein Sanierungspotenzial von 45 % und für bisher unsanierte Gebäude ein Potenzial von 66 % Senkung des Wärmebedarfs. Damit ergibt sich rechnerisch ein Reduzierungspotenzial im Bereich Wärme von 50 % für die 180 Gebäude dieses Gebäudetyps.

Tabelle 15: Übersicht Einsparpotenziale durch energetische Sanierung

Gebäudetyp	Wärmebedarf Status Quo (MWh/a)	Potenzial Einsparung / eingesparter Energieträger	Resultierender Wärmebe- darf / Einsparung
Typ 1 - Mehrfamilien-Haus „Gründerzeit“	5.922	Erdgas: 2.961 MWh/a CO ₂ : 595 t/a	2.961 MWh/a (-50 %)
Typ 2 - Mehrfamilien-Haus „Blockbauten“	4.984	Gesamt: -1.738 MWh/a Fernwärme: -1.589 MWh/a Erdgas: -149 MWh/a CO ₂ : 310 t/a	3.246 MWh/a (-35 %)
Typ 3 – Gewerbe, Hufeland Klinikum, Rest Quartier	3.266	Gesamt: -992 MWh/a Fernwärme: -749 MWh/a sonstige: -233 MWh/a CO ₂ : 84 t/a (nur Fernwärme)	2.274 MWh/a (-30%)
Gesamt	17.172	-5.684 MWh/a CO₂: 989 t/a	8.488 MWh/a (-40 %)

Ökologisch gesehen ist eine energetische Sanierung immer dann vorteilhaft, wenn fossile Energieträger eingespart werden. Eine wirtschaftliche Betrachtung der energetischen Sanierungen muss jedoch im Einzelfall erfolgen. In vielen Fällen ist eine energetische Sanierung nur dann mit finanziellen Einsparungen verbunden, wenn Sie mit weiteren Baumaßnahmen gemeinsam durchgeführt wird (44). Aus der reinen Energieeinsparung allein tragen sich Sanierungen wirtschaftlich nur selten.

3.4.1.1 Serielle Sanierung

Eine wirtschaftliche Verbesserung kann die serielle Sanierung erreichen. Dabei werden technische Möglichkeiten zur industriellen Vorfertigung ganzer Sanierungselemente sowie eines hohen Digitalisierungsgrades im Planungsprozess genutzt. Bestehende Gebäude werden hier nicht klassisch saniert, sondern unter Verwendung abseits der Baustelle individuell gefertigter Fassadenelemente einschließlich Einbauten und Anlagentechnik wie Fenster oder Lüftungsanlagen und deren stückweise Montage vor der Bestandsfassade seriell saniert. Damit reduziert sich der zeitliche Aufwand bei der Planung und

der Aufwand im Bau. Ziel der Sanierung ist, wenn möglich, ein Jahresprimärenergiebedarf von Netto-Null (Net-Zero-Standard), welcher üblicherweise durch Photovoltaikanlagen mit Überschusseinspeisung in das öffentliche Netz erreicht wird. Auf der Internetseite des „Energiesprung“-Teams der Deutschen Energieagentur DENA sind bereits 49 fertiggestellte und 146 in Planung befindliche Projekte der seriellen Sanierung aufgeführt (45). Das Team der DENA begleitet aktuell die Markteinführung dieses vielversprechenden Ansatzes. Der Bund unterstützt Projekte mit ergänzenden Fördermitteln durch die Bundesförderung Serielle Sanierung. Damit können die Investitionen zusätzliche zu potenziell möglichen Landesmitteln mit ca. 30 % - 55 % gegenfinanziert werden.

Für das Quartier kommen grundsätzlich alle Gebäude in Blockbauweise in Betracht. Überwiegend sind diese nach dem zu DDR-Zeiten entwickelten Bautyp WBS 70 bis WBS 85 gebaut worden. Die Abbildung 3-9 zeigt beispielhaft einen Wohnblock im Quartier. Überwiegend sind noch keine energetischen Sanierungen der Fassaden vorgenommen worden.



Abbildung 3-9: Wohnblock WBS 85 Ballongasse 8 bis 14, Quelle: Wohnungsgenossenschaft Mühlhausen

Seitens der Wohnungswirtschaft besteht für viele der Gebäude im Quartier der Wunsch nach einer umfassenden energetischen Sanierung. Mit Blick auf das niedrige Mietniveau, welches zur Refinanzierung der Investitionen angesetzt werden kann, waren die Investitionen in der Vergangenheit jedoch nicht realisiert worden. In Akteursgesprächen wurden u. a. folgende Maßnahmen priorisiert:

- Entfernung von Wärmebrücken an Balkonen durch Ersatz der alten Balkone
- Einbau von Liften zur Steigerung der Attraktivität
- Strangsanierung der Versorgungs- und Entsorgungsleitungen

- Aufwertung von Grünflächen im Quartier

Im Quartier kommen 67 Gebäude grundsätzlich für eine serielle Sanierung im Betracht. Davon sind 16 im Eigentum der Wohnungsgenossenschaft Mühlhausen, 33 im Eigentum der Städtischen Wohnungsgesellschaft Mühlhausen und 18 in Besitz anderer Wohnungsgesellschaften. Es wird empfohlen ein geeignetes Pilotobjekt auszuwählen, an dem dann die Sanierungsmodule Dach, Fassade, Balkone, Energietechnik prototypisch entwickelt werden können, die dann auf alle weiteren Gebäude übertragen werden können. Damit ließen sich die zuvor bestimmten energetischen Einsparungen sehr viel schneller und kostengünstiger erreichen als bei herkömmlicher objektweiser Sanierung. Bei der Auswahl eines Pilotvorhabens sollten folgende Auswahlkriterien berücksichtigt werden:

1. 2 bis 4 Vollgeschosse
2. Min. 1000 m² Wohnfläche (als Einzelgebäude oder zusammenhängendes Portfolio)
3. Umlaufend Platz für Zufahrt und Baustelleneinrichtungen
4. Geringe Verschattung insbesondere der Dachflächen
5. Einfache Kubatur (keine/minimale Vorsprünge, Erker, Rundungen etc.)
6. Unbewohntes Keller- und Dachgeschoss (z. B. Kaltdach) / keine Gauben
7. Kein Denkmalschutz / kein Asbest
8. Idealerweise hoher Energieverbrauch von über 130 kWh/(m²a) und bisher keine bis geringe energetische Sanierung sowie hoher Instandhaltungsbedarf

Diese Kriterien dürften für fast alle der Blockbauten im Quartier zutreffen. Somit sollte von einer grundsätzlichen Eignung für den Ansatz der seriellen Sanierung ausgegangen werden können. Daher wird empfohlen, den Ansatz der seriellen Sanierung im Quartier weiter zu verfolgen. Ein nächster Schritt sollte durch die Akteure der Wohnungswirtschaft mit der Auswahl eines Pilotgebäudes und Erstellung einer konkreten Objektplanung getan werden. Dabei kann auf die Unterstützung spezialisierter Dienstleister, dem „Energiesprung“-Team der DENA und die Bundesförderung Serielles Sanieren der BAFA zurückgegriffen werden.

3.4.2 Einsparungen Strom Wohngebäude

Ein weiterer Ansatzpunkt ist der Stromverbrauch von Haushalten. Dieser setzt sich wie in der folgenden Abbildung dargestellt aus verschiedenen Anwendungen zusammen (46).

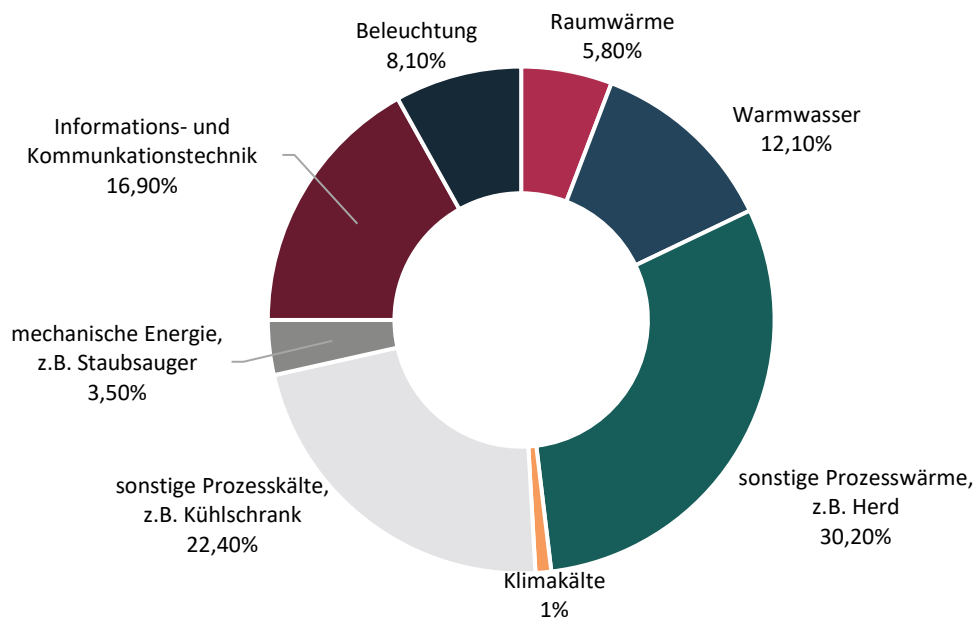


Abbildung 3-10: Anteile von Anwendungsbereichen am Stromverbrauch privater Haushalte 2018

Aus der Verteilung der Anwendungen können allgemeine Hinweise und Grundsätze abgeleitet werden, die bei der Energieeinsparung hilfreich sind:

- Abschaltung von Geräten bei Nicht-Verwendung, z. B. Licht ausschalten beim Verlassen des Raumes, keine parallele Verwendung von Mediengeräten zur Unterhaltung, kurze Öffnung von Kühlschrank oder Gefriertruhe
- Berücksichtigung hoher Energieeffizienzklassen bei Neuanschaffung großer Haushaltsgeräte, z. B. Kühlschrank, Gefriertruhe oder Waschmaschine
- Einstellung bedarfsgerächtige Temperaturen, z. B. bei der Raumheizung, bei Waschmaschinen oder Geschirrspülern
- Hohe Ausnutzung der Gerätekapazität, z. B. keine Teilladungen von Waschmaschinen oder Geschirrspülern
- Ersatz von Leuchtmitteln durch LED

Reboundeffekte führen dabei i.d.R. zu geringeren Einsparungen als theoretisch möglich, weshalb hierauf sensibilisiert werden sollte. Das kann im Zuge von Aktivierungsmaßnahmen zur Hebung des Potenzials erfolgen. Diese sind auch notwendig, um die zahlreichen Akteure, also die Privathaushalte und Bürger im Quartier über Möglichkeiten zur Energieeinsparung zu informieren, Missverständnisse auszuräumen, Handlungsnotwendigkeiten im Gesamtrahmen aufzuzeigen und die Vorteile herauszustellen. Von der Wirksamkeit dieser Aktivierung ist die konkrete Einsparwirkung in der Breite abhängig.

3.4.3 Fernwärmeausbau

Im untersuchten Quartier spielt die Fernwärme zur Wärmeversorgung bereits eine wesentliche Rolle. Rund 51 % des Wärmebedarfs im Quartier werden bereits heute durch die Fernwärme der Stadtwerke

Mühlhausen (Netz Ballongasse) gedeckt. Potenziale bestehen einerseits beim Ausbau der Fernwärme, wie auch allgemein bei der Optimierung der Fernwärme.

Ein forcierter Ausbau der Fernwärme eröffnet die Möglichkeit, bestehende fossile Heizungen im Quartier zu ersetzen, da die erforderlichen Vorlauftemperaturen problemlos bereitgestellt werden können. Wärmepumpensysteme haben bei diesen Temperaturen Nachteile bei der Effizienz.

Durch den Ausbau der Fernwärme kann erneuerbare Energie, beispielsweise aus Solarenergie, Biomasse oder Geothermie, unabhängig von den Potenzialen im Quartier durch deren Nutzung an anderer Stelle effizient genutzt werden. Da fossile Heizungen einen erheblichen Anteil an den CO₂-Emissionen im Wärmesektor ausmachen, werden diese dadurch weiter reduziert. Die zentrale Umstellung auf diese nachhaltigen Quellen ermöglicht eine klimaverträgliche Wärmeversorgung für eine Vielzahl von angeschlossenen Gebäuden auf einen Schlag.

Außerdem bietet die Fernwärmeinfrastruktur den Vorteil von Skaleneffekten. D. h., die zentrale Umstellung auf erneuerbare Energien erfolgt zum einen gebündelt, und zum anderen sinken die spezifischen Investitionskosten bei der Umstellung auf erneuerbare Energiequellen. Das führt wiederum zu Kosteneinsparungen. Im Vergleich zu individuellen Umstellungen in jedem Gebäude sind die Gesamtkosten für die Transformation auf erneuerbare Wärmeversorgung durch Fernwärme in der Regel geringer.

Im letzten Schritt kann mit Fernwärme auch Abwärme aus industriellen Prozessen oder anderen Quellen erschlossen werden, was eine zusätzliche ressourcenschonende Komponente darstellt. Die Wärmerückgewinnung aus verschiedenen Quellen erhöht damit die Gesamteffizienz sowie die Versorgungssicherheit der Fernwärme.

Die aktuelle Strategie der Stadtwerke Mühlhausen sieht eine Absenkung des CO₂-Emissionsfaktors in der Fernwärme von derzeit (Stand 2023) 0,111 t/MWh¹ auf zunächst 0,064 t/MWh im Jahr 2027 vor. Bereits jetzt sind rund 15 % der Fernwärme regenerativ durch eine solarthermische Großanlage erzeugt. Weiterführend soll der Emissionsfaktor auf null spätestens zum Jahr 2040 gesenkt werden.

Durch den Anschluss an die Fernwärme können Hausbesitzer bei Ersatz der alten Heizungsanlage die nach dem Gebäudeenergiegesetz (kurz: GEG) geltenden Anforderungen ohne viel eigenen Aufwand erfüllen.

Grundsätzlich können alle heute mit Erdgas und sonstigen Energieträgern versorgten Gebäude im Quartier langfristig mit Fernwärme versorgt werden. Damit ergibt sich ein Gesamtpotenzial für den Absatz zusätzlicher Fernwärme von ca. 7.300 MWh/a im Quartier. Von diesem Potenzial wird sich nicht alles wirtschaftlich erschließen lassen. Gleichzeitig ist anzunehmen, dass das Gesamtpotenzial durch die energetische Gebäudesanierung entsprechend der Sanierungsrate langfristig abnehmen wird. Das wirtschaftlich umsetzbare Potenzial wurde anhand räumlicher Analysen ermittelt. Für den mittelfristigen Ausbau kommen daher insbesondere die Schadebergstraße, die östliche Pfannschmidtstraße und die Rudolf-Breitscheid-Straße infrage (siehe Abbildung 3-11). Der damit zusätzlich mit Fernwärme

¹ Eigene Berechnung nach Carnot-Methode auf Grundlage der Angaben der Stadtwerke Mühlhausen

versorgte Wärmebedarfes liegt bei 5.900 MWh/a (vor energetischer Sanierung). Der benötigte Netzausbau liegt bei 1.300 m. Die Anschlussdichte ist mit 4,6 MWh/m*a sehr günstig.



Abbildung 3-11: Übersicht potenzielles Ausbaugebiet für Fernwärme im Quartier, gelbe Punkte - potenzieller Anschlussnehmer, rot - neues Fernwärmenetz (Quelle: eigene Darstellung)

Eine grobe Abschätzung der Investitionskosten beläuft sich auf 5,65 Mio. € für die Fernwärmeleitungen und die Hausanschlüsse (Tabelle 16). Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme muss im Rahmen der Umsetzung durch eine Detailplanung auch unter Berücksichtigung einer empirisch ermittelten Anschlussquote und Berücksichtigung der aktuellen CO₂-Preise von alternativen Versorgungslösungen weiter untersetzt werden. Mit dem Fernwärmeausbau können, durch Verdrängung von Erdgas und Heizöl, insgesamt 612 t/a CO₂-Emissionen eingespart werden.

Tabelle 16: Potenziale Fernwärmeausbau im Quartier

Parameter	Einheit	Wert
Theoretisches Potenzial Fernwärmeausbau	MWh/a	7.300
Davon mittelfristig erschließbar	MWh/a	5.900
Benötigter Netzausbau	m	1.300
Anschlussdichte	MWh/m*a	4,6
Einsparung CO ₂ -Emissionen	t/a	612
Anzahl Anschlüsse	Stück	160
Annahme Investitionskosten je Anschluss	€	15.000
Spezifische Kosten Trasse	€/m (Trasse)	2.500
Geschätzte Investitionssumme gesamt	€	5.650.000

3.4.4 Kraft-Wärme-Kopplung

Die Wärmebereitstellung mittels Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) kann im Quartier auf Objektebene oder im Fernwärmenetz eine Effizienzmaßnahme sein. Da der Großteil des Quartiers bereits an das Fernwärmenetz angeschlossen ist und seitens der Stadtwerke bereits eine Dekarbonisierungsstrategie für die Fernwärme verfolgt wird, wird hier die Umsetzung als systemische Lösung in Kombination mit dem Fernwärmeausbau empfohlen. Dadurch können technische und wirtschaftliche Skaleneffekte optimal genutzt werden. Das Potenzial wird im Folgenden allgemein beschrieben: In Blockheizkraftwerken (BHKW) können Strom und Wärme im gekoppelten Prozess und somit effizienter als bei getrennter Erzeugung bereitgestellt werden. Hierbei wird die bei der Stromerzeugung abfallende Abwärme ebenfalls einer Nutzung zugeführt. Als Brennstoffe kommen hierbei neben Erdgas Biomethan aber auch synthetische Brennstoffe oder Wasserstoff in Frage.

Das Potenzial der KWK im Quartier wird durch die gute Versorgung mit Fernwärme als eher gering eingeschätzt.

3.4.5 Hufeland Klinikum

Da das Hufeland Klinikum im Quartier einen sehr großen Anteil des Energiebedarfes repräsentiert seien hier die Energieeffizienzpotenziale bezogen auf das Klinikum im Besonderen beschrieben. Das Klinikum hat 276 Krankbetten (47). Damit hat das Klinikum einen spezifischen Energiebedarf von 22,3 MWh/Bett und Jahr und liegt damit innerhalb der Schätzungen aktueller Studien (48). Eine erste wichtige Effizienzmaßnahme hat das Klinikum bereits 2022 mit der Umstellung der Sterilisierung von Erdgas auf Strom vorgenommen. Das Klinikum betreibt ein zentrales Qualitätsmanagementsystem. Ein Energiemanagementsystem ist derzeit nicht in Betrieb. Es wird empfohlen, dies als übergreifende Maßnahmen für den Standort und ggf. unternehmensweit einzuführen. Grundsätzlich werden die wesentlichen Effekte in folgenden Bereichen erreicht (48):

1. Aktivierung der Mitarbeiter und energiesensible Beschaffung (z. B. beim Ersatz von Geräten)
2. Betriebsoptimierung bestehender Anlagen
3. Einsatz bedarfsgerechter und effizienter LED-Beleuchtung
4. Optimierte und bedarfsgerechte Lüftung

5. Eigenversorgung mit Photovoltaik
6. Einsatz effizienter Klima- und Kältetechnik

Die Punkte werden in der Regel vom Energiemanagement-Beauftragten vorangetrieben. Im Rahmen dieses Projektes wird lediglich näher auf die Potenziale der Photovoltaik eingegangen, da für die Quantifizierung der weiteren Potenziale nicht die nötigen Ausgangsdaten zur Verfügung waren.

3.4.6 Gewerbe

Im Quartier sind besonders die Effizienzpotenziale im Bereich des Einzelhandels relevant. Diese Verbrauchsgruppe repräsentiert ca. 600 MWh/a Wärmebedarf und 480 MWh/a an Strombedarf.

Auch wenn die Möglichkeiten sehr unterschiedlich sind, so ist das Vorgehen zur Bewertung der Einspar-, Effizienz- und erneuerbaren Energiepotenziale im Betrieb grundsätzlich immer ähnlich:

1. Individuelle Bestandsaufnahme bzgl. Energiebedarf (Strom, Wärme, mechanische Energie etc.) in Leistungshöhe, Jahresmenge und spezifischen Anforderungen wie z. B. Temperaturniveau
2. Technische und ökonomische Bewertung von Einspar-, Effizienz- und Versorgungsmöglichkeiten
3. Auswahl geeigneter Einspar-, Effizienz- und Versorgungsmöglichkeiten
4. Optimierung des Versorgungskonzepts durch technische, ökonomische und regelungstechnische Instrumente wie z. B. betriebliches Lastmanagement, Eigenstromerzeugung oder Flexibilisierungsmöglichkeiten
5. Vorbereitung und Planung der konkreten Einspar-, Effizienz- und Versorgungslösung durch entsprechende Machbarkeitsstudien

Ergänzend zur durchgeführten Vor-Ort-Begehung einzelner Unternehmen wurden Ergebnisse aus Voruntersuchung, z. B. Energieaudits oder BAFA-Energieberatungen, aufgenommen, wenn diese bereitgestellt werden konnten. Da kein verarbeitendes Gewerbe mit besonderen Prozessen im Quartier existiert, beziehen sich die Maßnahmen wesentlich auf die angetroffene technische Gebäudeausrüstung sowie die Gebäudehülle.

Einsparpotenziale für den Einzelhandel bestehen insbesondere im Bereich der Stromverwendung durch:

1. Einsatz von LED-Beleuchtung senken 9,5 % des Strombedarfes
2. Prüfung und ggf. Anpassung der Betriebsparameter der Kälte- und Lüftungstechnik
3. Austausch der zentralen Kälteanlage und dezentraler Kühlgeräte senken ca. 25 % des Strombedarfes

Während die Punkte 1 und 2 sich oft bereits nach kurzer Zeit finanziell amortisieren, trägt sich der Austausch der Kältetechnik in der Regel nicht allein durch die Einsparung selbst. Daher ist davon auszugehen, dass die Kältetechnik nur bei Neubau der Immobilien, wie im Fall des Netto-Marktes, oder bei Auslaufen der Genehmigung des eingesetzten Kältemittels umgesetzt wird.

3.4.7 Straßenbeleuchtung

Ein weiterer öffentlicher Stromverbraucher ist die Straßenbeleuchtung. Um einen Überblick über die aktuelle Beleuchtungssituation im Quartier zu erhalten, wurde u.a. auf Angaben der Stadt zurückgegriffen. Es wurden die derzeitigen Stromverbräuche der letzten Jahre für die Straßenbeleuchtung herangezogen.

Nach Angaben der Stadtverwaltung beläuft sich der aktuelle Gesamtstromverbrauch auf etwa 48,5 MWh/a. Wobei der Verbrauch innerhalb der letzten drei Jahre von rund 79 MWh/a im Jahre 2019 auf 64 MWh/a im Jahre 2021 gesunken ist. Diese Entwicklung ergibt sich aus der Umstellung der Leuchtmittel von bestehenden Leuchtpunkten von NAV und HQL mit Leistungen von 80 bis 150 Watt auf moderne LED-Technik (Retrofit) mit rund 18 bis 25 Watt.

Neue Lichtpunkte werden ebenso mit neuer LED-Technik von Grund auf geplant und errichtet.

