



MÜHLHAUSEN
Mittelalterliche Reichsstadt



MÜHLHAUSEN/THÜRINGEN

INTEGRIERTES ENERGETISCHES QUARTIERSKONZEPT „SÜDWESTLICHE ALTSTADT“ IN MÜHLHAUSEN

Erstellt von der Tilia GmbH im Auftrag der Stadt Mühlhausen/Thüringen

Übersicht Ansprechpartner

Das integrierte energetische Quartierskonzept „Südwestliche Altstadt“ 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.....	6
1	Einleitung.....	7
1.1	Anlass und Zielstellung.....	7
1.2	Auswahl und Abgrenzung des Quartiers.....	8
1.3	Übergeordnete Klimaschutzziele	8
1.3.1	Europäische und nationale Ziele	8
1.3.2	Klimaschutzpolitik in Land und Gemeinde	9
1.4	Vorangegangene Konzepte und Planungen	11
2	Bestandsanalyse	14
2.1	Quartiersstruktur.....	14
2.1.1	Portrait Stadt und Quartier	14
2.1.2	Demografie, Bevölkerungsentwicklung.....	19
2.1.3	Siedlungs- und Gebäudestruktur.....	21
2.2	Energetische Ausgangssituation.....	22
2.2.1	Bestandssituation Wärme	23
2.2.2	Bestandssituation Strom	28
2.2.3	Verkehr und Mobilität	31
2.2.4	Gesamte Energie- und CO ₂ -Bilanz	36
3	Potenzialanalyse.....	38
3.1	Solarenergie	38
3.1.1	Solarenergie – PV-Dachanlagen	38
3.1.2	Solarenergie – PV-Freiflächenanlage	44
3.1.3	Solarthermie	45
3.1.4	Weitere regenerative Wärmequellen	47
3.2	Biomasse	50
3.3	Abwärme	51
3.4	Effizienz Wärme.....	51
3.4.1	Gebäudestruktur	51
3.4.2	Wärmeversorgung: Fernwärme	57
3.4.3	Effiziente klimafreundliche Wärmeerzeugungsanlagen	59

3.4.4	Thüringentherme	61
3.5	Effizienz Strom.....	62
3.5.1	Wohngebäude und Privathaushalte.....	62
3.5.2	Straßenbeleuchtung	63
3.6	Verkehr und Mobilität	63
3.6.1	Radverkehr	64
3.6.2	Öffentliche Verkehrsmittel.....	64
3.6.3	Elektromobilität und Ladeinfrastruktur	65
3.7	Organisation des Themenschwerpunktes Energie.....	66
3.7.1	Sanierungsmanagement.....	66
3.7.2	Energiegenossenschaft & Bürgerenergie	66
3.8	Klimaanpassung und blau-grüne Infrastruktur	68
4	Maßnahmenkatalog	70
4.1	Maßnahmen: Organisation	71
4.2	Maßnahmen Wärmeerzeugung und -infrastruktur	73
4.3	Maßnahmen: Stromerzeugung und -verbrauch.....	78
4.4	Maßnahmen: Verkehr	82
4.5	Maßnahmen: Klimaanpassung	83
5	Entwicklungspfad des Quartiers Südwestliche Altstadt.....	84
5.1	Entwicklung Wärmebedarfe und -versorgung	84
5.2	Entwicklung Strombedarfe und -versorgung	86
5.3	Entwicklung CO ₂ -Emissionen.....	88
6	Umsetzung und Wirksamkeitskontrolle	90
6.1	Handlungskonzept.....	90
6.2	Umsetzungsstrategie.....	92
6.2.1	Bedeutung personeller Ressourcen	92
6.2.2	Bedeutung der Finanzierungsoptionen	92
6.2.3	Bedeutung der Akteurseinbindung	92
7	Öffentlichkeitsarbeit und Akteursbeteiligung.....	93
7.1	1. Akteursworkshop: Projektstart – 30.03.2023	93
7.2	2. Akteursworkshop: Ideenfindung für Maßnahmen – 30.06.2023.....	94

7.3	3. Akteursworkshop: Abstimmung der Maßnahmen – 03.11.2023	94
8	Dokumentation und Erfolgskontrolle	96
9	Ausblick	99
10	Anhang	101
10.1	Förderkatalog	101
10.1.1	Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Energiesuffizienz (ES)	101
10.1.2	Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Energieeffizienz (EE)	103
10.1.3	Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Energiekonsistenz (EK)	111
10.1.4	Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Kompensation (K)	116
10.1.5	Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Umsetzungsunterstützung (UU)	117
10.2	Abbildungsverzeichnis	120
10.3	Tabellenverzeichnis	122
10.4	Abkürzungsverzeichnis	123
10.5	Ermittlung Primärenergiefaktoren	125
11	Literaturverzeichnis	126

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

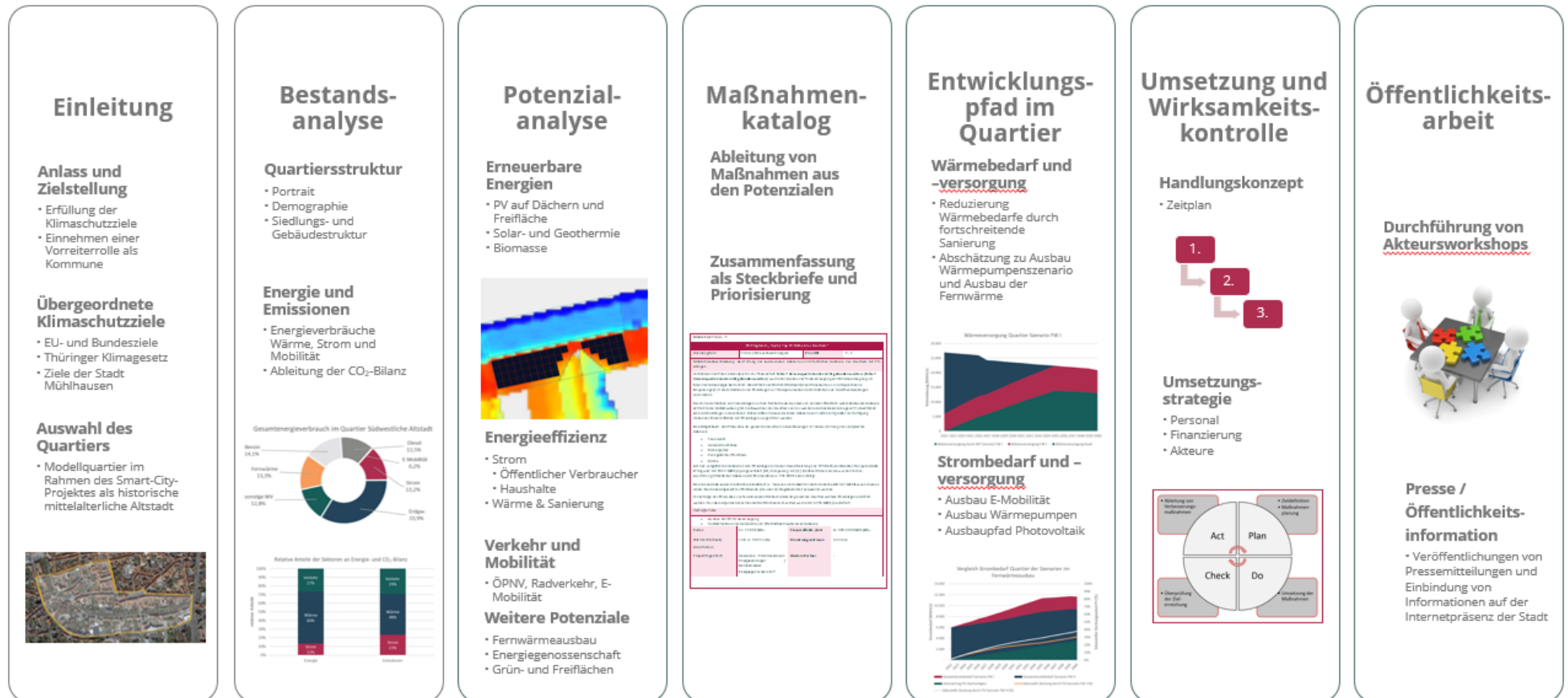


Abbildung 0-1: Überblick der Themengebiete und wichtigsten Ergebnisse

1 Einleitung

1.1 Anlass und Zielstellung

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 drei 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 „Südwestliche Altstadt“ 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 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 werden. 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

Das Quartier „Südwestliche Altstadt“ im mittelalterlichen Stadtzentrum ist entsprechend des Gebäudebestands überwiegend als gemischte Baufläche bzw. Wohnbaufläche festgesetzt.



Abbildung 1-1: Darstellung des Quartiers Eigene Markierung

Die Quartierskubatur umläuft die Bundesstraße 249 im südlichen Innenstadtbereich von Mühlhausen parallel zur historischen Wehranlage. Am Bastmarkt mündet sie in die Wahlstraße bis zur Ratsstraße und weiter bis zur Untermarkt. Entlang der Untermarkt fügt sie sich rechts in die Erfurter Straße ein bis zum Amtsgericht und wieder zurück zur Bundesstraße 249.

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 Gesetz befindet sich seit Juni 2023 in der Ressortabstimmung.

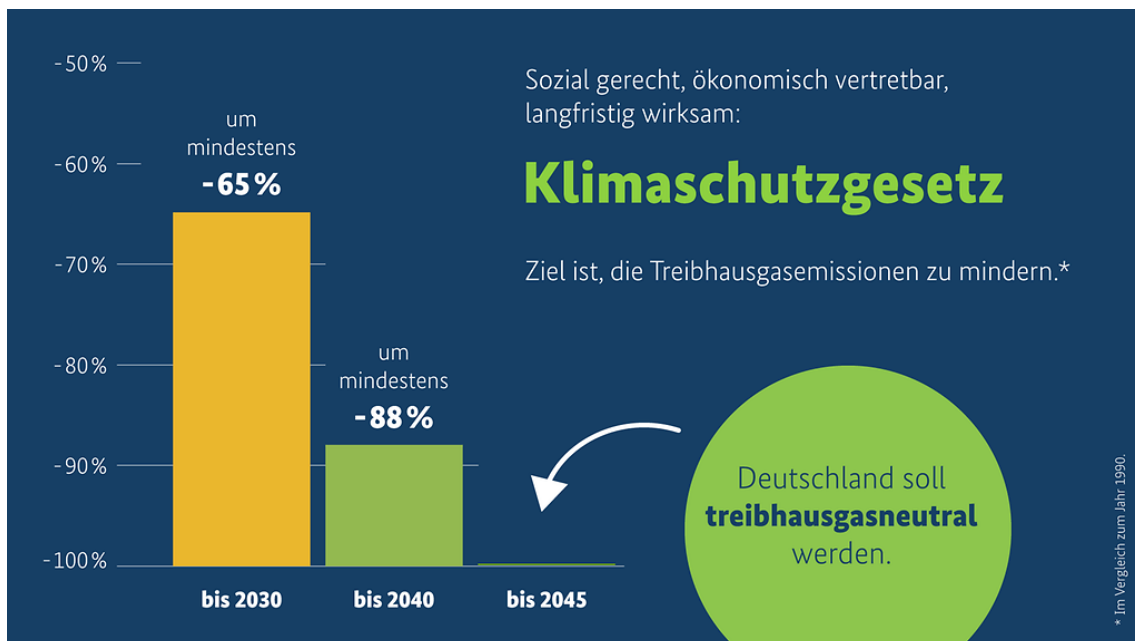


Abbildung 1-2: Deutschland auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität

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 und 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.

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.

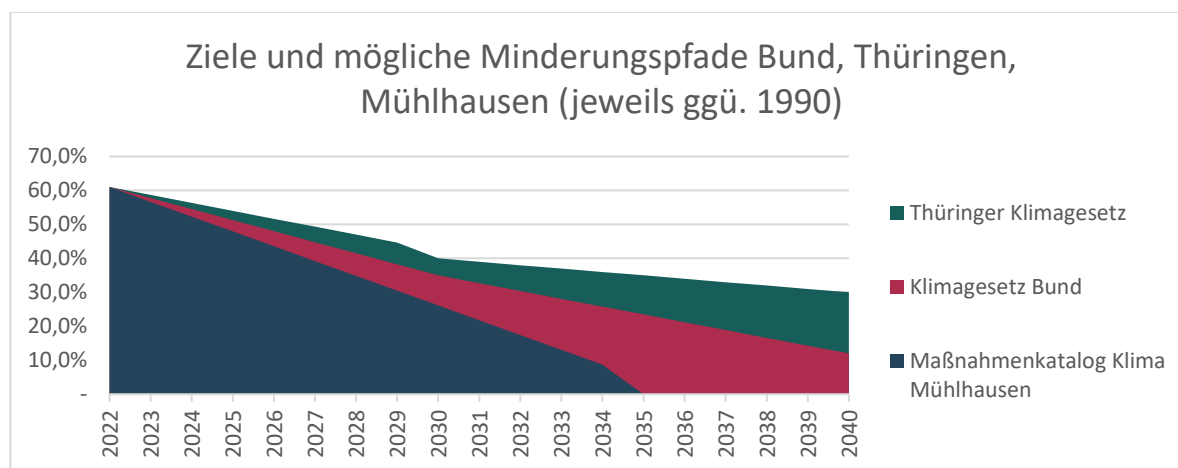


Abbildung 1-3: Emissionsminderungspfade der politischen Ebenen, abgeleitet aus den Zielen (eigene Darstellung)

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.

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 (6)

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 (7)

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.

Überprüfung und Fortschreibung der Sanierungsziele für das Sanierungsgebiet „Altstadtsanierung Mühlhausen“ (8)

Seit 1991 besteht das Sanierungsgebiet „Altstadt Mühlhausen“. Die Studie überprüft die Notwendigkeit einer Verlängerung des Sanierungsgebietes „Altstadtsanierung Mühlhausen“ über den 31.12.2021. Die Studie beinhaltet eine Bestandsaufnahme und Analyse des Gebietszustandes. Sie untersucht die Sanierungsziele unter Berücksichtigung veränderter Rahmenbedingungen und trifft belastbare Aussagen über den Durchführungsstand der Sanierung.

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 die neuntgrößte Stadt im Land Thüringen. 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 die Stadtmauer geprägt und liegt nördlich des Nationalpark 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 vorteilhafte Lage und die gute Verkehrsanbindung ist der Standort zukunftsweisend 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 sowohl 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 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. 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. Der Standort des Hufeland Klinikums ist ein weiterer großer Gesundheitsdienstleister der Region und damit wichtiger Arbeitgeber der Menschen in und um Mühlhausen.

Mit Blick auf das Quartier ist die Wirtschaft in der südwestlichen Altstadt sehr stark durch Kleinbetriebe und Einzelhändler geprägt. Weitere große Arbeitgeber sind der öffentliche Dienst in den Verwaltungen der Stadt Mühlhausen, des Kreises Unstrut-Hainich und des Freistaates Thüringen. (16)

2.1.1.4 Leben im Quartier

Die südwestliche Altstadt zeichnet sich in erster Linie durch seine hohe Dichte an wertvoller historischer Bausubstanz, mittelalterlicher Stadtgrundrisse und Einzeldenkmäler aus. Die Stadt ist das zweitgrößte Flächendenkmal in Thüringen. Von den vielen Kirchen im Mühlhauser Stadtgebiet liegen drei im Quartier „Südwestliche Altstadt“. Das Quartier ist innerhalb der Stadtmauer durch eine hohe Bebauungsdichte und kleinteilige Parzellenstruktur gekennzeichnet. Für die Freizeitgestaltung der Stadt und des Umlandes ist das Erlebnis- und Spaßbad Thüringentherme ein zentrales Element. Daneben gibt es noch die Stadtbibliothek und diverse Museen mit regionaler Bedeutung im Quartier. Insgesamt fehlt im Quartier an Angeboten für öffentlichen wohnungsnahen Freiraum, wie z.B. Spiel- und Sportplätze. Es gibt lediglich einen Spielplatz am Kristansplatz und einen zwischen Wahlstraße und

Jakobstraße. Der Lindenbühl bildet südlich der Stadtmauer die einzige größere Grünfläche in Quartier. Außerdem gibt es im Quartier zwei Kindertagesstätten.

In über 30 Jahren Sanierungstätigkeit konnte der Sanierungsgrad der Mühlhäuser Altstadt weiter erhöht und ein sehenswertes, lebendiges und prosperierendes Stadtzentrum herausgebildet werden. Insgesamt ist die erforderliche Altstadtsanierung noch lange nicht abgeschlossen. Eine Fortschreibung des Sanierungsgebiets „Altstadtsanierung Mühlhausen“ erfolgt bis zum Jahr 2031.

Auffällig ist der hohe Leerstand im Einzelhandel und Kleingewerbe, der unter dem Wandel des Einkaufsverhaltens der Konsumenten hin zum Online-Shopping leidet. Die Gewerbeflächen befinden sich fast ausschließlich in den Erdgeschossen der Wohngebäude. Wohnen und Arbeit liegen im Quartier sehr nah beieinander. Das wirkt sich vorteilhaft auf die Wege aus, die für Einkauf und Besorgungen zurückzulegen sind, als auch auf mögliche Arbeitswege. Die Abbildung 2-1 aus der Smart City Strategie Mühlhausen listet die wichtigsten städtebaulichen Entwicklungsziele auf (2).

STÄDTEBAULICHE ENTWICKLUNGSZIELE	
ALTSTADT	
• qualitätsvolle Verknüpfung der Altstadt mit den stadt- und wohnungsnahen Erholungs- und Freizeiträumen/Stadtteilen im kontrastreichen Miteinander von urbanem Lebensraum, Natur, Freizeit- und Kulturlandschaft • Aufwertung des Wohnumfeldes für die Altstadt und das angrenzende Wohngebiet	
Baustruktur und Stadtgestalt	• erhalten und weiterentwickeln des städtebaulichen Gefüges und der architektonischen Gestalt der Altstadt • Erhalt und Sanierung der historischen Bausubstanz • Erhalt, Reparatur und punktuelles Wiederherstellen der historischen Raumkanten • erhalten der Gestaltqualitäten der Bebauung • erhalten und wiederherstellen der epochenspezifischen und regionaltypischen Gestaltungsmerkmale • hochwertige Gestaltung von bedeutsamen Stadträumen • herausbilden von räumlichen Abschlüssen für die Altstadt Eingänge • Sanierung der erhaltenswerten Bausubstanz sowie Beseitigung von Baulücken und Brachen

Wohnen, Leben und Arbeiten	• Sicherung der zentralörtlichen Bedeutung der Gesamtstadt durch Stärkung der Funktionsfähigkeit und Erhöhung der Attraktivität der Altstadt als Lebens-, Wohn- und Arbeitsort • Erhöhung der Lebensqualität der Altstadt für Bewohner und Besucher • erhalten der Funktionsmischung • Schaffung eines räumlich differenzierten Wohn- und Nutzflächenangebots sowie Entkernung von Innenhöfen/Blockinnenbereichen • Fortsetzung und Konkretisierung der Smart City Strategie in der Altstadt und Etablierung von smarten, modellhaften, praktisch nutzbaren Maßnahmen • Reduzierung des Leerstands von Wohnungen und Geschäften sowie erneute Nutzung der revitalisierten Flächen
Mobilität und Verkehr	• Verkehrsberuhigung der Altstadt und Erhöhung der Barrierefreiheit • Lösung des Stellplatzdefizits für Anwohner • Lenkung des fließenden Verkehrs von Besucher und Touristen, die ihr Ziel in der Altstadt haben • Schaffung von ausreichenden Stellplatzangeboten (zentral und dezentral) für die Anwohner der Altstadt • gleichwertige Erreichbarkeit der Altstadt für verschiedene Verkehrsarten • Verbesserung der Barrierefreiheit bzw. Reduzierung von Barrieren im Straßenraum und in Gebäuden

Klimaschutz, Klimaanpassung und Ökologie

- Erhalt und Schaffung nutzbarer Grünanlagen für die Kurzzeiterholung von Bewohnern und Touristen
- Verbesserung des Stadtbildes sowie der Stadtökologie
- Integration und Umsetzung von Klimaschutz/Klimaanpassung
- Erhalt der Wallanlagen mit Grünring und Ergänzung des Grünrings östlich und nordöstlich der Altstadt
- Verbesserung der Durchgrünung der Altstadt
- Ergänzung von Spielmobiliar und Wasserelementen
- Erhalt privater Grünflächen
- Schaffung von Aufenthaltsbereichen im Blockinneren
- Erhalt und Neupflanzungen von Bäumen in der Altstadt (vernetzte Grünstruktur)
- Energieprojekte außerhalb der Altstadt für die Bürger als Alternative zu eigenen PV-Anlagen (z.B. Energiegenossenschaft)
- Erhalt und weitere Offenlegung der Schwemmnote insbesondere in öffentlichen Freibereichen
- konsequente Überprüfung aller zukünftigen Maßnahmen und deren Auswirkungen auf das Klima
- konsequente Einbindung von Klimafolgeanpassungsmaßnahmen in die Gesamt- und Einzelvorhaben, insbesondere Begrünung/Bepflanzung, Verschattung, Luftbefeuchtung, Regenwasserversickerung, Reduzierung der Versiegelung und Einbindung der privaten Eigentümer
- Erhöhung der Energieeffizienz und Nutzung der Möglichkeiten zur CO₂-Einsparung und für erneuerbare Energien

Abbildung 2-1: Städtebauliche Entwicklungsziele der Altstadt

Seit 2022 sind im Rahmen der Smart City Mühlhausen drei wesentliche Handlungsfelder für die künftige Entwicklung der Stadt von besonderer Bedeutung: Nachhaltigkeit, Mobilität und Smarte Stadt. Für die Altstadt werden weitreichende Maßnahme umgesetzt und Lösungen entwickelt, um die digitalen Dienstleistungen in der historischen Altstadt auszubauen. Eine neue Stadt-Werkstatt bietet Bürgerinnen und Bürgern die Möglichkeit ihre Stadt aktiv mitzugestalten. Seit 2023 unterstützt ein Digitallotse Bürger und Bürgerinnen, um in Workshops Basiswissen und Grundlagen zu Themen der Digitalisierung zu vermittelt.

2.1.2 Demografie, Bevölkerungsentwicklung

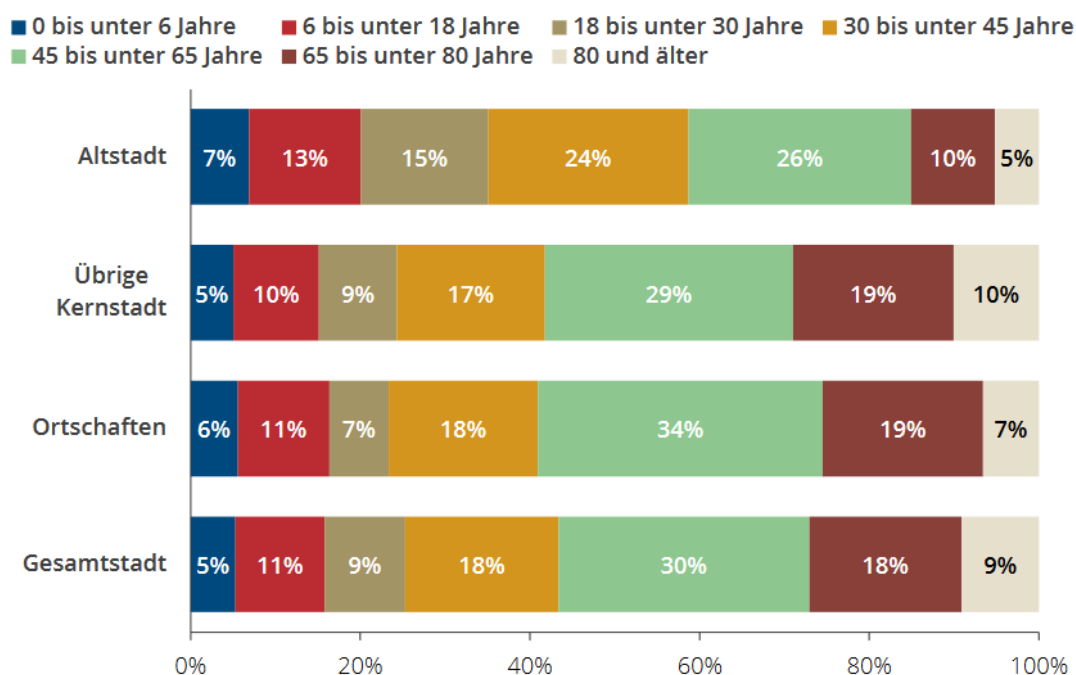
2.1.2.1 Vergangenheit und Heute

Für das Quartier liegen selbst keine Daten vor, weshalb für die südwestliche Altstadt die Daten der Gesamtstadt herangezogen werden. Aktuell hat die Stadt Mühlhausen eine Gesamtbevölkerung von 37.901 Einwohnern (Stand 01.01.2024).