Tabelle 17: Stromverbrauch durch Straßenbeleuchtung im Quartier

Betriebsjahr	Verbrauch [kWh]	Relative Einsparung ggü. Vorjahr [%]
2022	32.829	0,4%
2021	32.687	5,6%
2020	30.955	-19,2%
2019	38.316	0,4%

Das verbleibende Einsparpotenzial für das Quartier wurde konservativ mit 50 % abgeschätzt. Durch Umstellung auf LED kann eine Strom-Einsparung von ca. 70 % erreicht werden. Damit ergibt sich das verbleibende Einsparpotenzial im Bereich der Straßenbeleuchtung im Quartier, bezogen auf einen Bedarf von ca. 33 MWh/a zu 15,3 MWh.

3.5 Verkehr und Mobilität

In diesem Abschnitt wird das bestehende Potenzial zur Reduktion des Kraftstoffverbrauches bzw. des CO₂-Ausstoßes für den Bereich Verkehr beschrieben. Dieser ist für ca. 25 % des gesamten Endenergieverbrauches bzw. 25 % der CO₂-Emissionen im Quartier verantwortlich (*siehe* Abschnitt 2.2.4 Gesamte Energie- und CO₂-Bilanz). Einsparpotenziale im Mobilitätsverhalten der Bürger spielen somit eine signifikante Rolle zur Zielerreichung der Klimaneutralität bis 2035.

Ziel innerhalb der Potenzialanalyse im Handlungsfeld Mobilität ist es aufzuzeigen, welche Möglichkeiten die Bewohner innerhalb des Quartiers haben, durch ihr Mobilitätsverhalten den CO₂-Ausstoß zu verringern. Hauptansatzpunkt ist die Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr auf emissionsfreie bzw. -arme Verkehrsmittel. Als emissionsfrei zählen alle nicht motorisierten Arten der

Fortbewegung wie das Gehen zu Fuß und Fahrradfahren, als emissionsarm die öffentlichen Verkehrsmittel, der Bereich Carsharing und sowie mit grünem Strom betriebene Elektro-Fahrzeuge.

3.5.1 Fußgänger und Fahrrad

Das Quartier ist bereits gut für Fußgänger und Fahrräder erschlossen. Zusätzliche Verbesserungsmaßnahmen werden im Radwegekonzept der Stadt aufgeführt (49).

Hier wird auf die mit hoher Priorität klassifizierten Maßnahmen kurz eingegangen. Die Abbildung 3-12 zeigt in rot eine Strecke von insgesamt 750 m Länge, wo Radwege neu gebaut werden sollen, weil dort heute keine sichere Wegeführung für Fahrräder vorliegt. Dadurch wird die Attraktivität des Quartiers weiter erhöht. Der Ausbau betrifft vor allem die Langensalzaer Straße im Westen des Quartiers.

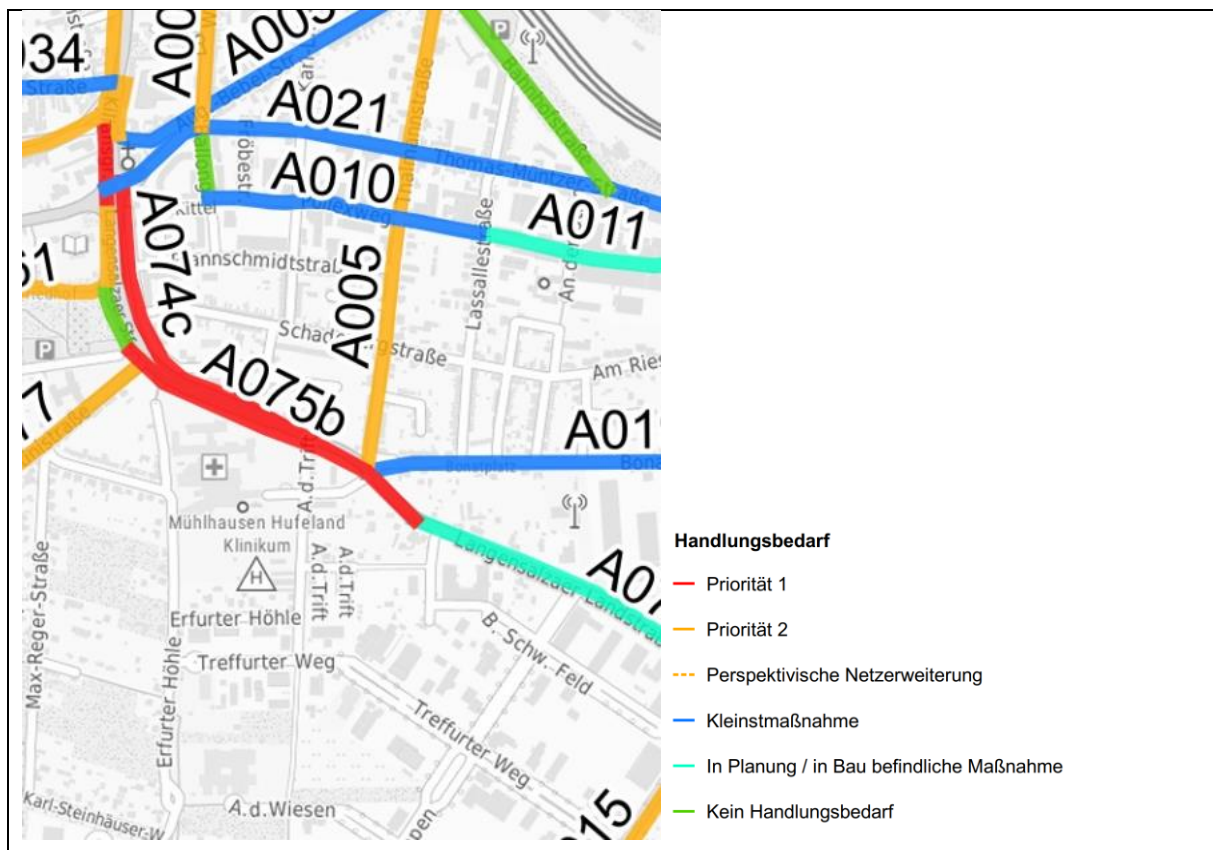


Abbildung 3-12: Übersicht Maßnahmen zur Verbesserung der Radwege im Quartier, Auszug aus dem Radverkehrskonzept (Quelle: Stadtverwaltung Mühlhausen (49))

3.5.2 Öffentliche Verkehrsmittel

Im Bereich des ÖPNV wurden in diesem Konzept aufgrund der guten Bestandssituation keine neuen Ansatzpunkte zur Verbesserung entwickelt.

3.5.3 Mitfahrzentralen und Carsharing

Durch eine Zweier- und Mehr-Fahrgemeinschaft lassen sich der spezifische Treibstoffverbrauch und Emissionen pro Person und Kilometer deutlich verringern. Unter Umständen kann sogar die Anschaffung eines Zweitwagens durch Fahrgemeinschaften überflüssig werden. Zusätzlich reduzieren Fahrgemeinschaften den Parkplatzbedarf. Für regelmäßige Pendelstrecken bietet sich die Bildung einer Fahrgemeinschaft also definitiv an. Viele Arbeitgeber unterstützen Fahrgemeinschaften durch betriebsinterne Vermittlungsbörsen, durch reservierte Parkplätze und andere Vergünstigungen. Auch die überregionalen Internetplattformen bieten in der Regel eine geeignete Möglichkeit für das Auffinden von Pendlerpartnern an (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), 2021).

Das Thema Carsharing - zu Deutsch "Autoteilen" – kann im Quartier ebenso seinen Beitrag zur Reduzierung von Ressourcenverbrauch leisten. Hier besitzt man das Auto nicht selbst, sondern teilt es sich mit anderen Bürgern. Carsharing ist kein seltenes Phänomen mehr. In einer Vielzahl an Städten gibt es inzwischen stationsbasierte Carsharing-Angebote. Die deutschen Carsharing-Anbieter gelten zudem mit einem Anteil der batterieelektrischen Fahrzeuge und Plug-in-Hybride an der deutschen Carsharing-Flotte von 18,5 % als Vorreiter im Bereich der E-Mobilität (Bundesverband CarSharing e. V., 2021). Die Grundsätzlichen Varianten des Angebotes sind in Abbildung 3-13 aufgezeigt.

Die CarSharing-Varianten

Stationsbasiert

Das Fahrzeug wird an einer Station in der Nähe abgeholt und muss dorthin zurückgebracht werden.

Eigenschaften des Systems

Eine Buchung ist kurzfristig oder Monate im Voraus möglich.

Verfügbarkeit und Standort des Fahrzeugs zum gewünschten Fahrtzeitpunkt sind planbar.

Der Endzeitpunkt der Buchung muss meistens im Voraus geplant werden.

Das Fahrzeug muss zur Station zurückkehren.

Das Auto hat einen reservierten Parkplatz.

Free-floating

Das Fahrzeug steht dort, wo der letzte Kunde es abgestellt hat. Man ortet es per Handy.

Eigenschaften des Systems

Die Buchung ist erst kurz vor Fahrtantritt möglich.

Bis zur Buchung sind Verfügbarkeit und genauer Standort des Fahrzeugs ungewiss.

Alle Buchungen sind Open-End.

One-Way-Fahrten sind innerhalb eines definierten Geschäftsgebiets möglich.

Das Auto hat keinen reservierten Parkplatz.

Kombinierte CarSharing-Systeme

Stationsbasiertes und free-floating CarSharing aus einer Hand.

Kund*innen können vor jeder Buchung entscheiden, welchen Fahrzeug-Typ sie nutzen wollen.

In den kombinierten Systemen orientieren sich die Preise an den niedrigeren Preisen des stationsbasierten CarSharing.

Stand: 01.01.2021 Bundesverband CarSharing e.V.

Abbildung 3-13: Übersicht Carsharing-Varianten (Quelle: Bundesverband Carsharing e. V.)

Carsharing sollte als gesamtstädtische Maßnahme angegangen und umgesetzt werden. Seit dem 30.03.2017 gibt es in Deutschland das „Gesetz zur Bevorrechtigung des Carsharings (Carsharinggesetz – CsgG)“. Die Einrichtung von Carsharing-Stellplätzen im öffentlichen Raum wird dadurch erstmals auf eine bundesweite Rechtsgrundlage gestellt, was es der Kommune erleichtert, Parkplätze für Carsharing auszuweisen. Für das Quartier kommen insbesondere die Parkflächen im nördlichen Teil und neben den Einzelhändlern, wie in Abbildung 3-6 dargestellt in Betracht.

3.5.4 Elektromobilität und Ladeinfrastruktur

3.5.4.1 Ausbau Ladeinfrastruktur im Quartier

Der Anteil der Elektrofahrzeuge an privat genutzten PKW kann auf Quartiersebene nur sehr schwer und in begrenztem Maß beeinflusst werden. Denn die relevanten Faktoren, ob der Wechsel von einem fossil betriebenen PKW mit Verbrennungsmotor zu einem Elektrofahrzeug stattfindet, hängt einerseits von der wirtschaftlichen Attraktivität ab, die durch Kraftstoff- und Strompreise sowie Fördermittel beeinflusst wird. Andererseits wird der Wechsel beeinflusst durch die Ansprüche und Einstellungen, die jeder Kfz-Halter hat. Individuelle und subjektive Kriterien wie Komfort, Reichweite, Fahrleistungen, Platzangebot und äußere Gestaltung des Fahrzeugs, – aber auch das eigene Umweltbewusstsein – spielen beim Fahrzeugkauf eine ebenso große Rolle wie der finanzielle Aspekt. Als letzten Punkt haben die gesetzlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen, wie Entwicklung der CO₂-Steuer, Emissionsgrenzwerte für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, neue verfügbare Mobilitätskonzepte und -angebote als Alternative zum motorisierten Individualverkehr einen Einfluss darauf, ob der Wechsel hin zu elektrisch angetriebenen Fahrzeugen vollzogen wird.

Als Vorbild- und Vorreiterrolle sieht die Stadt Mühlhausen nach Ratsbeschluss die Umstellung der kompletten Auto-Flotte auf Strom bis 2025 vor. Die Stadtwerke Mühlhausen betreiben bereits sechs öffentliche E-Ladestationen im Mühlhausen.

Im Rahmen der Maßnahmen der Smart City Mühlhausen plant die Stadt im Stadtgebiet Mobilitätsinseln. Diese bieten Lade- und Leihmöglichkeiten für Fahrräder, E-Bikes, E-Roller und Lastenfahrräder. Außerdem dienen sie als Rad-Parkhaus, Klein-Reparaturstützpunkt und Abstellstation für Pakete und Warensendungen. Die Mobilitätsinseln spielen eine entscheidende Rolle für die Entwicklung einer neuen urbanen Mobilität in Mühlhausen (2). Es wird empfohlen, dass die Errichtung von öffentlichen Ladepunkten und Mobilitätsinseln für das Quartier Martini-Vorstadt zu prüfen. Dies kann auch im Zuge der angestrebten neuen Freiraumgestaltung im nördlichen Teil und entlang der Ballongasse erfolgen.

Als wichtigsten Anreiz für die Förderung von Elektrofahrzeugen im Quartier ist die Schaffung von zusätzlichen Ladesäulen zu nennen. Diese können bei geeigneten Platzverhältnissen auch in Form von PV-Carports errichtet werden, denn so können Räume des ruhenden Verkehrs zusätzlich für PV-Anlagen genutzt werden, die sonst ungenutzt wären. Als positiver Nebeneffekt kann der vor Ort erzeugte Strom der PV-Anlage direkt zum Laden der Elektrofahrzeuge verwendet werden.

3.6 Klimaanpassung und blau-grüne Infrastruktur

Grüne Orte können durch Begegnung und Kommunikation zur Belebung des Quartiers beitragen. Besonders in Räumen, in denen qualitativ hochwertige grüne Infrastrukturen vorhanden sind, werden die Menschen inspiriert, sich mehr zu bewegen und sich in Naturbelangen zu engagieren. Außerdem kann durch die Freiraumgestaltung gezielt das Mikroklima im Quartier verbessert werden. Die Möglichkeiten an Maßnahmen sind vielfältig. Wesentliche Ansätze werden auch als „blau-grüne Infrastrukturen“ bezeichnet und sind der Toolbox „BlueGreenStreets“ zusammengetragen, die als Ressource für weitere Planungen empfohlen wird (50). Die im Folgenden aufgeführte Auflistung versteht sich als Ideengeber und hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit:

- Steigerung der Attraktivität und Biodiversität durch Neupflanzungen, insbesondere durch bienenfreundliche, heimische Streuwiesenblumen sowie Pflanzen mit Resilienz gegenüber Extremwetterereignissen (Dürren, Hitzewellen, Starkregen und Spätfröste)
- Schaffung neuer Verbindungswege (Stichwort: 15-Minuten-Stadt)
- gezielte Schaffung bzw. Neugestaltung bestehender Sitzgelegenheiten
- bedarfsgerechte Ausstattung mit Spielangeboten sowie Berücksichtigung integrativer Anforderungen
- Installation von Freizeit- und Sportgeräten:
 - Fitnessspacours (auch bzw. besonders für Senioren)
 - Boule- oder Bocciabahnen
 - Schachanlagen
 - Tischtennisplatten
- Ergänzung spezieller Funktionsräume, wie z. B. „Ort der Stille“ mit Schachbrett
- optimierte Beleuchtung für z. B. erhöhtes Sicherheitsgefühl
- smarte Dienstleistungen (via Apps) / Aktionen wie beispielsweise „Gieß dein Kiez“, Baumpflanzaktionen, Vorleseaktion für Kinder durch Senioren im Freien

Bei Umsetzung nur einiger der hier genannten Maßnahmen lassen sich Verweildauer und damit verbunden die Zufriedenheit der Bevölkerung schnell und langfristig steigern.

In den Gesprächen mit den Akteuren vor Ort wurden die Potenziale zur Freiraumentwicklung weiterentwickelt. Im Rahmen der Smart-City-Strategie Mühlhausen wurden bereits Ideen zu einem Quartiersgarten und für eine begrünte Lärmschutzwand entlang der Thomas-Müntzer-Straße im Norden des Quartiers aufgesetzt. Entlang der Ballongasse ist zudem eine Entsiegelung und Begrünung des öffentlichen Raumes angedacht. Diese drei Potenziale werden im Rahmen der Umsetzung der Smart-City-Strategie (2) und des Teilkonzepts Stadtgrün-Minderung der Folgen des Klimawandels (10) weiterverfolgt. Ende 2023 wurde eine Kooperation mit der Fachhochschule Erfurt ins Leben gerufen. Im Rahmen dieser werden durch studentische Arbeiten Ideen für die Umsetzung der Vorhaben erarbeitet.

Im Folgenden sollen für die Maßnahmen zur Entsiegelung der Ballongasse, die im Rahmen dieses Konzeptes entwickelten Ideen dargestellt werden.

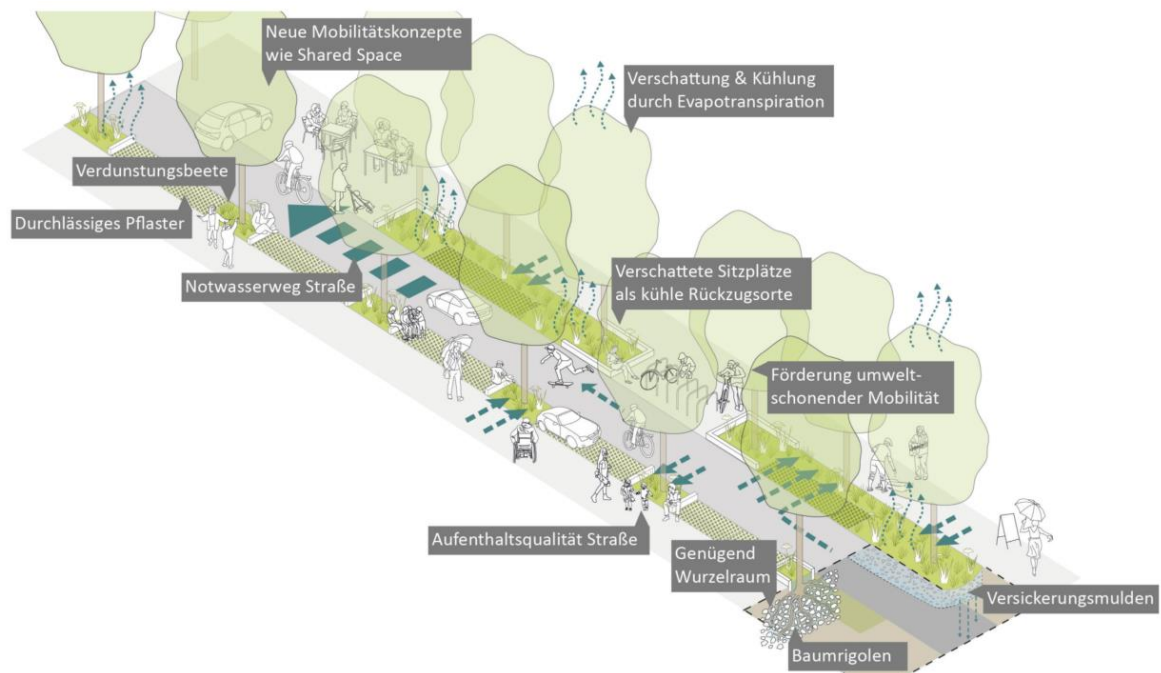


Abbildung 3-14: Übersicht der Ansätze zur Integration von blau-grünen Infrastrukturen in den Straßenraum (Quelle: (50))

Für die Ballongasse wurde der Grad der Versiegelung mit ca. 50 % ermittelt. Dazu wurde das repräsentative Straßenprofil aufgenommen wie in Abbildung 3-15 dargestellt. Daraus und aus weiteren Luftbildern wurden die mittleren Breiten und Anteile an der Gesamtlänge der Straße (220 m) ermittelt und auf die Gesamtfläche der Straße hochgerechnet (Tabelle 18).



Abbildung 3-15: repräsentatives Straßenprofil Ballongasse (Quelle: Orthophotos Stadt Mühlhausen)

Tabelle 18: Breiten und Flächen der Oberflächen in der Ballongasse, grobe Abschätzung anhand von Luftbildern, Quelle: Tilia GmbH

IST	Wiese 1	Fußweg 1	Parken 1	Fahrbahn	Parken 2	Fußweg 2	Wiese 2	Summe
Breite [m]	4,5	2,5	4	6	4	2,5	3	26,5
Länge [m]	220	220	90	220	100	115	220	
Fläche [m ²]	990	550	360	1320	400	287,5	660	7485
versiegelte Fläche [m ²]	0	550	360	1320	400	287,5	0	2918

Entsiegelung: Durch Entsiegelung des allein des Parkraumes könnten schon ohne Reduzierung des Parkraumes eine zusätzliche Fläche von 760 m² Versickerungsfläche gewonnen werden. Damit würde der Anteil unversiegelter Flächen in der Straße von 47 % auf 60 % gesteigert werden.

Regenwassernutzung: Die Nutzung von Regenwasser zur Bewässerung der Vegetation im Quartier sollte in der weiteren Projektentwicklung explizit betrachtet werden. Zum Beispiel lassen sich durch das Anlegen von Zisternen oder Versickerungsrigolen Wassermengen von selten auftretenden Starkregenereignissen im Quartier halten. Dadurch wird die Kanalinfrastruktur der Stadt entlastet wie auch die Kläranlage.

Baumpflanzung: Durch Baumpflanzung wird die lokale Temperatur vor allem bei sommerlicher Hitze am Tag lokal herabgesetzt. Im Mittel kann mit einer Absenkung von 2,7 K gerechnet werden (50). Gleichzeitig bindet ein Baum CO₂ aus der Luft und wirkt so den THG-Emissionen allgemein entgegen. Hier wurde eine grobe Abschätzung vorgenommen, die unterstellt, dass ein Baum in 20 Jahren zirka 400 Kilogramm CO₂ speichern kann. Die Abschätzung erfolgte auf Grundlage von Tabellen der Bayerischen Forstverwaltung (51). Es wurde angenommen, dass auf der Länge der Straße von 220 Metern etwa alle 10 Meter ein Baum gepflanzt werden kann. Wenn die Bäume auf beiden Seiten der Straße gepflanzt werden, können insgesamt 44 neue Bäume entlang der Ballongasse gepflanzt werden. Damit ergibt sich insgesamt ein Potenzial zur Senkung der CO₂-Emissionen durch Baumpflanzungen von 0,44 Tonnen pro Jahr.

Neugestaltung südliches Ende Ballongasse: Im Rahmen der Akteursgespräche wurden zudem Ideen gesammelt, wie das südliche Ende der Ballongasse durch Umgestaltung aufgewertet werden kann. Dies betrifft insbesondere die folgenden Ansätze:

1. Nachnutzung Kellergeschoß ehemaliger Wohnblock in Verbindung mit einem Quartiersgarten (siehe Abbildung 3-16 links).
2. Quartiersgarten: Im Rahmen der Neugestaltung des Quartiers soll ein neuer Quartiersgarten entstehen. Quartiersbewohnern können künftig in Hochbeetkisten und mobilen Pflanzgefäßen ihr eigenes Gemüse anzubauen und Kindern aufzeigen, wie aus einem Samenkorn gesundes Essen entsteht. Ein weiterer Aspekt ist das Miteinander im Quartier, die Geselligkeit und das Kennen lernen der Nachbarn.