Gegenwärtig ist die „Südwestliche Altstadt“ ein sehr beliebtes Quartier bei jüngeren Familien, was sich an der Altersstruktur des Quartiers im Vergleich zu anderen Quartieren und Stadtteilen niederschlägt. Wie Abbildung 2-2 für das Jahr 2020 zeigt, ist der Anteil an allen Bevölkerungsgruppen unter 45 Jahre höher als in anderen Stadtteilen, was umgekehrt einen geringeren Anteil an Personen über 65 Jahren bedeutet. Der Stadtteil weist außerdem einen positiven natürlichen Saldo auf. Er hat mit 24 % die höchste Leerstandsquote (davon 56 % Totalleerstand) aller Stadtgebiete. Hauptursache dafür ist die viele Innenstädte betreffende Tendenz der abnehmenden Einzelhändler. (17)

Derzeit hat das Quartier „Südwestliche Altstadt“ eine Bevölkerungszahl von rund 2.800 Einwohnern und rund 1.400 Haushalte.

ALTERSSTRUKTUR 2020



Datengrundlage: Stadt Mühlhausen
Berechnungen/Darstellung: Timourou

Abbildung 2-2: Altersstruktur der Stadtteile Mühlhausens, hier repräsentativ für das Quartier der Stadtteil Altstadt

2.1.2.2 Prognose

Das Thüringer Landesamt für Statistik geht von einer Bevölkerungsreduktion bis zum Jahr 2040 um knapp 5.000 Einwohner auf 31.400 aus (18). Das entspricht einer Reduktion von 13 % oder 0,6 % pro Jahr. Dabei steigt der Anteil der über 75-jährigen Einwohner deutlich an, wie die Abbildung 2-3 zeigt.

Eine Prognose der Bevölkerungsentwicklung ist mit einigen Unsicherheiten behaftet. Insbesondere der Wanderungssaldo sowie die Geburtenrate nehmen darauf starken Einfluss. Je weiter die Prognose in die Zukunft reicht, desto größer wird die Unsicherheit. Dennoch soll die oben dargestellte Entwicklung auf das Quartier „Südwestliche Altstadt“ übertragen werden, woraus sich eine Bevölkerung von 2.450 Einwohnern im Jahr 2040 ergibt. Mit der prognostizierten Entwicklung der Haushaltsgröße kann man von einer Anzahl von rund 1.340 Haushalten ausgehen.

Haushalte sind die eigentlichen Treiber der Nachfrage nach Wohnraum. Der demografische Wandel führt durch die alternde Bevölkerungsstruktur zu mehr Ein-Personen-Haushalten, aber auch die gesellschaftliche Entwicklung der jüngeren Bevölkerung: spätere Familiengründung, mehr Alleinstehende. Deshalb reduziert sich die Anzahl der Haushalte nicht im gleichen Maße wie die prognostizierte Bevölkerung der Stadt Mühlhausen. (17)

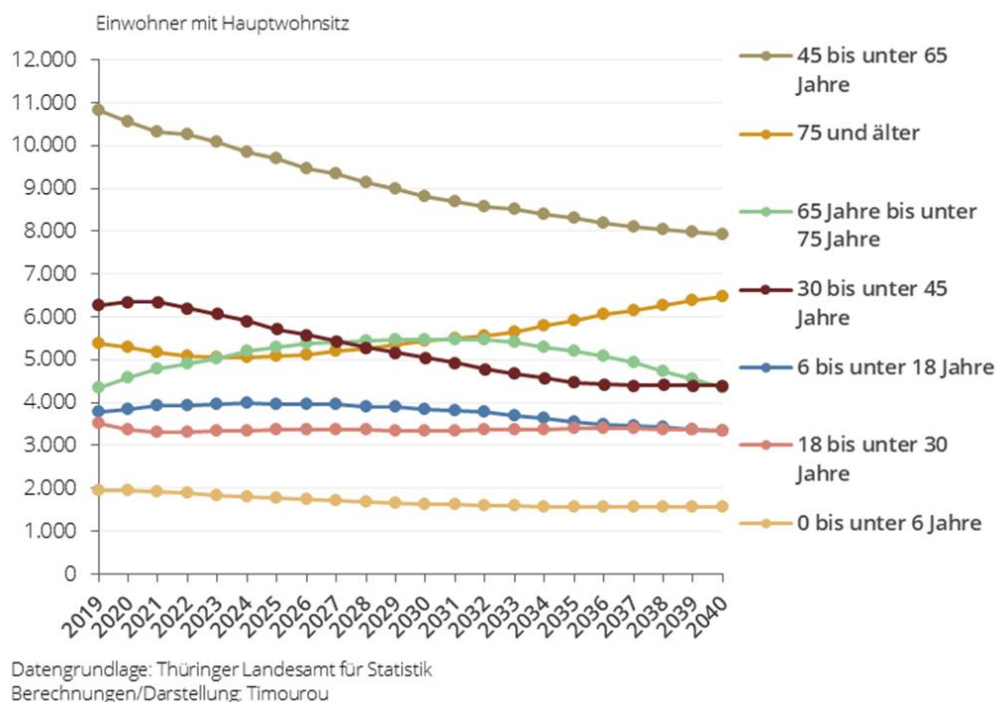


Abbildung 2-3: Änderung der Altersstruktur bis zum Jahr 2040

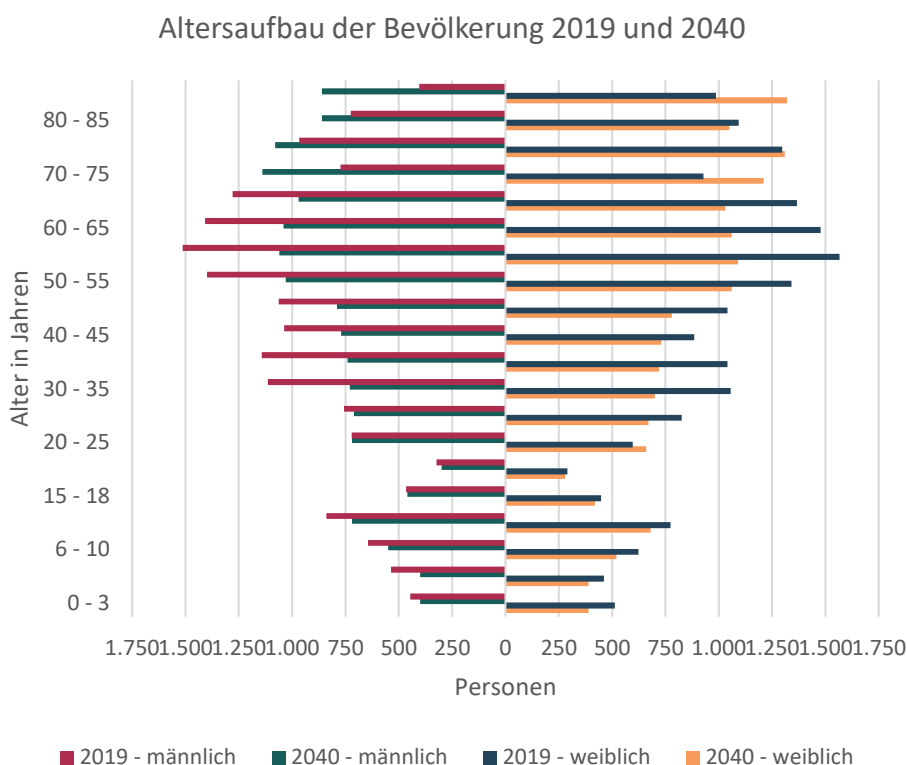


Abbildung 2-4: Altersaufbau der Bevölkerung Mühlhausens in den Jahren 2019 und 2040

Berechnung und Darstellung Tilia, Datengrundlage: Statistisches Landesamt Thüringen

2.1.3 Siedlungs- und Gebäudestruktur

Die Altstadt von Mühlhausen zeichnet sich durch eine hohe Bebauungsdichte und einen mittelalterlichen Stadtgrundriss aus. Die historische Bausubstanz und Einzeldenkmäler prägen das Stadtbild. Die Mischung aus Wohn- und Arbeitsnutzung trägt zur lebendigen Atmosphäre bei. Obwohl fortschreitende Sanierungen stattfinden, besteht teilweise ein Sanierungsstau an historischen Gebäuden, begleitet von einem spürbaren Leerstand (17). Das betrachtete Gebiet der südwestlichen Altstadt hat eine Fläche von rund 33 ha.

Der Gebäudebestand besteht vorwiegend aus Wohnhäusern sowie Verwaltungsgebäuden für Stadt, Kreis und Land. Drei Kirchen, darunter die Jakobikirche, die heute als Stadtbibliothek genutzt wird, prägen die religiöse Architektur. Zudem gibt es Freizeiteinrichtungen wie die Thüringentherme, das Kulturhistorische Museum und das Bauernkriegsmuseum in der Kornmarktkirche.

Im Thüringer Landesentwicklungsprogramm 2025 (LEP25) wurde Mühlhausen zu einem sogenannten „Entwicklungskorridor“ aufgewertet. Als Teil der Achse zwischen Erfurt, Bad Langensalza und Leinefelde-Worbis gehört die Kreisstadt damit zu den Schwerpunktregionen für die Thüringer Landesentwicklung. Von 1991 bis 2021 war die „Altstadt“ innerhalb der Stadtmauer als Sanierungsgebiet förmlich festgelegt. Das vorrangige Ziel ist die Erhaltung der historischen Bausubstanz und des charakteristischen Stadtbildes.

Die bisherige Sanierung hat die Altstadt von Mühlhausen zu einem attraktiven Wohnort gemacht. Ein teilweise noch hoher Sanierungsstau erklärt sich durch den niedrigen Mietzins, der eine wirtschaftliche Sanierung aufgrund der fehlenden Investitionskraft der vorwiegend privaten Eigentümer nicht zulässt.

Zukünftige Schwerpunkte liegen in der schrittweisen Quartiersentwicklung durch die Nachnutzung von Brachflächen und Entkernung von Gebäuden, um Wohnraum zu schaffen, der aktuellen und zukünftigen Anforderungen (kleinere Haushalte, familienfreundlich, altersgerecht) genügt. Schaffung von Aufenthaltsbereichen im Blockinneren zugunsten wohnungsnahen Freiraums.

Insgesamt soll eine qualitätsvolle Verknüpfung der Altstadt mit den stadt- und wohnungsnahen Erholungs- und Freizeiträumen und Stadtteilen im kontrastreichen Miteinander von urbanem Lebensraum, Natur, Freizeit- und Kulturlandschaft hergestellt werden.

2.1.3.1 Grün- und Freiflächen

Die Altstadt weist insgesamt wenig Grünflächen auf. Die größte Grünfläche erstreckt sich entlang des Lindenbühls an der südlichen und westlichen Stadtmauer. Zu den Freiflächen zählen der Untermarkt, der Lentzeplatz, der Hinterhof in der Jakobistraße und vereinzelte Bereiche zwischen Lindenbühl und Brunnenstraße. Lediglich zwei öffentliche Spielplätze, im Lindenbühl und Hoher Graben, gibt es im gesamten Quartier.

Die Integration und Umsetzung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen dienen insbesondere dem Gegenwirken von Hitzeinseln in der Altstadt. Die Maßnahmen reichen von der Verbesserung der Durchgrünung der Altstadt für die Kurzzeiterholung von Bewohnern und Touristen, der Schaffung von Aufenthaltsbereichen im Blockinneren, Verschattung und Reduzierung der Versiegelung.

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 Vereinfachung 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

Für die Betrachtung der Wärme erfolgt eine kurze Beschreibung der aktuellen Infrastruktur und der wärmeverursachten Verbräuche. Es folgen die Erarbeitung des konsolidierten Lastgangs und die Darstellung der CO₂-Bilanz.

Allgemein lässt sich für die Erhebung der Daten zum Wärme- und Stromverbrauch sagen, dass eine Unterscheidung zwischen Gewerbe und privaten Haushalten nicht gemacht wurde, weil die zur Verfügung stehenden Daten dies nicht zugelassen haben. Ein Grund ist, dass Gewerbe und private Haushalte in diesem Quartier räumlich sehr eng beieinander liegen, gemeinsam in einem Gebäude auf unterschiedlichen Etagen. Meistens liegt die Gewerbefläche im Erdgeschoss, während die Wohnflächen in den oberen Stockwerken angesiedelt sind.

2.2.1.1 Wärmeerzeugung und Infrastruktur

Die südwestliche Altstadt wird überwiegend durch dezentrale Wärmeerzeuger auf Basis von leitungsgebundenem Erdgas mit Wärme versorgt. Deren Anteil an der Deckung des Wärmebedarfs beläuft sich auf rund 57 %.

Rund 22 % des Wärmebedarfs wird über die Fernwärme gedeckt. Sowohl Fernwärme- als auch Erdgasnetz werden von der Stadtwerke Mühlhausen Netz GmbH betrieben. Das Heizkraftwerk der Stadtwerke Mühlhausen steht im südöstlichen Gewerbepark der Stadt. Die erdgasbasierten Wärmeerzeuger (Gaskessel und KWK-Anlagen) werden durch eine solarthermische Großanlage auf dem Schadeberg unterstützt. Der Anteil der Solarthermie an der Fernwärmeerzeugung beläuft sich auf rund 15 %. Eine Übersicht über die bestehenden Fernwärmeleitungen im Quartier zeigt Abbildung 2-5.



Abbildung 2-5: Bestehendes Fernwärmenetz (grün) im Quartier

Weiterhin gibt es nicht-erdgasbasierte dezentrale Wärmeerzeuger im Quartier. Es gibt keine detaillierte Erhebung, wie sich diese sonstigen dezentralen Wärmeerzeuger zusammensetzen. Es wird davon ausgegangen, dass es sich überwiegend um Heizölkessel handelt. Deren Anteil beträgt rund 21 %.

Tabelle 1 schlüsselt die Arten der Wärmeerzeuger nach ihren Anteilen an der Gesamterzeugung und der erzeugten Wärmemenge pro Jahr auf. Eine detailliertere Übersicht nach Art der Wärmeversorgung, Wärmemenge und Verbraucher liefert Abbildung 2-6.

Tabelle 1: Aufschlüsselung der Wärmeerzeuger nach Art und Anteil an der Wärmeversorgung (heizwertbezogen)

Wärmeerzeugerart	Wert (MWh/a)	Anteil
Erdgas, dezentral	15.913	57 %
Sonstige, dezentral	5.760	21 %
Fernwärme, zentral	5.986	22 %

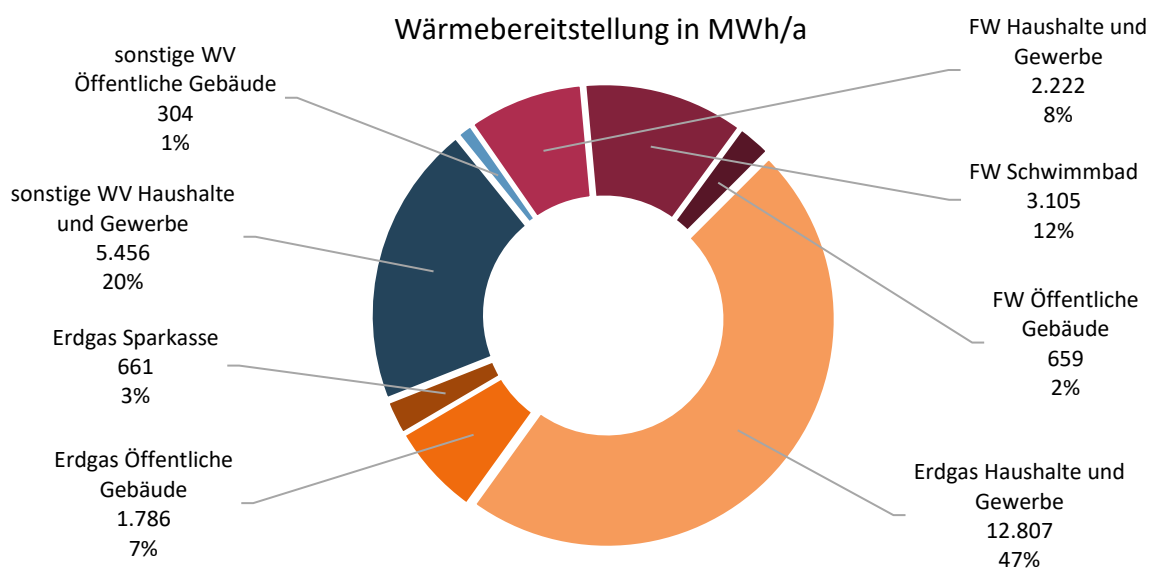


Abbildung 2-6: Wärmebereitstellung im Quartier nach Art der Wärmeversorgung und des Abnehmers

(Datengrundlage: Stadtwerke Mühlhausen)

2.2.1.2 Wärmeverbrauch

Der Wärmeverbrauch wurde anhand der erhobenen Daten der Stadtwerke Mühlhausen GmbH festgestellt, die als Kartenmaterial vorlagen. Diese wurden aufbereitet und ausgewertet. Insgesamt gibt es einen Wärmeverbrauch von ca. 27 GWh/a (im Jahr 2021). Der größte Anteil entfällt auf Haushalte und Einzelhändler (Gewerbe) mit rund 20,5 GWh/a. Das Schwimmbad „Thüringentherme“ stellt mit 3,1 GWh/a den größten Einzelverbraucher des gesamten Quartiers dar. Den restlichen Wärmeverbrauch teilen sich öffentliche Gebäude (2,7 GWh/a) und die Sparkasse (0,6 GWh/a). Abbildung 2-7 stellt die Aufteilung des Wärmeverbrauchs grafisch übersichtlich dar.

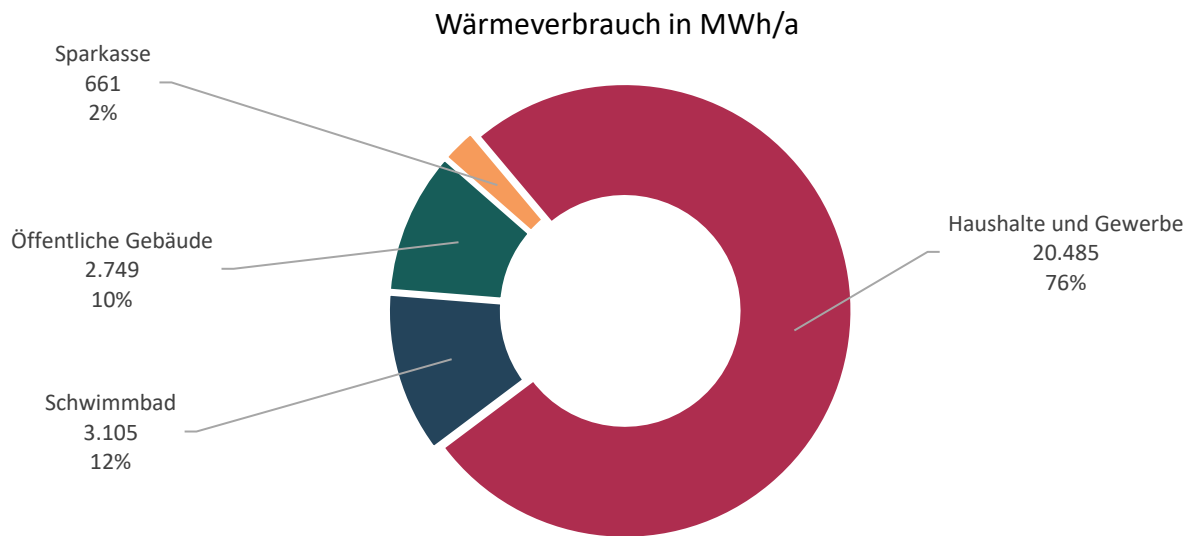


Abbildung 2-7: Aufteilung des Wärmeverbrauchs nach Verbrauchertypen (Datengrundlage: Stadtwerke Mühlhausen)



Abbildung 2-8: Heatmap des Wärmeverbrauchs im Quartier (violett entspricht hohem, rot-orange einem mittleren bis niedrigem Wärmeverbrauch)

Die grafische Aufbereitung der räumlichen Verteilung der Wärmeverbräuche zeigt die Orte des höchsten (violett) und niedrigsten (rot-orange) Wärmeverbrauchs im Quartier (vgl. Abbildung 2-8). Auffällig ist dabei, dass sich die größten Wärmeverbraucher einerseits entlang der Achse Erfurter Str./Felchtaer Str., entlang des Untermarktes und andererseits entlang der Brunnenstraße (B249) sammeln. Weitere Hotspots befinden sich entlang der Jakobistraße und rund um den Kornmarkt.

2.2.1.3 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 (19) wurden die quartierspezifischen Gebäudetypen wie folgt zugeordnet:

- Wohnen: Mehrfamilienhaus
- Schule, Kita, Turn- und Sporthallen, Jugendzentren, Sakralbauten, Feuerwehr, Verwaltung, Wohnheim: Gebietskörperschaften
- Schwimmhalle, Krankenhaus, Hotel: Beherbergung
- Veranstaltungsbauten, Gastronomie: Gaststätten
- GHD, Lebensmittelmärkte: Einzelhandel, Großhandel
- Landwirtschaft: Haushaltsähnliches Gewerbe

Dazu wurden die Temperaturdaten des Testreferenzjahres (mittleres Jahr, Bezugszeitraum 1995 – 2012) aus dem Klimaberatungsmodul für den Standort Mühlhausen des Deutschen Wetterdienstes herangezogen. (20).

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 2-9). 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 8,5 MW, das Minimum liegt hingegen bei weniger als 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.

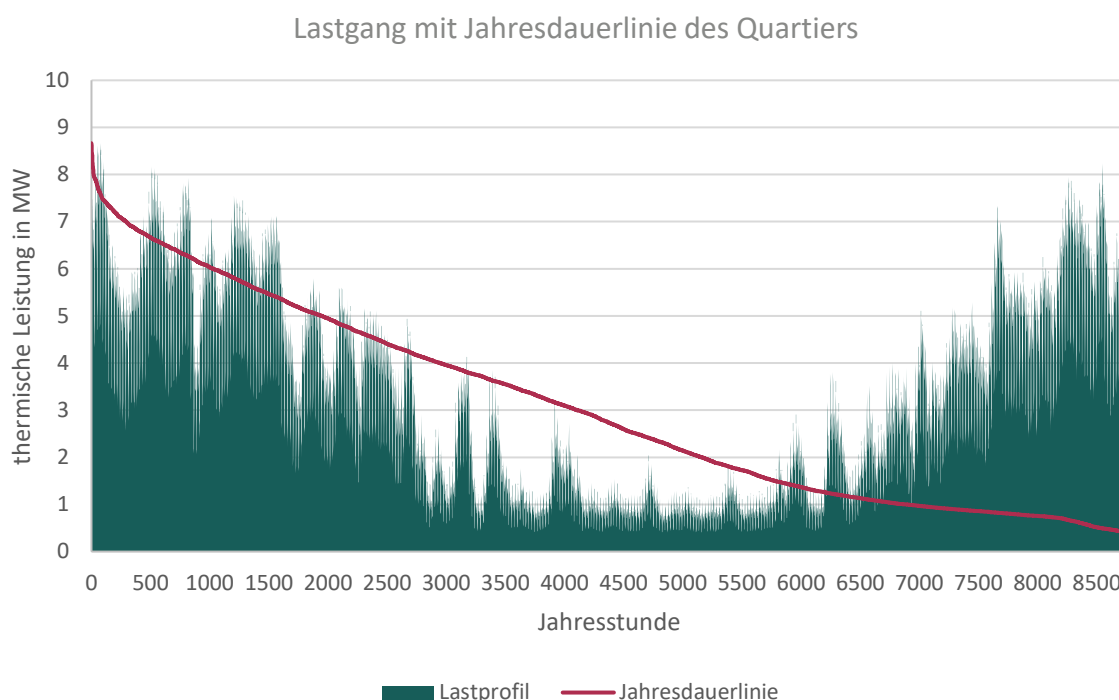


Abbildung 2-9: Synthetisches Lastprofil des Wärmeverbrauchs mit zugehöriger Jahresdauerlinie aller Verbraucher im Quartier

2.2.1.4 CO₂-Bilanz

Anhand von CO₂-Faktoren können die durch die Wärmeenergie verursachten CO₂-Emissionen weitestgehend genau 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 (21). 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 4.891 t/a an CO₂ emittiert.