Abbildung 3-16: Übersicht Maßnahmenfläche südliche Ballongasse inkl. aktuellem Bestand (Quelle: Tilia GmbH)

Die Quantifizierung weiterer Einsparpotenziale der Maßnahmen und aufgeführten nachhaltigen Gestaltungs- und Aufwertungsideen ist durch tiefergehende Planung auszuarbeiten. Sie führen aber unbestritten zu einer Verbesserung der lokalen CO₂-Aufnahme und zu einer positiven Auswirkung auf das Mikroklima. Die Stadtverwaltung hat dazu in Kooperation im Jahr 2023 mit der FH Erfurt eine studentische Projektarbeit gestartet. Dabei werden weitere Ideen entwickelt und diese zu einem gestalterischen Gesamtentwurf ausgearbeitet.



Abbildung 3-17: Beispiel eines Gestaltungsentwurfes für das Quartier erstellt von Marius Herzberg, und Felix Hinkel im Rahmen der studentischen Projektarbeit in Kooperation mit der Fachhochschule Erfurt

4 Maßnahmenkatalog

Im folgenden Abschnitt werden die Maßnahmen aufgelistet, die für das Quartier empfohlen werden. Die Maßnahmen wurden in fünf thematische Handlungsfelder gegliedert:

1. Organisatorische Maßnahmen
2. Wärme
3. Strom / Erneuerbare Energien
4. Verkehr / Mobilität
5. Klimaanpassung

Die Maßnahmen wurden in Absprache mit den Akteuren im Quartier erarbeitet und priorisiert. Die Priorisierung erfolgt in vier Stufen:

- Priorität 1 – eine kurzfristige Umsetzung der Maßnahme innerhalb des nächsten Jahres wird empfohlen.
- Priorität 2 – eine mittelfristige Umsetzung der Maßnahme innerhalb der nächsten 5 Jahre wird empfohlen.
- Priorität 3 – eine langfristige Umsetzung der Maßnahme innerhalb der nächsten 10 Jahre wird empfohlen.
- Priorität 4 – die Maßnahme wurde betrachtet und ist unter aktuellen Voraussetzungen (wirtschaftlich, gesellschaftlich oder technisch) nicht realisierbar. Sie sollte jedoch im „Ideenspeicher“ für eine spätere Betrachtung unter gegebenenfalls anderen Umständen neu bewertet werden.

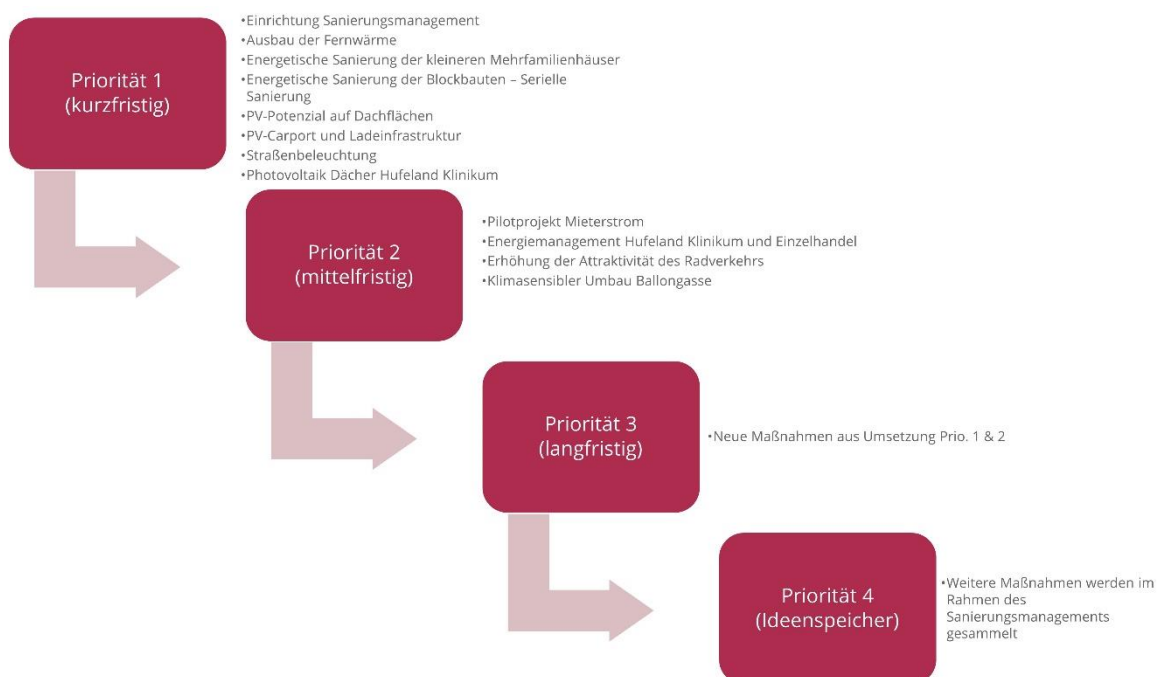


Abbildung 4-1: Einordnung der Maßnahmen in Priorisierungskategorie

4.1 Maßnahmen: Organisation

Maßnahme übergreifende Funktion – 1

Einrichtung Sanierungsmanagement			
Handlungsfeld	Organisatorische Maßnahmen	Priorität	1
Maßnahmenbeschreibung: Schaffung einer zentralen Ansprechstelle für die Weiterführung der Maßnahmen des Quartierskonzeptes			
Zur Umsetzung der erstellten Maßnahmen und weiteren Forcierung energetischer Themen, sollte ein Sanierungsmanagement etabliert werden. Die Aufgabenbereiche umfassen: • Konzeptumsetzung planen • Akteure aktivieren und vernetzen • Maßnahmen koordinieren und kontrollieren • Als zentraler Ansprechpartner für Fragen zu Finanzierung und Förderung fungieren Als Navigator kann das Sanierungsmanagement helfen, den Überblick zu bewahren. Das Sanierungsmanagement ist dabei nicht nur für das Themenfeld Sanierung zuständig, sondern agiert als Ansprechpartner für alle energetischen Fragestellungen und koordiniert Fachexperten wie Gebäudeenergieberater. Diese Aufgabe muss nicht zwangsläufig durch die Gemeinde erfüllt werden, sondern kann auch in Teilen extern an Energieberater, Projektentwickler und die Stadtwerke vergeben werden. Zudem kann das Sanierungsmanagement bei der Umsetzungsbegleitung von Maßnahmen durch Fördermittelakquise und Erarbeitung von Finanzierungsmodelle unterstützen. Es wird empfohlen, sich bei den entsprechenden Förderinstitutionen nach künftigen Angeboten zur Finanzierung eines Sanierungsmanagements zu recherchieren und sich beraten zu lassen.			
Verfolgte Ziele			
• Sicherung der Umsetzung der Maßnahmen im Quartier • Information von Akteuren und Bürgern und dadurch Reduzierung von Hemmnissen bei der Umsetzung der Klimaziele			
Kosten	ca. 50.000 €/a Personal	Einspareffekte / Jahr	k. A.
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	k. A.	Umsetzungszeitraum	3 Jahre
Projektträgerschaft	Stadt Mühlhausen	Weitere Partner	Berater Wohnungswirtschaft Stadtwerke

Maßnahme übergreifende Funktion – 2

Pilotprojekt Mieterstrom			
Handlungsfeld	Strom erneuerbare Energien	Priorität	2
Maßnahmenbeschreibung: Umsetzung eines ersten Mieterstromprojektes im Quartier			
Über ein Mieterstrom-Modell kann der auf dem Dach produzierte Strom aus Photovoltaik direkt von den Mietern im selben Gebäude verbraucht und abgerechnet werden. Sie profitieren damit von den günstigen Stromgestehungskosten für Strom aus Photovoltaik. Da nicht der komplette Strombedarf durch Photovoltaik zum eigenen Dach gedeckt werden kann, verbleibt weiterhin ein Rest-Strombezug aus dem öffentlichen Netz. Der Betreiber der Photovoltaikanlage übergibt den produzierten Strom noch vor dem Einspeisepunkt ins öffentliche Netz an den Stromlieferanten, der diesen an die Mieter des Gebäudes weiter reicht. Gleichzeitig versorgt der Stromlieferant die Mieter mit dem benötigten Reststrom aus dem öffentlichen Netz. Der Anlagenbetreiber kann neben dem Strompreis, den er vom Stromlieferanten erhält, auch eine Förderung in Form eines Mieterstromzuschlags erhalten. Für die Einspeisung des nicht vor Ort verbrauchten Stroms in das öffentliche Netz kann er eine Vergütung vor über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) erhalten. Die Maßnahme lässt sich gut kombinieren mit der seriellen Sanierung, kann aber auch an Gebäuden, die bereits energetisch saniert sind, umgesetzt werden. Geeignete Gebäude sollten zusammen mit der Wohnungswirtschaft identifiziert werden. Danach kann eine objektbezogene Kalkulation durch einen spezialisierten Dienstleister oder die Stadtwerke vorgenommen werden. Wichtiger Punkt ist die frühzeitige Kommunikation mit den Mietern und Abfrage von deren Bereitschaft zum Mieterstrombezug.			
Verfolgte Ziele			
• Partizipation der Mieter an der Wertschöpfung durch Photovoltaik im Quartier • Erhöhung der Akzeptanz von erneuerbaren Energieanlagen			
Kosten	Ca. 10.000 €/a für die Entwicklung eines Pilotprojektes bis zur Investitionsreife	Einspareffekte / Jahr	k. A.
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	k. A.	Umsetzungszeitraum	1 bis 3 Jahre
Projekträgerschaft	Wohnungswirtschaft, Stadtwerke	Weitere Partner	Berater

Maßnahme übergreifende Funktion – 3

Energiemanagement Hufeland Klinikum und Einzelhandel			
Handlungsfeld	Organisatorische Maßnahmen	Priorität	2
Maßnahmenbeschreibung: Einführung von Energiemanagementsystemen im Gewerbe und dem Hufeland Klinikum			
Ein Energiemanagementsystem besteht zum einen aus Prozessen und Organisationsstrukturen in Unternehmen, andererseits aus technischen Einrichtungen zur Erfassung von Energiedaten. Durch den Betrieb von Energiemanagementsystemen kann die Energieeffizienz der bestehenden Infrastruktur laufend verbessert werden. Dadurch kommt es langfristig zu Einsparungen des Energieeinsatzes. Dies ist besonders relevant für die großen Verbraucher im Quartier: Das Hufeland Klinikum und die Gewerbetreibenden. Im Rahmen des Sanierungsmanagements sollte die Gespräche zur Sensibilisierung der Akteure vertieft und Informationen zum Energiemanagement bereitgestellt werden. Es existieren bereits internationale Normen und Handlungsleitfäden für die Umsetzung von Energiemanagementsystemen, wie etwa die DIN ISO 50 001.			
Verfolgte Ziele			
Etablierung langfristig wirkender Prozesse zur Verbesserung der Energieeffizienz			
Kosten	Je nach Unternehmensgröße	Einspareffekte / Jahr	k. A.
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	k. A.	Umsetzungszeitraum	1 bis 3 Jahre
Projektträgerschaft	Hufeland Klinikum, Gewerbe	Weitere Partner	Berater

4.2 Maßnahmen Wärmeerzeugung und -infrastruktur

Maßnahme Wärme – 1			
Ausbau der Fernwärme			
Handlungsfeld	Wärme	Priorität	1
Maßnahmenbeschreibung: Ausbau der Fernwärme in der Schadebergstraße, der östlichen Pfannschmidtstraße und der Rudolf-Breitscheid-Straße			
Die Wärmeversorgung der Gebäude im Quartier durch Fernwärme ist in der Regel effizienter, klimafreundlicher und wirtschaftlicher als eine dezentrale Wärmeversorgung. Die Wärmeversorgung durch das Fernwärmenetz Ballongasse der Stadtwerke Mühlhausen hat aktuell einen CO₂-Emissionsfaktor von 0,111 t/MWh. Momentan arbeiten die Stadtwerke Mühlhausen daran, den CO₂-Emissionsfaktor für die Fernwärme weiter zu senken, bis zum Jahr 2027 soll dieser auf 0,064 t/MWh reduziert werden. Die Erlöse kommen mit den Stadtwerken Mühlhausen einem lokalen und kommunalen Unternehmen zugute und unterstützen so die lokale Wertschöpfung. Auch für die Kunden hat der Wechsel zur Fernwärmeversorgung Vorteile. Im Gegensatz zu dezentralen Wärmeerzeugungsanlagen fällt kein Aufwand für Wartung und Betriebsführung und kein zusätzlicher Platzbedarf für eine Wärmeerzeugungsanlage an. Gleichzeitig sind mit dem Anschluss an die Fernwärme die gesetzlichen Anforderungen zur Einhaltung des 65%-Anteils an Erneuerbaren Energien bei der Heizungserneuerung erfüllt. Das Wärmeabsatzpotenzial beträgt ca. 5,9 GWh/a (vor energetischer Sanierung). Zusätzlich werden bis zu 160 neue Gebäude versorgt.			
Verfolgte Ziele			
• Umstellung der Wärmeerzeugung von Erdgas und Heizöl zu klimafreundlicher Fernwärme			
Kosten	Anschlüsse 2,4 Mio. € Netz 1,3 km 3,25 Mio.€ Gesamt: 5,65 Mio.€	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 612 t/a
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	Zu prüfen	Umsetzungszeitraum	5 Jahre
Projektträgerschaft	Stadtwerke Mühlhausen, Privateigentümer	Weitere Partner	Ingenieurbüros, Stadt Mühlhausen

Maßnahme Wärme – 2

Energetische Sanierung der kleineren Mehrfamilienhäuser

Handlungsfeld	Wärme	Priorität	1
Maßnahmenbeschreibung: Durchführung von energetischen Sanierungen der kleineren Mehrfamilienhäuser bestehend aus Sanierung der Gebäudesubstanz und Heizungstausch			
Rund 67 % aller Ölheizungen und 58 % aller Gasheizungen in Deutschland sind 20 Jahre und älter. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass in naher Zukunft viele Kessel auch im Quartier „Martini-Vorstadt“ altersbedingt – durch eine möglichst THG-neutrale Wärmeversorgung – ausgetauscht werden müssen. Zur Dekarbonisierung der bestehenden Wärmeversorgung ist der Einsatz von Fernwärme eine sehr gute Möglichkeit, doch lassen sich aus unterschiedlichen Gründen nicht alle Gebäude im Quartier an die Fernwärme anschließen. Klimafreundliche Alternativen sind in erster Linie Wärmepumpen. Moderne marktverfügbare Wärmepumpen sind in der Lage auch Vorlauftemperaturen, wie sie in älteren Bestandsgebäuden gefordert werden zu liefern. Alternativen stellen Biomassekessel für Holzpellets oder Holzhackschnitzel dar. Der Heizungstausch sollte dabei stets mit einer Gebäudeenergieberatung kombiniert werden. Einerseits um die Potenziale zur Senkung des Wärmebedarfes auszuschöpfen, andererseits um die möglichen Voraussetzungen für die Gewährung von Fördermitteln zu schaffen. Im Quartier sollten positive Anreize geschaffen werden, neben dem Ausbau der Fernwärme bestehende fossile Wärmeerzeuger durch klimafreundliche Wärmeerzeuger zu ersetzen. Diese Anreize sollten durch begleitende Beratungsangebote zu Fördermitteln und technischen Lösungen unterstützt werden. Diese Aufgabe kann z. B. durch einen Sanierungsmanager übernommen werden. Durch die Stadtwerke wird bereits ein Produkt „City-Wärme+“ angeboten, welches um Beratungsangebote zur energetischen Sanierung der Gebäudehülle ausgebaut werden könnte.			
Verfolgte Ziele			
• Austausch alter Kessel durch THG-neutrale Wärmeerzeuger (z. B. Wärmepumpen) • Ablösung fossiler Wärmeversorgung			
Kosten	variabel	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 595 t/a durch Sanierung
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	individuell unterschiedlich	Umsetzungszeitraum	0 bis 10 Jahre
Projekträgerschaft	Gebäudeeigentümer, Stadtverwaltung, Stadtwerke	Weitere Partner	Gebäudeenergieberater, Verbraucherzentrale, Handwerksbetriebe

Maßnahme Wärme – 3

Energetische Sanierung der Blockbauten – Serielle Sanierung

Handlungsfeld	Wärme	Priorität	1
----------------------	-------	------------------	---

Maßnahmenbeschreibung: Durchführung von energetischen Sanierungen der Blockbauten in Verbindung mit Verbesserung der Bausubstanz

Im Quartier kommen 67 Gebäude für eine serielle Sanierung im Betracht. (16 Wohnungsbau-genossenschaft Mühlhausen, 33 Wohnungsgesellschaft Mühlhausen und 18 anderer Wohnungsge-sellschaften). Die Maßnahme beginnt damit, ein geeignetes Pilotobjekt auszuwählen, an dem dann die Sanierungsmodule Dach, Fassade, Balkone, Energietechnik prototypisch entwickelt wer-den, die dann auf alle weiteren Gebäude übertragen werden. Damit ließen sich die energetischen Einsparungen sehr viel schneller und kostengünstiger erreichen, als bei herkömmlicher objektwei-sen Sanierung.

Gleichzeitig können weitere Verbesserungen erreicht werden, wie etwa:

- Entfernung von Wärmebrücken an Balkonen durch Ersatz der alten Balkone
- Einbau Lift zur Steigerung der Attraktivität
- Strangsanierung der Versorgungs- und Entsorgungsleitungen
- Aufwertung von Grünflächen im Quartier

Die DENA begleitet aktuell die Markteinführung dieses vielversprechenden Ansatzes. Der Bund unterstützt Projekte mit ergänzenden Fördermitteln durch die Bundesförderung Serielle Sanie-rung. Damit können Investitionen zusätzliche zu Landesmitteln mit ca. 30 % bis 55 % gegenfinan-ziert werden.

Diese Maßnahme ist gut mit dem Ausbau der Photovoltaik im Quartier kombinierbar. Im Erster Schritt wird eine Machbarkeitsstudie für das konkrete Pilotgebäude erstellt, das die Sanierungs-maßnahmen, gemäß der Ziele der Wohnungsunternehmen (z. B. warmmietenneutral), technisch und vertraglich im Detail plant.

Verfolgte Ziele

- **Entwicklung von Sanierungsmodulen, zur Übertragung alle Blockbauten im Quartier**
- **Entwicklung allgemeines Vertrags- und Finanzierungsmodell**

Kosten	Pilot: 2,5 Mio. € 1.300 bis 1700 €/m ² Gesamt: 134 Mio.€	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 310 t/a alle Gebäude zzgl. PV-Strom
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	individuell unterschied-lich	Umsetzungszeit-raum	5 Jahre
Projekträgerschaft	Wohnungsunterneh-men, Stadtverwaltung	Weitere Partner	Gebäudeenergieberater, Generalübernehmer, Energiesprong-Team (DENA)

4.3 Maßnahmen: Stromerzeugung und -verbrauch

Maßnahme Strom – 1			
PV-Potenzial auf Dachflächen			
Handlungsfeld	Strom / Erneuerbare Energien	Priorität	1
Maßnahmenbeschreibung: Analyse zur Erzeugung Erneuerbarer Energien			
Es wurde gezeigt, dass eines der größten Potenziale für erneuerbare Energien im Quartier in der Nutzung des Solarpotenzials durch Photovoltaikanlagen auf Dachflächen ist. Die Berechnungen im Rahmen des Quartierskonzeptes haben ergeben, dass durch eine Installation von Photovoltaikanlagen rund 6,4 GWh/a Strom im Quartier erzeugt werden könnten. Damit könnte der Strombedarf des Quartiers zu bilanziell zu 90 % gedeckt werden. Über lokale Vermarktung als Mieter- oder Quartiersstrom können auch die Mieter im Quartier wirtschaftlich beteiligt werden. Besonders die Blockbauten bieten sich hierfür an. Es gibt bereits spezialisierte Dienstleister zur Umsetzung derartiger Liefermodelle, auf die zurückgegriffen werden kann. Ein Mieterstrommodell sollte zusammen mit den Stadtwerken umgesetzt werden, um die Wertschöpfung möglichst lokal zu halten. Zu berücksichtigen ist, dass einige Gebäude auch einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle unterzogen werden sollen. Hier müssen gegenseitige Abhängigkeiten beider Maßnahmen beachtet werden. Es wird empfohlen mit einem Pilotgebäude der Blockbauten zu starten. Für die Gewerbegebäude und kleineren Mehrfamilienhäuser im Quartier könnte das Sanierungsmanagement individuelle Beratung anbieten.			
Verfolgte Ziele			
• Ausbau der PV-Stromerzeugung • Reduzierung Stromkosten für Mieter			
Kosten	Gesamt ca. 10 Mio. €	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: bis zu 2.780 t/a
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	i. d. R ca. 10 Jahre	Umsetzungszeitraum	0 bis 10 Jahre, kontinuierlicher Ausbau
Projektträgerschaft	Gemeinde, Privatinvestoren, Energiegenossenschaft	Weitere Partner	Energieversorger / Netzbetreiber

Maßnahme Strom – 2
PV-Carport und Ladeinfrastruktur

Handlungsfeld	Strom / Erneuerbare Energien	Priorität	1
----------------------	------------------------------	------------------	---

Maßnahmenbeschreibung: Erzeugung von Strom aus PV-Anlagen auf Parkplätzen und Integration von Ladesäulen für die E-Mobilität

Im Quartier sind insgesamt 14.000 m² Parkflächen verfügbar. Werden auch nur 50 % davon als PV-Parkplatz realisiert, so stehen 2,7 GWh/a Strom zur Verfügung. Die größten Flächen befinden sich auf den Parkplätzen der Einzelhändler und auf dem Gelände des Hufeland Klinikums. Besonders wirkungsvoll ist ein PV-Carport, wenn er mit Ladestationen für Elektrofahrzeuge kombiniert wird. Die Stadtwerke Mühlhausen als lokaler Partner könnten hier als Investor und Betreiber auftreten. Das Sanierungsmanagement kann durch die Entwicklung von Pilotprojekten einen wichtigen Impuls setzen. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit sollten zuerst die größten Flächen im Fokus stehen.

Die Stadtwerke bieten schon heute ein Produkt für E-Ladesäulen an, das hier sicher gut integrierbar wäre. Dennoch würden die Anlagen noch Strom in das öffentliche Netz einspeisen. Nächster Schritt sollte die Findung eines Investors und Partners zur Flächennutzung inkl. vertraglicher Vereinbarung sein. Danach beginnt die Vorplanung am konkreten Standort:

- Vermessung des Parkplatzes
- Elektroplanung & Netzanfrage
- Vorstatik
- Bodenprüfung
- Entwurfsplanung der Anlage
- Erstellung des Bauantrags

Verfolgte Ziele

- **Ausbau der PV-Stromerzeugung**
- **Vorbildfunktion der Stadt und kommunaler Unternehmen**
- **Verbesserung der Ladeinfrastruktur als Anreize für die E-Mobilität**

Kosten	3,2 Mio. EUR ohne Lade- punkte	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 1.170 t/a
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	Nicht bezifferbar Auf Projektebene zu prüfen	Umsetzungszeit- raum	1-5 Jahre
Projekträgerschaft	Stadtverwaltung, Stadt- werke Mühlhausen	Weitere Partner	Installationsbetriebe Contractoren

Maßnahme Strom – 3

Straßenbeleuchtung			
Handlungsfeld	Strom / Erneuerbare Energien	Priorität	1
Maßnahmenbeschreibung: Forcierte Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf LED			
Durch die Umrüstung der bestehenden Straßenbeleuchtung auf LED-Technologie kann der Strombedarf im Quartier um 15,3 Megawattstunden pro Jahr reduziert werden. Zuerst sollte die Stadt ein Leuchtenkataster zur Erfassung des Status Quo im Quartier erstellen. Auf Basis des Leuchtenkatasters wird ein Umrüstungsplan entwickelt. Bei der Umrüstung wird unterschieden in Austausch der gesamten Leuchte inklusive Mast oder nur Ersatz des Leuchtmittels. Die Umrüstung der Straßenbeleuchtung im Quartier sollte zusammen mit der geplanten Umgestaltung in der Ballongasse vorangetrieben werden.			
Verfolgte Ziele			
• Senkung des Strombedarfs für die Straßenbeleuchtung • Vorbildfunktion der Stadt und kommunaler Unternehmen			
Kosten	Zu ermitteln in Umrüstungsplanung	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 6,6 t/a
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	Nicht bezifferbar	Umsetzungszeitraum	1 bis 3 Jahre
Projektträgerschaft	Stadtverwaltung	Weitere Partner	Energieberater Umrüster

Maßnahme Strom – 4

Photovoltaik Dächer Hufeland Klinikum			
Handlungsfeld	Strom / Erneuerbare Energien	Priorität	1
Maßnahmenbeschreibung: Installation Photovoltaik-Dachanlagen auf dem Hufeland Klinikum zum Eigenverbrauch und Netzeinspeisung			
Am Klinikum stehen große Dachfläche zur Verfügung, um Photovoltaikanlagen aufzubauen. Damit ließe sich Strom von 460 MWh/a erzeugen. Der Strombedarf im Klinikum liegt bei ca. 3.600 MWh/a. Somit ließe sich ein bilanzieller Eigenversorgungsgrad von 13 % erreichen. Durch die Umsetzung der PV-Potenzial auf den Parkflächen steigt der Eigenversorgungsgrad noch weiter. Strom aus Photovoltaik-Dachanlagen ist in der Regel im Eigenverbrauch bedeutend günstiger als der Netzbezug. Daher ergeben sich aus der Umsetzung dieser Maßnahmen auch wirtschaftliche Vorteile für den Klinikumbetrieb. Auch die Kombination mit stationären Stromspeichern zur Ergänzung der Notfallversorgung ist sinnvoll. Im nächsten Schritt sollten die konkreten technischen Planungen vorangetrieben werden und ein Investitionsmodell entwickelt werden. Wenn das Klinikum die Investition nicht selbst vornehmen will, kann auch ein externer Investor als Contractor gewonnen werden.			
Verfolgte Ziele			
• Senkung der Stromkosten im Hufeland Klinikum • Steigerung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien			
Kosten	530 kW _p zu 1.200 €/kWp ca. 636.000 €	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 200 t/a
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	Nicht bezifferbar	Umsetzungszeitraum	1 bis 3 Jahre
Projekträgerschaft	Hufeland Klinikum	Weitere Partner	Planer Installateure

4.4 Maßnahmen: Verkehr

Maßnahme Mobilität und Verkehr – 1			
Erhöhung der Attraktivität des Radverkehrs			
Handlungsfeld	Verkehr / Mobilität	Priorität	2
Maßnahmenbeschreibung: Förderung umweltfreundlicher Mobilität durch Stärkung des Radverkehrs			
Es wird empfohlen, die Maßnahmen aus dem Radwegekonzept umzusetzen (Nummern im Konzept: A074a, A074c, A075a, A075b, A005, A010), die das Radfahren im Quartier angenehmer und attraktiver machen. Der Ausbau betrifft vor allem die Langensalzaer Straße im Westen des Quartiers. Durch einen solchen Ausbau der Radinfrastruktur sollen die Bürger ermutigt werden, zusätzliche Wege innerhalb der Stadt mit dem Rad zurückzulegen. Ein Angebot von Mieträdern und Lastenrädern kann zusätzliche Anreize setzen, auf den PKW für Versorgungsfahrten zu verzichten. Weiterhin existiert keine Service-Station für Fahrräder für Reparaturen oder die Möglichkeit zum Laden von E-Bikes. Eine entsprechende Einrichtung könnte die Bereitschaft zum Umstieg auf Fahrräder steigern.			
Verfolgte Ziele			
• Reduzierung und PKW-Einzelfahrten von Pendlern • Reduzierung CO₂-Ausstoß im Bereich Verkehr und Mobilität • Sicherere Gestaltung des Radverkehrs • Angebot von Service für Radverkehr (Reparatur und Ladestation) • Angebot von Miet- und Lastenräder			
Kosten	Im Radwegekonzept beziffert: 238.000 €	Einspareffekte / Jahr	Reduzierung CO ₂ im Verkehr nicht bezifferbar
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	-	Umsetzungszeitraum	1-5 Jahre
Projektträgerschaft	Stadtverwaltung Mühlhausen	Weitere Partner	ADFC, Bauunternehmen

4.5 Maßnahmen: grüne Infrastruktur

Maßnahme grüne Infrastruktur – 1			
Klimasensibler Umbau Ballongasse			
Handlungsfeld	Klimaanpassung	Priorität	2
Maßnahmenbeschreibung: Umbau des öffentlichen Raumes im Quartier			
Unter blau-grüner Infrastruktur versteht man gestaltete Grünräume und ein lokales ökologisches Regenwassermanagement, das Siedlungsflächen widerstandsfähiger gegen die Auswirkungen des Klimawandels macht. Besonders relevante Folgen, wie Starkregenereignisse und Hitzewellen, sollen dadurch besser bewältigt werden. Gesundheitsrisiken, vor allem für vulnerable Gruppen, sollen minimiert werden. Konkrete Maßnahmen im Quartier umfassen die Entsiegelung von Flächen, Neupflanzung von Bäumen, Schaffung von Grüninseln (Baumrigolen) und Versickerungsmulden oder Rigolen. Ziel ist die Verhinderung von Hitzeinseln, die Wärmeregulierung durch Verdunstungsfeuchtigkeit und die nachhaltige Bewältigung von Starkregenereignissen. Diese Maßnahmen entlasten Abwassersysteme und schützen gefährdete Infrastrukturen vor Überschwemmungen.			
Verfolgte Ziele			
• Verbesserung der Aufenthaltsqualität • Steigerung der Versickerungsflächen • Steigerung des Grünanteils und Verbesserung der natürlichen Kühlfunktion			
Kosten	Rigole: ca. 35 bis 40 EUR/m ² pro angeschlossene Fläche Baumrigole: ca. 75 EUR/m ² angeschlossene Fläche	Einspareffekte / Jahr	Gesamte CO ₂ -Emissionen: nicht bezifferbar
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	-	Umsetzungszeitraum	1 bis 5 Jahre
Projektträgerschaft	Stadtverwaltung Mühlhausen, Grundstückseigentümer	Weitere Partner	Planer, Bauunternehmen

5 Entwicklungspfad des Quartiers Martini-Vorstadt

In diesem Abschnitt erfolgt die zusammenfassende Darstellung der entwickelten Maßnahmen auf den Gesamtenergiebedarf und die CO₂-Emissionen im Quartier. Zum Teil müssen dazu Annahmen getroffen und Szenarien entworfen werden, die ebenfalls in diesem Abschnitt erläutert werden.

Ziel der Entwicklungsprognosen ist die emissionsfreie Wärme- und Stromversorgung bis zum Jahr 2035, was den städtischen Zielen Mühlhausens entspricht. Basis des Szenarios ist der Bevölkerungsrückgang von 1.600 auf rund 1.400 Einwohner wie in Abschnitt 2.1.2.1 beschrieben.

5.1 Entwicklung Wärmebedarfe und -versorgung

Die Entwicklung der Wärmebedarfe hängt in erster Linie von der Sanierungsrate und den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen ab. Auf Grundlage der ambitionierten Ziele der Stadt zur Emissionssenkung und zum Ausbau der erneuerbaren Energien folgende Annahmen für die Entwicklung der Bedarfe zugrunde gelegt:

1. Die Umsetzung der energetischen Sanierungsmaßnahmen für Gebäude erfolgt innerhalb von 8 Jahren bis zum Jahr 2032.
2. Nach Umsetzung der energetischen Sanierungsmaßnahmen erfolgt weiterhin eine energetische Optimierung des Gebäudebestandes, welche zu einem kontinuierlichen Rückgang um 1,1 % erfolgt.
3. Der Ausbau der Fernwärme im Quartier erfolgt gemäß dem vollen ausgewiesenen Potenzial schrittweise bis zum Jahr 2032.
4. Wärmebedarfe, die nicht über den Ausbau der Fernwärme erfasst werden, werden bis 2037 (über 14 Jahre) über Wärmepumpen bereitgestellt. Biomassekessel und Wasserstoff wurden in diesen Szenarien zur Vereinfachung nicht berücksichtigt.

Entwicklung Wärmeversorgung Quartier Umsetzung Maßnahmen

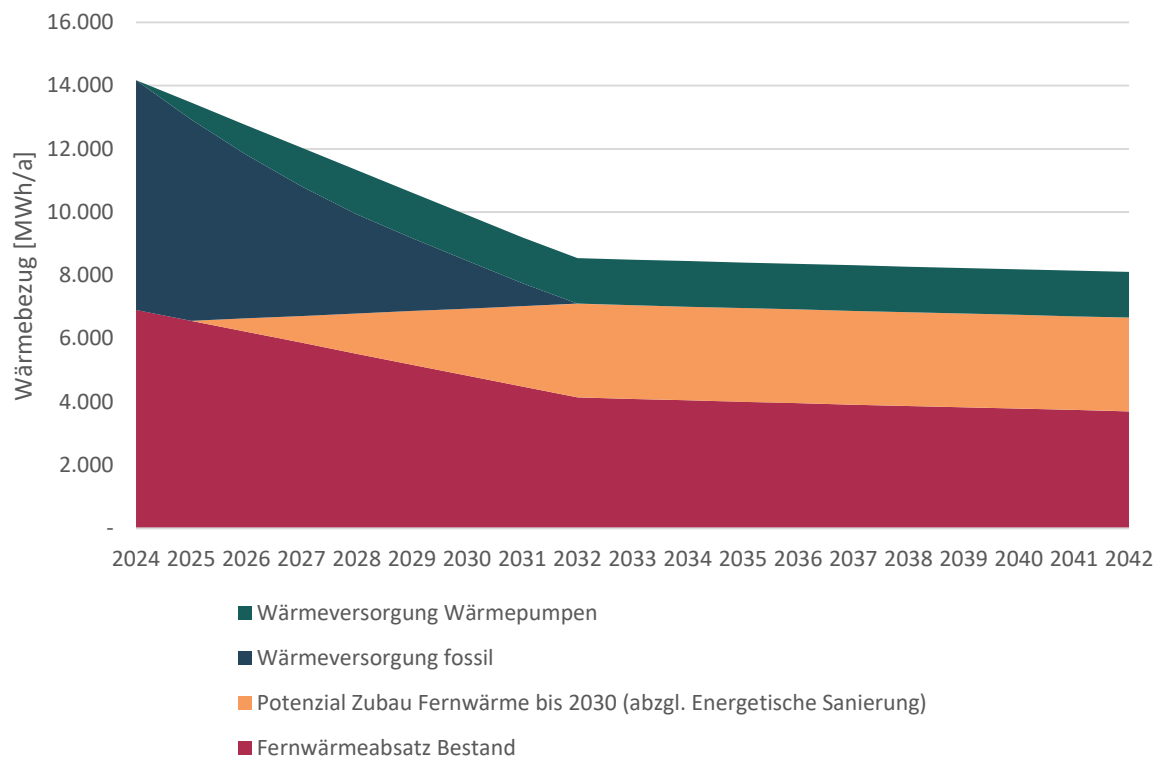


Abbildung 5-1: Entwicklung der Wärmeversorgung im Quartier bei ambitionierter Umsetzung der entwickelten Maßnahmen, eigene Darstellung

In Abbildung 5-1: Entwicklung der Wärmeversorgung im Quartier bei ambitionierter Umsetzung der entwickelten Maßnahmen, eigene Darstellung wird deutlich, dass der Fernwärmeabsatz durch die Umsetzung der energetischen Sanierungsmaßnahmen stark rückläufig sein wird. Durch den forcierten Ausbau der Fernwärme im Quartier kann der Fernwärmeabsatz stabilisiert werden. Für den Betreiber des Fernwärmenetzes ist das keine einfache Perspektive, weil mit rückläufigen Absätzen im Bestand auch die Investitionen in die Neuerschließung getätigt werden müssen. Die Abbildung zeigt ebenso, dass die energetische Sanierung der Gebäude, welche heute noch nicht über die Fernwärme versorgt werden, langfristig den Wärmebedarf stark absenken werden. Da die Eigentümerstruktur in diesem Gebäudesegment sehr heterogen ist, sollte die Stadt großen Wert auf die kommunikative Einbindung der Eigentümer im Quartier legen. Hierbei ist es sinnvoll, die Maßnahmen zur Senkung der Wärmebedarfe vor den Maßnahmen zum Fernwärmeausbau anzugehen. Insgesamt kann bei Umsetzung der Maßnahmen zur energetischen Sanierung der Gebäudestruktur der Wärmebedarf im Quartier um ca. 43 % gegenüber dem Status Quo gesenkt werden. Von ca. 14 GWh/a auf ca. 8 GWh/a.

Im Ergebnis kann langfristig 84 % des Bedarfs mit Fernwärme versorgt werden.

5.2 Entwicklung Strombedarfe und -versorgung

Im Quartier haben hauptsächlich drei Entwicklungspfade Einfluss auf den zukünftigen Stromverbrauch im Quartier:

1. Austausch fossiler Kessel durch Wärmepumpen
2. Ladestrom für Elektrofahrzeuge
3. Steigerung der Effizienz in der allgemeinen Stromnutzung

Der Einsatz von Wärmepumpen im Quartier wird wiederum durch das bestrittene Ausbauszenario der Fernwärme beeinflusst. In Gebäuden, die durch die Fernwärme versorgt sind, müssen keine Wärmepumpen eingebaut werden. Dadurch wird der Strombedarf im Quartier nicht weiter erhöht. Wird die Fernwärme gemäß dem Maßnahmenvorschlag ausgebaut, steigt der Stromverbrauch auf 500 MWh/a im Jahr 2029.

Bis zum Jahr 2040 kann bei Fortschreiten der aktuellen Entwicklung mit einem Anteil an Elektrofahrzeugen von ca. 65 % gerechnet werden. Dabei wird unterstellt, dass die Anzahl der Fahrzeuge im Quartier sowie die jährlichen Fahrleistungen gleichbleiben. Unter diesen Gesichtspunkten steigt der Strombedarf durch Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2040 um rund 1.000 MWh/a. Dabei muss bedacht werden, dass in Zukunft wohl nur ein Teil der Ladeleistung für Elektrofahrzeuge im Quartier erbracht wird, sondern eher an zentralen Ladepunkten mit großer Ladeleistung, ähnlich den heutigen Tankstellen für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

Für die Entwicklung des allgemeinen Strombedarfes wurde eine pauschale Effizienzsteigerung von 1,1 %/a infolge verbesserter Technologien und einem verstärkten Energiebewusstseins seitens der Nutzer zugrunde gelegt.

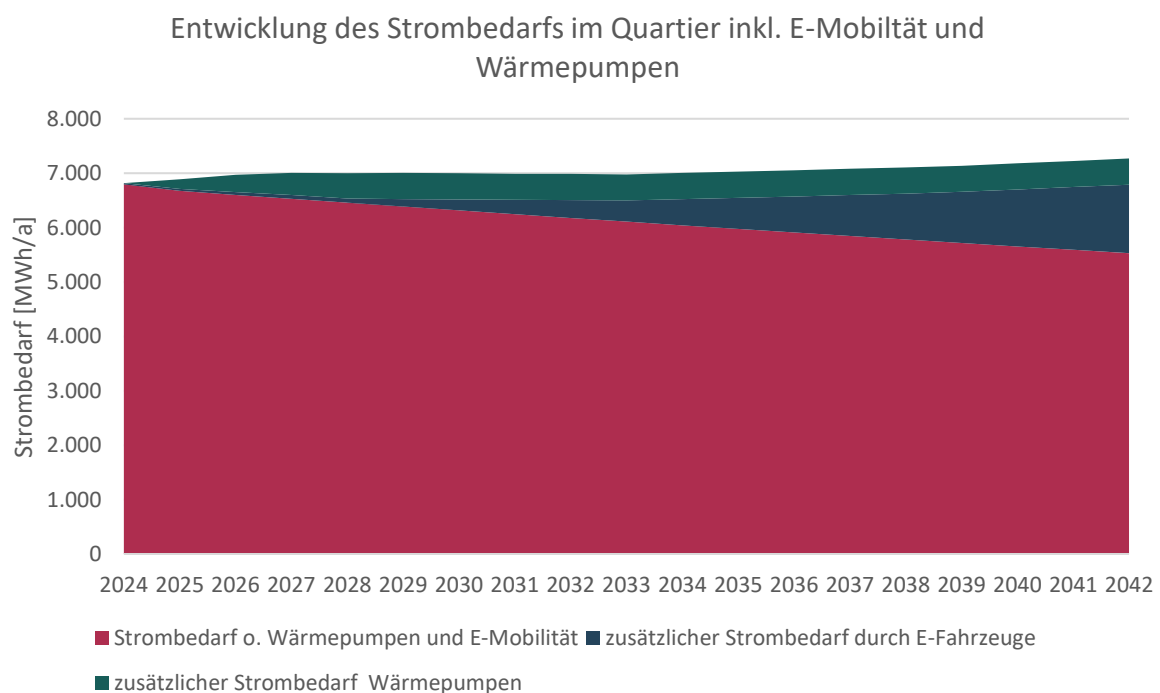


Abbildung 5-2: Entwicklung des Strombedarfes bei Umsetzung der Maßnahmen, eigene Darstellung

Wie in Abbildung 5-2 ersichtlich wird, stellen die zusätzlichen Bedarfe aus der E-Mobilität und dem Zubau von Wärmepumpen im Vergleich zum heutigen Bedarf keine große Veränderung des Bedarfs in Aussicht. Insgesamt steigt der jährliche Strombedarf bis 2043 von 6.800 MWh auf 7.300 MWh. Ob ein Ausbau des Stromnetzes daraus folgt, kann aber nur über einer Betrachtung der gesamten Jahreshöchstlast auf der betreffenden Netzebene erfolgen.

Für den Ausbau von PV-Anlagen im Quartier wurden die in Abschnitt 3.1.1 ermittelten Potenziale angesetzt (gesamt 9,5 MW_p). Von diesem Potenzial entfallen 6,7 MW_p auf Photovoltaikanlagen auf Dächern und 2,8 MW_p auf Parkplätze im Quartier. Die Prognose unterstellt einen linearen Ausbau des ermittelten Potenzials innerhalb der nächsten 8 Jahre bis zum Jahr 2032. Das bedeutet, dass jedes Jahr bis dahin eine zusätzliche Leistung von ca. 1.200 kW_p installiert werden. Aus dem Vergleich mit dem Strombedarf im Quartier wird ein jährlicher bilanzieller Deckungsgrad ermittelt.

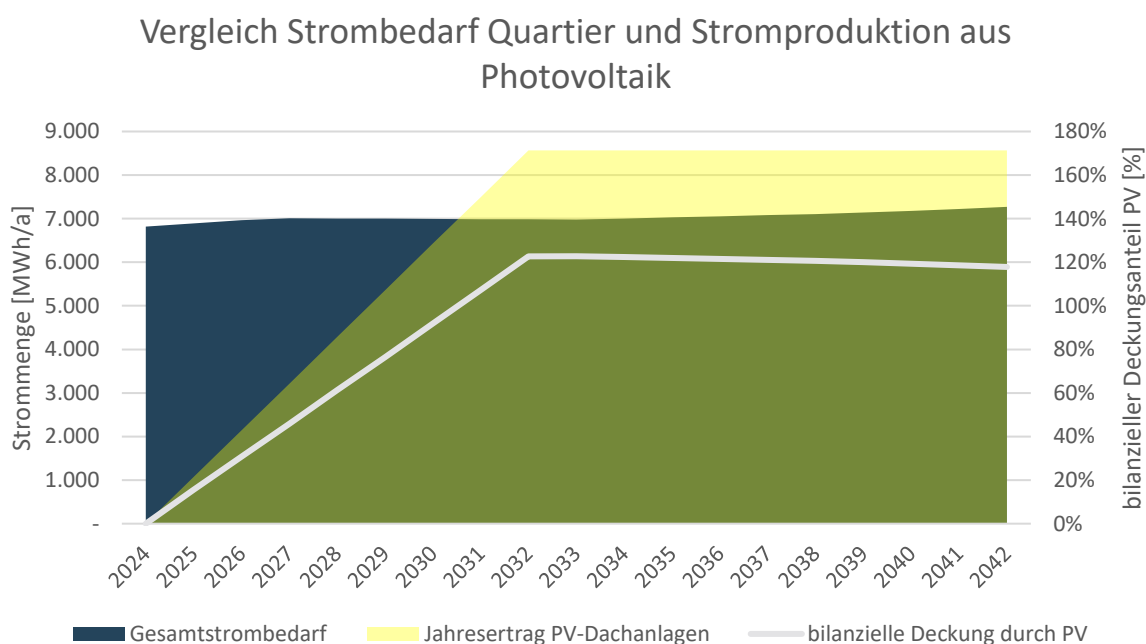


Abbildung 5-3: Gegenüberstellung vom Gesamtstrombedarf und der jährlichen Stromproduktion aus Photovoltaik-Anlagen im Quartier (Dach und Parkplätze) und bilanzieller Deckungsgrad

In Abbildung 5-3: Gegenüberstellung vom Gesamtstrombedarf und der jährlichen Stromproduktion aus Photovoltaik-Anlagen im Quartier (Dach und Parkplätze) und bilanzieller Deckungsgrad zeigt sich, dass durch kontinuierlichen Ausbau der Potenziale für Photovoltaik im Quartier bereit ab 2030 jährlich mehr Strom im Quartier erzeugt wird, als im selben Jahr verbraucht wird. Nach Vollausbau der Potenziale wird eine bilanzielle Deckung von 120 % erreicht. Dies kann als ambitionierte Zielmarke unter günstigen Rahmenbedingungen gelten. Sollte die Aktivierung der für die Umsetzung wichtigen

Akteure, die Finanzierungsbedingungen oder die Verfügbarkeit von Dienstleistern und Material nicht optimal sein, so ist mit einer geringen Umsetzungsrate zu rechnen.

5.3 Entwicklung CO₂-Emissionen

Die Prognose der CO₂-Emissionen im Quartier ist mit großer Unsicherheit behaftet, weil die größte Unbekannte der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung ist. Für den Netzstrom wird nach aktueller Studienlage von einem linearen Verlauf des Emissionsfaktors in der Stromerzeugung von derzeit 0,435 t/MWh auf 0,028 t/MWh im Jahr 2050 ausgegangen (52). Dadurch verbleibt eine Emission des Netzstroms von 0,138 t/MWh im Jahr 2040.

Der Emissionsfaktor der Fernwärme wird gemäß des Transformationsplanes der Stadtwerke Mühlhausen bis zum Jahr 2027 von 0,111 t/MWh auf 0,064 t/MWh absinken. Für die weitere Entwicklung wurde eine Absenkung linear bis 2040 auf 0 t/MWh angenommen.