Die Verteilung der verursachten CO₂-Emissionen nach den jeweiligen Sektoren ist in Abbildung 2-10 dargestellt. Diese verhält sich analog zum Wärmeverbrauch der einzelnen Sektoren.

Tabelle 2: CO₂-Bilanz der Wärmeversorgung bezogen auf die Versorgungsart (Medium), Angaben beziehen sich auf ein Jahr, CO₂-Faktoren sind brennwertbezogen

Medium	Endenergieverbrauch [MWh]	CO ₂ -Faktor [t/MWh]	CO ₂ -Emissionen [t]
Erdgas	15.254	0,181	2.762
Fernwärme	5.986	0,111	661
Sonstige Wärmeversorgung (Heizöl)	5.760	0,255	1.468
Wärme gesamt	27.000	0,195	4.891

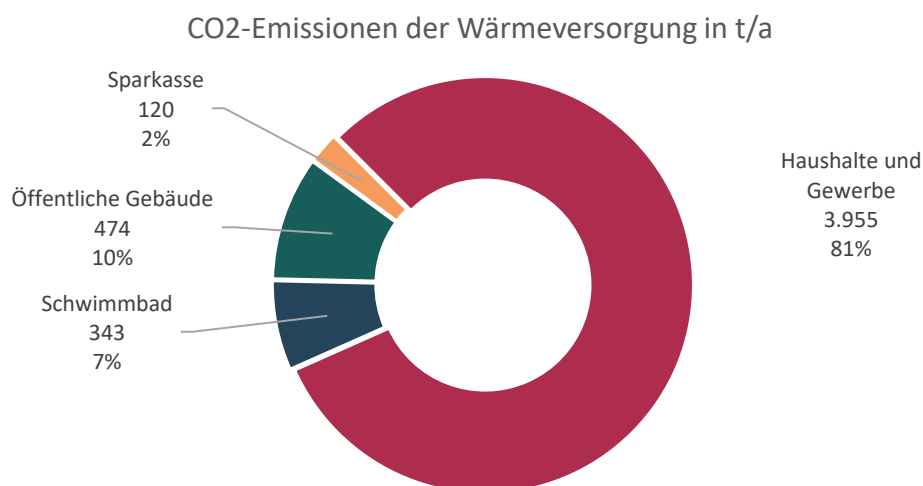


Abbildung 2-10: Verteilung der wärmebasierten CO₂-Emissionen nach Sektoren

2.2.1.5 Zusammenfassung Wärme

Durch einen Energieverbrauch von jährlich ca. 27 GWh für Wärme im Quartier werden etwa 4.900 t/a Kohlenstoffdioxid emittiert. Der größte Einzelverbraucher ist das Schwimmbad (Thüringentherme) mit einem Wärmeverbrauch von rund 3,1 GWh und einer CO₂-Emission von ca. 343 t/a.

Der größte Teil der Haushalte und des Gewerbes nutzt zur Wärmebereitstellung Erdgas. Der restliche Wärmebedarf wird durch die Fernwärme mit 21 % und sonstige Wärmeversorgung (Heizöl) mit 22 % zu etwa gleichen Teilen gedeckt.

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

2.2.2.1 Stromerzeugung und Infrastruktur

Die Stromversorgung im Quartier ist zu 100 % leitungsgebunden. Der Betreiber des Stromnetzes in Mühlhausen ist die Stadtwerke Mühlhausen Netz GmbH. Der Hauptteil des im Quartier genutzten Stroms wird importiert. Es befindet sich zwei größere und mehrere kleinere Photovoltaikanlagen im Quartier: Auf den Dächern des Gebäudes der Kriminalpolizei in der Brunnenstraße sind ca. 100 kW_p, in der Wahlstraße 96 sind rund 80 kW_p. Zusammen mit kleineren Anlagen auf anderen Dächern wird Energiemenge von rund 213 MWh/a erzeugt.



Abbildung 2-11: PV-Anlagen im Quartier (in hellgelb)

2.2.2.2 Stromverbrauch

Die Ermittlung des Stromverbrauchs im Quartier stützt sich auf die von den Stadtwerken zur Verfügung gestellten Daten. In Summe werden jährlich rund 5,9 GWh Strom im Quartier verbraucht.

Die Verteilung des Stromverbrauchs auf die Sektoren, wie in Abbildung 2-12 dargestellt, ist vergleichbar zum Wärmebedarf und stellt sich folgendermaßen dar: 74 % oder 4,3 GWh/a verbrauchen die privaten Haushalte und das in den Gebäuden ansässigen Gewerbe. Größter Einzelverbraucher mit 9 % oder 0,5 GWh/a ist das Schwimmbad Thüringentherme. Die restlichen Verbräuche entfallen auf öffentliche Gebäude (13 %, 0,8 GWh/a) und die Sparkasse (4 %, 0,2 GWh/a) sowie die Straßenbeleuchtung (1 %, 0,07 GWh/a).

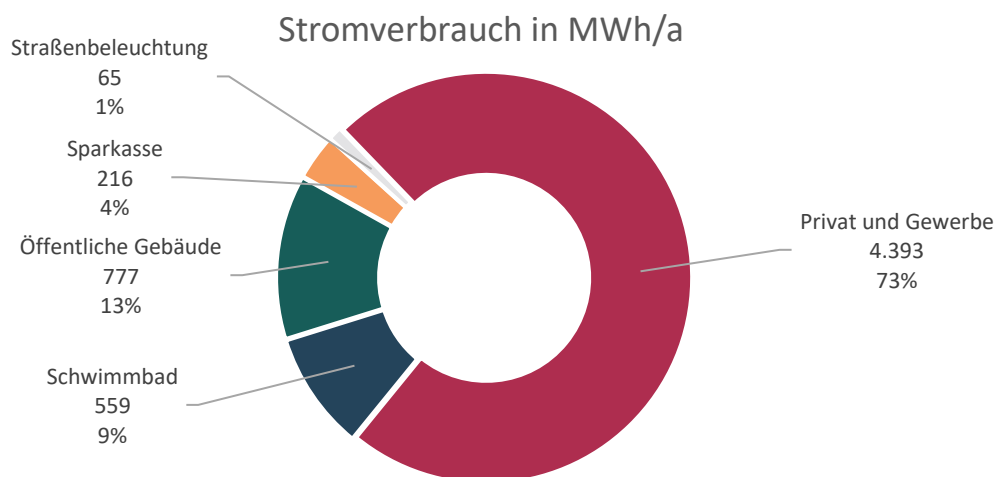


Abbildung 2-12: Verteilung des Stromverbrauchs nach Sektoren

2.2.2.3 CO₂-Bilanz

In den weiteren Berechnungen wird bei dem importierten 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 CO₂-Emissionsfaktor von 0,435 t/kWh (21).

In Tabelle 3 sind die Energiemengen für Verbrauch und Produktion von elektrischer Energie im Quartier aufgeführt. Insgesamt werden im Quartier 5.879 MWh/a an Strom verbraucht. Dem stehen 90 MWh/a erzeugter Energie durch erneuerbarer Energien gegenüber. Betrachtet man den durch erneuerbare Energien erzeugten Strom und die CO₂-Emissionen vom 39 t/a, die damit vermieden wurden als Gutschrift, so werden durch die Nutzung von elektrischer Energie im Quartier insgesamt 2.519 t/a CO₂ ausgestoßen.

Tabelle 3: CO₂-Bilanz Strom, die Stromproduktion durch die PV-Anlage auf dem Gebäude der Kriminalpolizei wird als Gutschrift betrachtet und vom Verbrauch abgezogen

Parameter	Energie [MWh/a]	CO ₂ -Faktor [t/MWh]	CO ₂ -Emissionen [t/a]
Stromverbrauch	5.944	0,435	2.586
Stromproduktion	90	-0,435	-39
Summe	5.854		2.547

Abbildung 2-13 stellt die durch Stromnutzung und Produktion verursachten CO₂-Emissionen bzw. Einsparungen grafisch dar. Die relative Verteilung der Emissionen verhält sich dabei analog zum Verbrauch.

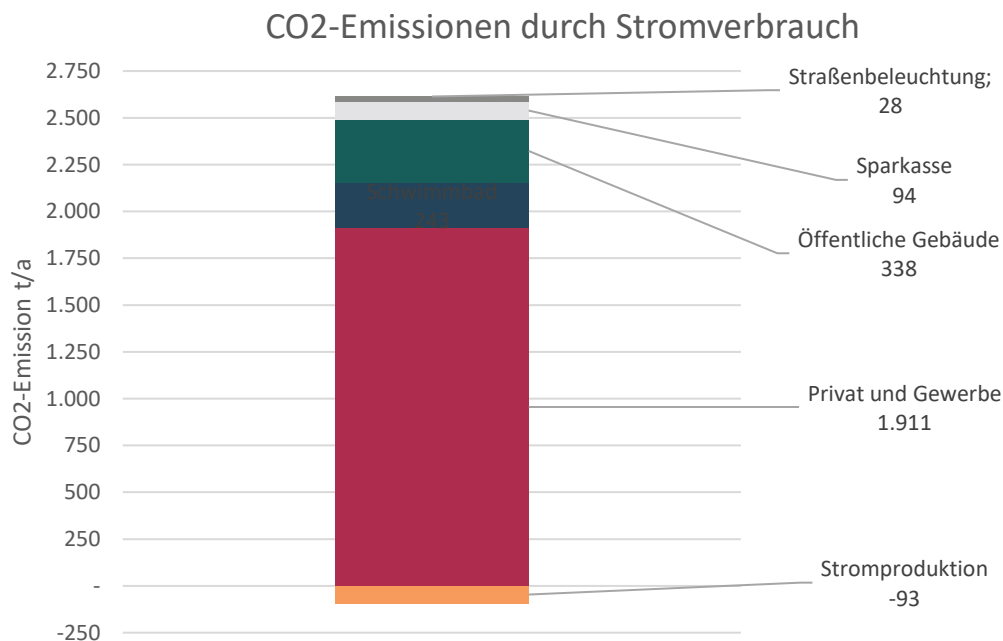


Abbildung 2-13: CO₂-Bilanz des Stromverbrauchs und -produktion im Quartier aufgeteilt nach den Sektoren, Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien wurde als negative Emissionen einbezogen

2.2.2.4 Zusammenfassung Strom

Insgesamt werden im Quartier knapp 5.900 MWh/a Strom verbraucht und nur 213 MWh/a erzeugt. Dadurch ergibt sich eine jährliche CO₂-Emission von 2.519 t. Größter Einzelverbraucher im Quartier ist das Schwimmbad Thüringentherme mit einem Anteil von ca. 9 % des Stromverbrauchs.

2.2.3 Verkehr und Mobilität

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

2.2.3.1 Gegenwärtige Situation

Das Quartier der südwestlichen Altstadt ist durch die Stadtmauer entlang des Lindenbühl hinsichtlich ihrer verkehrstechnischen Anbindung geteilt. Der südliche Teil ist im Wesentlichen geprägt durch die Brunnenstraße (Bundesstraße 249), die eine wichtige Hauptverkehrsader der Stadt Mühlhausen darstellt. Der Teil nördlich der Stadtmauer ist verkehrstechnisch durch die historische Altstadt sehr kleinteilig und kleinräumig gestaltet. Die wichtigsten Verkehrswege in diesem Teil des Quartiers sind einerseits die Achse Erfurter Straße – Untermarkt – Felchtaer Straße und andererseits die Achse Judenstraße – Wahlstraße; beide in Ost-West-Richtung.

Das Quartier ist über mehrere Buslinien, die in der Felchtaer Straße, im Lindenbühl und am Untermarkt halten, an den regionalen ÖPNV angeschlossen. Die Anbindung an den überregionalen Verkehr erfolgt über den Bahnhof sowie den Busbahnhof.

Außerdem quert der 113 km lange Unstrut-Werra-Radfernweg entlang des Lindenbühls das Quartier der südwestlichen Altstadt. Er führt vom Werratal-Radweg in der Nähe von Heldra bis nach Schönfeld und trifft dort auf den Unstrut-Radweg.

2.2.3.2 Energieverbrauch

Zur Ermittlung der Energieverbräuche für den Verkehr erfolgte eine Bilanzierung des motorisierten Verkehrs auf dem Quartiersgebiet.

Für die Analyse des Verkehrsbereichs 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 8 % – entwickelt aus dem Verhältnis der Einwohner im Quartier (2.800 Personen) zur gesamten Stadt (37.901 Personen) – die Zulassungszahlen auf Quartiersebene bestimmt.

Tabelle 4: Berechnung Approximationsfaktor

Approximationsfaktor	
Einwohner Quartier „Südwestliche Altstadt“	2.800
Einwohner Stadt Mühlhausen	37.901
Anteil Einwohner Quartier von Stadt Mühlhausen	7,4 %

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

Energieverbräuche und die damit verbunden Emissionen für den Transport von Gütern (LKW), Bussen und Nutzfahrzeugen (Landwirtschaft) wurden bewusst in dieser Bilanzierung nicht betrachtet. Die Daten auf Stadtebene sind bei einer entsprechenden Aggregation auf das Quartier nicht aussagekräftig. So würden beispielsweise bei insgesamt 2.222 im Stadtgebiet zugelassenen LKW allein auf das Quartier „Südwestliche Altstadt“ bei statistischer Anrechnung 174 LKW entfallen. Es ist jedoch keine Spedition ansässig – eine Berücksichtigung der LKW (statistischer Wert) würde demnach die Emissionsbilanz verfälschen. Zwar findet auch Durchgangs- und Lieferverkehr durch LKW statt, dieser wird jedoch als zunächst nicht beeinflussbar eingestuft.

Die Daten der übrigen zu analysierenden Fahrzeugarten – Krafträder und PKW – sind auf den Webseiten des Kraftfahrtbundesamtes einzusehen (22). In Tabelle 5 ist die Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge in der gesamten Stadt zum 01.01.2022 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 5: Anzahl zugelassener Fahrzeuge in der Stadt Mühlhausen und im Quartier (zum 01.01.2022)

	Krafträder	PKW	Gesamt
Stadt Mühlhausen	1.332	18.775	20.107
Quartier „Südwestliche Altstadt“	104	1.468	1.573

Die Berechnung der im Quartier zugelassenen Fahrzeuge per Approximationsfaktor ergibt eine Gesamtanzahl zugelassener Fahrzeuge von 1.573 (siehe Tabelle 5).

In den vergangenen zehn Jahren ist die PKW-Dichte in Deutschland durchgehend gestiegen. Laut statistischem Bundesamt (23) lag diese trotz öffentlicher Debatten über eine Verkehrswende bundesweit im Schnitt bei 580 Autos pro 1.000 Einwohnerinnen und Einwohnern, in Thüringen etwas darunter bei 564 Fahrzeugen auf 1.000 Personen (im Vergleich 2011: 518 Fahrzeuge auf 1000 Personen) (23). Das PKW-Aufkommen ist mit (statistisch) 524 PKW pro 1.000 Einwohner im Quartier niedriger als der Durchschnitt in Freistaat Thüringen und der gesamten Bundesrepublik Deutschland (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: PKW-Dichte des Quartiers im Vergleich zum Freistaat Thüringen und Deutschland insgesamt

Bezugsfläche	PKW-Dichte [PKW/1.000 EW]
Quartier „Südwestliche Altstadt“	524
Thüringen	564
Deutschland	580

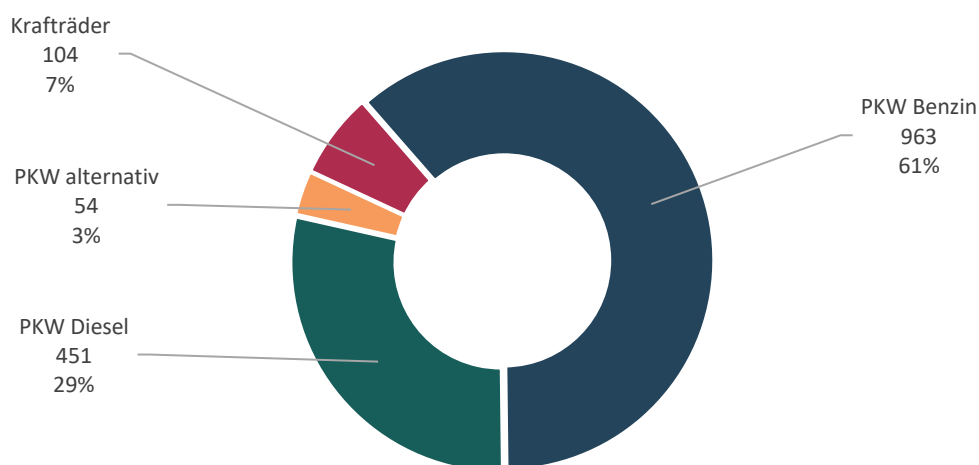

Abbildung 2-14: Verteilung der Fahrzeuganteile im Quartier

Abbildung 2-14 gibt die Anteile der unterschiedlichen Fahrzeuge im Quartier wieder. Bei den PKW (24) sind Benzin (61 %) und Diesel (29 %) die häufigsten Kraftstoffarten. Krafträder (25) werden von Benzinmotoren angetrieben. Die Anzahl an alternativen Antrieben wie bei Hybriden, Erdgasfahrzeugen sowie Elektroautos stieg zwar in den vergangenen Jahren kontinuierlich, nimmt aber immer noch einen sehr geringen Anteil ein (3 %).

Je nach Kraftstoffart gehen in die Energie- bzw. CO₂-Bilanz variierende Daten (24) über die durchschnittliche Jahresfahrleistung ein (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Durchschnittliche Fahrleistungen der betrachteten Fahrzeuge

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

Auch der streckenspezifische Kraftstoffverbrauch wird in der Bilanzierung verarbeitet (siehe Tabelle 8). Hierfür wurden verschiedene Quellen herangezogen: Krafträder (Erfahrungswerte Tilia), PKW (26), LKW (Erfahrungswerte Tilia), Elektro-Krafträder (27), Elektro-PKW (28).

Tabelle 8: Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch bzw. Energieverbrauch der Fahrzeuge bezogen auf 100 km Fahrstrecke

Kraftstoff	Einheit	Krafträder	PKW
Benzin	l/100km	4,0	7,7
Diesel	l/100km	-	6,8
Elektro	kWh/100km	-	21

Zur Ermittlung der tatsächlich zu bilanzierenden Energiemengen werden die bisher aufgeführten fahrzeugspezifischen Daten und resultierenden Kraftstoffverbräuche mit Angaben über den volumenspezifischen Energiegehalt (29) verknüpft. Aus der vorgestellten Vorgehensweise und erhobenen Daten lässt sich die folgende Energie-Bilanz des motorisierten Individualverkehrs ermitteln (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Gesamter Energieverbrauch der Fahrzeugtypen pro Jahr im Quartier

Parameter	Einheit	Krafträder	PKW Benzin	PKW Diesel	PKW alternativ
Anzahl	-	54	385	180	22
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	4.655	277.033	225.767	43.174
Energiebedarf	MWh/a	42	2.499	2.249	43

Insgesamt fällt für den Verkehr ein jährlicher Energiebedarf von rund 12.071 MWh an.

Energieverbrauch nach Fahrzeugtyp und Antriebsart

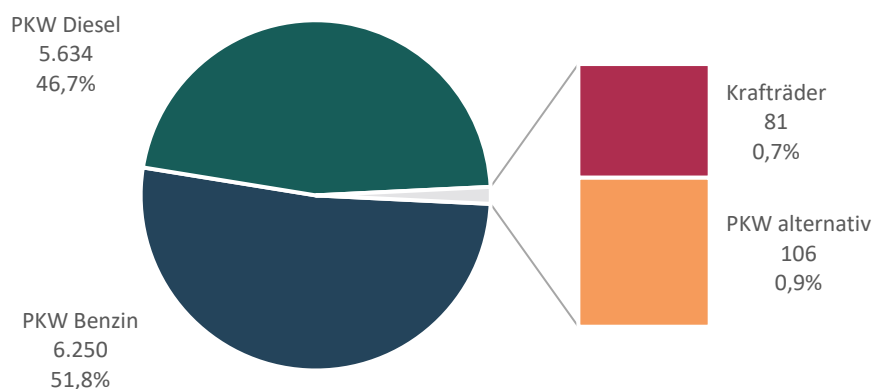


Abbildung 2-15: Anteile am Energieverbrauch nach Fahrzeugart und Antriebtyp

2.2.3.3 CO₂-Bilanz

Zur Ermittlung der CO₂-Mengen werden die bisher aufgeführten fahrzeugspezifischen Kraftstoffverbräuche mit dem CO₂-Faktor (30) verknüpft (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10: CO₂-Faktor nach Kraftstoffart (bezogen auf Heizwert), CO₂-Faktor für Strom entspricht dem deutschen Strommix

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 jährlich etwa 3.216 Tonnen an CO₂ verursacht.

Tabelle 11: CO₂-Bilanz Verkehr

	Krafträder	PKW Benzin	PKW Diesel	PKW alternativ
Energiebedarf [MWh/a]	42	2.499	2.249	43
Emissionsfaktor [t CO ₂ /MWh]	0,264	0,264	0,266	0,435
CO ₂ -Ausstoß [t/a]	11,1	659,7	598,1	18,8

Diese Verteilung der verkehrsbasierten Emissionen entsprechend ihren Verursachern ist in der folgenden Darstellung abgebildet.

2.2.4 Gesamte Energie- und CO₂-Bilanz

Bei der zusammenfassenden Energie- und CO₂-Bilanz werden alle im Quartier anfallenden Energieverbräuche 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 12: Gesamt Energie- und CO₂-Bilanz für das Quartier „Südwestliche Altstadt“

Energiebereich	Endenergieverbrauch [MWh/a]	CO ₂ -Emissionen [t/a]
Strom	5.944	2.586
Wärme	27.000	4.891
Verkehr	12.071	3.216
Gesamt	45.016	10.651

Der jährliche Endenergieverbrauch liegt im Quartier bei ca. 45.000 MWh. Dabei werden etwa 60 % der Endenergie zur Wärmebereitstellung – Raumwärme und Warmwasser – benötigt. 27 % des Endenergieverbrauches sind dem Verkehr im Quartier zuzuordnen. Lediglich 13 % der Endenergie werden als Strom zur Verfügung gestellt. Die jährlichen energiebedingten CO₂-Emissionen im Quartier liegen insgesamt bei ca. 10.500 Tonnen pro Jahr. Diese entfallen zu 50 % auf den Bereich Wärme, zu 29 % auf den Bereich Verkehr und zu 23 % auf den Bereich Strom Abbildung 2-16. Dies entspricht einer üblichen Verteilung eines ähnlich strukturierten Quartiers.