Aus der Abbildung 5-4: Entwicklung der gesamten CO₂-Emissionen im Quartier mit und ohne Umsetzung der Maßnahmen unter Berücksichtigung der Emissionsfaktoren für Netzstrom und Fernwärme der Stadtwerke Mühlhausen und der Berücksichtigung, ob PV im Quartier installiert wird oder nicht geht hervor, dass die Gesamtemissionen wahrscheinlich unabhängig von der Umsetzung von Maßnahmen im Quartier von ca. 7.000 t/a auf rund 2.000 t/a absinken werden. Haupttriebfeder dafür ist die Dekarbonisierung des Netzstroms, denn mit diesem wird ein Großteil der Endenergie für Wärme und Mobilität in Zukunft bereitgestellt. Die restlichen Emissionen werden, abgesehen vom Netzstrom, durch die verbleibenden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor verursacht. Diese positive Entwicklung allein aus dem Umgebungsbedingungen sollte aber nicht fehlgedeutet werden. Denn insbesondere die Emissionen durch den Strommix können sich nur bei einem breiten Ausbau der Erneuerbaren Energien verbessern. Dieser muss auch im Quartier stattfinden.

Bei Umsetzung der Maßnahmen und Zurechnung des ins Netz eingespeisten Stroms aus Photovoltaik kann eine Emissionsminderung auf ca. 650 t/a erreicht werden. Damit werden im Ergebnis 90% der heutigen Emissionen vermieden. Es zeigt sich, dass der Ausbau der Photovoltaik insgesamt zu einer Halbierung der Emissionen im Quartier führt. Je eher der Ausbau umgesetzt wird, desto größer sind die kumuliert eingesparten Mengen insgesamt.

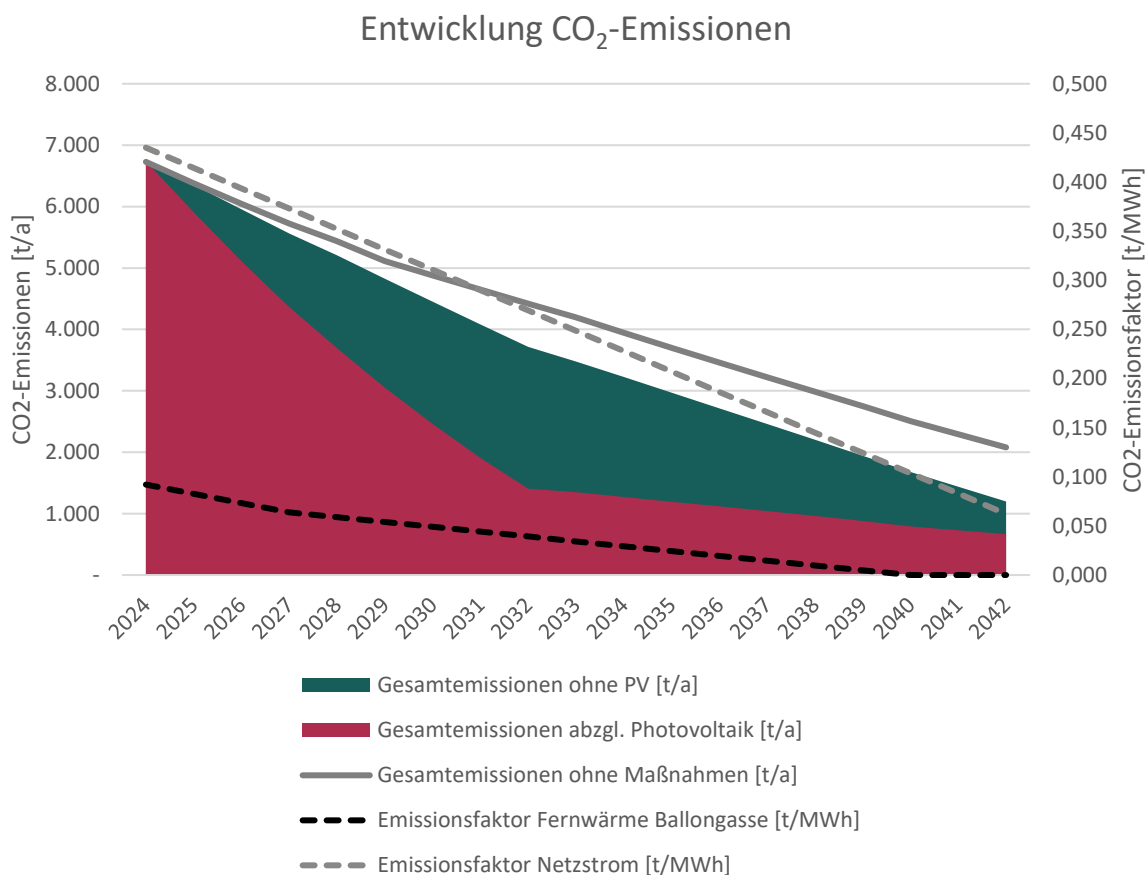


Abbildung 5-4: Entwicklung der gesamten CO₂-Emissionen im Quartier mit und ohne Umsetzung der Maßnahmen unter Berücksichtigung der Emissionsfaktoren für Netzstrom und Fernwärme der Stadtwerke Mühlhausen und der Berücksichtigung, ob PV im Quartier installiert wird oder nicht

6 Umsetzung und Wirksamkeitskontrolle

6.1 Handlungskonzept

Im Kapitel 4 Maßnahmenkatalog wurden die identifizierten Maßnahmen beschrieben und entsprechend ihrer Priorität bewertet. Die nachstehende Abbildung macht deutlich, zu welchen Zeiträumen welche Maßnahmenpakete bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus im Vordergrund stehen.

Die Maßnahmen mit einer „sehr hoch“ oder „hoch“ bewerteten Klimawirkung, lokalen Wertschöpfung, Umsetzungsfähigkeit sowie Kosteneffizienz werden vorrangig bzw. intensiv bis ins Jahr 2025 bzw. 2027 behandelt. Die „mittel“ und „niedrig“ priorisierten Maßnahmen beginnen ebenfalls zum Teil bereits im Jahr 2022, aber auch in den Jahren danach.

Für die zukünftige kommunale Wärmeplanung können die hier ermittelten Wärmebedarfe des Stadtgebietes und Energiepotenziale eine wertvolle Grundlage darstellen und helfen so, nachhaltige Wärmeplanung für das gesamte Stadtgebiet zu entwickeln. Dabei sollten die spezifischen Bedürfnisse und Gegebenheiten des Teilgebiets berücksichtigt und in die Gesamtstrategie der städtischen Energieversorgung eingebunden werden.

Handlungskonzept Umsetzung Quartier Martini-Vorstadt

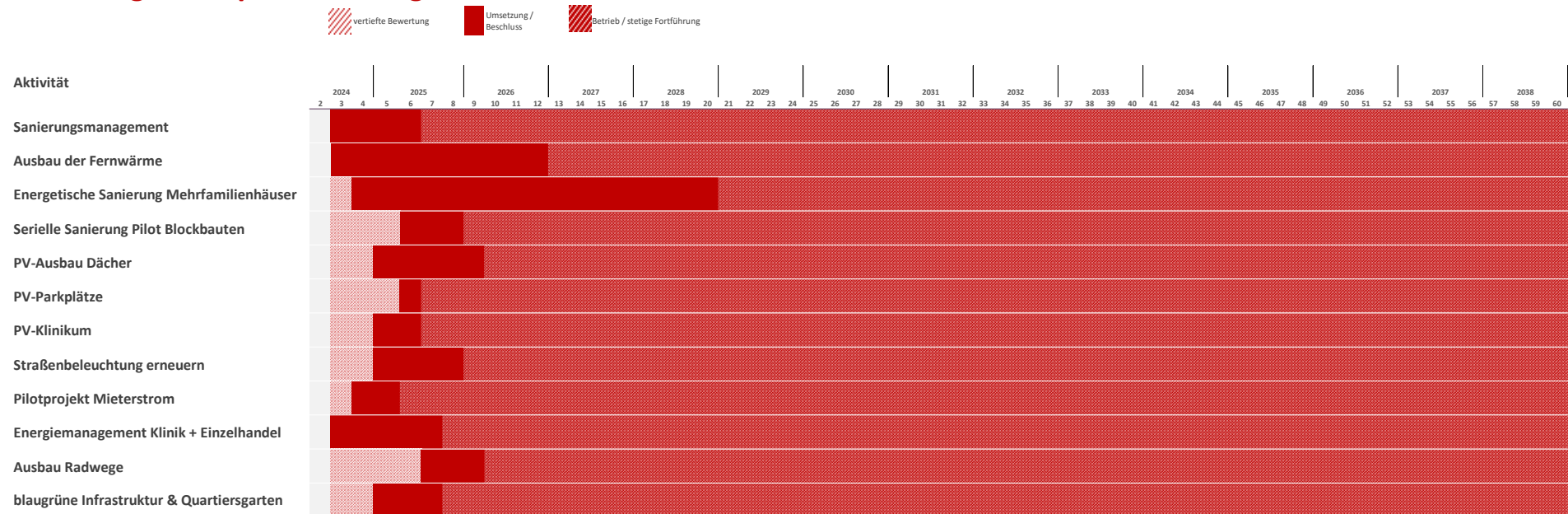


Abbildung 6-1: Vorschlag für die Umsetzungsplanung

6.2 Umsetzungsstrategie

6.2.1 Bedeutung personeller Ressourcen

Die Umsetzung der identifizierten Maßnahmen im angestrebten Zeitplan und im erforderlichen Umfang zu realisieren und den Prozess zu verstetigen, erfordert eine intensive Kommunikation mit Gebäudeeigentümern und Mietern sowie zahlreiche Abstimmungen mit den weiteren Akteursgruppen (Stadtwerke Mühlhausen, Hufeland Klinikum, Kreis- und Landesverwaltung, Eigentümer usw.).

Das komplexe Aufgabengebiet der Projektkoordination und -steuerung wird idealerweise durch ein interdisziplinäres, kompetentes Sanierungsteam erfüllt. So kann das Sanierungsmanagement sowohl extern als auch in der Stadtverwaltung angesiedelt sein. Eine Zusammenarbeit mit dem Sanierungsmanagement der Quartiere „Bollstedt“ und „Südwestliche Altstadt“ sowie dem Umsetzungsteam der Smart City Mühlhausen wird empfohlen, um gemeinsam Synergien zu heben.

6.2.2 Bedeutung der Finanzierungsoptionen

Für die Umsetzung der Maßnahmen existieren unterschiedliche Finanzierungsoptionen, beispielsweise die Eigenmittel der Stadt, der Gesellschaften oder der Eigentümer.

In jedem Fall können Förderprogramme einen signifikanten Beitrag zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit des vorliegenden Vorhabens leisten. Im Anhang ist eine umfangreiche Übersicht geeigneter Förderprogramme aufgeführt. Eine detaillierte Beratung zu aktuellen Fördermöglichkeiten sollte vor Umsetzungsstart jedoch in jedem Fall in Anspruch genommen werden, da sich die Förderrahmenbedingungen regelmäßig ändern.

Die Finanzierung eines Sanierungsmanagements wird zum aktuellen Zeitpunkt leider nicht mehr von der KfW-Bank gefördert. Es wird empfohlen, sich bei entsprechenden bundes- oder landesweiten Förderinstitutionen nach künftigen Angeboten zu recherchieren und sich beraten zu lassen.

Ein Beispiel für die Bedeutung der Existenz von Fördermaßnahmen ist das Thema Gebäudesanierung. Bei der Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen spielt der finanzielle Anreiz einer Förderung oft die entscheidende Rolle, den Sanierungsstau überhaupt in den Angriff zu nehmen. Daher sollte die Stadt bzw. die Gebäudeeigentümer beispielsweise über die Förderung von Energieberatungen nachdenken. Aufbauend auf den Beratungen eines Energieberaters ist ein Maßnahmenpaket festzulegen, dass dann finanziert und umgesetzt wird (54).

6.2.3 Bedeutung der Akteurseinbindung

Für eine erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen ist die Akzeptanz der Stakeholder und Bürger im Quartier unabdingbar. Daher wird der Stadtverwaltung bzw. dem Sanierungsmanagement empfohlen, eine intensive und kontinuierliche projektbegleitende Öffentlichkeitsarbeit und Akteursbeteiligung umzusetzen. Dazu gehört, alle Beteiligten zur Sensibilisierung fortlaufend über den Fortschritt bei der Umsetzung der Maßnahmen zu informieren und bei wichtigen Entscheidungen einzubeziehen. Schon

etablierte Institutionen, wie Bürgerinitiativen, und Gremien, wie der Stadtrat oder kommunale Arbeitsgruppen, können dabei hilfreiche Partner und Foren sein zur Vernetzung, Information und Koordination.

In der Tabelle 19 die die Umsetzung der Maßnahmen unterstützen und begleiten sollen.

Tabelle 19: Übersicht der Aktivitäten zur Einbindung der Akteure mit dem Ziel der Umsetzung der entwickelten Maßnahmen

Akteursgruppe	Ziele der Einbindung	Methoden
Hufeland Klinikum	• Ausbau Erzeugungskapazitäten Photovoltaik auf Dächern und Parkplätzen • Energetische Optimierung bestehender Anlagen durch Einführung eines Energiemanagementsystems	• Gespräche auf Führungsebene zwischen Stadtverwaltung und Klinik Leitung • Vernetzung mit anderen Kliniken
Einzelhandel	• Prüfung der Möglichkeit zum Anschluss an die Fernwärmeversorgung • Ausbau von Erzeugungskapazitäten Photovoltaik auf Dächern und Parkplätzen, Integration zusätzlicher Ladepunkte für die Elektromobilität	• Gespräche zwischen Stadtverwaltung und Immobilieneigentümer
Wohnungsgesellschaften	• Entwicklung eines warmmietenneutralen Sanierungsansatzes zur seriellen Sanierung im Quartier	• Entwicklung einer Absichtserklärung zwischen Stadt und Wohnungsgesellschaften
Einzeleigentümer Mehrfamilienhäuser	• Sensibilisierung für energetische Sanierungsmaßnahmen aufzeigen von Sanierungsoptionen	• Einrichtung von Beratungsangeboten
Bewohner Quartier Öffentlichkeit	• Sensibilisierung für Energieeinsparmaßnahmen • Einholen von Bedürfnissen und Ideen zur Umfeldgestaltung im Quartier	• Einrichtung von Beratungsangeboten zusammen mit Sozialstationen im Quartier • Werkstattgespräche mit Bewohnern • Quartiersrundgänge

7 Öffentlichkeitsarbeit und Akteursbeteiligung

In drei Akteursworkshops wurde über den aktuellen Projektstand berichtet, bisherige Analyseergebnisse vorgestellt und Feedback eingeholt. Die Teilnehmer konnten sich austauschen und vernetzen, ihre Vorstellungen einbringen und konkrete Fragen zu gemeinsam geplanten Vorhaben an Tilia, die Stadt und die Stadtwerke richten.

Die Öffentlichkeit wurde unabhängig von den Veranstaltungen und Workshops kontinuierlich über das Untersuchungsgebiet und die Förderung informiert. Die Information erfolgte über die städtische Homepage www.muehlhausen.de sowie die städtischen Social-Media-Kanäle, das Amtsblatt, Pressemitteilung der Stadt und der Stadtwerke Mühlhausen sowie die öffentliche Presse.

Akteursbeteiligte Martini-Vorstadt und Südwestliche Altstadt:

C. Reimann	Stadtverwaltung Mühlhausen
T. Förster	Stadtverwaltung Mühlhausen
K. Freytag	Stadtverwaltung Mühlhausen
A. Pfannstiel	Stadtverwaltung Mühlhausen
S. Zeuch	Stadtverwaltung Mühlhausen
M. Kiel	Stadtwerke Mühlhausen
F. Börner	Stadtwerke Mühlhausen
R. Wilms	Amtsgericht Mühlhausen
F. Spangenberg	SWG Mühlhausen mbH
Hofmann	SWG Mühlhausen mbH
B. Pickel	Wohnungsgenossenschaft Mühlhausen
J. Dietrich	Wohnungsgenossenschaft Mühlhausen
F. Braun	Hufeland Klinikum
Dr. Röwer	Landwirtschaftsamt
M.J. Hloucal	Tilia GmbH
S. Mindermann	Tilia GmbH
F. Vogt	Tilia GmbH
M. Mehner	Tilia GmbH
C. Rocktäschel	Tilia GmbH

7.1 1. Akteursworkshop: Projektstart – 30.03.2023

Der erste Workshop wurde gemeinsam mit dem Workshop für des „Schwesterquartier“ Südwestliche Altstadt am 30.03.2023 in der Stadtbibliothek in Mühlhausen durchgeführt. D. h. es waren die Akteure beider Quartiere bei diesem ersten Termin dabei.

Die wichtigsten Inhalte des Workshops waren:

- Grundsätzlicher Inhalt und Zweck eines Quartierskonzeptes
- Vorstellen des Projektteams
- Vorstellen des Quartiers, der wichtigsten Akteure darin und der Fördermittelgeber
- Aufzeigen der Meilensteine und des Ablaufplans
- Einsammeln erster Ideen zu Klimaschutzmaßnahmen, Klimaanpassung und Energieeffizienz im Quartier

7.2 2. Akteursworkshop: Ideenfindung für Maßnahmen – 30.06.2023

Im zweiten Treffen der Akteure – dieser Termin fand digital statt – wurden die vorläufigen Ergebnisse der Ist-Analyse vorgestellt.

Das Projektteam des Konzeptersteller stellte im Vorfeld Ideen zur Umsetzung der Energiewende und zur Senkung von Emissionen im Quartier zusammen und beschrieb diese als Steckbriefe. Diese Steckbriefe wurden vorgestellt und darüber angeregt diskutiert – Für und Wider wurden dokumentiert. Die Übersicht der besprochenen Ideen in dem Arbeitsstand ist in Abbildung 7-1 dargestellt.

MESSBARE WERTE SCHAFFEN

ÜBERSICHT IDEEN

IDEEN FÜR ENERGIEEFFIZIENZ, ERNEUERBARE ENERGIEN UND KLIMAAANPASSUNG IM QUARTIER

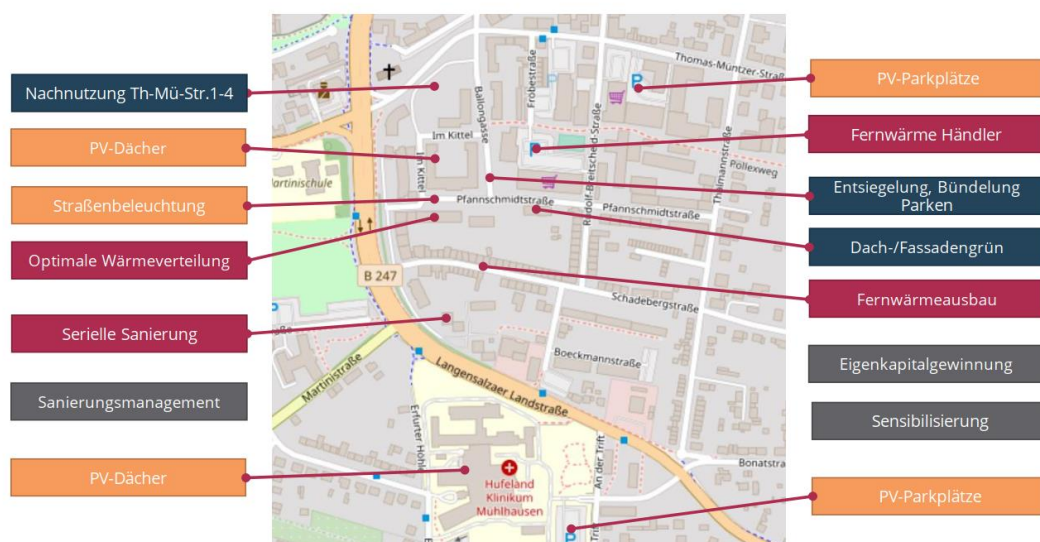


Abbildung 7-1: Übersicht der Ideen und Maßnahmen im Quartier, wie im 2. Workshop vorgestellt

7.3 3. Akteursworkshop: Abstimmung der Maßnahmen – 03.11.2023

Der dritte Workshop mit den Akteuren fand erneut in Präsenz gemeinsam mit dem „Schwesterquartier“ Südwestliche Altstadt in der Stadtbibliothek Mühlhausen statt. Inhalt und Ziel des Termins war die Vorstellung der Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen, eine tiefergehende Diskussion und eventuelle Kurskorrektur, sollten Rahmenbedingungen nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt worden sein. Abbildung 7-2 zeigt eine Übersicht der Vorort diskutierten Maßnahmen inkl. überschlägiger monetärer Bewertung und nächster Schritte zur Umsetzung.

Im Kern wurden die ausgewählten Maßnahmen und deren inhaltliche Erarbeitung bestätigt. Es konnten auch Schwierigkeiten bei einigen Themen in Bezug auf die organisatorische Umsetzung ausgemacht werden, auf die es besonders in der tatsächlichen Umsetzung zu achten gilt.

MESSBARE WERTE SCHAFFEN

ZUSAMMENFASSUNG

UND AUFGABEN IM SANIERUNGSMANAGEMENT



Abbildung 7-2: Übersicht ausgewählter Maßnahmen, die mit den Akteuren im 3. Workshop besprochen wurden inkl. nächster Schritte zur Umsetzung (Auszug aus der Präsentation zum Workshop)

8 Dokumentation und Erfolgskontrolle

Ein energetisches Monitoring dient der Evaluierung des mit der Erstellung des integrierten energetischen Quartierskonzeptes angestoßenen Prozesses der Energie- und CO₂-Einsparung und ist durch die KfW-Bank vorgegeben. Das Energiemanagement für das betrachtete Quartier lässt sich gut mit den Aktivitäten der Stadt Mühlhausen zum Energiemanagement in kommunalen Gebäuden verknüpfen. Das geplante Monitoring könnte entweder ein Aufgabenbereich eines Sanierungsmanagers für das Quartier sein, alternativ müssten bei den Mitarbeitern der Stadt entsprechende Kapazitäten geschaffen werden.

Mit dem Monitoring des Quartierskonzeptes können die Erfolge der Maßnahmenumsetzung dargestellt und mögliche weitere Handlungsbedarfe identifiziert werden, um ggf. Kurskorrekturen bei der Maßnahmenumsetzung oder auch neue Potenziale frühzeitig in den Prozess integrieren zu können. Im Sinne eines Qualitätsmanagements kann so in regelmäßigen Intervallen auf aktuelle Erfordernisse und Trends reagiert werden.

Als Dokumentations- und Kommunikationsinstrument gegenüber der Öffentlichkeit und der kommunalen Verwaltung kann das Monitoring genutzt werden, um weitere Akteure zu motivieren und die Bewohner für das Thema zu sensibilisieren. Die Umsetzungserfolge könnten z. B. regelmäßig in der Presse und für die relevanten Mitarbeiter der Stadt dargestellt werden.

Als mögliche zentrale Koordinierungsstelle für das Monitoring könnte z. B. der im Nachgang zum vorliegenden Quartierskonzept eingesetzte Sanierungsmanager fungieren. Die Methodik des Monitorings sollte deshalb einfach nachvollziehbar sein, um den Einarbeitungsaufwand für neue Mitarbeiter gering zu halten. Das betrifft u. a. die Vorgehensweise, die Rechenwege, die Daten und die Parameter. Über den Fachbereich kann somit die Verstetigung des Monitorings sichergestellt werden.

Als Basiswerte für den End- und Primärenergieverbrauch sowie die CO₂-Emissionen sind dabei die im vorliegenden Quartierskonzept herangezogenen Werte als Grundlage zu nutzen. Unter Berücksichtigung des Aufwandes und der zur Verfügung stehenden Daten ist eine Datenerhebung und Erfolgskontrolle der Bereiche Raumwärme und Warmwasser sowie Strom in einem mehrjährigen Rhythmus sinnvoll. Wie bereits bei der Erhebung der Bestandsdaten kann hier der Netzbetreiber Strom und Erdgas ein wertvoller Datenlieferant sein.