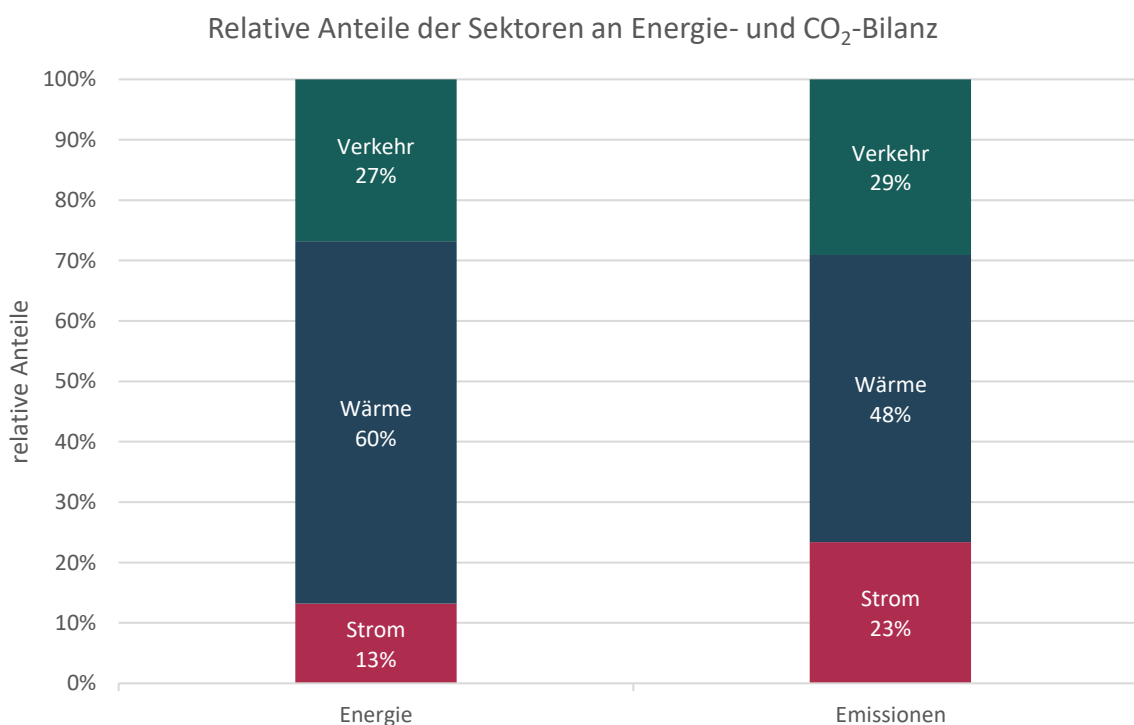


Abbildung 2-16: Relative Verteilung der Energie- und CO₂-Bilanz über die verschiedenen Sektoren

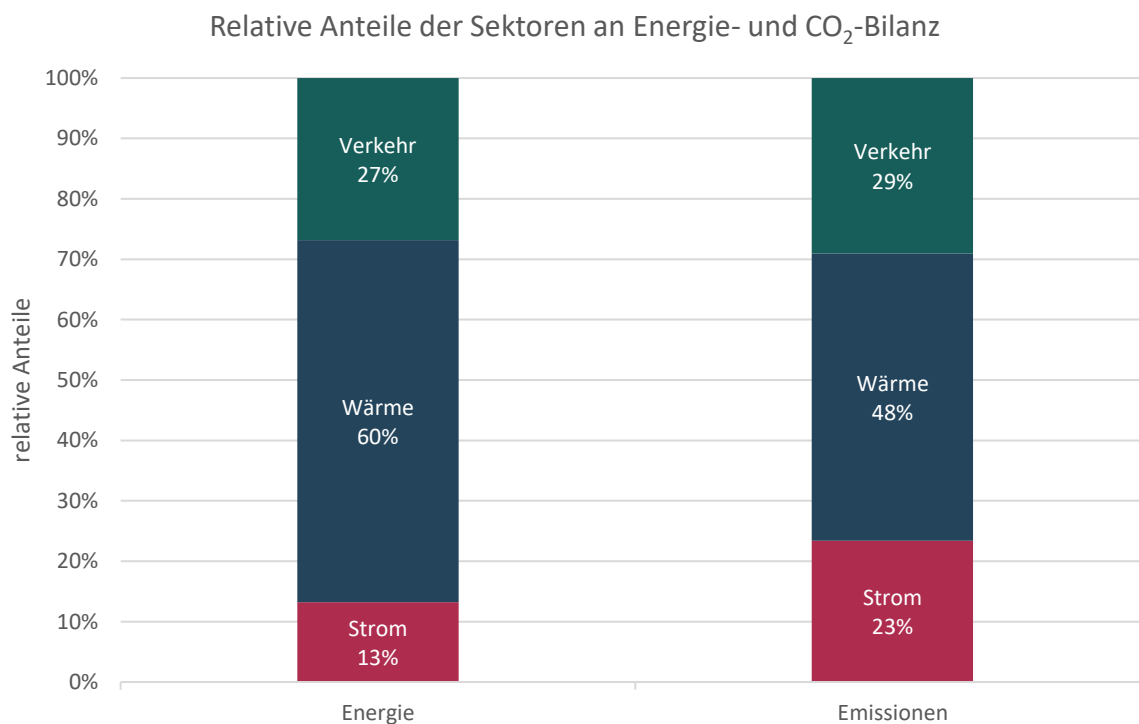


Abbildung 2-16: Relative Verteilung der Energie- und CO₂-Bilanz über die verschiedenen Sektoren

Abbildung 2-17 gibt eine Übersicht zum Gesamtenergieverbrauch im Quartier „Südwestliche Altstadt“ wieder. Der Großteil (33,9 %) wird in Form von Erdgas im Quartier für Raumwärme und Warmwasser benötigt.

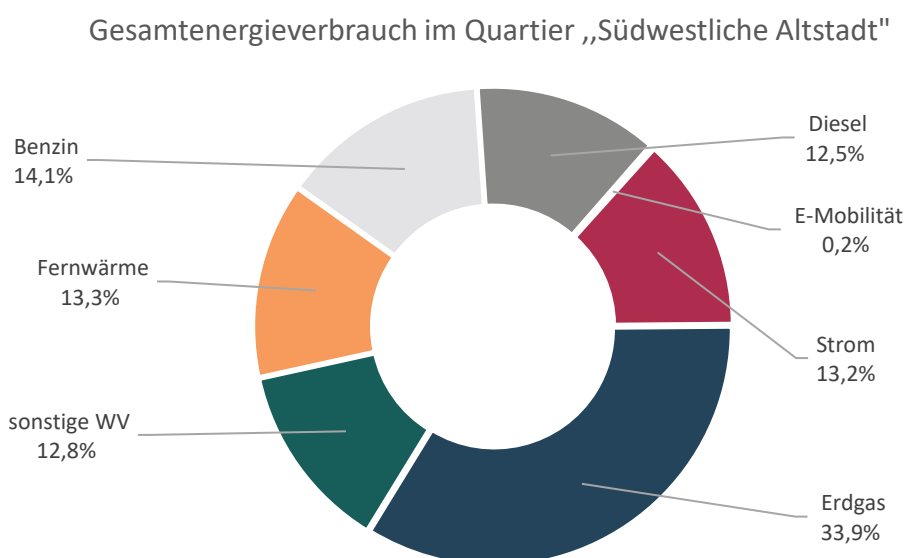


Abbildung 2-17: Übersicht zum Gesamtenergieverbrauch im Quartier „Südwestliche Altstadt“

3 Potenzialanalyse

Um das Ziel der angestrebten Klimaneutralität zu erreichen, müssen zum einen erneuerbare Energien ausgebaut und zum anderen der Energieverbrauch 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 sowie die Grün-, Frei- und Spielflächen untersucht.

3.1 Solarenergie

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. Hierfür kommen sowohl unbebaute Freiflächen infrage, die keine umliegende Verschattung aufweisen als auch Dachflächen. Solaranlagen auf Parkplätzen stellen einen Sonderfall der Dachanlage dar.

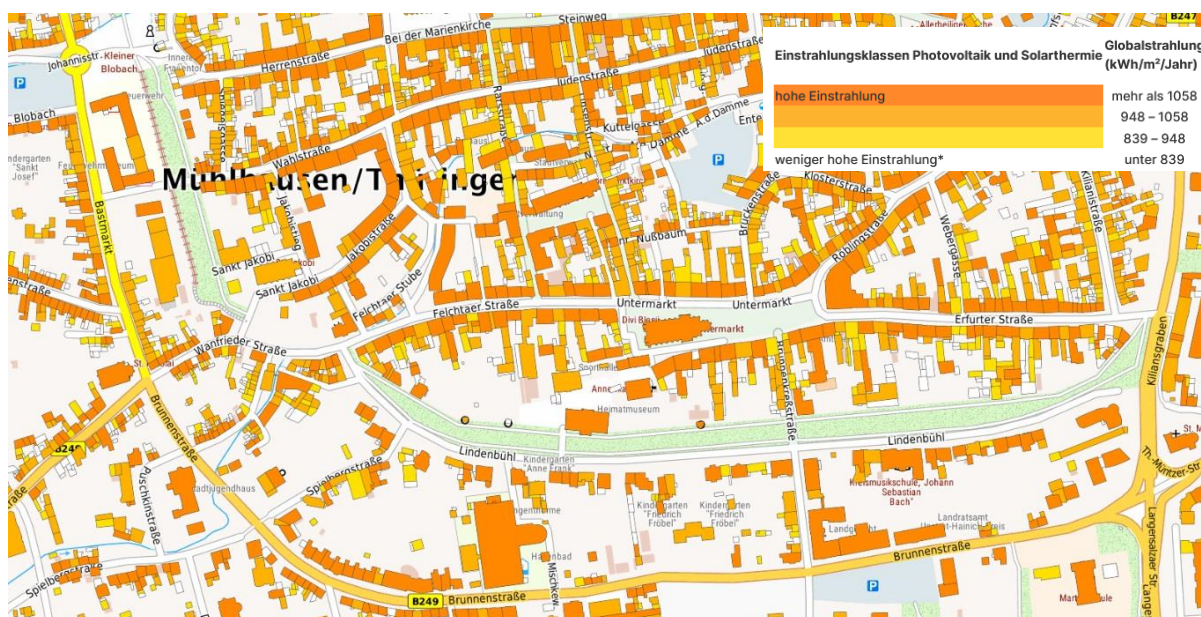


Abbildung 3-1: Solarpotenzial für PV-Anlagen und Solarthermie im Quartier „Südwestliche Altstadt“

3.1.1 Solarenergie – PV-Dachanlagen

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, Raumlufttechnische Anlagen o. ä.) und Bauform.

Mit Hilfe des Solarrechner Thüringen (31) wurde das Potenzial für Photovoltaikanlagen inkl. des zu erwartenden jährlichen Ertrags abgeschätzt, wobei mit einem zu erwartenden spezifischen

Jahresertrag von rund 950 kWh/kW_p gerechnet wurde. Daraus ließ sich auch auf das vorhandene Flächenpotenzial der Dachflächen schließen.

Neben Dachflächen können auch Fassaden mit Solarmodulen ausgestattet werden. In einem innerstädtischen Quartier wie der südwestlichen Altstadt ist die Verschattung durch umliegende Gebäude sehr hoch. Außerdem ist der Einsatz von Fassadenmodulen (gleich ob Photovoltaik oder Solarthermie) aufgrund des Denkmalschutzes eingeschränkt: Laut Altstadtsatzung sind PV-Anlagen auf Dach- und Fassadenflächen nur zulässig, wenn sie vom öffentlichen Straßenraum nicht einsehbar sind (32). In diesem Kontext wird das Potenzial von Fassadenflächen nicht weiter vertieft.

Aus den genannten Flächen und Kennzahlen ergaben sich die in Tabelle 13 aufgelisteten Energiepotenziale für das Gesamtquartier bei vollständiger Belegung aller nutzbaren Dachflächen. Als nutzbare Dachflächen werden alle annähernd nach Süden ausgerichteten Dachflächen betrachtet. Dabei wurde keine Rücksicht auf die Sichtbarkeit der PV-Anlage von der Straßenseite genommen, wie es in der Altstadtsatzung gefordert wird, um das technisch nutzbare Potenzial aufzuzeigen. Es wurde jedoch mit Abschlägen (33 %) bei der PV-Leistung durch Schornsteine, Giebel und andere Dachaufbauten gerechnet, auf die der Solarrechner Thüringen keine Rücksicht nimmt.

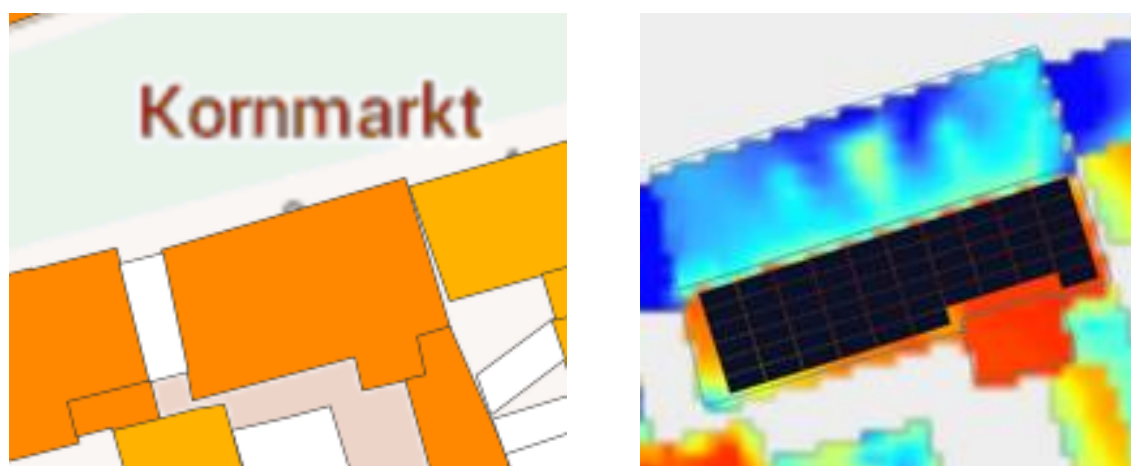


Abbildung 3-2: Beispielhafte Belegung eines Teilgebäudes (straßenabgewandte Seite) des Hotels und Gastwirtschaft „Brauhaus zum Löwen“ am Kornmarkt 3 mit Hilfe des Solarrechner Thüringen, analog wurden alle Gebäude im Quartier zur Ermittlung der PV-Potenzials untersucht, links das geschätzte Einstrahlungspotenzial und links die Belegung der Dachfläche mit PV-Modulen

Tabelle 13: Potenziale Solarenergie (PV) von Dachflächen

Pos.	Einheit	Wert
Nutzbare Dachfläche im Quartier	m ²	18.280
Potenzial PV - Anlagenleistung	kW _p	4.378
Potenzial PV - Ertrag	MWh/a	5.071
Geschätzte Investitionskosten	EUR	7.800.000

Mit dem in Tabelle 13 aufgezeigten Potenzial könnte der Strombedarf im Quartier bilanziell zu 85 % gedeckt werden. Dadurch würde sich eine CO₂-Einsparung von 2.200 t/a ergeben, wobei sich die Investitionskosten für die installierte Leistung mit Standardmodulen aktuell auf rund 8 Mio. EUR belaufen würden.

Exkurs: Photovoltaik und Denkmalschutz

Im Rahmen der Gespräche mit den Akteuren im Quartier (u. a. während der Akteursworkshops) hat sich herauskristallisiert, dass in der mittelalterlichen Altstadt sehr großer Wert auf die Erhaltung der historischen Bausubstanz, die Dachlandschaft und Stadtansicht gelegt wird. Die Anstrengungen des Denkmalschutzes sind in diesem Bereich sehr groß, was sich natürlich auch auf die Erschließung eines theoretisch vorhandenen Potenzials an solarer Energie auswirkt.

Zunächst sollen allgemeine Lösungshinweise zur denkmalverträglichen Solarenergienutzung gegeben werden:

- Die Solaranlage ist an Form und Rand des Daches angepasst; sie ist im Anstellwinkel mit dem Dach identisch und ragt nicht über First und Ortgang hinaus. Ausrichtung und Proportion der Anlage ist an Dachflächenfenster ausgerichtet und angepasst.
- Die Solaranlage ist an Farbe und Glasur des Daches farblich angepasst und besitzt verdeckte Befestigungen bei Aufdachlösungen. Solarziegel und dachintegrierte Lösungen bieten die optisch ansprechendste Lösung.
- Idealerweise ist die Solaranlage aus dem öffentlichen Raum nicht einsehbar oder vom öffentlichen Raum einsehbar.
- Die Solaranlage wird auf einem Flachdach oder auf einem für das Denkmal nicht bedeutenden Dach errichtet.



Abbildung 3-3: Rote PV-Module (AXSun Solar AX M-108 premium ensemble)



Abbildung 3-4: PV-Ziegel bei der Montage (Autarq GmbH)

Zur Integration von Photovoltaik in denkmalgeschützte Gebäude bieten sich rote PV-Module an (siehe Abbildung 3-3). Rote Photovoltaik-Anlagen bieten eine ästhetisch ansprechende Lösung für die Integration erneuerbarer Energiequellen in denkmalgeschützte Gebäude. Die warmen, erdigen Töne der roten Module harmonisieren hervorragend mit der traditionellen Architektur und fügen sich nahtlos in das historische Umfeld ein. Im Gegensatz zu konventionellen schwarzen oder blauen Solarzellen bewahren rote PV-Anlagen die visuelle Attraktivität des Gebäudes und ermöglichen dennoch den Einsatz modernster Technologie. Diese innovative Designlösung eröffnet die Möglichkeit, nachhaltige Energieerzeugung und Denkmalschutz miteinander zu verbinden und somit historische Bauten in eine grüne, zukunftsweisende Energieversorgung einzubinden. Die Leistung solcher Module liegt mit ca. 365 W_p je Modul etwas unter der Leistung handelsüblicher schwarzer Module. Dadurch ist der Ertrag dieser Module um etwa 10 % geringer. Außerdem entstehen für diese Sonderform der PV-Module etwa 20 % Mehrkosten.

Solarziegel (siehe Abbildung 3-4) stellen eine innovative Alternative zu klassischen PV-Modulen dar. Sie integrieren sich nahtlos in die Dacharchitektur, da sie wie normale Dachziegel aussehen. Der ästhetische Vorteil geht jedoch mit leicht reduzierter Energieeffizienz einher, wobei Solarziegel in der Regel etwas weniger Leistung bieten als herkömmliche PV-Module. Dennoch sind sie eine attraktive Option für ästhetisch anspruchsvolle Umgebungen, da sie die Gesamtoptik des Gebäudes nicht beeinträchtigen und flexible Installationsmöglichkeiten bieten. Je Solarziegel werden Investitionen von ca. 25 EUR (netto) geschätzt, wobei ein Solarziegel eine Leistung von ca. 8 W_p hat (32).

Beispiel: Amtsgericht (Untermarkt 17)

Das Gebäude des Amtsgerichts (Untermarkt 17) wurde mit dem Solarrechner Thüringen analysiert und das PV-Potenzial ermittelt. Die verfügbare Dachfläche beträgt 159 m², wie in Abbildung 3-5 die Belegung mit Standardmodulen als Aufdachanlage zeigt. Ausgewählt wurde diese Dachfläche anhand der oben genannten Hinweise zum Denkmalschutz: Die Solaranlage wäre bei dieser Positionierung vom Untermarkt nicht und von Süden (Lindenbühl) nur teilweise oder untergeordnet einsehbar. In Tabelle

14 werden die Unterschiede der verschiedenen PV-Lösungen herausgearbeitet. Lösungsvarianten - der Einsatz von klassischen schwarzen Modulen, denkmalschutzfreundlicheren Lösungen, wie rote Module oder Solarziegel - werden verglichen. Es wird deutlich, dass Solarziegel die teuerste Lösung mit den höchsten CO₂-Vermeidungskosten mit 512 €/t darstellen.

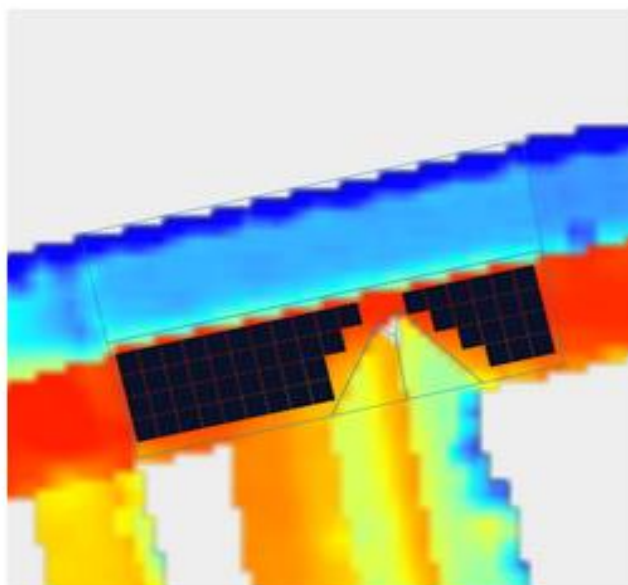


Abbildung 3-5: Belegung des Daches des Amtsgerichts mit einer Aufdachanlage (PV)

Tabelle 14: PV-Anlage für das Amtsgericht, Vergleich verschiedener PV-Lösungen

Parameter	Einheit	Standardmodul - Aufdach	rotes Modul - Aufdach	rotes Modul - Indach	Solarziegel - rot
verfügbare Fläche	m ²	159	159	159	159
Modulanzahl	-	57	57	30	1.817
Leistung je Modul	Wp	400	360	360	8
Gesamtleistung	kWp	23	21	11	15
Ertrag Standardmodul	kWh/a	20.520	18.468	9.720	13.247
Investitionskosten	EUR	25.500	30.600	24.158	45.429
Gesamtkosten (20 a)	EUR	33.150	39.780	31.405	59.057
CO ₂ -Einsparung	t/a	9	8	4	6
CO ₂ -Vermeidungskosten	EUR/t	186	248	371	512
Gestehungskosten	ct/kWh	8	11	16	22

Beispiel: PV-Carport

Als eine Besonderheit einer Dachanlage ist ein PV-Carport, der die Schutzfunktion für Fahrzeuge eines traditionellen Carports mit der nachhaltigen Energieerzeugung durch Photovoltaik-Module verbindet. 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, wenn er mit Ladestationen für Elektrofahrzeuge kombiniert wird.

Im Quartier „Südwestliche Altstadt“ ist dafür ganz besonders die Parkplatzfläche hinter den Verwaltungsgebäuden des Thüringer Landesamtes für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR) in der Brunnenstraße 94 geeignet (siehe Abbildung 3-6). Die Fläche wird bislang nur als Parkplatzfläche genutzt und gleichzeitig besteht ein Bedarf (in Zukunft in zunehmendem Maße) an elektrischer Energie für E-Fahrzeuge.

Tabelle 15: Maße des PV-Carports mit der installierbaren PV-Leistung

Parameter	Einheit	Wert
Breite	m	35
Tiefe	m	10
Höhe	m	2,5
Länge Modul	m	1,8
Breite Modul	m	1
Anzahl Module	In der Länge	19
	In der Breite	10
Gesamt	-	190
Modulleistung	kW _p	0,4
Gesamtleistung	kW_p	76
Jahresertrag	kWh/a	68.400

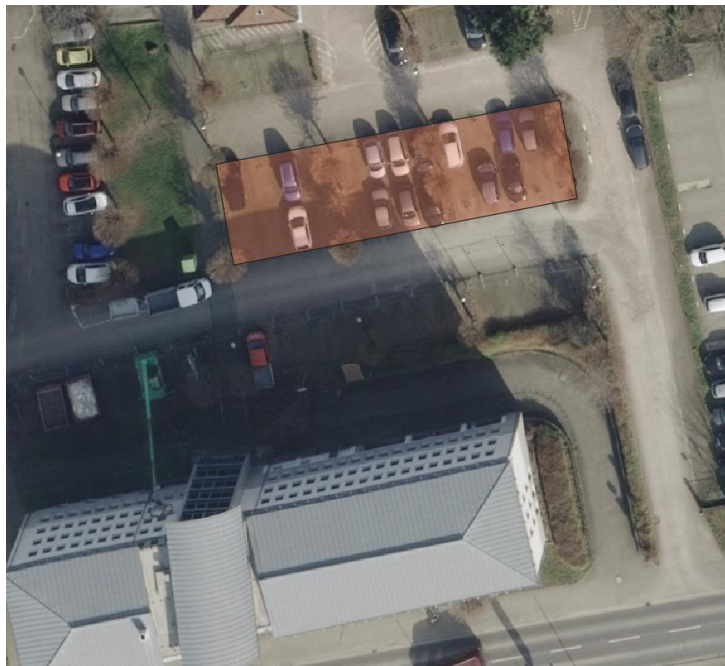


Abbildung 3-6: rot markiert die geeignete Fläche für einen PV-Carport hinter der Brunnenstraße 94

3.1.2 Solarenergie – PV-Freiflächenanlage

Die Errichtung einer PV-Freiflächenanlage als Ersatz oder Ergänzung zu einer PV-Dachanlage in einem Stadtquartier stellt eine berichtenswerte Alternative dar. Eine Errichtung einer PV-Freiflächenanlage außerhalb des Stadtquartiers hat zunächst gewisse Vorteile:

- **Höhere mögliche Erzeugerleistung:** Grundsätzlich kann eine größere Erzeugerleistung an Photovoltaik gegenüber von Dachanlagen errichtet werden, weil für diesen Maßstab keine technische Begrenzung der verfügbaren Flächen für PV-Module herrscht.
- **Höherer Jahresertrag:** Durch eine reduzierte Verschattung und optimale Ausrichtung der PV-Module kann ein besserer Ertrag bei gleicher installierter Nennleistung erzielt werden.
- **Geringe spezifische Investitionskosten:** Bei reiner Betrachtung der Investitionskosten ist eine Freiflächenanlage kostengünstiger als eine Dachinstallation bei gleicher installierter Leistung, insbesondere wenn die Fläche bereits verfügbar ist.
- **Insgesamt sind die Stromgestehungskosten günstiger als bei einer Dachanlage.** Diese entsprechen jedoch nicht dem tatsächlichen Strompreis, den ein möglicher Betreiber einer Freiflächenanlage verlangen würde.

Diesen Vorteilen stehen gewisse Nachteile gegenüber:

- **Landnutzungskonflikte:** Es kann zu Konflikten mit anderen Landnutzungsinteressen führen, wie Landwirtschaft oder Naturschutz.
- **Transportkosten und Netzbelastung:** Um den erzeugten Strom außerhalb des Stadtquartiers ins Quartier zu transportieren, muss das Netz der öffentlichen Versorgung verwendet werden. Das führt zu einem zu Netznutzungsentgelten, die bei Dachanlagen entfallen. Zum anderen wird das Netz zusätzlich belastet, weil der erzeugte Strom nicht vor Ort direkt verbraucht wird.

- Planungs- und Genehmigungsverfahren: Die Realisierung von Freiflächenanlagen erfordert oft aufwändigere Planungs- und Genehmigungsverfahren im Vergleich zu Dachinstallationen. Insbesondere wenn die Fläche zunächst erworben oder gepachtet sowie erschlossen werden muss.

Die Stadt Mühlhausen sucht derzeit nach geeigneten Standorten für PV-Freiflächenanlagen. Deshalb wird eine Potenzialanalyse erarbeitet.

Tabelle 16 fasst die notwendigen Parameter zum Erreichen einer bilanziellen Volldeckung des derzeitigen Strombedarfs im Stadtquartier zusammen. Die ermittelten Vermeidungskosten je Tonne CO₂ bei 20 Betriebsjahren liegen bei 96 EUR/t.

Tabelle 16: Kennwerte einer PV-Freiflächenanlage zur bilanziellen Deckung des derzeitigen Strombedarfs im Quartier „Südwestliche Altstadt“

Parameter	Einheit	Wert
Strombedarf im Quartier	MWh/a	5.879
Spezifischer Jahresertrag	kWh/kW _p	900
notwendige Leistung	MW _p	6,53
Kostenschätzung	EUR	4.899.464
Flächenbedarf	m ²	58.794
CO ₂ -Einsparpotenzial	t/a	2.558
Emissionsvermeidungskosten	EUR/a	96

3.1.3 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 Ballongasse betreiben. Deren Anteil an der Fernwärme beträgt derzeit rund 15 %. Das theoretische ermittelte Potenzial sowohl für Flach- als auch Vakuumröhrenkollektoren wird in Tabelle 17 aufgeführt. Bei einem derzeitigen Gesamtwärmebedarf von 27.000 MWh/a wäre eine rechnerische Deckung von bis zu 36 % 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 17: Theoretisches Potenzial an solarthermischen Anlagen im Quartier

Parameter	Einheit	Wert
Nutzbare Dachfläche im Quartier	m ²	18.280
Potenzial Solarthermie Flachkollektor	MWh/a	6.434
Potenzial Solarthermie Vakuumröhrenkollektor	MWh/a	9.900

Analog zur PV gibt es auch hier den Konflikt mit den Zielen des Denkmalschutzes. Deshalb würden sich auf den Dächern historischer Gebäude Flachkollektoren aufgrund der günstigeren optischen Integration in die Dachhaut besser eignen. Rote Absorberflächen bei Flachkollektoren analog zu roten PV-Modulen sind auf dem Markt derzeit nicht verfügbar und technisch eine Herausforderung für Hersteller.

Beispiel: Solarthermische Wärmeversorgung im Denkmalschutz

Solarthermie kann einen erheblichen Teil des Wärmebedarfs auch in Altbauten decken, vorausgesetzt, bestimmte Bedingungen sind erfüllt. Dazu gehören eine günstige Dachausrichtung für die maximale Nutzung von Sonnenstrahlung sowie ausreichend Platz für Langzeitsolarspeicher.

Für den Einsatz von Solarthermie in denkmalgeschützten Altbauten bieten sich Flachkollektoren an. Diese ermöglichen die optisch beste Integration der Solarthermieanlage in die Architektur, die im Einklang mit den Anforderungen des Denkmalschutzes stehen. Eine wichtige Voraussetzung für hohe solare Deckungsgrade ist eine energetische Sanierung der Gebäudehülle, soweit das im Rahmen des Denkmalschutzes möglich ist.

Abbildung 3-7 zeigt eine gelungene Sanierung mit Umbau zu einem Solarhaus nach den Standards des Sonnenhaus Institut e. V. durch die FASA AG. Es wurde eine solare Deckung des Wärmebedarfs von mehr als 70 % erreicht. Die Nachheizung des solaren Langzeitspeichers (25 m³ Volumen) erfolgt durch einen Stückholzkessel (wasserführender Kaminofen). Grundsätzlich kann das auch durch einen Gaskessel, Pelletkessel oder Fernwärme erfolgen.



Abbildung 3-7: Historisches Haus aus dem 16. Jhd. in der Altstadt von Freiberg (Sachsen) mit einem solaren Deckungsgrad des Wärmebedarfs von mehr als 70 %; links Innenhof (straßenabgewandt) und rechts die Straßenansicht (Quelle: FASA AG)

3.1.4 Weitere regenerative Wärmequellen

Die Wärmepumpe fungiert als Schlüsseltechnologie zur nachhaltigen Wärmeversorgung von Gebäuden, indem sie verschiedene Umweltwärmequellen wie Luft, Erdreich oder Grundwasser nutzt. Das Prinzip beruht darauf, dass Umweltwärme genutzt wird, um ein Kältemittel zu verdampfen. Dies geschieht bereits bei Temperaturen, die knapp unterhalb der Quelltemperatur liegen, aufgrund der speziellen Eigenschaften des Kältemittels. Der Kältemitteldampf wird anschließend im Verdichter der Wärmepumpe durch den Einsatz elektrischer Energie verdichtet. Dabei kondensiert der Dampf in einem Wärmetauscher unter Wärmeabgabe bei einem für die Heizung nutzbarem Temperaturniveau. Die so gewonnene Wärme wird an den Heizkreislauf oder ein Wärmenetz weitergeleitet. Um den Kreislauf zu schließen, wird das nun flüssige Kältemittel durch ein Expansionsventil entspannt und erneut dem Prozess zugeführt.

Die Effizienz einer Wärmepumpe im tatsächlichen Betrieb ergibt sich aus der Jahresarbeitszahl (JAZ) als Quotient aus erzeugter Wärme zu eingesetzter elektrischer Energie. Eine JAZ von 3 bedeutet, dass mithilfe von 1 kWh elektrischer Energie 3 kWh Wärme bereitgestellt werden. 2 kWh Wärme werden dabei der genutzten Wärmequelle entzogen. 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 energetische Gebäudesanierung hat nicht nur eine Einsparung an Heizenergie zur Folge, sondern führt auch zur Absenkung der notwendigen Vorlauftemperatur im Heizsystem. Besonders vorteilhaft

sind dabei Flächenheizungen (Wand-, Decken- oder Fußbodenheizungen). Diese wiederum begünstigen den effizienten Einsatz von Wärmepumpen, sind aber keine Grundvoraussetzung für deren Einsatz. Auf dem Markt sind mittlerweile Wärmepumpensysteme erhältlich, die auch Vorlauftemperaturen für Heizkörper älterer Bauart bedienen können. Es muss jedoch mit Abstrichen bei der Effizienz gerechnet werden. Vor diesem Hintergrund ist der Einsatz dezentraler Wärmepumpen auch ohne massive Sanierungsmaßnahmen flächendeckend denkbar.

3.1.4.1 Geothermie

Oberflächennahe Geothermie bezieht sich auf die Nutzung der natürlichen Wärme, die in den obersten Metern der Erdoberfläche gespeichert ist (zwischen 50 und 250 m). Hierbei kommen Wärmepumpen zum Einsatz, die die im Boden gespeicherte Wärme aufnehmen und für Heizzwecke oder die Erzeugung von Warmwasser verwenden. Diese Methode ist besonders effizient in Regionen mit moderaten Temperaturen und kann in Gebieten mit geeigneten geologischen Bedingungen auch für Kühlzwecke genutzt werden.

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.

Beide Formen der Geothermie tragen dazu bei, saubere und erneuerbare Energie bereitzustellen, wobei die Wahl zwischen oberflächennaher und Tiefengeothermie von den lokalen geologischen Gegebenheiten und den spezifischen Energiebedürfnissen abhängt.

Für das in diesem Bericht betrachtete Quartier „Südwestliche Altstadt“ wird die Erschließung von Tiefengeothermie aus den folgenden Gründen nicht weiter betrachtet:

- Die Anlagen und Bohrungen benötigen einen gewissen Platz, der in der denkmalgeschützten Altstadt nicht zur Verfügung steht.
- Die bei der Bohrung entstehenden Erschütterungen könnten die historische Bausubstanz gefährden.
- Der Abtransport des anfallenden Erdreichs bei der Bohrung wäre einerseits eine Zumutung für Anwohner und andererseits könnten wiederum Schäden durch Schwerlastverkehr innerhalb der historischen Altstadt entstehen.

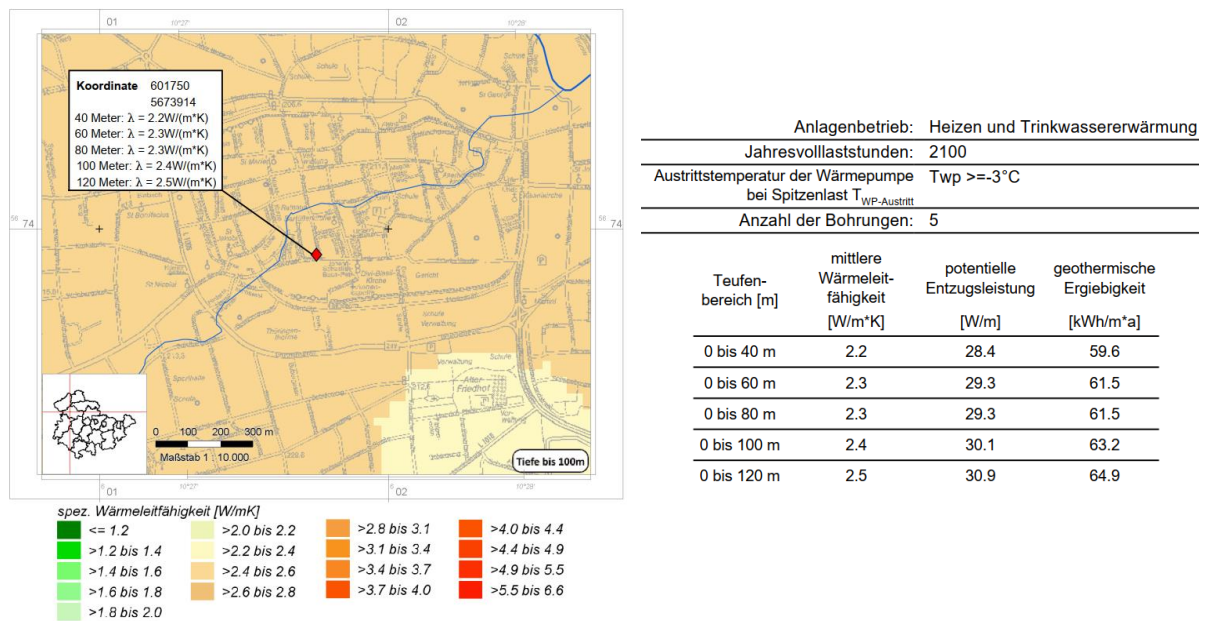


Abbildung 3-8: Geothermisches Potenzial im Gebiet der Altstadt von Mühlhausen

Die Abbildung 3-8 veranschaulicht das oberflächennahe geothermische Potenzial im Bereich der Altstadt von Mühlhausen. Die Darstellung zeigt, dass das Potenzial etwas unterhalb des deutschen Durchschnitts liegt: Die mittlere Entzugsleistung liegt bei rund 29 W/m, die geothermische Ergiebigkeit bei 60 - 65 kWh/m²a. Die durchschnittliche Einschätzung des geothermischen Potenzials weist darauf hin, dass das Gebiet grundsätzlich über eine moderate, jedoch nicht überdurchschnittliche Energiequelle aus der Erdwärme verfügt. Dies kann für zukünftige Überlegungen zur Nutzung geothermischer Ressourcen in Betracht gezogen werden.

3.1.4.2 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 Sanierung dieser. Idealerweise ergibt sich eine Potenzialkarte, wie z. B. das der Stadt Villingen-Schwenningen (33) anhand der die

wirtschaftlich und technisch sinnvolle Einbindung von Abwasserwärme beispielsweise in die Fernwärme abgeschätzt und bewertet werden kann.

3.2 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.

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.

Die südwestliche Altstadt ist ein städtisch geprägtes Quartier mit sehr wenigen Grünflächen und entsprechend kleiner Baumstruktur, sodass Grünschnitt in unverhältnismäßig kleinen Mengen anfällt.

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 sich aktuell in Bau befindliche 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 „Südwestliche Altstadt“ 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.

Ein weiteres augenscheinliches Potenzial sind die Waldflächen des Hainich. Dieser ist jedoch ein Nationalpark und soll als „Urwald“ naturbelassen bleiben. Restholz verbleibt daher im Wald und eine wirtschaftliche Nutzung ist ausgeschlossen.

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.

Aufgrund dessen, dass das Quartier in überwiegendem Maße durch Wohngebäude, Einzelhandel und Kleingewerbe geprägt ist, fehlt es an ausreichend großem Abwärmepotenzial aus industriellen Prozessen. Deshalb wird Abwärme als erneuerbare Energiequelle nicht weiter in Betracht gezogen.

3.4 Effizienz Wärme

3.4.1 Gebäudestruktur

Die Gebäudestruktur des Stadtquartiers ist überwiegend durch Reihenhäuser in Blockrandbebauung geprägt. Diese Gebäude stammen größtenteils aus den Baujahren bis 1870, wobei südlich der Stadtmauer auch Gebäude aus der Gründerzeit (um 1900) in Blockrandbebauung vorhanden sind. Die Altstadt, charakteristisch für ihre historischen Bauten, steht unter Denkmalschutz, was eine Herausforderung, aber auch eine Verpflichtung für jegliche energetische Sanierungsmaßnahmen darstellt.

Die Abbildung 2-6 verdeutlicht, dass Wohn- und Gewerbegebäude mit 76 % einen bedeutenden Anteil am Wärmebedarf des Quartiers ausmachen (entspricht 20.485 MWh/a). Obwohl in den vergangenen Jahren bereits umfangreiche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden, bestehen weiterhin Energieeinsparpotenziale.

In der Veröffentlichung des Sächsischen Staatsministeriums des Innern „Energetische Sanierung von Baudenkmalen“ aus dem Jahr 2011 (34) werden verschiedene Gebäudegruppen hinsichtlich Sanierungsmaßnahmen und Denkmalverträglichkeit untersucht. Dabei wird zwischen Erhalt des Erscheinungsbildes als auch der Substanz unterschieden. Um die historische Authentizität der Altstadt zu bewahren und gleichzeitig moderne Standards der energetischen Effizienz zu erreichen, ist es notwendig ausgewogene Lösungsoptionen zu finden, die die Anforderungen an Wärmebedarfseinsparungen mit Denkmalschutz verbinden. Anhand der Ergebnisse jener Veröffentlichung sollen typische Gebäudearten des Quartiers hinsichtlich Einsparpotenzialen des Wärmebedarfs mit Blick auf Denkmalverträglichkeit betrachtet werden. Die Einsparpotenziale beziehen sich dabei auf eine Ausgangsvariante, bei der

noch keine energetische Ertüchtigung erfolgt ist. Die Bewertungsmatrix unterteilt dabei entsprechend dem Einsparpotenzial und der Denkmalverträglichkeit:

Entsprechend ihrem energetischem Einsparpotenzial:

- I niedrige Energieeffizienz
- II mittlere Energieeffizienz
- III hohe Energieeffizienz

Entsprechend ihrer Denkmalverträglichkeit

- kaum verträglich
- ~ bedingt verträglich
- + gut verträglich



Abbildung 3-9: Beispiel für ein Gebäude für mehrgeschossige Reihenwohnhäuser in Blockrandbebauung (bis 1870), hier Linsenstraße 12 in Mühlhausen

In der oben genannten Veröffentlichung sind folgende Maßnahmen aufgeführt:

1	Wärmedämmung der Kellerdecke bzw. der Bodenplatte
2	Dämmung der oberen Geschossdecke
3	Dachdämmung
3a	Zwischensparrendämmung
3b	Aufsparrendämmung
4	Außendämmung
4a, b	Außenwanddämmung mit WDVS
4c, d	Wärmedämmung hinter Holzverschalung
4e, f	Wärmedämmputz
4g	Außenwand-Innendämmung
5	Senkung Lüftungsverluste
5a	Aufarbeiten (Abdichten) von Fenstern
5b, c	Austausch von Fenstern und Türen
5d	Einbau zusätzlicher Fensterebene
5e	Einbau mechanischer Lüftung mit Wärmerückgewinnung
6	Steigerung der Anlageneffizienz
7	Einsatz von Solarthermie
8	Einsatz von Photovoltaik
9	Anschluss an Nah- und Fernwärmenetze aus KWK
10	Nutzung von Umweltwärme (z. B. Geothermie)

In grau gesetzte Punkte sind in (35) mit aufgeführt, aber für die rein energetische Sanierung irrelevant bzw. wird die Wärme- und Energietechnik an anderer Stelle in diesem Bericht bereits diskutiert.

Tabelle 18: Einsparpotenziale der häufigsten Bebauungsart im Quartier gemäß der Abbildung 3-10 und Abbildung 3-11

Gebäudetyp	Einsparpotenziale	
	ohne Außenwanddämmung	mit Außenwanddämmung
mehrgeschossige Reihenhäuser, Blockrandbebauung, Bj. bis 1870	33 % 19 % / ohne mechanische Lüftung	45 %
mehrgeschossige Reihenhäuser, Blockrandbebauung, Bj. 1870 bis 1920	23 % 14 % / ohne mechanische Lüftung	34 %

Davon sind für den hier vorliegenden Bericht die Punkte 1 bis 5 mit Blick auf die energetische Sanierung relevant, deshalb wird im weiteren Verlauf nur auf diese für die unterschiedliche Bebauungsarten eingegangen.

Es werden für die Bewertung und Einschätzung der Einsparpotenziale durch energetische Sanierung zwei Gebäudetypen herausgezogen, die exemplarisch für den Großteil der Bebauung des Quartiers sein sollen. Dabei handelt es sich um mehrgeschossige Reihenhäuser in Blockrandbebauung einerseits bis zum Baujahr 1870 (Beispielhaus in Abbildung 3-9) und andererseits typische Gründerzeithäuser und Gebäude der Jahrhundertwende (Baujahre 1870 bis 1920), so z. B. auf der südlichen Seite des Lindenhühl oder Teile der Brunnenstraße (z. B. Nr. 126 bis 132). Aus der Abbildung 3-10 und der Abbildung 3-11 lassen sich die Einsparpotenziale ablesen, die in Tabelle 18 abgebildet sind.

Für das gesamte Quartier soll für die weiteren Berechnungen der Wärmebedarfe (Wärmebedarfsprognose) eine Einsparung von 20 % angenommen werden, weil nicht davon auszugehen ist, dass der Großteil der Häuser mit einer mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung (hohe Investitionskosten und Wartungsaufwand) und einer Außenwanddämmung (Denkmalschutz, Erscheinungsbild) ausgestattet wird.

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 (35). Aus der reinen Energieeinsparung allein tragen sich Sanierungen nur selten.

Eine wirtschaftliche Verbesserung kann die serielle Sanierung erreichen. Dabei werden technische Möglichkeiten zur industriellen Vorfertigung ganzer Sanierungselemente sowie eines hohen Digitalisierungsgrades in der Sanierung genutzt. Bestehende Gebäude werden hier nicht klassisch saniert, sondern die Sanierung erfolgt unter Verwendung abseits der Baustelle individuell gefertigter Fassadenelemente einschließlich Einbauten und Anlagentechnik wie Fenster oder Lüftungsanlagen und deren stückweise Montage vor der Bestandsfassade. Damit verringert sich der zeitliche Aufwand vor Ort und der Aufwand im Bau. Mit Blick auf die überwiegend mittelalterliche Bausubstanz im Quartier mit ihren sehr unterschiedlichen Baustilen ist die serielle Sanierung tendenziell weniger geeignet, weil mit dieser Methode wenig Rücksicht auf bauhistorische Besonderheiten genommen werden kann.