Neben dem Monitoring der Energie- und CO₂-Einsparungen sollte regelmäßig der Stand der Maßnahmenumsetzung überprüft werden. Es wird empfohlen, dass die Grundlage ein Aktionsplan bildet, der folgende Punkte beinhalten sollte:

- Handlungsfeld
- Maßnahmenbeschreibung
- Beteiligte Akteure
- Umsetzungszeitraum
- Voraussetzungen
- Vorgehen/Methoden
- Meilensteine

- Ziel der Maßnahme
- Kosten
- Art und Zeitpunkt des Monitorings

Der Aktionsplan sollte auf den Daten des Maßnahmenkataloges beruhen. Viele Informationen können, evtl. leicht angepasst, daraus übernommen werden.

Der Aktionsplan sollte regelmäßig überprüft und entsprechend angepasst werden. Hierzu sollte sich eine feste Gruppe von relevanten und interessierten Akteuren (z. B. die Energiegenossenschaft) zusammenfinden, um vierteljährlich den Erfolg der bereits umgesetzten Maßnahmen zu überprüfen und die Maßnahmen für das nächste Jahr zu planen.

Bei der Umsetzung und dem Monitoring der Maßnahmen sollte der PDCA-Zyklus (Plan – Do - Check – Act) angewendet werden. In der folgenden Grafik ist der Aufbau des PDCA-Zyklus beschrieben. Der PDCA-Zyklus beginnt mit der Planung von Maßnahmen (Plan). Dafür wurde die Grundlage im Quartierskonzept gelegt, die erweitert und verfeinert werden kann. Im nächsten Schritt werden die Maßnahmen testweise umgesetzt (Do). Im kleinen Rahmen werden die Schritte der Maßnahme durchgeführt und deren Erfolg überprüft (Check). Die Maßnahmen können dann verbessert und im größeren Maßstab umgesetzt werden (Act). Dieser Zyklus sollte es der Gruppe, die für die Umsetzung des Aktionsplans zuständig ist, leichter machen, die Maßnahmen koordiniert umzusetzen und eine regelmäßige Erfolgskontrolle durchzuführen.

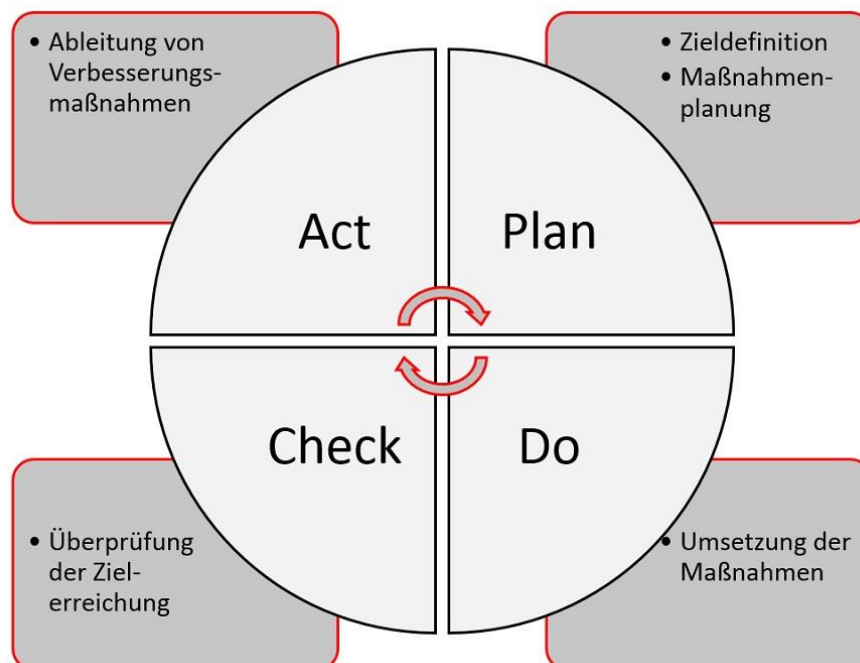


Abbildung 8-1: PDCA-Zyklus

Weitere Ansätze zur Dokumentation und Erfolgskontrolle sind:

- Durch regelmäßige Sachstandsberichte zum Fortschreiten des energetischen Umbaus im Quartier können sämtliche Einzelmaßnahmen in einem Zeitraum erfasst und dokumentiert werden. Auch die geförderten Maßnahmen werden so lokal dokumentiert. Diese Dokumentation würde dann die Basis für eine Gesamtdarstellung des energetischen Umbaus für die Stadt und das Quartier darstellen, da solche Berichte immer wieder fortgeschrieben werden können.
- Zusätzlich könnte die Nutzung von Gebäudeenergieberatungen etwa in Zusammenarbeit mit Verbraucherzentralen dokumentiert werden. So ließe sich der errechnete Wärmebedarf noch konkretisieren.
- Ein Ansatz, der auch die Vorbildfunktion Einzelner hervorhebt, wäre die mediale Nutzung der Maßnahmenergebnisse in lokalen Medien – etwa in Quartiersportraits im Amtsblatt.
- Zusätzlich kann ein Angebot zur Verleihung von Energiemessgeräten etabliert und die Zahl der Verleihungen für Energiemessgeräte öffentlich dokumentiert werden.

9 Ausblick

Für die weitere Umsetzung der Maßnahmen ist die kontinuierliche Nachverfolgung der Umsetzungsprozesse entscheidend. Es wird empfohlen, dass diese Rolle vom Sanierungsmanagement übernommen wird. Das Sanierungsmanagement hat dabei die Aufgabe, die Maßnahmen mit und bei den jeweils relevanten Akteuren anzustoßen und entsprechend nachzuverfolgen.

Die Stadt Mühlhausen hat sich ambitionierte Ziele für die Klimaneutralität bis 2035 gesetzt. Die vorgestellten Maßnahmen im Bericht für das Stadtquartier „Martini-Vorstadt“ markieren einen bedeutenden Schritt auf dem Weg zur Reduzierung von Emissionen und zur Energieeinsparung. Sie zeigen einen klaren Pfad für die Stadtverwaltung, die Stadtwerke und die Wohnungswirtschaft auf, wie die Klimaneutralität erreicht werden kann, auch wenn das Ziel der Klimaneutralität bis zum Jahr 2035 noch nicht erreicht wird.

Um dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen, sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Dies betrifft vor allem Maßnahmen, die nicht allein im Quartier oder in der Stadt Mühlhausen beschlossen und umgesetzt werden können, sondern landes- und bundesweit. Daher sollten auf städtischer Ebene weiterhin anspruchsvolle Ziele verfolgt und Initiativen unterstützt werden, die den Weg zur Klimaneutralität mit konkreten Umsetzungsmaßnahmen beschleunigen.

Die größte Herausforderung liegt zweifellos in der Erhaltung von sozialverträglichem Wohnraum bei gleichzeitigem Umbau der Wärme- und Stromversorgung, bei energetischer Sanierung und baulicher Aufwertung des Quartiers. Hier sind innovative Lösungen, Partnerschaften und nachhaltige Konzepte gefragt, um diesen Umbau im Einklang mit den Klimazielen zu gestalten. Der wichtigste Akteur für diese Aufgabe sind zweifellos die Akteure der Wohnungswirtschaft in Zusammenarbeit mit den städtischen Gremien und Entscheidern sowie Planern und Baufirmen. Die kommenden Jahre werden daher von entscheidender Bedeutung sein, um die Weichen für eine nachhaltige Zukunft zu stellen und die Stadt Mühlhausen auf dem Weg zur Klimaneutralität bis 2035 zu unterstützen.

Wenn es gelingt, die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen kontinuierlich voranzutreiben und die entsprechenden Rahmenbedingungen auf allen politischen Ebenen erreicht werden, so besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass das angestrebte Ziel der Klimaneutralität bis spätestens 2035 erreicht werden kann. Das hier vorgelegte Konzept möge hierbei als Unterstützung dienen.

10 Anhang

10.1 Förderkatalog

Stand: 22.02.2024

Die Recherche zu den Fördermaßnahmen erfolgte innerhalb der bestehenden & bekannten Bundesförderprogramme sowie Landesförderprogramme (Thüringen). Darüber hinaus ist es immer empfehlenswert sich bei Energieagenturen (Stadt, Land), Wirtschaftsförderungen der Stadt, IHK etc. nach geeigneten Programmen vor Ort zu informieren. Bei der Recherche wurden ausschließlich Förderprogramme mit Zuschuss bzw. Tilgungszuschuss untersucht (keine zinsverbilligten Darlehen etc.). In die Prüfung flossen keine Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben mit zu hohem innovativem bzw. Modellcharakter mit ein.

10.1.1 Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Energiesuffizienz (ES)

#	Maßnahme	Antragsteller	Fördergegenstand	Förderhöhe	Besonderheiten / Kumulierbarkeit	Förderprogramm	Link
ES1	Digitale Verbrauchsplattform	Kommunen, Kitas, Schulen und Hochschulen, Sportvereine, kommunale Unternehmen, Religionsgemeinschaften und weitere kommunale Akteure wie, jetzt neu, auch Sozial- und Wohlfahrtsverbände, Contractoren und gemeinnützige Vereine	Einbau von Komponenten der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik in Verbindung mit einer Gebäudeleittechnik zur Gebäudeautomation	40 %	Die Kumulierung mit Drittmitteln, Zuschussförderungen und Förderkrediten anderer Geber ist möglich.	BMU / Nationale Klimaschutzinitiative / Kommunalrichtlinie	https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderkompass/technik
ES2	Aktionsveranstaltungen in öffentlichen Einrichtungen	Kommunen, Kitas, Schulen und Hochschulen, Sportvereine, kommunale Unternehmen, Religionsgemeinschaften und weitere kommunale Akteure sowie, jetzt neu,	Erstmalige Einführung von Energiesparmodellen, die Nutzende sowie Träger von Bildungseinrichtungen (insbesondere in	70 %	Die Kumulierung mit Drittmitteln, Zuschussförderungen und Förderkrediten anderer Geber ist möglich.	BMU / Nationale Klimaschutzinitiative / Kommunalrichtlinie / 4.1.4 Energiesparmodelle	https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/ko

		auch Sozial- und Wohlfahrtsverbände, Contractoren und gemeinnützige Vereine	Schulen und Kindertagesstätten) zur aktiven Mitarbeit im Klimaschutz und zur Einsparung von Energie, Wasser und Abfall motivieren, und zwar durch: - Prämiensysteme mit prozentualer Beteiligung der Nutzenden an den eingesparten - Kosten (z. B. fifty-fifty-Beteiligung) - Prämiensysteme mit Unterstützung der Nutzeraktivitäten (Aktivitätsprämiensystem) - vergleichbare Aktivierungs- und Prämiensysteme				mmunalrichtlinie/einfuehrung-und-umsetzung-von-energiesparmodellen
ES3	Attraktivitätssteigerung Fahrradinfrastruktur	Kommunen, Kitas, Schulen und Hochschulen, Sportvereine, kommunale Unternehmen, Religionsgemeinschaften und weitere kommunale Akteure sowie, jetzt neu, auch Sozial- und Wohlfahrtsverbände, Contractoren und gemeinnützige Vereine	- Errichtung neuer und die Erweiterung bestehender verkehrsmittelübergreifender Mobilitätsstationen - Wegweisung und Signalisierung für den Radverkehr - Errichtung von Radabstellanlagen sowie Fahrradparkhäusern (einschließlich ihrer Ausstattung) - Errichtung von Radabstellanlagen - Mobilitätsinfrastruktur zur	50 %	Die Kumulierung mit Drittmitteln, Zuschussförderungen und Förderkrediten anderer Geber ist möglich.	BMU / Nationale Klimaschutzinitiative / Kommunalrichtlinie / 4.2.5c Verbesserung des ruhenden Radverkehrs und dessen Infrastruktur	https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie/ma%C3%9Fnahmen-zur-foerderung-klimafreundlicher-mobilitaet/verbesserung-des-



			Verbesserung des fließenden Radverkehrs				<u>ruhenden-radverkehrs-und-deren-infrastruktur</u>
		Kommunen, Kitas, Schulen und Hochschulen, Sportvereine, kommunale Unternehmen, Religionsgemeinschaften und weitere kommunale Akteure sowie, jetzt neu, auch Sozial- und Wohlfahrtsverbände, Contractoren und gemeinnützige Vereine	Bike+Ride Radabstellanlagen	70 %	Die Kumulierung mit Drittmitteln, Zuschussförderungen und Förderkrediten anderer Geber ist möglich.	BMU / Nationale Klimaschutzinitiative / Kommunalrichtlinie / 4.2.5d Errichtung von Radabstellanlagen im Rahmen der Bike+Ride-Offensive	https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie/ma%C3%9Fnahmen-zur-foerderung-klimafreundlicher-mobilitaet/errichtung-von-radabstellanlagen-im-rahmen-der-bikeride-offensive

10.1.2 Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Energieeffizienz (EE)

#	Maßnahme	Antragsteller	Fördergegenstand	Förderhöhe	Besonderheiten / Kumulierbarkeit	Förderprogramm	Link
EE1	Absenkung FW-Netz-Temperatur	Kein geeignetes Förderprogramm bekannt.					
EE2	EE2: Energetische Gebäudesanierung						
	Energieberatung gem. DIN V 18599	kommunale Gebietskörperschaften, kommunale Zweckverbände, gemeinnützige Organisationen, Religionsgemeinschaften, soziale und gesundheitliche Einrichtungen, Kultureinrichtungen, KMU, freiberuflich Tätige	Energieberatung in Form eines Energieaudits nach 16247; Energieberatung für Nichtwohngebäude nach 18599; contracting-Orientierungsberatung	80 % des förderfähigen Beratungshonors, max. 8000 €	Förderfähig ist bei Antragstellung ab dem 01.07.2023 eine Energieberatung nur, wenn diese von einer Person durchgeführt wird, die in der Energieeffizienz-Expertenliste unter www.energie-effizienz-experten.de in der Kategorie „Energieberatung für Nichtwohngebäude“ in der jeweiligen Kategorie gelistet ist.	BAFA / Bundesförderung für Energieberatung für Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme (EBN)	https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieberatung/Nichtwohngebäude_Anlagen_Systeme/Modul2_Energieberatung/modul2_energieberatung_node.html

	Gebäudehülle, Anlagentechnik, Heizungsanlagen, Heizungsoptimierung, Energetische Fachplanungs- und Baubegleitungsleistungen	Privatpersonen und Wohnungseigentümergeinschaften, Kommunen, Unternehmen; gilt für Eigentümer, Pächter oder Mieter sowie für Contractoren.	Gebäudehülle, Anlagentechnik, Heizungsanlagen, Heizungsoptimierung, Energetische Fachplanungs- und Baubegleitungsleistungen	Zuschuss: i. d. R. Förderquote i. H. v. 20-45 %; je nach Maßnahme; Fachplanung und Baubegleitung: 50 % Das förderfähige Mindestinvestitionsvolumen liegt bei 3.000 € (Brutto). Deckelung auf 60.000 € pro Wohneinheit		BAFA / Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM)	https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaue/Sanierung_Wohngebaue/sanierung_wohngebaue_node.html



Wohngebäude & Nichtwohngelände: Sanierung zum Effizienzhaus	Privatpersonen und Wohnungseigentümergeinschaften, Kommunen, Unternehmen; gilt für Eigentümer, Pächter oder Mieter sowie für Contractoren.	Neubau Effizienzhaus, Sanierung zum Effizienzhaus, Besonderheiten Effizienzhaus Denkmal, Individueller Sanierungsfahrplan, Fachplanung und Baubegleitung; Nachhaltigkeitszertifizierung	Nichtwohngelände: Förderung von bis zu 2.000 € pro Quadratmeter Nettogrundfläche, max. 10 Mio. € pro Vorhaben Wohngebäude: Förderung von bis zu 120.000 € pro Wohneinheit, Höchstgrenze förderfähiger Kosten nach Anzahl der Wohneinheiten nach Sanierung bemessen Zusätzliche Förderung möglich, z. B. für Baubegleitung	/	KfW / Wohngebäude – Zuschuss 464 (alternativ Kredit: KfW 261)	https://www.kfw.de/in-landsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Kommunen/F%C3%B6rderprodukte/Bundesf%C3%B6rderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude-Kommunen-Zuschuss-(464)/
Mess-, Steuer- und Regelungstechnik	Kommunen, Kitas, Schulen und Hochschulen, Sportvereine, kommunale Unternehmen, Religionsgemeinschaften und weitere kommunale Akteure sowie, jetzt neu, auch Sozial- und Wohlfahrtsverbände, Contractoren und gemeinnützige Vereine	Einbau von Komponenten der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik in Verbindung mit einer Gebäudeleittechnik zur Gebäudeautomation	40 %	Die Kumulierung mit Drittmitteln, Zuschussförderungen und Förderkrediten anderer Geber ist möglich.	BMU / Nationale Klimaschutzinitiative / Kommunalrichtlinie / Technik	https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderkompass/technik



Raumlufthtechnische Anlagen in Nichtwohngebäude	Kommunen, Kitas, Schulen und Hochschulen, Sportvereine, kommunale Unternehmen, Religionsgemeinschaften und weitere kommunale Akteure sowie, jetzt neu, auch Sozial- und Wohlfahrtsverbände, Contractoren und gemeinnützige Vereine	Sanierung und Nachrüstung von raumlufthtechnischen Anlagen in Nichtwohngebäuden: Raumlufthtechnische Geräte mit Wärmerückgewinnung - Zu- und Abluftsysteme bestehend aus einem Luftleitungsnetz einschließlich deren Einbauten - Mess-, Steuer- und Regelungstechnik	25 %	Die Kumulierung mit Drittmitteln, Zuschussförderungen und Förderkrediten anderer Geber ist möglich.	BMU / Nationale Klimaschutzinitiative / Kommunalrichtlinie / Sanierung-und-Nachrüstung-von-raumlufthtechnischen-Anlagen	https://www.klima-schutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie/sanierung-und-nachruetzung-von-raumlufthtechnischen-anlagen
Ausgewählte, hocheffiziente Aggregate	In- und ausländische gewerbliche Unternehmen und Contractoren, Kommunale Unternehmen, Freiberuflich Tätige, Landwirte, nur in Modul 2 und nur unter Artikel 41 AGVO, Gemeinnützige Antragsteller, sofern diese wirtschaftlich tätig sind, mit einem Standort in Deutschland.	Modul 1: Querschnittstechnologien: Ersatz oder die Neuanschaffung hocheffizienter Aggregate: - Elektromotoren und Antriebe - Pumpen für die industrielle und gewerbliche Anwendung Ventilatoren für die industrielle und gewerbliche Anwendung - Druckluftherzeuger sowie deren übergeordnete Steuerung - Dämmung von industriellen Anlagen oder Anlagenteilen - Frequenzumrichter	Bis zu 100 Mio. € pro Vorhaben Bis zu 100% der förderfähigen Investitionskosten	/	KfW / Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft	www.kfw.de/landsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%BCrderprodukte/Energieeffizienz-und-Prozessw%C3%A4rme-aus-Erneuerbaren-Energien-(295)



	Hocheffizienzpumpen für das Beckenwasser in Schwimmbädern Hocheffizienzpumpen für das Beckenwasser in Schwimmbädern	kommunale Unternehmen	Austausch nicht regelbarer Pumpen gegen regelbare Hocheffizienzpumpen für das Beckenwasser in Schwimmbädern	40 %	Die Kumulierung mit Drittmitteln, Zuschussförderungen und Förderkrediten anderer Geber ist möglich.	BMU / Nationale Klimaschutzinitiative / Kommunalrichtlinie / Beckenwasserpumpen	https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderung/programme/kommunalrichtlinie/weitere-investivmassnahmen-fuer-den-klimaschutz/beckenwasserpumpen
	Serielle Sanierung	Unternehmen, gemeinnützige Organisationsformen, eingetragene Genossenschaften, Konsortien, Contractoren (Modull III: KMU und KleinsUN)	Bundesförderung für effiziente Gebäude in den Förderprodukten „Wohngebäude – Kredit“ (261), „Kommunen – Kredit“ (264) und „Kommunen – Zuschuss“ (464)	Der Bonus beträgt 15 % der Kosten, die Sie in die Sanierung investiert haben, und wird Ihnen als Tilgungszuschuss oder direkt ausbezahlter Zuschuss gutgeschrieben.	Den Bonus für die Serielle Sanierung können Sie zusätzlich mit der Erneuerbare-Energien-Klasse (EE-Klasse), der Nachhaltigkeits-Klasse (NH-Klasse) und dem Worst-Performing-Building-Bonus (WPB) kombinieren.	KWK / Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)	https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude/Serielle-Sanieren/



EE3	Umrüstung Straßenbeleuchtung	Kommunen, Kitas, Schulen und Hochschulen, Sportvereine, kommunale Unternehmen, Religionsgemeinschaften und weitere kommunale Akteure sowie, jetzt neu, auch Sozial- und Wohlfahrtsverbände, Contractoren und gemeinnützige Vereine	Sanierung von Außen- und Straßenbeleuchtung Förderfähige Anlagenkomponenten: Leuchtenkopf bestehend aus einem Träger für das Leuchtmittel sowie Leuchtmittel, Reflektor/Optik, Abdeckung und Gehäuse - Steuer- und Regelungstechnik Förderfähige Maßnahmen: Durchführung einer photometrischen Messung	zeit- oder präsenzabhängig geregelte Außen- und Straßenbeleuchtung: 25 % bzw. adaptiv geregelte Straßenbeleuchtung: 40 %	Die Kumulierung mit Drittmitteln, Zuschussförderungen und Förderkrediten anderer Geber ist möglich. Bewilligungsvoraussetzungen sind: - Für die zu installierenden Anlagenkomponenten wird eine Treibhausgaseinsparung von mindestens 50 % nachgewiesen. Kommunalrichtlinie 20 - Es wird eine Auslegung auf Grundlage der DIN EN 13201-1 (für Straßenbeleuchtung) bzw. DIN EN 12193 (für Sportstätten) durch einen qualifizierten Fachplaner durchgeführt	BMU / Nationale Klimaschutzinitiative / Kommunalrichtlinie/ 4.2.1 Sanierung von Außen- und Straßenbeleuchtung	https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderung/programme/kommunalrichtlinie/sanierung-von-aussen-und-strassenbeleuchtung
-----	------------------------------	--	---	--	--	---	---



MÜHLHAUSEN

Mittelalterliche Reichsstadt

EE4	Einzelmaßnahmen Schulen & Kitas: Umrüstung Beleuchtung auf LED bei Innen- und Hallenbeleuchtung	Kommunen, Kitas, Schulen und Hochschulen, Sportvereine, kommunale Unternehmen, Religionsgemeinschaften und weitere kommunale Akteure sowie, jetzt neu, auch Sozial- und Wohlfahrtsverbände, Contractoren und gemeinnützige Vereine	Innen- und Hallenbeleuchtung; komplettes Leuchtersystem bestehend aus Leuchte, Leuchtmittel, Reflektor/Optik und Abdeckung - Steuer- und Regelungstechnik - erforderliches Installationsmaterial	25 %	Die Kumulierung mit Drittmitteln, Zuschussförderungen und Förderkrediten anderer Geber ist möglich. Bewilligungsvoraussetzungen sind: - Die Projektlaufzeit muss immer ein Jahr betragen. Das Vorhaben muss immer am Ersten des jeweiligen Monats starten. - Es wird eine Lichtplanung auf Grundlage der DIN EN 12464-1:2011-08 bzw. bei Sportstätten nach DIN EN 12193 durch qualifizierte Fachplaner durchgeführt. - Für die zu installierenden Anlagenkomponenten wird eine Treibhausgaseinsparung von mindestens 50 % nachgewiesen. - Für die Reduktion von Lichtemissionen nach außen sind Hallenrandbereiche, durch die das Licht (z. B. durch Fenster) nach außen abstrahlt, von der Beleuchtung weitgehend auszusparen.	BMU / Nationale Klimaschutzinitiative / Kommunalrichtlinie / Sanierung von Innen- und Hallenbeleuchtung	https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie/sanierung-von-innen-und-hallenbeleuchtung
-----	---	--	--	------	--	---	---

EE5	Elektro-Abwrackprämie: Bonuszahlung beim Austausch von Elektro-Altgeräten	Kommunen, Kitas, Schulen und Hochschulen, Sportvereine, kommunale Unternehmen, Religionsgemeinschaften und weitere kommunale Akteure sowie, jetzt neu, auch Sozial- und Wohlfahrtsverbände, Contractoren und gemeinnützige Vereine	Austausch von Elektrogeräten zur Erwärmung, Kühlung und Reinigung durch Geräte der höchsten am Markt verfügbaren Effizienzklasse	40 %	/	BMU / Nationale Klimaschutzinitiative / Kommunalrichtlinie / Elektrogeräte der höchsten Effizienzklasse	https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie/weitere-investivmassnahmen-fuer-den-klimaschutz/elektrogeraete-der-hoechsten-effizienzklasse
-----	---	--	--	------	---	---	---

10.1.3 Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Energiekonsistenz (EK)

#	Maßnahme	Antragsteller	Fördergegenstand	Förderhöhe	Besonderheiten / Kumulierbarkeit	Förderprogramm	Link
-	KWK mit Erdgas	Kein geeignetes Förderprogramm bekannt.					
EK1	KWK mit Biomethan	Privatpersonen, Unternehmen und öffentliche Einrichtungen	Kraft-Wärme-Kopplungs-Biomasseanlagen	bis zu 100 % der förderfähigen Kosten		KfW: Erneuerbare Energien – Standard (KfW 270)	https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270)/
-	Kessel (Erdgas)	Kein geeignetes Förderprogramm bekannt.					