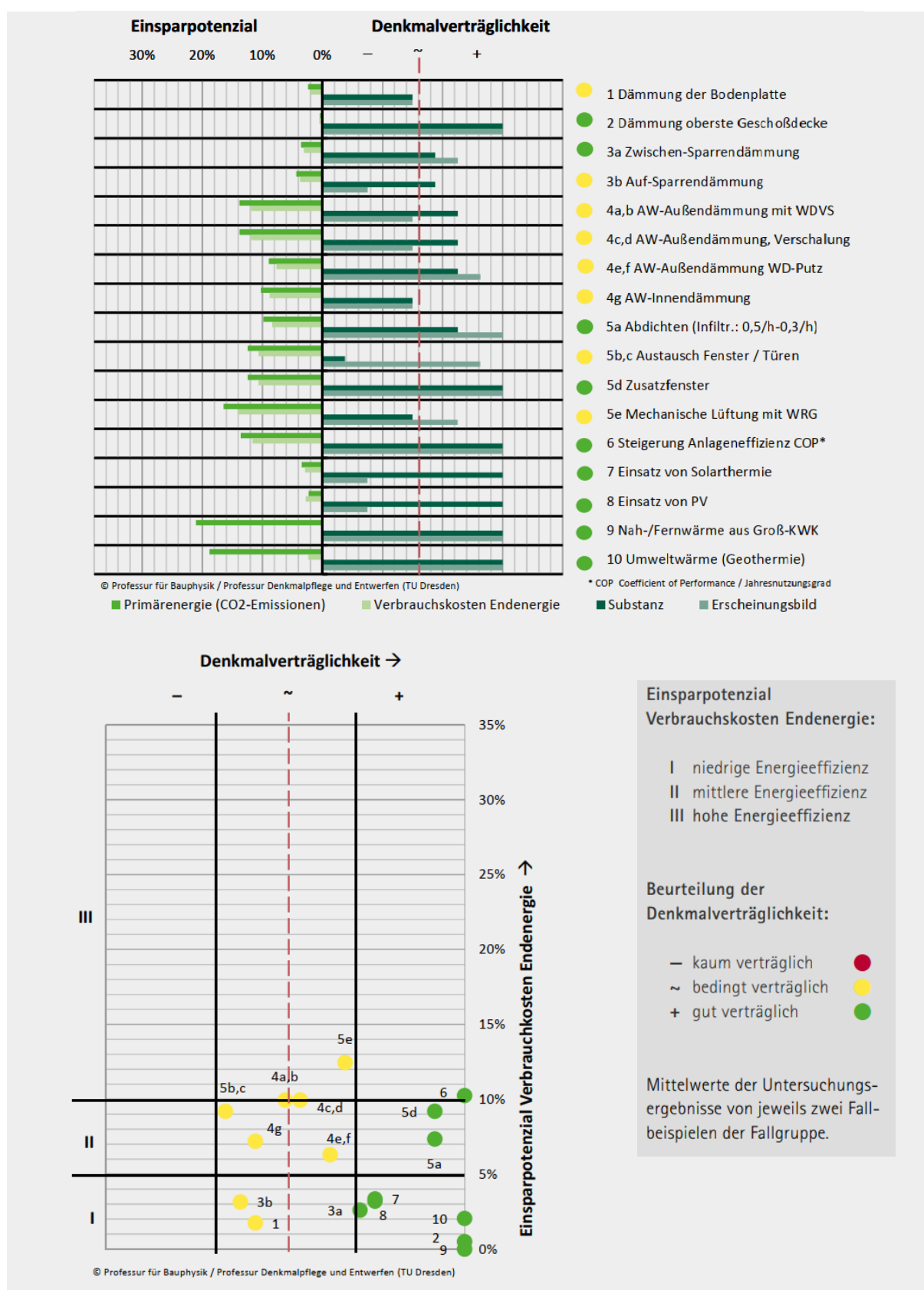


Abbildung 3-10: Einsparpotenzial und Denkmalverträglichkeit (oben), Vergleichende Beurteilung der Maßnahmen (unten), mehrgeschossige Reihenwohnhäuser in Blockrandbebauung (bis 1870)

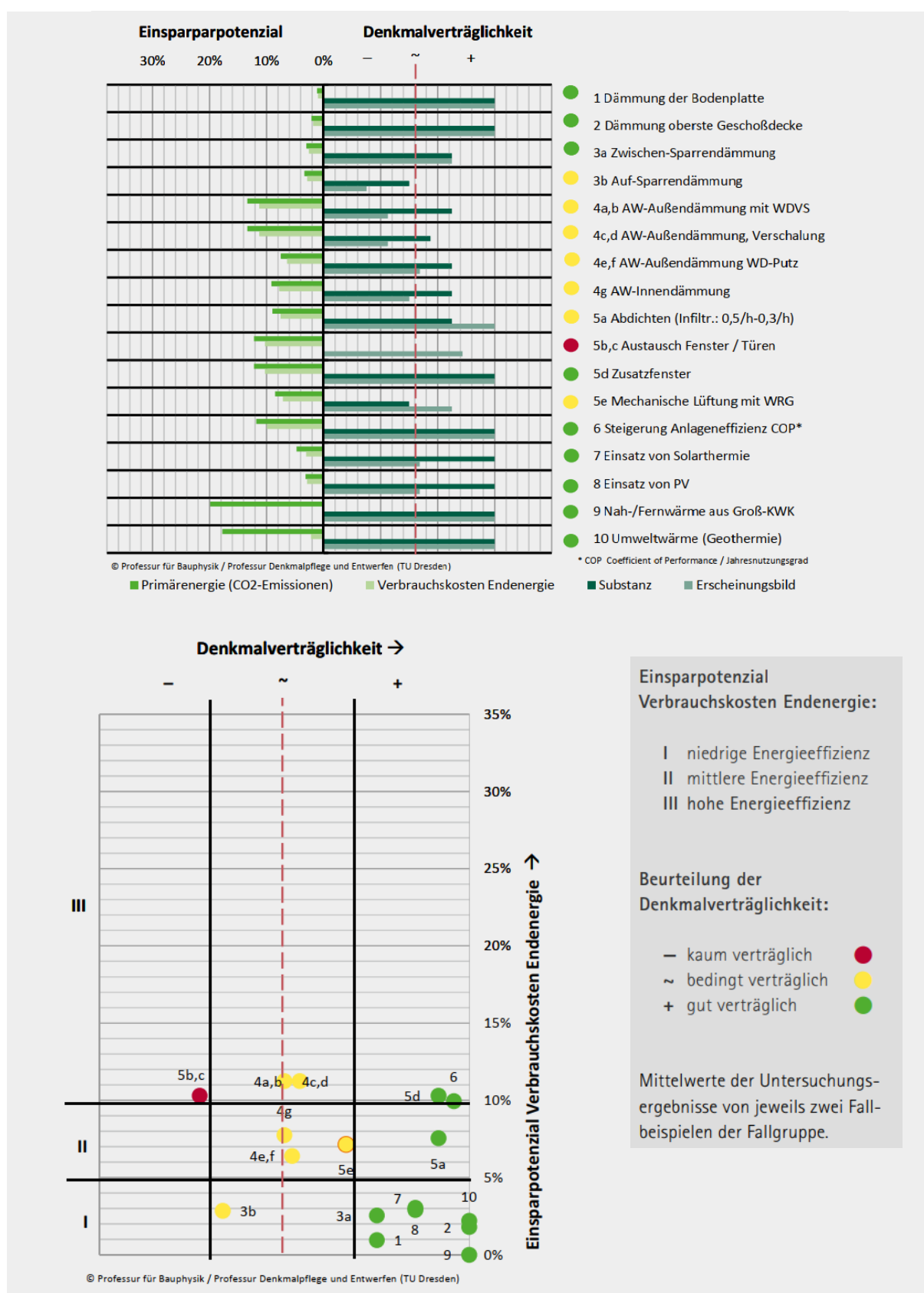


Abbildung 3-11: Einsparpotenzial und Denkmalverträglichkeit (oben), Vergleichende Beurteilung der Maßnahmen (unten), mehrgeschossige Reihenhäuser in Blockrandbebauung (1870 bis 1920)

3.4.2 Wärmeversorgung: Fernwärme

Im untersuchten Quartier spielt die Fernwärme zur Wärmeversorgung bereits eine wesentliche Rolle. Rund 22 % des Wärmebedarfs werden durch die Fernwärme der Stadtwerke Mühlhausen gedeckt. Aktuell wird das Fernwärmenetz in der Altstadt erweitert. 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 einmal.

Außerdem bietet die Fernwärmeinfrastruktur den Vorteil von Skaleneffekten. 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-Emissionfaktors 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 spätestens zum Jahr 2040 auf null gesenkt werden.

Perspektivisch kann der Ausbau in drei mögliche Szenarien untergliedert werden, die sich an den Wärmeverbräuchen orientieren:

- *Fernwärmeszenario I (kurz: FW I):* Die Trasse der Fernwärme wird über die derzeitige Erweiterung hinaus nicht ausgebaut. Es werden jedoch alle Gebäude, an denen die Fernwärmetrasse bereits vorbeiläuft, an die Fernwärme angeschlossen. Die somit erschlossenen Gebäude haben einen Anteil von knapp 16 % am gesamten Wärmebedarfs des Quartiers. Das Wärmeabsatzpotenzial beträgt bei den aktuellen Wärmebedarfen 4.290 MWh/a. Der Anteil der Fernwärme an der Wärmeversorgung im Quartier würde dadurch auf rund 38 % steigen.

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

- **Fernwärmeszenario II (kurz: FW II):** Es erfolgt eine Erweiterung der Fernwärmetrasse entlang der Achse Felchtaer Straße – Untermarkt – Erfurter Straße und es werden alle Gebäude entlang dieser Achse erschlossen. Das somit erschlossene Gebiet hat einen Anteil von über 30 % am gesamten Wärmebedarf des untersuchten Quartiers. Das Wärmeabsatzpotenzial beträgt 8.977 MWh/a. Zusammen mit dem Fernwärmeszenario I würde der Anteil der Fernwärme an der Wärmeversorgung auf rund 68 % steigen.
- **Fernwärmeszenario III (kurz: FW III):** Es werden alle Gebäude, die durch die Fernwärmeszenarien I und II noch nicht erschlossen sind, angeschlossen. Das Wärmeabsatzpotenzial beträgt 7.943 MWh/a. D. h. bei Ausführung aller drei Ausbauszenarien wäre das Quartier „Südwestliche Altstadt“ zu 100 % durch die Fernwärme versorgt (Gesamtpotenzial: 21.210 MWh/a).



Abbildung 3-12: Fernwärmeausbau in der südwestlichen Altstadt, in Grün die bestehende Fernwärmeleitung, in rosa der aktuelle Ausbau und in orange das damit erschlossenes Gebiet (FW I), in Rot der angenommene Ausbau mit dem erschlossenen Gebiet

Abbildung 3-12 stellt die ersten zwei Fernwärmeszenarien übersichtlich auf der Karte des Quartiers dar. In grün die bereits bestehende Fernwärmetrasse, in pink die aktuell in Bau befindliche Trasse, in rot eine vorgeschlagene neue Trasse, in gelb-gestrichelt die Grenzen des Quartiers. Die orangemarkierten Flächen umfasst Gebiete mit Gebäuden, die noch nicht an die Fernwärme angeschlossen sind und mit der bestehenden Trasse relativ einfach zu erschließen wären (Fernwärmeszenario I). Die rot eingezeichnete Fläche markiert das Gebiet mit Gebäuden, die durch eine neue Trasse (rote Linie) für die Fernwärme erschlossen werden könnten (Fernwärmeszenario II).

Eine Gesamtübersicht über die Wärmeabsatzpotenziale und die eingesparten CO₂-Emissionen gibt Tabelle 19. Daraus wird ersichtlich, dass die Erschließung des gesamten Quartiers mit Fernwärme sehr aufwändig wäre. Die Fernwärmeszenarien I und II stellen jedoch realistische, wenn auch ambitionierte

Ziele dar, die einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung der CO₂-Emissionen von fast 3.300 t/a leisten würden. Das entspricht einer Reduzierung der CO₂-Emissionen von knapp 30 % bei rund 11.000 t/a im gesamten Quartier.

Tabelle 19: Kosten und Potenziale der drei Fernwärmeszenarien zum Ausbau der Fernwärme in der südwestlichen Altstadt

Parameter	Einheit	FW I	FW II	FW II	Summe
Wärmeabsatzpotenzial	MWh/a	4.290	8.977	7.943	21.210
CO ₂ -Einsparung	t/a	681	1.388	1.218	3.287
Geschätzte Trassenlänge	trm	220	800	1.600	2.620
vorauss. Anzahl der Anschlussnehmer	-	24	27	53	104
Erschließungskosten pro Anschlussnehmer	EUR	25.000	25.000	25.000	
Gesch. Gesamtkosten Erschließung (gerundet)	EUR	600.000	675.000	1.325.000	2.600.000
spezifische Kosten Trasse	EUR/trm	9.818	9.818	9.818	
Gesamtkosten Trasse (gerundet)	EUR	1.800.000	8.860.000	13.100.000	23.100.000
Gesamtkosten	EUR	2.400.000	8.860.000	14.400.000	25.660.000
CO₂-Vermeidungskosten²	EUR/t	132	240	446	294

Ergänzend muss zum Thema Fernwärmeausbau in Mühlhausen erwähnt werden, dass bereits in geringen Teufen Travertin (Kalkgestein) vorherrscht. Das trifft auch auf die Altstadt Mühlhausens zu. Dieses Gestein erschwert die Verlegung von Fernwärmetrassen im Altstadtgebiet, weil für den Tiefbau ein hoher Aufwand betrieben werden muss. Zusätzlich kommt erschwerend hinzu, dass in den engen Gassen der Altstadt der verfügbare Platz unter den Straßen bereits durch Trinkwasser-, Abwasser und Gasleitungen sowie Strom- und Telekommunikationskabel eingenommen wird. Die besonderen örtlichen Bedingungen treiben die Kosten für die Trassenverlegung enorm nach oben. Die hier angegebenen Baukosten sind jedoch immer Schätzwerte und beruhen auf Durchschnittswerten pro Anschlussnehmer und Trassenmeter.

3.4.3 Effiziente klimafreundliche Wärmeerzeugungsanlagen

In Deutschland sind rund 67 % der Ölkessel und 58 % der Gaskessel 20 Jahre und älter (36). Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass in naher Zukunft viele Kessel auch im Quartier „Südwestliche Altstadt“ 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

² Bei 30 Jahren Nutzungsdauer

Quartier an die Fernwärme anschließen. Für diese Gebäude ist der Einsatz von Wärmepumpen die naheliegendste Lösung. Entgegengesetzt der landläufigen Meinung, dass der Einsatz von Wärmepumpen im Bestand aufgrund der geforderten Vorlauftemperaturen nicht möglich ist, zeigen moderne Wärmepumpen das Gegenteil. Marktverfügbare Wärmepumpen (gleich, ob Luft-, Wasser- oder Sole-Wärmepumpe) liefern Vorlauftemperaturen von 75°C und darüber.

Alternativen bieten daneben Biomassekessel für Holzpellets oder Hackschnitzel, die problemlos hohe Vorlauftemperaturen bis 90°C bereitstellen können. Wobei mit dem Einsatz von fester Biomasse einige Nachteile einhergehen, die deren Einsatz erschweren oder ausschließen können:

- Lagerung des Brennstoffs erfordert viel Platz
- Freie Wege für LKW für Lieferung des Brennstoffs, sowie Abtransport von Asche nötig

Der Ersatz von Ölkesseln durch Pelletkessel ist oftmals der einfachste Weg, weil der Platz des Ölbunkers als Lager für Holzpellets umgenutzt werden kann. Ebenso wie Heizöl werden Holzpellets per LKW geliefert. Beim Ersatz von Gaskesseln muss der Lagerraum erst umständlich geschaffen werden. Bezüglich der Verfügbarkeit des Brennstoffs ist bei Pellet- oder Holzhackschnitzelkesseln in Zukunft davon auszugehen, dass die Konkurrenz zur Industrie zunimmt. Denn feste Biomasse ist ein einfacher Weg, um Erdgas oder Heizöl als Brennstoff für die Bereitstellung von Prozesswärme auf hohem Temperaturniveau zu ersetzen. Diese Konkurrenz birgt die Gefahr von zukünftigen hohen Preisen für Biomasse. Außerdem muss mit zunehmend strengeren Anforderungen an die Abgasreinigung gerechnet werden, insbesondere die Feinstaubemissionen von Holzfeueranlagen erfordern modernste Technik für die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte.

Wärmepumpen bieten dagegen den Vorteil des geringeren Platzbedarfs, weil kein Brennstoff gelagert werden muss. Außerdem entfällt der Transport von Brennstoff und Asche per LKW, weil die elektrische Antriebsenergie der Wärmepumpe leitungsgebunden ist. Sie sind lokal emissionsfrei und bei Einsatz von Strom aus erneuerbaren Quellen im Betrieb THG-neutral. In Tabelle 20 wird der Einsatz von Luft-Wasser- zu Sole-Wasser-Wärmepumpen gegenübergestellt. Grundsätzlich ist der Einsatz von Sole-Wasser-Wärmepumpen effizienter, weil für die Wärmepumpe stets eine stabile und witterungsunabhängige Wärmequelle zur Verfügung steht. Voraussetzung ist jedoch immer ausreichend Platz für Erdsonden. Im dicht bebauten Quartier „Südwestliche Altstadt“ ist dieser Platz jedoch rar und nicht für jedes Objekt verfügbar. Auch sind die Gegebenheiten des Untergrunds stets zu berücksichtigen. Für alle Gebäude, für die eine Sole-Wärmepumpe mit Erdsonde nicht möglich ist, stellt die Luft-Wärmepumpe die Alternative dar. Voraussetzung ist ein geeigneter Aufstellungsort für den Luftwärmetauscher. Der Einsatz von Wärmepumpen als Ersatz für die derzeit bestehenden Gas- und Ölkessel würde jährlich rund 1.600 bis 2.400 t/a CO₂ einsparen.

Tabelle 20: Vergleich von Luft-Wasser- zu Sole-Wasser-Wärmepumpen bei Ersatz der bestehenden Öl- und Gaskessel im Quartier

Parameter	Einheit	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe
Wärmebedarf	MWh/a	21.180	21.180
CO ₂ -Emissionen aus Gas und Heizöl	t/a	4.630	4.630
Jahresarbeitszahl ³	-	3,1	4,1
Stromverbrauch	MWh	6.832	5.166
CO ₂ -Emissionen aus Netzstrom	t/a	2.972	2.247
CO₂-Einsparung	t/a	1.658	2.382

Vom Einsatz neuer Gaskessel wird – außer als temporäre Übergangslösung – abgeraten. Sie können momentan nicht THG-neutral betrieben werden. Der fossile Brennstoff Erdgas wird in Zukunft durch die weiter steigende CO₂-Steuer im Preis steigen, was den Betrieb von Erdgaskesseln in der Wärmeversorgung teuer bis unwirtschaftlich machen wird.

Selbst beim zukünftigen Einsatz von Wasserstoff in Gaskesseln bleibt offen, in welcher Menge und zu welchem Preis Wasserstoff als Brennstoff zur Verfügung stehen wird. Auch hier besteht – ähnlich wie bei Biomasse – eine direkte Konkurrenzsituation zur Industrie, die Wasserstoff als Energieträger für Prozesswärme mit hohen Temperaturen benötigt und wo der Einsatz von Wärmepumpen technisch nicht möglich ist. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass Wasserstoff als Brennstoff knapp und teuer sein wird, was dessen Einsatz zur dezentralen Wärmeversorgung in Gebäuden fraglich erscheinen lässt.

Es lässt sich zusammenfassen, dass im Quartier positive Anreize geschaffen werden sollten, 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.

3.4.4 Thüringentherme

Die Thüringentherme ist der größte Einzelverbraucher von Wärme und Strom im Quartier. Die Planungen für das Sanierungsprojekt Thüringentherme laufen. Sie zielen darauf ab, bis 2027 Wärme- und Stromeffizienz zu verbessern. Als einer der bedeutenden Energieverbraucher in der Stadt wird das Schwimmbad im Rahmen dieses Sanierungsvorhabens besonders berücksichtigt. Die geplante energetische Sanierung deckt bereits alle relevanten Aspekte ab, wodurch eine detaillierte Einbindung in ein energetisches Quartierskonzept entfällt.

³ Nach Fraunhofer: Abschlussbericht „WPsmart im Bestand“ (50)

3.5 Effizienz Strom

Die effiziente Nutzung von elektrischem Strom ist von zentraler Bedeutung für die Ersparnis von Kosten und CO₂-Emissionen. Nachfolgend sollen innovative Ideen und Möglichkeiten beleuchtet werden, die dazu beitragen, den Energieverbrauch zu minimieren und nachhaltige Lösungen zu fördern.

3.5.1 Wohngebäude und Privathaushalte

Ein weiterer Ansatzpunkt ist der Stromverbrauch von Haushalten. Dieser setzt sich wie in der folgenden Abbildung dargestellt, aus verschiedenen Anwendungen zusammen (37).

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 bedarfsgerechte 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

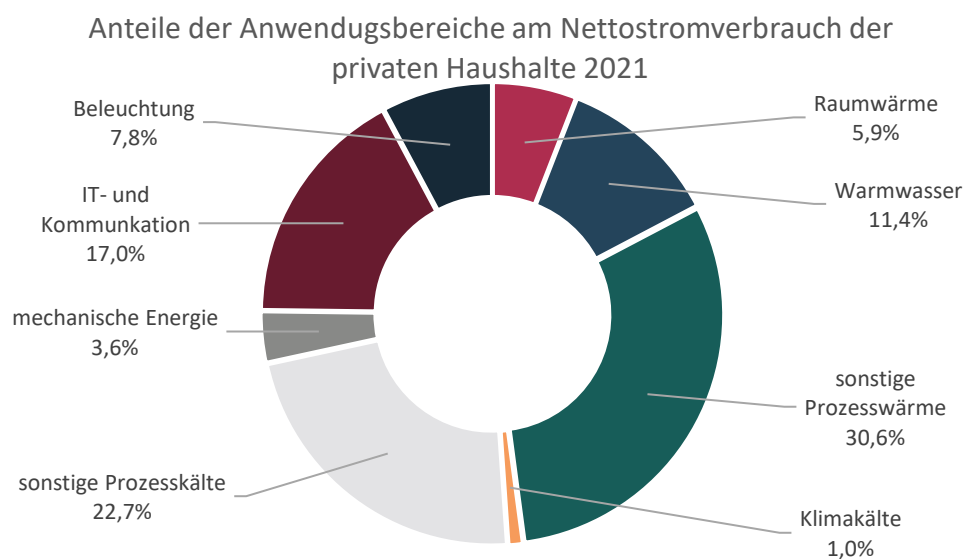


Abbildung 3-13: Anteile von Anwendungsbereichen am Stromverbrauch privater Haushalte 2018

Unter Reboundeffekt versteht man den vermehrten Einsatz einer Ressource durch Steigerung bei der Effizienz bei der Nutzung. Ein Beispiel: Wenn der Stromverbrauch für die Beleuchtung durch Umstellung von Energiesparlampen oder Glühbirnen zu LEDs sinkt, wird dafür öfter das Licht angeschaltet und länger brennen gelassen als vorher. D. h. Reboundeffekte können zu geringeren Einsparungen als theoretisch möglich führen, 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. Im weiteren Verlauf des Berichts soll von einer potenziellen Einsparung von 1 % jährlich ausgegangen werden.

3.5.2 Straßenbeleuchtung

Ein weiterer großer 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 21: Stromverbrauch durch Straßenbeleuchtung im Quartier

Betriebsjahr	Verbrauch [kWh]	Relative Einsparung ggü. Vorjahr [%]
2022	48.576	24
2021	64.051	6
2020	67.999	14
2019	79.050	
Durchschnitt	64.919	

3.6 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. 27 % des gesamten Endenergieverbrauches bzw. 29 % der CO₂-Emissionen im Quartier verantwortlich (siehe Abschnitt 2.2.4).

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

3.6.1 Radverkehr

Das Fahrrad ist in der Stadt aus mehreren Gründen eine hervorragende Alternative zum Auto: Es ist umweltfreundlich, platzsparend, fördert die Gesundheit, umgeht Verkehrsstaus, ist kostengünstig, flexibel und hat geringe Umweltauswirkungen. Fahrradfahren ermöglicht eine effiziente, nachhaltige und stressfreie Fortbewegung in urbanen Gebieten. Deshalb ist es sinnvoll, den Radverkehr nicht nur im Quartier, sondern im gesamten Stadtgebiet zu fördern.