EK2	Großwärmepumpe Grundwasser aus Horizontalfilterbrunnen / Oberflächengewässer	Privatpersonen, Unternehmen und öffentliche Einrichtungen	Effiziente Wärmepumpen mit einer installierten Nennwärmeleistung von mehr als 100 Kilowatt zur Bereitstellung von Wärme für Wärme- oder Kältenetze	bis zu 100 % der förderfähigen Kosten		KfW: Erneuerbare Energien – Standard (KfW 270)	https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270)/
EK3	Solarthermie	Privatpersonen, Unternehmen und öffentliche Einrichtungen	Solarkollektoranlagen mit mehr als 40 Quadratmeter Bruttokollektorfläche	bis zu 100 % der förderfähigen Kosten		KfW: Erneuerbare Energien – Standard (KfW 270)	https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270)/



EK4	Wärmenetz	Unternehmen, Gemeinden/Städte/Landkreise, kommunale Betriebe, kommunale Zweckverbände, eingetragene Vereine, eingetragene Genossenschaften, Contractoren und Unternehmenskonsortien	Neubau von Wärmenetzen mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien sowie die Dekarbonisierung von bestehenden Netzen	Modul I: Machbarkeitsstudie oder Transformationspläne Max. Förderung: 2 Mio. € pro Antrag Förderhöhe: 50 % der förderfähigen Kosten Modul II: Realisierung Max. Förderung: 100 Mio. € pro Antrag Förderhöhe: 40 % der förderfähigen Investitionen vorbehaltlich der Wirtschaftlichkeitslücke Modul III: Einzelmaßnahmen Max. Förderung: 100 Mio. € pro Antrag Förderhöhe: 40 % der förderfähigen Investitionen vorbehaltlich der Wirtschaftlichkeitslücke Modul IV: Betriebskostenförderung für Neubau-, Bestandsnetze sowie für Einzelmaßnahmen unter bestimmten Voraussetzungen Laufzeit 10 Jahre Förderhöhe: Jährliche Neuermittlung nach best. Kriterien	Ehem. Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (Wärmenetzsystem 4.0)	BAFA / Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)	https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html
-----	-----------	---	---	--	---	--	---



		Privatpersonen, Unternehmen und öffentliche Einrichtungen	Wärme- und Kältenetze, die aus erneuerbaren Energien gespeist werden	bis zu 100 % der förderfähigen Kosten	ohne Anspruch auf Zuschlagszahlung gemäß Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz Gefördert wird die Errichtung und die Erweiterung eines Wärme- oder Kältenetzes inklusive der Errichtung der Hausübergabestationen, sofern • die verteilte Wärme mit den jeweiligen Mindestanteilen aus folgenden Wärmequellen stammt: a. Zu mindestens 20 % aus Solarwärme, sofern ansonsten fast ausschließlich Wärme aus hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, aus Wärmepumpen oder aus industrieller oder gewerblicher Abwärme b. Zu mindestens 50 %, bei Wärmenetzen zur überwiegenden Versorgung von Neubauten 60 %, mit Wärme aus erneuerbaren Energien c. Zu mindestens 50 %, bei Wärmenetzen zur überwiegenden Versorgung von Neubauten 60 %, aus Wärmepumpen d. Zu mindestens 50 % bei Wärmenetzen zur überwiegenden Versorgung von Neubauten 60 %, aus Anlagen zur Nutzung von Abwärme oder d. Zu mindestens 50 %, bei Wärmenetzen zur überwiegenden Versorgung von Neubauten 60 %, einer Kombination der in den Buchstaben a bis d genannten Maßnahmen und ansonsten fast ausschließlich	KfW: Erneuerbare Energien – Standard (KfW 270)	https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270)/
--	--	---	--	---------------------------------------	---	--	---

					aus hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung. • das Wärme- oder Kältenetz im Mittel über das gesamte Netz einen Mindestwärmeabsatz von 500 Kilowattstunden pro Jahr und Meter Trasse hat		
EK5	Große Wärmespeicher	Privatpersonen, Unternehmen und öffentliche Einrichtungen	Wärmespeicher mit mehr als 10 Kubikmetern, sofern sie überwiegend aus erneuerbaren Energien gespeist werden	bis zu 100 % der förderfähigen Kosten	ohne Anspruch auf Zuschlagszahlung gemäß Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz	KfW / Erneuerbare Energien – Standard (KfW 270)	https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270)/
EK6	Flottenumrüstung kommunaler Fuhrpark	Kommune, Öffentliche Einrichtung, Verband/Vereinigung	-Beschaffung sowie Umrüstung von Bussen: batterieelektrische oder brennstoffzellenbasierte Antriebe sowie Gasbusse -Beschaffung von nicht öffentlicher Infrastruktur zum Einsatz der Fahrzeuge mit best. Eigenschaften -Erstellung von Studien und Analysen zu Einsatzmöglichkeiten von Bussen mit alternativen Antrieben	bis zu 80 % für Beschaffung und Umrüstung von Bussen, bis zu 40 % für zugehörige Infrastruktur bis zu 50 % für Erstellung von Studien und Analysen	Bis 31.12.2025	Förderdatenbank/ BMVI / Alternative Antriebe von Bussen im Personenverkehr + Machbarkeitsstudien	www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderung/pro-gramm/Bund/BMVI/alternative-antriebe-busse-personenverkehr.html

10.1.4 Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Kompensation (K)

#	Maßnahme	Antragsteller	Fördergegenstand	Förderhöhe	Besonderheiten / Kumulierbarkeit	Förderprogramm	Link
K1	Klimaanpassung in sozialen Einrichtungen	Soziale Einrichtungen Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts Vereine, Verbände, Stiftungen und Unternehmen des Privatrechts	Drei Förderschwerpunkte: FSP 1: Erstellung von Konzepten zur nachhaltigen Anpassung an die Klimakrise FSP 2: Umsetzung von vorbildhaften Maßnahmen zur Anpassung an die Klimakrise auf Grundlage von Klimaanpassungskonzepten FSP 3: übergeordnete Unterstützung durch „Beauftragte für Klimaanpassung in der Sozialwirtschaft“	FSP 1: max. 70.000 € FSP 2: max. 500.00 € FSP 3: max. 175.000 €	/	KfW / IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (KfW 201)	https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMU/klimaanpassung-in-sozialen-einrichtungen.html

10.1.5 Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Umsetzungsunterstützung (UU)

#	Maßnahme	Antragsteller	Fördergegenstand	Förderhöhe	Besonderheiten / Kumulierbarkeit	Förderprogramm	Link
-	EDL-Angebote	Kein geeignetes Förderprogramm bekannt.					

Geeignete Förderprogramme Land Thüringen

#	Maßnahme	Antragsteller	Fördergegenstand	Förderhöhe	Besonderheiten / Kumulierbarkeit	Förderprogramm	Link
1	Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur“ (GRW)	Betriebe des produzierenden Gewerbes, zur Herstellung von Nahrungs- und Genussmitteln (bei überregionalem Absatz), Tourismusgewerbe	Errichtung einer neuen Betriebsstätte oder Kapazitätsausbau, Diversifizierung der Produktion, Änderungen des Produktionsprozesses, Investitionen zur Steigerung des Umweltschutzes, ...	Je nach Fördergebiet (C oder D Gebiete) Beispiel: LK Altenburger Land, Greiz und kreisfreie Stadt Suhl: Kl. Unternehmen: 40 % Mit. Unternehmen: 30 % Gr. Unternehmen: 20 %	/	Thüringer Aufbau-bank / Förderprogramme / Gemeinschaftsaufgabe GRW	Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur" (GRW) - Thüringer Aufbau-bank
2	Green Invest Ress – Förderung von Maßnahmen zur Ressourcenschonung und -effizienz in U	KMU und gleichgestellte Unternehmen	Beratung zur Ressourcenschonung/-effizienz, daraus abgeleitete Investitionsvorhaben, Machbarkeitsstudien	bis zu 60 %	/	Thüringer Aufbau-bank / Förderprogramme / GreenInvest-Ress	GreenInvest Ress - Förderung von Maßnahmen zur Ressourcenschonung und -effizienz in Unternehmen - Thüringer Aufbau-bank
3	Klima Invest – Kommunale Klimaschutz- und Klimafolgenanpassungsmaßnahmen	Gemeinden, Gemeindeverbände, Zweckverbände, Landkreise	Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung, Einsatz erneuerbarer Energien, Technologien und Maßnahmen zur Treibhausgasminderung, Maßnahmen zum Schutz vor Schäden durch Starkniederschläge, Hitze etc.	Je nach Antragssteller und Fördergegenstand Beispiel: 60 % Förderung für Konzepte zur Modernisierung von Straßenbeleuchtung für Gemeinden, Landkreise, Eigenbetriebe, Zweckverbände	/	Thüringer Aufbau-bank / Förderprogramme / Klima-Invest	Klima Invest - Kommunale Klimaschutz- und Klimafolgenanpassungsmaßnahmen - Thüringer Aufbau-bank



MÜHLHAUSEN

Mittelalterliche Reichsstadt

4	Klimaschutz - Sonderprogramm	Gemeinden, Städte und Landkreise des Freistaates Thüringen	Investive Maßnahmen für Klimaschutz z. B. Erweiterung der Kapazitäten erneuerbarer Energien, energetische Sanierung von Gebäuden, Mehrkosten bei Baumaßnahmen, energetische Sanierung von Infrastruktur etc.	Einwohnerbezogene Maximalbeträge Orientierung: 3 € pro Einwohner für Gemeindeaufgaben, 2,40 € pro Einwohner für Landkreisaufgaben	/	Thüringer Aufbau- bank / Förderpro- gramme / Klima- schutz-Sonderpro- gramm	Klimaschutz - Sonderpro- gramm (Zuwei- sungen für Ge- meinden, Städte und Landkreise 2021) - Thürin- ger Aufbaubank
---	------------------------------	--	--	--	---	---	---

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 0-1: Überblick der Themengebiete und wichtigsten Ergebnisse	1
Abbildung 1-1: Darstellung des Quartiers (Quelle: Luftbild Stadt, Eigene Markierung)	3
Abbildung 1-2: Deutschland auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität	5
Abbildung 1-3: Emissionsminderungspfade der politischen Ebenen, abgeleitet aus den Zielen (eigene Darstellung)	6
Abbildung 2-1: Quartiersbegehung Tilia (eigene Fotos)	11
Abbildung 2-2: Änderung der Altersstruktur bis zum Jahr 2040	13
Abbildung 2-3: Altersaufbau der Bevölkerung Mühlhausens in den Jahren 2019 und 2040 (Berechnung und Darstellung Tilia, Datengrundlage: Statistisches Landesamt Thüringen)	14
Abbildung 2-4: Orthofoto infrarot mit Quartiersgrenzen, rote Flächen zeigen Grünflächen im Quartier an (Quelle: offene Geodaten Thüringen)	16
Abbildung 2-5: Übersicht sommerliche Hitzeinseln als Auszug aus dem Teilkonzept Stadtgrün-Anpassung an die Folgen des Klimawandels der Stadt Mühlhausen (Quelle: Mellon GmbH)	17
Abbildung 2-6: Übersicht leitungsgebundener Wärme- und Erdgasversorgung im Quartier (grün: Fernwärme Bestand, blau: Fernwärme geplant; gelb: Erdgas) (Quelle: eigene Darstellung, Datenbasis Stadtwerke Mühlhausen, OpenStreetMap)	18
Abbildung 2-7: Wärmeversorgung im Quartier nach Versorgungsarten, rot: Erdgas, grün: Fernwärme, grau: mitversorgt über anderen Hausanschluss, blau: sonstige Wärmeversorgung, grüne Linie: Fernwärmenetz, gelbe Linie: Erdgasnetz Bestand, blaue Linie: Fernwärme geplant (Quelle: eigene Darstellung, Datenbasis Stadtwerke Mühlhausen, OpenStreetMap)	20
Abbildung 2-8: Wärmeversorgung nach Versorgungsarten	19
Abbildung 2-9: Verteilung Wärmeverbrauch nach Nutzergruppen	21
Abbildung 2-10: räumliche Verteilung der Wärmebedarfe im Quartier „Martini Vorstadt“, Parameter für die Darstellung: Maximum 800 MWh/a (schwarz), einheitliche Kreisgröße	21
Abbildung 2-11: Synthetisches Lastprofil des Wärmeverbrauchs mit zugehöriger Jahresdauerlinie aller Verbraucher im Quartier im Jahresverlauf	23
Abbildung 2-12: Lage bestehender Solaranlagen im Quartier (ST - Solarthermie; PV - Photovoltaik) (Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Luftbilder der Stadt Mühlhausen)	25
Abbildung 2-13: Strombedarf im Quartier nach Nutzergruppe (Datenquelle: Stadtwerke Mühlhausen GmbH, eigene Darstellung)	26
Abbildung 2-14: Verteilung der strombasierten CO ₂ -Emissionen nach Sektoren	27
Abbildung 2-15: Radwegenetz im Quartier, Ausschnitt aus dem Radverkehrsnetz (Quelle: Stadt Mühlhausen)	28
Abbildung 2-16: Lage von Bushaltestellen im Quartier, dargestellt mit 100m-Radius (eigene Darstellung)	29
Abbildung 2-17: Verlauf der neuen B247 (Quelle: (29) via Mühlhausen Thüringen)	29
Abbildung 2-18: Lage öffentlicher Ladepunkt im Quartier (Quelle: Laderegister Bundesnetzagentur)	30
Abbildung 2-19: Verteilung der Medien bzgl. Energie- und CO ₂ -Bilanz	34
Abbildung 3-1: Einstrahlungsbedingungen im Quartier, rot = besonders hohe jährliche Sonneneinstrahlung, blau = besonders niedrige jährliche Sonneneinstrahlung (Quelle: (38) Solarkataster Thüringen)	35

Abbildung 3-2: Potenzialflächen auf Gebäuden der Wohnungswirtschaft (gelb), Quelle: eigene Darstellung, Openstreetmap	37
Abbildung 3-3: Übersicht PV-Potenzial Hufeland Klinikum mit strahlungsgünstigen Flächen (rot) und Beispiel für die Modulbelegung zur Leistungsermittlung (Quelle: Solarrechner Thüringen)	38
Abbildung 3-4: Lieferkettenmodell der Mieterstromlieferung, als Vereinfachte Variante können auch Anlagenbetreiber und Stromlieferant identisch sein (Quelle: Bundesnetzagentur)	38
Abbildung 3-5: Grobanalyse Mieterstromprojekt Pfannschmidtstraße, wesentliche Ergebnisse aus der Berechnung mittels Solarrechner Thüringen (38)	40
Abbildung 3-6: Übersicht der Parkflächen im Quartier als Potenzialflächen für Parkplatz-Photovoltaik	42
Abbildung 3-7: Übersicht Geothermiepotezial im Quartier zeigt mittelmäßige spezifische Wärmeleitfähigkeiten (Quelle: (40))	45
Abbildung 3-8: Lage der Gebäude Typ 1 Mehrfamilienhäuser "Gründerzeit" im Quartier (gelbe Punkte) (eigene Darstellung)	49
Abbildung 3-9: Wohnblock WBS 85 Ballongasse 8 bis 14, Quelle: Wohnungsgenossenschaft Mühlhausen.....	51
Abbildung 3-10: Anteile von Anwendungsbereichen am Stromverbrauch privater Haushalte 2018...	53
Abbildung 3-11: Übersicht potenzielles Ausbaugelbiet für Fernwärme im Quartier, gelbe Punkte - potenzieller Anschlussnehmer, rot - neues Fernwärmenetz (Quelle: eigene Darstellung)	55
Abbildung 3-12: Übersicht Maßnahmen zur Verbesserung der Radwege im Quartier, Auszug aus dem Radverkehrskonzept (Quelle: Stadtverwaltung Mühlhausen (49)).....	59
Abbildung 3-13: Übersicht Carsharing-Varianten (Quelle: Bundesverband Carsharing e. V.)	60
Abbildung 3-14: Übersicht der Ansätze zur Integration von blau-grünen Infrastrukturen in den Straßenraum (Quelle: (50))	63
Abbildung 3-15: repräsentatives Straßenprofil Ballongasse (Quelle: Orthophotos Stadt Mühlhausen)	63
Abbildung 3-16: Übersicht Maßnahmenfläche südliche Ballongasse inkl. aktuellem Bestand (Quelle: Tilia GmbH)	65
Abbildung 3-17: Beispiel eines Gestaltungsentwurfes für das Quartier erstellt von Marius Herzberg, und Felix Hinkel im Rahmen der studentischen Projektarbeit in Kooperation mit der Fachhochschule Erfurt	65
Abbildung 4-1: Entwicklung der Wärmeversorgung im Quartier bei ambitionierter Umsetzung der entwickelten Maßnahmen, eigene Darstellung	80
Abbildung 4-2: Entwicklung des Strombedarfes bei Umsetzung der Maßnahmen, eigene Darstellung	81
Abbildung 4-3: Gegenüberstellung vom Gesamtstrombedarf und der jährlichen Stromproduktion aus Photovoltaik-Anlagen im Quartier (Dach und Parkplätze) und bilanzieller Deckungsgrad	82
Abbildung 4-4: Entwicklung der gesamten CO ₂ -Emissionen im Quartier mit und ohne Umsetzung der Maßnahmen unter Berücksichtigung der Emissionsfaktoren für Netzstrom und Fernwärme der Stadtwerke Mühlhausen und der Berücksichtigung, ob PV im Quartier installiert wird oder nicht. ...	84
Abbildung 5-1: Vorschlag für die Umsetzungsplanung	86
Abbildung 6-1: Übersicht der Ideen und Maßnahmen im Quartier, wie im 2. Workshop vorgestellt .	90

Abbildung 6-2: Übersicht ausgewählter Maßnahmen, die mit den Akteuren im 3. Workshop besprochen wurden inkl. nächster Schritte zur Umsetzung (Auszug aus der Präsentation zum Workshop).....	91
Abbildung 7-1: PDCA-Zyklus	93

10.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: CO ₂ -Bilanz Wärme	23
Tabelle 2: CO ₂ -Bilanz Strom.....	27
Tabelle 3: Berechnung Approximationsfaktor	31
Tabelle 4: Anzahl zugelassener Fahrzeuge in Mühlhausen und im Quartier (zum 01.01.2022).....	31
Tabelle 5: Fahrleistung der Fahrzeugtypen nach Kraftstoffart (zum 01.01.2022)	31
Tabelle 6: Typische Kraftstoffverbräuche nach Fahrzeugtypus	32
Tabelle 7: Energiegehalt nach Kraftstoffart	32
Tabelle 8: Kraftstoffverbräuche im Quartier.....	32
Tabelle 9: CO ₂ -Faktor nach Kraftstoffart	33
Tabelle 10: CO ₂ -Bilanz Verkehr.....	33
Tabelle 11: Gesamt Energie- und CO ₂ -Bilanz für das Jahr 2020.....	33
Tabelle 12: Potenziale Photovoltaik im Quartier inkl. möglicher Stromerträge und eingesparter Emissionen.....	36
Tabelle 13: Potenzialbetrachtung Parkplatz-Photovoltaik im Quartier	42
Tabelle 14: Theoretisches Potenzial an solarthermischen Anlagen im Quartier	43
Tabelle 15: Übersicht Einsparpotenziale durch energetische Sanierung.....	50
Tabelle 16: Potenziale Fernwärmeausbau im Quartier.....	56
Tabelle 17: Stromverbrauch durch Straßenbeleuchtung im Quartier	58
Tabelle 18: Breiten und Flächen der Oberflächen in der Ballongasse, grobe Abschätzung anhand von Luftbildern, Quelle: Tilia GmbH.....	64
Tabelle 19: Übersicht der Aktivitäten zur Einbindung der Akteure mit dem Ziel der Umsetzung der entwickelten Maßnahmen	88

10.4 Abkürzungsverzeichnis

/a oder p.a.	pro Jahr (per annum)
AC	Alternating Current (Wechselstrom)
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DC	Direct Current (Direktstrom)
EDL	Energiedienstleistung
EEA	European Energy Award
EFH	Einfamilienhaus
EnEV	Energieeinsparverordnung
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GW / GWh	Gigawatt / Gigawattstunden
iKWK	Innovative KWK
INSEK	Integriertes Stadtentwicklungskonzept
JAZ	Jahresarbeitszahl
K	Kelvin
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kg	Kilogramm
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
kW / kWh	Kilowatt / Kilowattstunde
LED	Light-emitting diode (Leuchtdiode)
LW-WP	Luft-Wasser-Wärmepumpe
MFH	Mehrfamilienhaus
MW / MWh	Megawatt / Megawattstunden
NAV	Natriumdampf-Hochdrucklampen
NGF	Netto-Grundfläche
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PtHM	Power-to-Heat Modul
PV	Photovoltaik
RL	Rücklauf
RLM	Registrierende Leistungsmessung

SAENA	Sächsische Energieagentur GmbH
SEKO	Stadtentwicklungskonzept
SLP	Standard-Lastprofil
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SWH	Städtische Wirtschaftsbetriebe Mühlhausen GmbH
t	Tonnen
W_p	Watt Peak
VBH	Versorgungsbetriebe Mühlhausen GmbH
VGH	Verkehrsgesellschaft Mühlhausen mbH
VL	Vorlauf
WK	Wohnkomplex

10.5 Literaturverzeichnis

1. Klimaschutzkonzept Mühlhausen. [Online] 2020. https://www.muehlhausen.de/fileadmin/documents/BROSCHUEREN_FLYER/KLIMASCHUTZ/FINAL_Broschuere_Klimaschutz_2020komb.pdf.
2. Smart City Mühlhausen. [Online] 2023. https://smartcity.muehlhausen.de/wp-content/uploads/2023/04/2023-04-06_Smart_City_Strategie_Muehlhausen_FINAL.pdf.
3. [Online] [https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/..](https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/)
4. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. [Online] https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Infografiken/Schlaglichter/2021/10/neues-klimaschutzgesetz-download.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
5. Umweltamt Thüringen. [Online] 14. 2018. <https://umwelt.thueringen.de/themen/klima/klimagesetz>.
6. Climate Analytics and NewClimate Institute. Climate Action Tracker - Germany. [Online] 05. 09 2023. <https://climateactiontracker.org/countries/germany/targets/>.
7. ISEK Mühlhausen. [Online] 2018. <https://www.muehlhausen.de/rathaus-erkunden/stadtverwaltung/stadtentwicklung-bauordnung/stadtplanung/staedtebauliche-konzepte/>.
8. Stadt Mühlhausen. [Online] 2020. https://www.muehlhausen.de/fileadmin/documents/BROSCHUEREN_FLYER/KLIMASCHUTZ/Massnahmenkatalog_Klimaschutz_Muehlhausen.pdf.
9. Planungsgemeinschaft Verkehr PGV-Alrutz. *Radverkehrskonzept Stadt Mühlhausen (Thüringen)*. 2023.
10. Mühlhausen, Stadt. *Teilkonzept Stadtgrün-Minderung der Folgen des Klimawandels*. 2022.
11. —. Stadt Mühlhausen. [Online] https://smartcity.muehlhausen.de/wp-content/uploads/2023/04/2023-04-06_Smart_City_Strategie_Muehlhausen_FINAL.pdf.
12. Mühlhausen, Einwohnermeldeamt. *Einwohner Mühlhausen*. 01.01.2024.
13. Stadt Mühlhausen. [Online] 2024. <https://www.muehlhausen.de/rathaus-erkunden/ortsteile/>.
14. Stadt Mühlhausen. [Online] <https://www.muehlhausen.de/rathaus-erkunden/b247-ortsumfahrung/>.
15. Stadt Mühlhausen. [Online] <https://www.muehlhausen.de/tourismus/sehenswuerdigkeiten/stadtgeschichte/>.
16. Stadt Mühlhausen. [Online] <https://www.muehlhausen.de/rathaus-erkunden/stadtverwaltung/wirtschaft-soziales/wirtschaftsfoerderung/branchen-unternehmen/>.
17. Stadtplanungsbüro Wilke. *STADT MÜHLHAUSEN STADTENTWICKLUNGSKONZEPT 2018*. Mühlhausen : Stadtverwaltung Mühlhausen, 2018.

18. Stadt Mühlhausen. [Online] 2023. <https://smartcity.muehlhausen.de/category/neuigkeiten/>.
19. Mühlhausen, Stadt. *Städtebauliche Ziele Quartier Martini-Vorstadt*. 2022.
20. Timourou. *Wohnungsmarktprognose der Stadt Mühlhausen*. 22.
21. Thüringer Landesamt für Statistik. *Demografisches Gemeindeprofil der Gemeinde Mühlhausen/thüringen, Stadt im Landkreis Unstrut-Hainich-Kreis*. 2021.
22. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. BAFA. *Modul 4 Merkblatt*. [Online] 08. 07 2021. https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_modul_4_oap_merkblatt_tma_2020.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
23. Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserverband (BGW). *Praxisinformation P 2006 / 8 Gastransport, Betriebswirtschaft*. Bonn : Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, 2006.
24. Deutscher Wetterdienst. DWD Klimaberatungsmodul. *Portal*. [Online] 31. 07 2023. <https://kunden.dwd.de/obt/>.
25. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. BAFA. *Informationsblatt CO2-Faktoren*. [Online] 01. 05 2023. https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2023.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
26. —. BAFA. *Infoblatt CO2*. [Online] 15. 11 2023. https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2023.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
27. Planungsgemeinschaft Verkehr PGV-Alrutz GbR. *Stadt Mühlhausen (Thüringen) Radverkehrskonzept Alltag; Erläuterungsbericht*. Mühlhausen : Stadtverwaltung Mühlhausen/Thüringen Stadtentwicklung und Bauordnung, 2023.
28. Landesamt Bau und Verkehr (TLBV). Landesamt Bau und Verkehr (TLBV) Service Karten und Statistiken Verkehrsmengenkarten. [Online] 2021. https://bau-verkehr.thueringen.de/media/tmil_la_bau_verkehr/Service/Verkehrsmengenkarten/svz_2021_NTH.pdf.
29. Via Mühlhausen Thüringen GmbH & Co KG. Via Mühlhausen Thüringen. [Online] Vinci Highways. <https://via-muehlhausen.de/>.
30. Statistik Thüringen. *Pressemitteilung 049/2023*. [Online] 16. 03 2023. https://www.statistik.thueringen.de/presse/2023/pr_049_23.pdf.
31. Destatis. [Online] 15. 09 2022. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/09/PD22_N058_51.html.
32. Kraftfahrtbundesamt. KBA. *Bestand An Kraftfahrzeugen nach Gemeinden 2022*. [Online] 11. 06 2023. https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz3_b_uebersicht.html?nn=3514348.

33. hvv Schulprojekte. hvv Schulprojekte. *Kraftstoffverbrauch*. [Online] 11. 06 2021. <https://www.hvv-schulprojekte.de/unterrichtsmaterialien/kraftstoffverbrauch/>.
34. Medici Internet AG. Bußgeldkatalog. *Elektro-Motorrad*. [Online] 21. 06 2021. <https://www.bussgeldkatalog.de/elektro-motorrad>.
35. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH. IFEU. *Klimaschutzplaner*. [Online] 21. 06 2021. <https://www.ifeu.de/projekt/klimaschutz-planer/>.
36. HUSS-Unternehmen. NFZ Messe. *Elektromobilität*. [Online] 21. 06 2021. <https://www.nfz-messe.com/de/news/elektromobilitaet-studie-energieverbrauch-von-elektrobussen-2705.html>.
37. LUMITOS AG. Chemie. *Lexikon*. [Online] 11. 06 2021. <https://www.chemie.de/lexikon/>.
38. Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur & Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz Thüringen. Solarrechner Thüringen. [Online] August 2023. <https://www.solarrechner-thueringen.de/>.
39. ISE, Fraunhofer. *Abschlussbericht WP smart im Bestand*. Freiburg : s.n., 2020.
40. Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz. Kartendienst des TLUBN. [Online] <https://antares.thueringen.de/cadenza/pages/home/>.
41. Energiekarte Abwasserwärme der Stadt Villingen-Schwenningen. *Energiekarte zur Nutzung der Abwasserwärme*. [Online] [Zitat vom: 15. Januar 2024.] <https://apps.villingen-schwenningen.de/portal/apps/webappviewer/index.html?id=38a69d53d16847109ed06e24992c3af1>.
42. Fraunhofer ISI, Consentec GmbH, ifeu. *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland*. 2021.
43. Institut für Wohnen und Umwelt. TABULA Webtool. *webtool.building-typology.eu*. [Online] 28. 11 2021. <https://webtool.building-typology.eu/#bm>.
44. BINE Informationsdienst. Wirtschaftlichkeit energieoptimierter Gebäude. *enbausa.de*. [Online] 2017. https://www.enbausa.de/fileadmin/user_upload/Downloads/BINE_EnEV_Wirtschaftlichkeit.pdf.
45. Deutsche Energieagentur DENA. Energiesprung - seriell Sanieren. [Online] [Zitat vom: 2023. 9 20.] <https://www.energiesprung.de/startseite/>.
46. Umweltbundesamt. Umweltbundesamt >Daten>Umweltzustand und Trends>Private Haushalte und Konsum>Wohnen>Energieverbrauch privater Haushalte. [Online] 24. 02 2022. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#endenergieverbrauch-der-privaten-haushalte>.
47. Hufeland Klinikum GmbH, Standort Mühlhausen. 2021 Referenzbericht. [Online] 2021. https://www.hufeland.de/fileadmin/Downloads/Wir_%C3%BCber_uns/Qualit%C3%A4tsberichte/Qualitaetsbericht_2021_MHL.pdf.

48. STIFTUNG MÜNCH. ENERGIEEFFIZIENZ IM KRANKENHAUS - Handlungsleitfaden zu energiesparenden Ansätzen und Technologien. [Online] 2. 2023. <https://www.stiftung-muench.org/wp-content/uploads/2023/03/Leitfaden-Energieeffizienz.pdf>.
49. Mühlhausen, Stadt. Radverkehrskonzept der Stadt Mühlhausen. [Online] 06. 10. 2023. <https://www.muehlhausen.de/rathaus-erkunden/stadtverwaltung/radverkehrskonzept/>.
50. *BlueGreenStreets Toolbox – Teil A. Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere.* Hamburg : BlueGreenStreets, März 2022. ISBN 978-3-947972-46-3.
51. Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). Merkblatt 27 Kohlenstoffspeicherung in Bäumen. [Online] <https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb-27-kohlenstoffspeicherung-2.pdf>.
52. IINAS GmbH - Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien. *Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2019 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050.* Darmstadt : IINAS GmbH - Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien, 2020.
53. KfW. Merkblatt energetische Stadtsanierung. *kfw.de*. [Online] 02. 12. 2021. [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000002110_M_432_Energetische_Stadtsanierung_Zuschuss.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000002110_M_432_Energetische_Stadtsanierung_Zuschuss.pdf).
54. BAFA Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. BAFA. *Energieberatung*. [Online] 18. 11. 2022. https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieberatung/Nichtwohngebäude_Anlagen_Systeme/nicht_wohngebäude_anlagen_systeme_node.html.
55. Umweltbundesamt. Umweltbundesamt.de. *Treibhausgasemissionen in Deutschland*. [Online] 21. 06. 2021. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung>.
56. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Klima- und Energiepolitik der europäischen Union. *bmu.de*. [Online] 24. 11. 2021. <https://www.bmu.de/themen/klimaschutz-anpassung/klimaschutz/eu-klimapolitik>.
57. Stadt Ingolstadt. Ingolstadt bilanz.szenarien.potenziale.strategien. *ingolstadt.de*. [Online] 03. 2021. <https://www.ingolstadt.de/index.php?object=tx,2789.3.1&ModID=6&FID=3052.5659.1>.
58. Statistisches Bundesamt. Unfallatlas. *unfallatlas.statistikportal.de*. [Online] 29. 11. 2021. <https://unfallatlas.statistikportal.de/#>.
59. internetstores GmbH. STUDIE ZUR ALLGEMEINEN FAHRRADNUTZUNG IN DEUTSCHLAND 2015. *fahrrad.de*. [Online] 2015. <https://www.fahrrad.de/on/demandware.static/-/Library-Sites-bikester/default/dw7f90cb9f/Blog/studie-fahrradnutzung-deutschland.pdf>.
60. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. Verkehr. *bundesregierung.de*. [Online] 29. 11. 2021. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/verkehr-1672896>.

61. energielösung GmbH. Ladeinfrastruktur - Wie viele Ladepunkte gibt es 2021 in Deutschland. *energieloesung.de*. [Online] 02. 2021. <https://www.energieloesung.de/magazin/ladeinfrastruktur-2021-deutschland/>.
62. Energie Codes Services GmbH. E-Tankstellen in Ihrer Nähe - Das Ladesäulenverzeichnis des BDEW. *ladesaeulenregister.de*. [Online] 29. 11. 2021. <https://ladesaeulenregister.de/>.
63. Stadt Ingolstadt. Ingolstadt in Zahlen. *ingolstadt.de*. [Online] 30. 11. 2021. https://www.ingolstadt.de/media/custom/465_1995_1.PDF?1534841095.
64. Stadt Konstanz. BICO2-Bilanzierung. *offenedaten-konstanz.de*. [Online] 02. 12. 2021. <https://offenedaten-konstanz.de/dataset/bico2-bilanzierung>.
65. Volkswagen. Elektro-LKW: Nachhaltiger Antrieb für den Güterverkehr. *volkswagen.de*. [Online] 03. 12. 2021. <https://www.volkswagen.de/de/elektrofahrzeuge/elektromobilitaet-erleben/e-mobilitaet/elektro-lkw-nachhaltiger-antrieb-fuer-den-gueterverkehr.html>.
66. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft. Energie- und Klimaprogramm Sachsen. [Online] 25. 01. 2022. <https://www.klima.sachsen.de/energie-und-klimaprogramm-sachsen-22623.html>.
67. Stadt Hoyerswerda. Stadt Hoyerswerda. *Leitbild*. [Online] 01. 02. 2022. <https://www.hoyerswerda.de/stadtleben/stadtentwicklung/leitbild/>.
68. Stadt Hoyerswerda / Tilia GmbH. Stadt Hoyerswerda. *Klima / Energie - Wärmekonzepte in der Stadtentwicklung*. [Online] 01. 02. 2022. <https://www.hoyerswerda.de/wirtschaft/klima-energie/waermekonzepte-in-der-stadtentwicklung/quartierkonzept-privat/umfrage/>.
69. Leitbild / Stadt Hoyerswerda. Stadt Hoyerswerda. *Leitbild / Handlungsprogramm*. [Online] 01. 02. 2022. <https://www.hoyerswerda.de/stadtleben/stadtentwicklung/leitbild/>.
70. INSEK / Stadt Hoyerswerda. *Integriertes Stadtentwicklungskonzept (INSEK)*. Hoyerswerda : Stadt Hoyerswerda, 2008.
71. SEKO / Stadt Hoyerswerda. *Städtebauliches Entwicklungskonzept (SEKO)*. Hoyerswerda : SEKO / Stadt Hoyerswerda, 2016.
72. Deutsche Stadt- und Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH & Co. KG / seecon Ingenieure GmbH / Umweltbüro GmbH Vogtland / Ingenieurgemeinschaft Neubauer + Bussler. *Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept - Klimaquartier „Altstadt“ Hoyerswerda*. Hoyerswerda : Stadt Hoyerswerda, 2016.
73. Tilia / eigene Berechnung gem. Google Earth Pro. *Google Earth*. Hoyerswerda : s.n., 17. 03. 2021.
74. Städte-Verlag E. v. Wagner & J. Mitterhuber GmbH. Unser Stadtplan. *Hoyerswerda*. [Online] 08. 02. 2022. <https://www.unser-stadtplan.de/stadtplan/hoyerswerda/kartenstartpunkt/stadtplan-hoyerswerda.map>.
75. Stadtportait / Geschichte / Stadt Hoyerswerda. Hoyerswerda. *Stadtportait / Geschichte*. [Online] 08. 02. 2022. <https://www.hoyerswerda.de/stadtleben/stadtportrait/geschichte/>.

76. Stadt Hoyerswerda. Stadt Hoyerswerda. *Zahlen Daten Fakten*. [Online] 08. 02 2022. <https://www.hoyerswerda.de/stadtleben/stadtportrait/zahlen-daten-fakten/>.
77. Statista GmbH. Statista. *Anteil der Bevölkerung ab 65 Jahre*. [Online] 08. 02 2022. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/548456/umfrage/anteil-der-bevoelkerung-ab-65-jahren-und-aelter-in-sachsen/>.
78. Statistisches Bundesamt (Destatis). Destatis. *Bevölkerung ab 65 Jahre*. [Online] 08. 02 2022. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Demografischer-Wandel/Aeltere-Menschen/bevoelkerung-ab-65-j.html>.
79. Bericht Strukturdaten der Stadt Hoyerswerda. *Strukturdaten der Stadt Hoyerswerda nach Stadt- und Ortsteilen*. Hoyerswerda : Stadtverwaltung Hoyerswerda, 2021.
80. Statista GmbH. Statista. *Entwicklung der Arbeitslosenquote in Sachsen seit 1999*. [Online] 02. 08 2022. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2522/umfrage/entwicklung-der-arbeitslosenquote-in-sachsen-seit-1999/>.
81. Umfrage der Stadt Hoyerswerda. Stadt Hoyerswerda. *Umfrage*. [Online] 01. 02 2022. <https://www.hoyerswerda.de/wirtschaft/klima-energie/waermekonzepte-in-der-stadtentwicklung/quartierkonzept-privat/umfrage/>.
82. DDV Mediengruppe GmbH & Co. KG. Sächsische Zeitung. *Barrierefrei im Lausitzer Seenland*. [Online] 15. 02 2022. <https://www.saechsische.de/hoyerswerda/lokales/barrierefrei-im-lausitzer-seenland-5523059-plus.html>.
83. Deutscher Wetterdienst. DWD. *Portal*. [Online] 19. 06 2021. Quelle: <https://cdc.dwd.de/portal/202106291421/mapview>.
84. VBH Versorgungsbetriebe Hoyerswerda. Preisblatt der Versorgungsbetriebe Hoyerswerda. s.l. : VBH, 2021.
85. Leipziger Institut für Energie. 28. 06 2021.
86. Bundesregierung. *Gesetz zur Reduzierung und zur Beseitigung der Kohleverstromung (KVBG)*. 2020.
87. Stadtverwaltung Wendlingen am Neckar. Straßenbeleuchtungsplan. Wendlingen am Neckar : s.n., 2021.
88. Projektträger Jülich. Hocheffiziente Außen- und Straßenbeleuchtung sowie Lichtsignalanlagen. [Online] 2020. [Zitat vom: 21. 05 2021.] <https://www.ptj.de/projektfoerderung/nationale-klimaschutzinitiative/kommunalrichtlinie/aussen-strassenbeleuchtung>.
89. Reiner Lemoine Institut. *„Ladeinfrastruktur nach 2025/2030 – Szenarien für den Markthochlauf*. s.l. : Reiner Lemoine Institut, 2020.
90. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. *Rahmenkonzept Tiefengeothermie Freistaat Sachsen*. 2009.
91. Geokompetenzzentrum Freiberg e.V. *Masterplan zur Nachentwicklung von Nachnutzungsschwerpunkten am Scheibe-See bis zum Jahr 2025*. 2015.

92. Tilia. Grüne Wärme auch aus Tagebauseen gewinnen. *Umweltreport Freistaat Sachsen 2022*. 02 2022, S. 16-17.
93. iDA - Datenportal Sachsen. Umwelt. *Infosysteme iDA*. [Online] 20. 06 2021. <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/ida/>.
94. ADAC. ADAC. *Alternative Antriebe*. [Online] 28. 02 2022. <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/alternative-antriebe-uebersicht/>.
95. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. BMWi. *Elektrofahrzeuge*. [Online] 28. 02 2022. <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/08/20210802-erstmalssrollen-eine-million-elektrofahrzeuge-auf-deutschen-strassen.html>.
96. Deutsche Energieagentur. Energie und Kosten sparen in Energie und Gewerbe. *dena.de*. [Online] 04. 12 2021. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Bilder/Newsroom/Mediathek/Infografiken/Einsparpotenziale_in_Industrie_druck.jpg.
97. WEMAG AG. WEMAG. *Rebound Effekt beim Stromverbrauch - Mehrverbrauch durch stromsparende Geräte*. [Online] 16. 04 2021. <https://www.wemag.com/energiesparberatung/reboundeffekt>.
98. Verkehrsgesellschaft Hoyerswerda mbH. Liniennetz Hoyerswerda. [Online] 28. 02 2022. <https://www.vgh-hy.de/linien-und-fahrplaene/liniennetz/>.
99. Ortsdienst. Flughafen Hoyerswerda. [Online] 17. 03 2022. <https://www.ortsdienst.de/sachsen/bautzen/hoyerswerda/flughafen/>.
100. Pekarek, Mona. Motorrad. *Was ist beim Kraftstoff zu beachten?* [Online] 09. 06 2021. <https://www.motorradonline.de/ratgeber/ratgeber-zum-thema-standzeiten-und-benzin-was-ist-beim-kraftstoff-zu-beachten/>.
101. Wirtschaftsförderung / Stadt Hoyerswerda. Stadt Hoyerswerda. *Zurück nach Hoyerswerda*. [Online] 08. 02 2022. <https://www.hoyerswerda.de/wirtschaft/wirtschaftsfoerderung/zurueck-nach-hoyerswerda/>.
102. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. Bundesregierung.de. *Generationenvertrag für das Klima*. [Online] 22. 11 2021. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>.
103. Umweltamt Thüringen. [Online] 14. 12 2018. <https://umwelt.thueringen.de/themen/klima/klimagesetz>.
104. Stadt Mühlhausen. [Online] 2020. <https://www.muehlhausen.de/rathaus-erkunden/stadtverwaltung/kultur-sport-ehrenamt-klimaschutz/klimaschutz/>.
105. ISEK. [Online] 2018. <https://www.muehlhausen.de/rathaus-erkunden/stadtverwaltung/stadtentwicklung-bauordnung/stadtplanung/staedtebauliche-konzepte/>.

106. Stadt Mühlhausen. [Online] 22. 09 2022.
https://www.muehlhausen.de/fileadmin/documents/ORTSRECHT_SATZUNGEN/FD7.2_Stadtplanung/Staedtebauliche_Konzepte/Altstadtsanierung/neu_622_2022_Anlage_01_Rahmenplan-SanZiele_2022-09-22.pdf.
107. Neue Leipziger Charta. [Online] 2021.
https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2021/neue-leipzig-charta-pocket-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
108. Kraftfahrbundesamt. *kba.maps.arcgis*. [Online]
<https://kba.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=ade1b4eee4f04ddea4f27a59f750b848>.
109. Bundesministerium für Energie und Wirtschaft. Entwicklungen und Trends in Deutschland 2020. [Online] 2021. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWi).
110. —. *Entwicklungen und Trends in Deutschland 2020*. Berlin : Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2020.
111. Thüringer Landesamt für Statistik. *Demografisches Gemeindeprofil der Gemeinde Mühlhausen/Thüringen, Stadt*. s.l. : Thüringer Landesamt für Statistik, 2021.
112. Bunderegierung. Bunderegierung. *Bundes-Klimaschutzgesetz*. [Online] 14. 06 2023.
<https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/>.
113. Umweltbundesamt. Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2021. *umweltbundesamt.de*. [Online] 05 2022.
https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2023.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
114. Europäischer Rat. [Online] 2023. <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>.
115. Stadt Mühlhausen. [Online] 2023.
<https://www.muehlhausen.de/rathaus/stadtverwaltung/buergerdienste-sicherheit-ordnung/buergerdienste/einwohnerstatistik/>.
116. Stadt Mühlhausen. [Online] 2021.
<https://www.muehlhausen.de/rathaus/stadtverwaltung/buergerdienste-sicherheit-ordnung/buergerdienste/einwohnerstatistik/>.
117. Photovoltaik Netzwerk BW. [Online] januar 2022. [Zitat vom: 12. 10 2023.]
https://erneuerbare-bw.de/fileadmin/user_upload/pee/Navigation/Themen/PDF/2022_01_Solar_Cluster_BW_PV-Netzwerk_Faktenpapier_Photovoltaik-Parkplaetze.pdf.
118. ChargeFinder. [Online] [Zitat vom: 14. Dezember 2023.]
<https://chargefinder.com/de/stromtankstelle-muhlhausen-brunnenstrasse/pj56q3>.

119. Bundesnetzagentur. Ladesäulenkarte. [Online] [Zitat vom: 23. 08 1.]
<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/Ladesaeulenkarte/Karte/start.html>.