Dazu wurde im Auftrag der Stadt Mühlhausen ein Radverkehrskonzept durch die PGV Planungsgemeinschaft Verkehr GbR erstellt (9), um die Attraktivität und Sicherheit für Radfahrer in der Stadt zu erhöhen. Mit Blick auf das Quartier „Südwestliche Altstadt“ sieht dieses Radverkehrskonzept vor, die Mobilität für Fahrradfahrer durch konkrete Maßnahmen zu verbessern. Es wird die Öffnung von Einbahnstraßen in Gegenrichtung für den Radverkehr vorgeschlagen, insbesondere in den Straßen Erfurter Straße, Felchtaer Straße, Judenstraße und Wahlstraße. Eine weitere Maßnahme beinhaltet die Umgestaltung der Einmündung der Eisenacher Straße zwischen Brunnenstraße und Lindenbühl. Hier soll die Reduzierung auf einen Kfz-Streifen erfolgen, um Platz für den Radverkehr in beide Richtungen freigegeben zu können. Zusätzlich ist eine Anpassung des Verkehrsknotenpunktes Brunnenstraße – Eisenacher Straße vorgesehen, um die Sicherheit und den Fluss des Radverkehrs zu optimieren. Diese geplanten Veränderungen sollen eine umfassende Verbesserung der Fahrradinfrastruktur im Quartier ermöglichen und zu einer sicheren und effizienten Nutzung des Radverkehrs beitragen.

3.6.2 Öffentliche Verkehrsmittel

Die meisten Wege innerhalb des Quartiers können zu Fuß oder mit dem Fahrrad bewältigt werden, weil das Quartier sehr urban geprägt ist. Deshalb ist die Bedeutung des öffentlichen Verkehrs für die Mobilität innerhalb des Quartiers eher von untergeordneter Bedeutung.

Die Verbindung des Quartiers zu anderen Stadtteilen erfolgt über den ÖPNV mittels Buslinien (siehe Tabelle 22). Die Linien für den innerstädtischen Verkehr sind Linie 2 (Verbindung: Bahnhof und Schwanteich) in Ost-West-Richtung, Linie 5 (in Richtung Görmar und Bollstedt) und Linie 8/1 in Nord-Süd-Richtung (Verbindung: Ammer und Felchta) (38). Für den überregionalen Verkehr ist die Anbindung an den Bahnhof essenziell, um Berufspendlern eine Anbindung an Arbeitsplätze im Quartier zu bieten.

Der zentrale Omnibusbahnhof liegt außerhalb der betrachteten Quartiersgrenzen, ist aber fußläufig gut und innerhalb von fünf bis zehn Minuten zu erreichen.

Linienetzplan Kommunalverkehr Mühlhausen/Thüringen



Abbildung 3-14: Liniennetzplan des Kommunalverkehrs in Mühlhausen. Die Linien im Quartier „Südwestliche Altstadt“: 2, 5 und 8A

Tabelle 22: Buslinien im Quartier mit ihrer jeweiligen Taktung (38)

Linie	Verbindung/Richtung	Taktung
2	Bahnhof - Schwanenteich	Mo – Fr: 30 min, 5 bis 17 Uhr Sa u. So: 2 h, 10 bis 18 Uhr
5	in Richtung Görmar und Bollstedt	Mo – Fr: 1 h, 5 bis 11 Uhr
8/1	Ammern – Felchta	Mo – So: 2 Fahrten tägl. (ca. 11:30 und 16 Uhr)

3.6.3 Elektromobilität und Ladeinfrastruktur

Der Anteil von Elektrofahrzeugen 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.

Ein wichtiger Punkt für die Nutzung von Elektrofahrzeugen ist die Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur. Derzeit gibt es im Quartier nur eine Ladesäule mit 22 kW im Hotel „Brauhaus zum Löwen“, die nur für Gäste des Hotels zugänglich und ausschließlich für Fahrzeuge des Herstellers Tesla geeignet ist. In der Brunnenstraße gegenüber des Thüringer Landesamtes für Landwirtschaft und Ländlichen Raum gibt es zwei Ladesäulen mit 22 kW auf einem öffentlichen Parkplatz. Dieser liegt genau genommen außerhalb des hier betrachteten Quartiers, grenzt aber direkt daran. (39)

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 (siehe Abschnitt 0), 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.

3.7 Organisation des Themenschwerpunktes Energie

3.7.1 Sanierungsmanagement

Die Einrichtung eines Sanierungsmanagers hat primär das Ziel, die im Quartierskonzept erarbeiteten Maßnahmen umzusetzen, nachzuhalten und sogar gemeinsam mit Akteuren weiterzuentwickeln. Er wirkt dabei nicht nur im Quartier selbst, sondern auch über die Grenzen des Quartiers hinaus, um eine positive Ausstrahlung in die gesamte Stadt zu gewährleisten.

Zu den Aufgaben eines Sanierungsmanagers gehören die Kommunikation und Vernetzung mit den verschiedenen Akteuren, die Aktivierung von Gebäudeeigentümern und die Zusammenarbeit mit kommunalen Akteuren. Der Sanierungsmanager präzisiert Maßnahmen aus dem Quartierskonzept und koordiniert deren Umsetzung. Darüber hinaus berät er zu Fördermitteln und schafft Zugang zu Fachwissen durch die Herstellung von Kontakten zu Fachexperten. Er bietet damit auch Wissenstransfer zu den Themen Sanierung, Energieeffizienz und erneuerbaren Energien für Fachfremde an. (40)

Organisatorisch kann ein Sanierungsmanager an bestehende Strukturen von Stadtwerken oder Stadtverwaltungen angebunden sein. Die Stelle kann durch eine natürliche oder juristische Person übernommen werden. Die Finanzierung der Stelle des Sanierungsmanagers muss nach Wegfall der Förderlinie KFW 432 im Jahr 2023 neu ausgerichtet werden.

3.7.2 Energiegenossenschaft & Bürgerenergie

In Abschnitt 3.1.2 wurde das Potenzial und die Chancen von PV-Freiflächenanlagen diskutiert. Ein geeignetes Medium zur Umsetzung ist die Einrichtung einer Energiegenossenschaft. Energiegenossenschaften bieten Bürgern die Möglichkeit, sich aktiv am Ausbau erneuerbarer Energien zu beteiligen,

zum Beispiel durch die Investition in PV-Freiflächenanlagen oder Windkraftanlagen. Bei solchen Anlagen können Bürger durch die Mitgliedschaft in einer Genossenschaft Anteile erwerben, um gemeinschaftlich in große, zentral gelegene Projekte zu investieren und langfristig davon zu profitieren. Mitglieder erhalten häufig einen Rabatt auf den Grundpreis des Stroms und/oder eine Dividende. Dies ermöglicht den Zugang zu erneuerbaren Energien auch schon mit kleinen Beträgen und fördert die Akzeptanz für nachhaltige Energieerzeugung.

Die Beteiligung an PV-Freiflächenanlagen durch Energiegenossenschaften bietet den Vorteil, dass sie Skaleneffekte nutzen können, was die Effizienz und die Rentabilität der Anlagen steigern. Gleichzeitig ermöglicht es Bürgern, ihren ökologischen Fußabdruck zu reduzieren und aktiv zur Energiewende beizutragen, selbst wenn sie keine eigenen Dachflächen für PV-Anlagen besitzen.

Für eine erfolgreiche Umsetzung im Quartier ist eine verantwortliche Instanz, Person oder Personengruppe notwendig, die die organisatorische Verantwortung zur Gründung und Verwaltung der Energiegenossenschaft übernimmt. Es müssen entsprechend viele Mitglieder angeworben werden, Projektpartner gesucht und die Finanzierung geklärt werden. Alternativ könnte man eine bestehende Energiegenossenschaft einladen, ein geeignetes Projekt (PV-Freiflächenanlage oder Windkraftanlage) im umliegenden Stadtgebiet zu initiieren, an dem sich Bewohner und Akteure des Quartiers Südwestliche Altstadt anschließen können.

Innerhalb des Quartiers Südwestliche Altstadt kann die Gründung einer Energiegenossenschaft auch dazu dienen, Kapital für den weiteren Ausbau der Fernwärme gemeinsam mit den Stadtwerken zu gewinnen.

Dafür sind beispielhaft folgende Schritte zu beachten:

1. Schritt: Interessierte Personen zusammenbringen
2. Schritt: Gründungsversammlung organisieren
 - Festlegung der Ziele und Strukturen der Genossenschaft.
 - Wahl eines Vorstands und eines Aufsichtsrats.
3. Schritt: Genossenschaftsvertrag erstellen
 - Erstellung eines Genossenschaftsvertrags, der die rechtlichen Grundlagen der Genossenschaft festlegt.
 - Notarielle Beglaubigung des Genossenschaftsvertrags.
4. Schritt: Satzung verfassen
 - Erstellung einer Satzung, die die genauen Regeln und Abläufe der Genossenschaft festlegt.
 - Einreichung der Satzung beim zuständigen Registergericht.
5. Schritt: Mitglieder werben
 - Informationsveranstaltungen und Werbekampagnen durchführen, um Mitglieder zu gewinnen.
 - Beitrittserklärungen und Mitgliedschaftsbeiträge einholen.
6. Schritt: Genehmigungen einholen

- Einholen der notwendigen Genehmigungen und Registrierungen, z. B. beim Registergericht und beim Finanzamt.
- 7. Schritt: Geschäftsaktivitäten starten
 - Start der Geschäftsaktivitäten, z. B. Investitionen in erneuerbare Energien oder Energieeffizienzprojekte.
- 8. Schritt: Transparente und demokratische Struktur schaffen
 - Sicherstellung einer transparenten und demokratischen Entscheidungsstruktur, in der alle Mitglieder mitentscheiden können.
- 9. Schritt: Regelmäßige Mitgliederversammlungen
 - Durchführung regelmäßiger Mitgliederversammlungen zur Information, Diskussion und Beschlussfassung.
- 10. Schritt: Fortlaufende Weiterentwicklung
 - Fortlaufende Weiterentwicklung der Genossenschaft, um die Ziele und Interessen der Mitglieder zu verfolgen und umzusetzen.

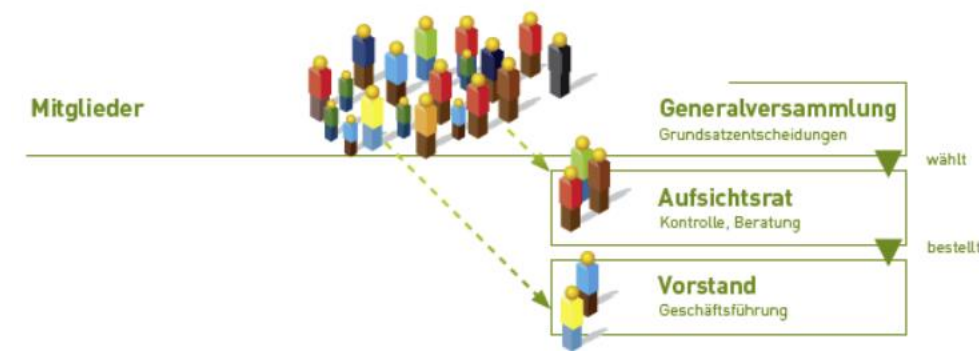


Abbildung 3-15: Organisation einer Bürgerenergiegenossenschaft,

Quelle: Deutsche Genossenschafts- und Raiffeisenbank

3.8 Klimaanpassung und blau-grüne Infrastruktur

Unter blau-grüner Infrastruktur versteht man gestaltete Grünräume und ein lokales ökologisches Regenwassermanagement, mit dem Siedlungsflächen widerstandsfähiger gegen die Folgen des Klimawandels, wie Starkregenereignisse und Hitzewellen mit Dürren, werden. Diese Folgen bergen gesundheitliche Risiken, insbesondere bei gefährdeten Gruppen. Dazu zählen:

- Menschen ab 65 Jahre
- Ältere alleinlebende Menschen, die Probleme mit ihrer Mobilität haben
- Pflegebedürftige Menschen
- Schwangere
- Säuglinge und Kleinkinder
- Menschen mit Vorerkrankungen
- Menschen, die im Freien arbeiten und die körperlich schwer arbeiten

- Menschen in besonderen Lebenslagen (z. B. Obdachlose, Menschen mit Abhängigkeitserkrankungen)

Es soll die Bildung von Hitzeinseln innerhalb des städtischen Gebietes verhindert oder zu mindestens vermindert werden. Typische Maßnahmen sind das Entsiegeln von Oberflächen und Anlegen von Versickerungsflächen. Die dabei entstehenden Grün- und Wasserflächen sorgen durch die kontinuierliche Abgabe von Verdunstungsfeuchtigkeit wärmeregulierend. (41)

Über die Wärmeregulierung hinaus wirken Wasser- und Grünflächen, besonders solche mit Gehölzbestand, als natürliche Filter für Luft- und Bodenschadstoffe. Sie reduzieren Lärm- und CO₂-Belastung, regulieren Luftfeuchtigkeit, bieten Schutz vor Sonneneinstrahlung und schaffen Frisch- und Kaltluftschneisen. Zudem ermöglichen sie eine nachhaltige Bewältigung von Starkregenereignissen, indem überschüssiges Regenwasser effizient über offene Wasser- und Grünflächen abgeleitet wird. Diese Maßnahmen entlasten Abwassersysteme und schützen gefährdete Infrastrukturen vor Überschwemmungen. (41)

Die wichtigsten konkreten Maßnahmen im Quartier sind (in Anlehnung an Teilkonzept Stadtgrün, Melion 2024, (42)):

- *Felchtaer Straße und Erfurter Straße*: Entsiegelung im Bereich der Stellplätze (nördliche Straßenseite) zur Neupflanzung von Straßenbäumen und Schaffung von Grüninseln für die verbesserte Versicherung (z. B. als Baumrigole)
- *Untermarkt*: Denkmalverträgliche Neupflanzung von Bäumen mit teilweiser Entsiegelung der Flächen für die Möglichkeit von Versickerung und Verdunstung
- *Innenhof Judenstraße / Linsenstraße*: Entsiegelung und Neupflanzung von Bäumen, Anlegen von Versickerungsmulden / Rigolen (Anschluss an Dachflächen)
- *Badergäßchen*: Aufweitung und Renaturierung von Teilabschnitten des Popperöder Bachs
- *Brunnenstraße*: Begleitend zu Errichtung der PV-Carports (siehe Abschnitt 0) Anlegen von Gründächern, Mulden zur Regenwasserrückhaltung der Dachflächen, Anlegen von Sandlinsen für Vögel auf dem PV-Dach

4 Maßnahmenkatalog

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

1. Organisatorische Maßnahmen
2. Wärme
3. Strom
4. Verkehr
5. Klimaanpassung

Die Maßnahmen wurden in Absprache mit der Stadtverwaltung Mühlhausen erarbeitet und priorisiert. Die Priorisierung erfolgt in drei Stufen:

- Priorität 1 – eine kurzfristige Umsetzung der Maßnahme innerhalb der nächsten 1 bis 2 Jahre 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.

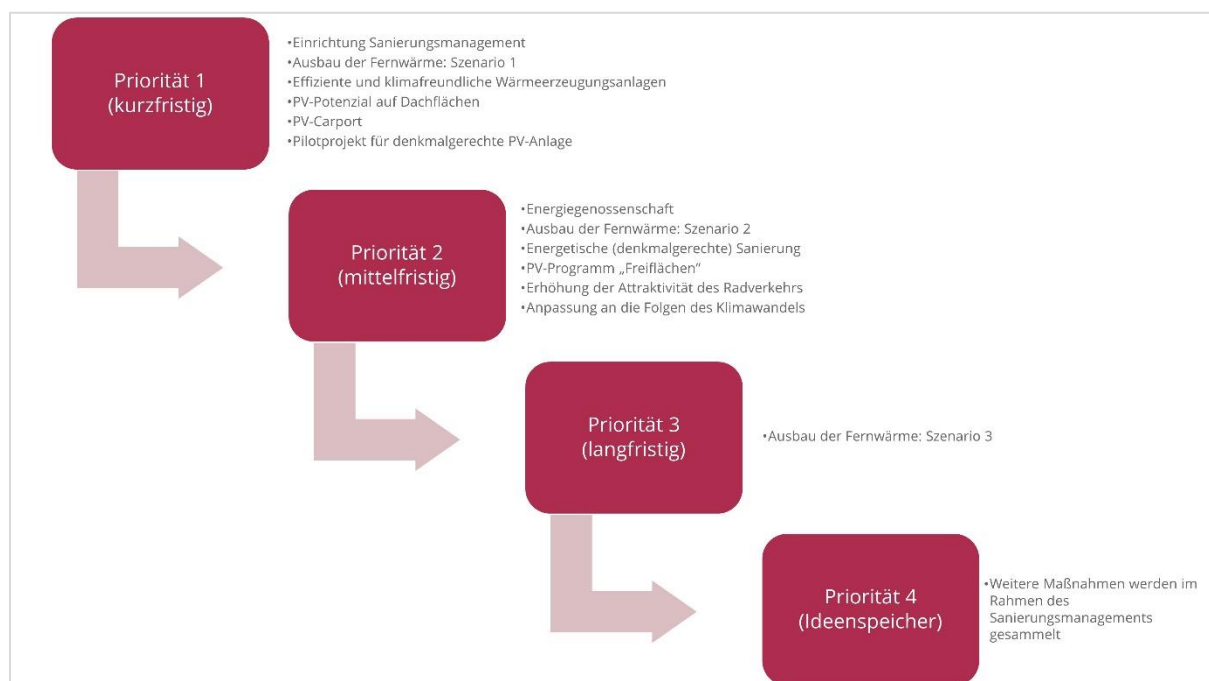


Abbildung 4-1: Einordnung der Maßnahmen in Priorisierungskategorien

4.1 Maßnahmen: Organisation

Maßnahme übergreifende Funktion – 1			
Einrichtung Sanierungsmanagement			
Handlungsfeld	Organisatorische Maßnahmen	Priorität	1
Maßnahmenbeschreibung: Einstellung eines Sanierungsmanagers zur Umsetzung 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 fungieren⁴ 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. Diese Aufgabe muss nicht zwangsläufig durch die Stadtverwaltung erfüllt werden. Eine eigenständige Organisation ist genauso möglich wie die Anbindung bei Stadtwerken, Sanierungsbeauftragten oder Wohnungsunternehmen. Zudem kann das Sanierungsmanagement bei der Umsetzungsbegleitung von Maßnahmen durch Fördermittelakquise und Erarbeitung von Finanzmodellen 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	50.000 €/a Personal	Einspareffekte / Jahr	k. A.
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	k. A.	Umsetzungszeitraum	3 Jahre
Projektträgerschaft	Stadt Mühlhausen, externe Partner	Weitere Partner	Berater Wohnungswirtschaft Stadtwerke

⁴ Kreditanstalt für Wiederaufbau, Energetische Stadtsanierung – Zuschuss (432), <https://www.kfw.de>

Maßnahme übergreifende Funktion – 2			
Energiegenossenschaft			
Handlungsfeld	Strom / Wärme / erneuerbare Energien	Priorität	2
Maßnahmenbeschreibung: Neugründung oder Einbindung einer bestehende Energiegenossenschaft			
Im Abschnitt 2.2.2 wurde das Potenzial von PV-Freiflächenanlagen besprochen. Zur Umsetzung eines solchen Vorhabens ist die Einrichtung einer Energiegenossenschaft ein wirksames Mittel. Energiegenossenschaften ermöglichen es Bürgern, sich aktiv an erneuerbaren Energieprojekten zu beteiligen, insbesondere durch Investitionen in PV-Freiflächenanlagen. Die Mitgliedschaft in einer Genossenschaft erlaubt es Bürgern, Anteile zu erwerben und gemeinschaftlich in größere Projekte zu investieren. Dies fördert nicht nur die Akzeptanz nachhaltiger Energieerzeugung, sondern ermöglicht es Bürgern auch, zur Energiewende beizutragen, selbst wenn sie keine eigenen Dachflächen besitzen. Darüber hinaus bietet die Gründung einer neuen Energiegenossenschaft auch die Möglichkeit Kapital für den Ausbau der Fernwärme in Zusammenarbeit mit den Stadtwerken Mühlhausen zu generieren. Eine verantwortliche Instanz (wie ein Verein oder engagierte Privatpersonen) im Quartier ist notwendig, um die Gründung und Verwaltung der Energiegenossenschaft zu übernehmen, Mitglieder zu gewinnen und die Finanzierung zu klären. Alternativ kann eine bestehende Genossenschaft eingeladen werden, ein geeignetes Projekt im Stadtgebiet zu initiieren, dem sich Bewohner und Akteure anschließen können.			
Verfolgte Ziele			
• Umsetzung von Projekten für PV-Freiflächenanlagen • Zugang zu erneuerbaren Energien (nicht nur) für Bewohner und Akteure des Quartiers • Erhöhung der Akzeptanz von erneuerbaren Energieanlagen • Generierung von Kapital für Investitionen in den Fernwärmeausbau im Quartier			
Kosten	k. A.	Einspareffekte / Jahr	k. A.
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	k. A.	Umsetzungszeitraum	1 bis 3 Jahre
Projektträgerschaft	Anwohner, Stadt Mühlhausen	Weitere Partner	externe Partner

4.2 Maßnahmen Wärmeerzeugung und -infrastruktur

Maßnahme Wärme – 1			
Ausbau der Fernwärme: Szenario 1			
Handlungsfeld	Wärme	Priorität	1
Maßnahmenbeschreibung: Anschluss aller Gebäude an die Fernwärme entlang der bestehenden Fernwärmetrasse im Quartier			
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. Der Ausbau der Fernwärme soll in unterschiedlichen Szenarien betrachtet werden (siehe Abschnitt 3.4.2). Das Szenario 1 sieht den Anschluss aller Gebäude entlang der bestehenden Fernwärmetrasse vor. Die Umstellung von der im Quartier gängigen Wärmeversorgung durch Erdgas und Heizöl auf Fernwärme dieser Gebäude, spart ca. 13 % der Treibhausgasemissionen im Jahr 2027 (bezogen auf die Wärmeversorgung) ein. Das Wärmeabsatzpotenzial beträgt ca. 4,3 GWh/a, ohne dass eine Erweiterung des aktuellen Fernwärmenetzes notwendig wäre, abgesehen von Hausanschlussleitungen.			
Verfolgte Ziele			
• Anschluss aller Gebäude entlang der bestehenden Fernwärmetrasse im Quartier, ohne weiteren Ausbau der Fernwärmetrasse selbst • Umstellung der Wärmeerzeugung von Erdgas und Heizöl zu klimafreundlicher Fernwärme			
Kosten	Kurze Trasse mit Hausanschlussleitungen: ca. 2,4 Mio. €	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 681 t/a
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	---	Umsetzungszeitraum	1 bis 5 Jahre
Projekträgerschaft	Stadtwerke Mühlhausen, Privateigentümer	Weitere Partner	Verwaltungsebene (Stadt, Kreis, ...), Ingenieurbüros

Maßnahme Wärme – 2			
Ausbau der Fernwärme: Szenario 2			
Handlungsfeld	Wärme	Priorität	2
Maßnahmenbeschreibung: Erweiterung des Fernwärmenetzes im Quartier und Anschluss aller Gebäude entlang der Achse Felchtaer Straße – Untermarkt – Erfurter 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 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 Das Szenario 2 aus Abschnitt 3.4.2 sieht die Erweiterung der Fernwärmetrasse entlang der Achse Felchtaer Straße – Untermarkt – Erfurter Straße vor. Das Wärmeabsatzpotenzial liegt aktuell bei 8,9 GWh/a. Durch die Umstellung der dort vorhandenen fossilen Wärmeversorgung auf klimafreundliche Fernwärme könnten rund 1.400 t/a an CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2027 eingespart werden, was ca. 26 % der gesamten CO₂-Emissionen in der Wärmeversorgung des Quartiers entspricht.			
Verfolgte Ziele			
• Projektierung und Erweiterung der Fernwärmetrasse im Quartier in der Altstadt • Gewinnung von Kunden entlang des Trassenverlaufs • Ablösung fossiler Wärmeversorgung			
Kosten	Errichtung der neuen Trasse: ca. 8,2 Mio. EUR Hausanschlussleitungen: ca. 675.000 EUR	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 1.388 t/a
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	---	Umsetzungszeitraum	5 bis 10 Jahre
Projekträgerschaft	Stadtwerke Mühlhausen, Privateigentümer	Weitere Partner	Verwaltungsebene (Stadt, Kreis, ...), Ingenieurbüros

Maßnahme Wärme – 3			
Ausbau der Fernwärme: Szenario 3			
Handlungsfeld	Wärme	Priorität	3
Maßnahmenbeschreibung: Erweiterung des Fernwärmenetzes im Quartier und Anschluss aller Gebäude, die nicht durch Szenario 1 und Szenario 2 angeschlossen wurden.			
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 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 Das Szenario 3 umfasst alle Gebäude, die nicht durch Szenario 1 und 2 angeschlossen wurden (siehe Abschnitt 2.1.3). Das betrifft alle Gebäude entlang der Achse Bastmarkt – Brunnenstraße sowie in der Linsenstraße. Das Wärmeabsatzpotenzial beträgt knapp 8 GWh/a. Durch die Umstellung der Wärmeversorgung auf Fernwärme kann ab 2027 rund 1.200 t/a CO₂ eingespart werden. Das sind rund 23 % der aktuellen gesamten Emissionen in der Wärmeversorgung des Quartiers. Bei Umsetzung aller drei Szenarios wird eine vollständige Wärmeversorgung durch Fernwärme im gesamten Quartier erreicht.			
Verfolgte Ziele • Projektierung und Erweiterung der Fernwärmetrasse im Quartier in der Altstadt • Gewinnung von Kunden entlang des Trassenverlaufs • Ablösung fossiler Wärmeversorgung			
Kosten	Errichtung der neuen Trasse: ca. 13 Mio. EUR Hausanschlussleitungen: ca. 1,3 Mio. EUR	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 1.218 t/a
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	---	Umsetzungszeitraum	5 bis 10 Jahre
Projekträgerschaft	Stadtwerke Mühlhausen, Privateigentümer	Weitere Partner	Verwaltungsebene (Stadt, Kreis, ...), Ingenieurbüros

Maßnahme Wärme – 4			
Effiziente und klimafreundliche Wärmeerzeugungsanlagen			
Handlungsfeld	Wärme	Priorität	1
Maßnahmenbeschreibung:			
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 „Südwestliche Altstadt“ 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. 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. Entsprechende Wärmelieferverträge inkl. der Anlagentechnik könnten durch die Stadtwerke angeboten werden.			
Verfolgte Ziele			
• Austausch alter Kessel durch THG-neutrale Wärmeerzeuger (z. B. Wärmepumpen) • Ablösung fossiler Wärmeversorgung			
Kosten	variabel 20.000 bis 25.000 EUR für eine Wärmepumpe mit 15 kW Heizleistung, ohne Förderung	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 1.600 bis 2.400 t/a, wenn alle Gebäude ohne Fernwärme auf Wärmepumpe umgestellt werden.
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	individuell unterschiedlich	Umsetzungszeitraum	0 bis 10 Jahre
Projekträgerschaft	Gebäudeeigentümer, Stadtverwaltung Mühlhausen, Stadtwerke	Weitere Partner	Verbraucherzentrale, Handwerksbetriebe

Maßnahme Wärme – 5			
Energetische (denkmalgerechte) Sanierung			
Handlungsfeld	Wärme	Priorität	2
Maßnahmenbeschreibung: Durchführung von energetischen (denkmalgerechten) Sanierungen			
Aufgrund der historischen denkmalgeschützten Bausubstanz, die den Großteil der Gebäude im Quartier ausmacht, stellt die energetische Sanierung eine besondere Herausforderung dar. Die Dämmung der Außenwände ist in den meisten Fällen aufgrund des Denkmalschutzes nicht möglich und so beschränken sich energetische Sanierungsmaßnahmen im Wesentlichen auf Vorhaben, die das äußere Erscheinungsbild und grundlegende Bausubstanz unberührt lässt. Dennoch lassen sich mit Maßnahmen wie Dämmung von Dach, oberer Geschossdecke und Austausch der alten Fenster durch moderne Zwei- oder Dreifachverglasung zwischen 15 bis 20 % des Wärmebedarfs einsparen. Wirtschaftlich amortisieren sich die Maßnahmen durch die eingesparten Energiekosten in vielen Fällen allerdings nur, wenn sie im Zuge von „Sowieso“-Maßnahmen durchgeführt werden. Bei anstehenden Gebäudesanierungen im Quartier ist es deshalb zu empfehlen, eine energetische Sanierung mit in Betracht zu ziehen. Ein Sanierungsmanager kann diese Vorhaben unterstützen und beschleunigen.			
Verfolgte Ziele			
• Reduzierung des Wärmeverbrauchs • Reduzierung der Verbrennung von fossilen Brennstoffen			
Kosten	Kostenentwicklung gemäß BKI	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 700 bis 950 t/a Wärmebedarf: 3.500 bis 4.500 MWh/a
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	In den meisten Fällen wirtschaftlich im Zusammenhang mit „Sowieso“-Maßnahmen	Umsetzungszeitraum	10 bis 20 Jahre
Projektträgerschaft	Gebäudeeigentümer	Weitere Partner	Denkmalschutz, Verbraucherzentrale, Energieberater, Bauunternehmen und Handwerksbetriebe

4.2 Maßnahmen: Stromerzeugung und -verbrauch

Maßnahme Strom – 1			
PV-Potenzial auf Dachflächen			
Handlungsfeld	Strom / Erneuerbare Energien	Priorität	1
Maßnahmenbeschreibung: Analyse von Dachflächen 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 5 GWh/a Strom im Quartier erzeugt werden könnten. Damit könnte der Strombedarf des Quartiers zu bilanziell zu 85 % gedeckt werden. Zusätzlich dazu werden mit der Installation einer Photovoltaikanlage auch Treibhausgasemissionen und Stromkosten eingespart. Mit Rücksicht auf den Denkmalschutz (aufgrund des historisch bedeutsamen Gebäudebestands im Großteil des Quartiers) kann auf besondere PV-Systeme zugegriffen werden (rote PV-Module, Indach-Lösungen, Solarziegel). Diese sind jedoch teurer als Standardmodule und haben oft nicht die gleiche Leistungsfähigkeit, was insgesamt deren Wirtschaftlichkeit reduziert. Dennoch wird empfohlen dieses Potenzial zeitnah zu nutzen. Hierbei sollte mit den Dächern begonnen werden, die von der Größe und der Akteurskonstellation am geeignetsten sind.			
Verfolgte Ziele			
• Ausbau der PV-Stromerzeugung • Emissionsfreie Stromerzeugung • Reduzierung Stromkosten			
Kosten	Ca. 1.500 bis 2.500 EUR/kW _p	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: bis zu 2.200 t/a bei Einsatz von Standardmodulen
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	i. d. R ca. 10 bis 15 Jahre	Umsetzungszeitraum	0 bis 10 Jahre, kontinuierlicher Ausbau
Projektträgerschaft	Stadt, Privatinvestoren, Energiegenossenschaft	Weitere Partner	Energieversorger / Netzbetreiber, Denkmalschutz

Maßnahme Strom – 2			
PV-Programm „Freiflächen“			
Handlungsfeld	Strom / Erneuerbare Energien	Priorität	2
Maßnahmenbeschreibung: Analyse von Freiflächen zur Erzeugung Erneuerbarer Energien			
Als Ergänzung zu Dachanlagen kann eine PV-Freiflächenanlage eine Möglichkeit darstellen, Bewohnern und Akteuren des Quartiers Zugang zu Strom aus erneuerbaren lokalen Erzeugungsanlagen zu ermöglichen, die auf ihrem eigenen Dach keine Möglichkeit haben eine PV-Anlage zu errichten; sei aus Gründen der Statik des Gebäudes, ungünstiger Dachausrichtung oder des Denkmalschutzes. Dazu kann „vor den Toren“ der Stadt nach geeigneten Standorten gesucht werden. Derzeit ist die Stadt Mühlhausen bereits auf der Suche nach solchen Standorten. Nachteilig ggü. PV-Dachanlagen erweist sich bei dieser Lösung der höhere organisatorische Aufwand durch Gründung einer Betreibergesellschaft oder Energiegenossenschaft, sowie die stärkere Belastung des örtlichen Verteilnetzes, da der Strom vom Standort der PV-Freiflächenanlage bis ins Quartier transportiert werden muss. Für eine bilanzielle Volldeckung des aktuellen Strombedarfs im Quartier wäre eine Anlage mit rund 6,6 MW_p nötig, wodurch sich eine Fläche von rund 5,9 ha für die Aufstellung ergibt.			
Verfolgte Ziele			
• Ausbau der PV-Stromerzeugung • PV-Strom im Quartier bei Einschränkungen für PV-Dachanlagen • Reduzierung der Stromkosten, lokale Wertschöpfung			
Kosten	Ca. 750 EUR/kW _p , ohne Anschluss an das öffentliche Stromnetz	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: ca. 2.500 t/a bei bilanzieller Deckung von 100 %
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	i. d. R. ca. 10 bis 15 Jahre	Umsetzungszeitraum	2 bis 5 Jahre
Projektträgerschaft	Stadt, Privatinvestoren, Energiegenossenschaft	Weitere Partner	Energieversorger / Netzbetreiber

Maßnahme Strom – 3			
PV-Carport			
Handlungsfeld	Strom / Erneuerbare Energien	Priorität	1
Maßnahmenbeschreibung: Erzeugung von Strom aus PV-Anlagen zur Nutzung in E-Fahrzeugen			
Ein PV-Carport ist eine besondere Form einer Dachanlage, die die Schutzfunktion eines traditionellen Carports mit nachhaltiger Energieerzeugung durch Photovoltaik-Module verbindet. Die Vorteile dieser Lösung liegen in der platzsparenden Integration, da sie vorhandenen Raum effizient nutzt, sowohl als Fahrzeugunterstand als auch als Energieerzeugungsanlage. Dies führt zu reduzierten Energiekosten, da der erzeugte Strom entweder zur Eigenversorgung genutzt oder ins öffentliche Versorgungsnetz eingespeist werden kann. Besonders wirkungsvoll ist ein PV-Carport, wenn er mit Ladestationen für Elektrofahrzeuge kombiniert wird. Im Quartier „Südwestliche Altstadt“ bietet sich die Parkplatzfläche hinter den Verwaltungsgebäuden des Thüringer Landesamtes für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR) in der Brunnenstraße 94 dafür an. Diese Fläche wird bislang ausschließlich als Parkplatz genutzt und könnte zukünftig den steigenden Bedarf an elektrischer Energie für Elektrofahrzeuge decken.			
Verfolgte Ziele			
• Ausbau der PV-Stromerzeugung • Vorbildfunktion der Stadt und öffentlichkeitswirksamer Gebäude • Verbesserung der Ladeinfrastruktur als Anreize für die E-Mobilität			
Kosten	Ca. 250.000 EUR für 76 kWp, inkl. Überdachung und Ladesäulen	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 50 t/a
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	Nicht bezifferbar	Umsetzungszeitraum	1 bis 5 Jahre
Projektträgerschaft	Stadt- und/oder Kreisverwaltung, Stadtwerke Mühlhausen	Weitere Partner	Handwerksbetriebe

Maßnahme Strom – 4			
Pilotprojekt für denkmalgerechte PV-Anlage			
Handlungsfeld	Strom / Erneuerbare Energien	Priorität	1
Maßnahmenbeschreibung: Installation einer PV-Anlage auf dem historischen Gebäude des Amtsgerichts Untermarkt 17			
Das Amtsgericht ist aufgrund der Lage und der Dachausrichtung sehr gut geeignet für die Errichtung einer PV-Dachanlage und wäre somit ein Demonstrationsprojekt für die Errichtung von PV-Anlagen in der historischen Altstadt. Daneben könnten auch innovative PV-Systeme, wie farbige Module (in Dachfarbe) oder Solarziegel Anwendung finden, um den Anforderungen des Denkmalschutzes Rechnung zu tragen. Diese Art von Pilotprojekt soll ein Anstoß für weitere PV-Anlagen in der historischen Altstadt sein und zeigen, dass sich moderne erneuerbare Energieerzeuger und Denkmalschutz nicht ausschließen.			
Verfolgte Ziele			
• Demonstrationsprojekt für PV-Anlagen im Denkmalschutz • Vorbildfunktion der Stadt und öffentlichkeitswirksamer Gebäude • Ausbau erneuerbarer Energien im Quartier			
Kosten	25.000 bis 45.000 EUR, je Größe und Art der Anlage	Einspareffekte / Jahr	CO ₂ -Emissionen: 9 bis 12 t/a
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	k.A.	Umsetzungszeitraum	1 bis 5 Jahre
Projektträgerschaft	Stadt- und/oder Kreisverwaltung, Stadtwerke Mühlhausen	Weitere Partner	Denkmalschutz, Handwerksbetriebe

4.3 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 verschiedene Maßnahmen umzusetzen, die das Radfahren im Quartier angenehmer und attraktiver machen. Dazu zählt die Öffnung von Einbahnstraßen in Gegenrichtung und die Umgestaltung der Einmündung der Eisenacher Straße zwischen Brunnenstraße und Lindenhühl. Durch einen solchen Ausbau der Radinfrastruktur sollen die Mühlhausener 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	5.000 bis 10.000 EUR für Maßnahme Eisenacher Str. Öffnung von Einbahnstraßen (Schildermontage): 1.000 EUR Angebot von Mieträdern durch Drittanbieter: individuell	Einspareffekte / Jahr	Reduzierung CO ₂ im Verkehr nicht bezifferbar
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	-	Umsetzungszeitraum	2 Jahre
Projekträgerschaft	Stadtverwaltung Mühlhausen	Weitere Partner	ADFC, Bauunternehmen

4.4 Maßnahmen: Klimaanpassung

Maßnahme Klimaanpassung – 1			
Anpassung an die Folgen des Klimawandels			
Handlungsfeld	Klimaanpassung	Priorität	2
Maßnahmenbeschreibung: Allgemeine Maßnahmen zu Minderung der Folgen des Klimawandels			
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. Die geplanten Aktionen in Straßen wie Felchtaer Straße und Erfurter Straße, dem Untermarkt, dem Innenhof Jüdenstraße/Linsenstraße, dem Badergäßchen und der Brunnengasse zielen auf eine umfassende Umsetzung dieser Prinzipien ab.			
Verfolgte Ziele			
• Wärmeregulierung und Verhinderung von Hitzeinseln • Verbessertes Regenwassermanagement • Erhöhung Resilienz ggü. Klimawandelfolgen			
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 Pro Baum: ca. 15 bis 20 kg/a
Wirtschaftlichkeit / Amortisation	-	Umsetzungszeitraum	1 bis 5 Jahre
Projektträgerschaft	Stadtverwaltung Mühlhausen, Grundstückseigentümer	Weitere Partner	Planer, Bauunternehmen

5 Entwicklungspfad des Quartiers Südwestliche Altstadt

In den Abschnitten 4.1 bis 4.4 des Quartierskonzeptes wurde auf die erarbeiteten Maßnahmen eingegangen. Welchen Einfluss diese auf den Gesamtenergieverbrauch im Quartier haben können, wird im Folgenden beschrieben. 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 (7). Basis des Szenarios ist der Bevölkerungsrückgang von 2.800 auf rund 2.450 Einwohner wie in Abschnitt 2.1.2.2 beschrieben.

5.1 Entwicklung Wärmebedarfe und -versorgung

Die Entwicklung der Wärmebedarfe hängt stark von der Sanierungsrate und den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen ab. Grundlage dafür ist die Annahme eines jährlichen Rückgangs des Wärmebedarfs um 1,1 % aller Gebäude (außer der Thüringentherme), sodass bis zum Jahr 2040 nur noch 80 % des Wärmebedarfs des aktuellen Wertes vorliegen. Das entspricht 20 % Einsparung, die laut Maßnahmenblatt realistisch zu erreichen sind. Weiterhin ist der reduzierte Wärmebedarf der Thüringentherme durch die geplanten Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt. Daraus ergibt sich ein Gesamtwärmebedarf rund 20.900 MWh/a im Jahre 2040 (vgl. 2022: 27.000 MWh/a).

Für die Art der Wärmeversorgung sollen die Fernwärmeausbauszenarien wie in Abschnitt 3.4.2 beschrieben, hinzugezogen werden. D. h. der Wärmebedarf wird zunehmend aus Fernwärme gedeckt, während der verbleibende Anteil bis zum Jahr 2035 lokal CO₂-frei mit Wärmepumpen erfolgt. Der Ausbau an Fernwärme und die gleichzeitige Umstellung auf Wärmepumpen bei den dezentralen Versorgungslösungen werden dabei linear unterstellt. Dabei wird zunächst nur das Fernwärmeszenario I und anschließend die Fernwärmeszenarien I und II (FW II) zusammen, wobei davon ausgegangen wird, dass diese jeweils bis zum Jahr 2035 umgesetzt werden.

In Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 wird deutlich, dass nur bei Umsetzung von FW I rund zwei Drittel der Wärmeversorgung ab dem Jahr 2035 mit Wärmepumpen bewältigt werden muss und nur ein Drittel aus der Fernwärme. Diese Entwicklung würde zu einer deutlichen Mehrbelastung des Stromnetzes führen. Diese Auswirkung wird noch in Abschnitt 5.2 deutlich. Bei Umsetzung des zusätzlichen Szenario FW II wird rund zwei Drittel der Wärmebedarfs durch die Fernwärme im Quartier gedeckt und der Restbedarf durch Wärmepumpen.

Biomassekessel und Wasserstoff wurden in diesen Szenarien nicht berücksichtigt.

Wärmeversorgung Quartier Szenario FW I

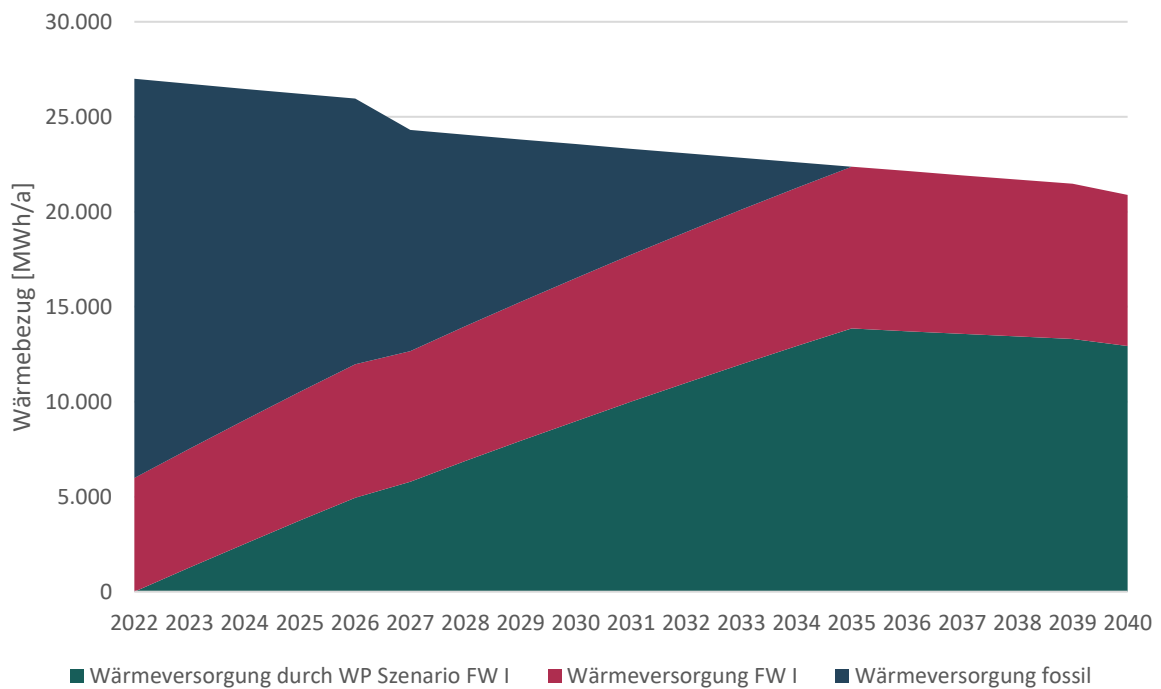


Abbildung 5-1: Wärmeversorgung bei Umsetzung des Fernwärmeszenarios I

Wärmeversorgung Quartier Szenario FW II

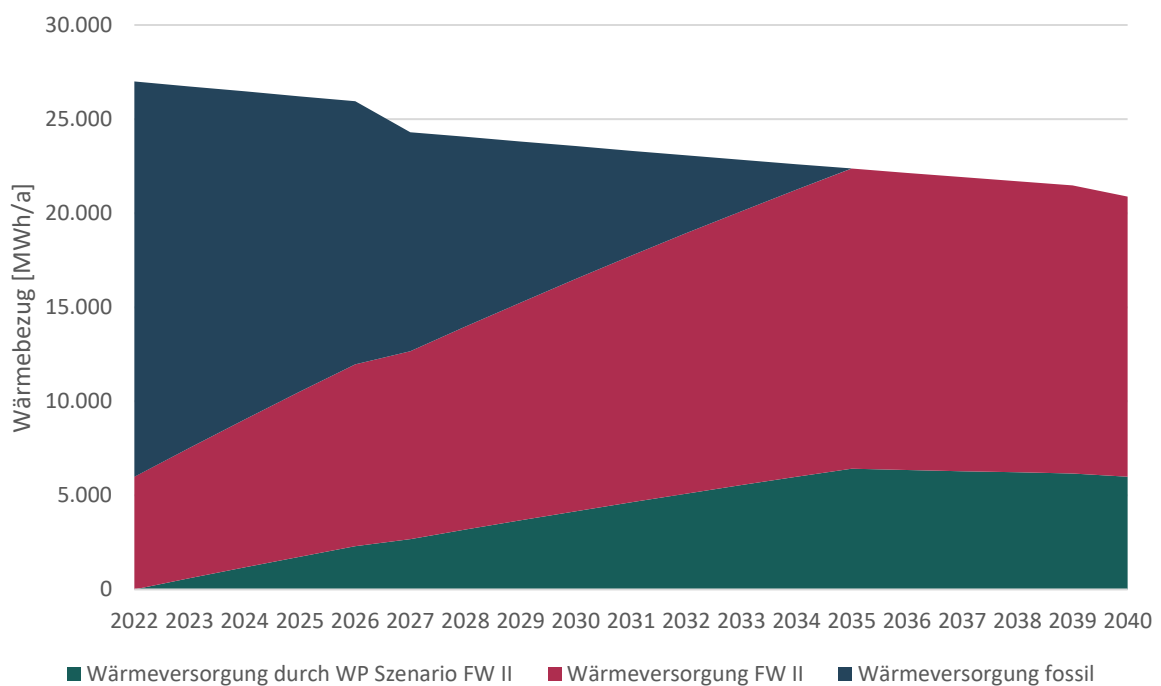


Abbildung 5-2: Wärmeversorgung bei Umsetzung des Fernwärmeszenarios I und II

5.2 Entwicklung Strombedarfe und -versorgung

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

1. Austausch fossiler Kessel durch Wärmepumpen
2. Ladestrom für Elektrofahrzeuge

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. Für das Fernwärmeszenario FW I steigt der Strombedarf durch Wärmepumpen bis zum Jahr 2035 um rund 4.600 MWh/a (bei einer durchschnittlichen Jahresarbeitszahl von 3). Wird die Fernwärme gemäß Szenario FW II weiter ausgebaut, steigt der Stromverbrauch bis zum Jahr 2035 um nur 2.100 MWh/a.

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, was aber durch Abnahme der Anzahl an Haushalten sowie die Überalterung der Gesellschaft unterstellt werden könnte. Diese Entwicklung wurde jedoch durch die Zunahme von Fahrzeugen pro Haushalt in den vergangenen Jahren ausgeglichen und dieser Trend könnte sich fortsetzen. Nur eine massive Investition in den öffentlichen Nah- und Fernverkehr könnte dieser Entwicklung etwas entgegensetzen. Unter diesen Gesichtspunkten steigt der Strombedarf durch Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2040 um rund 2.300 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.

Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4 zeigen die Entwicklung des Strombedarfs für das jeweilige Fernwärmeausbauszenario und die Entwicklung der Elektromobilität. Dabei wurde die zunehmende Effizienz der Haushaltsgeräte mit 1 % Einsparung pro Jahr und die Sanierung der Thüringentherme berücksichtigt.

- Gesamtstrombedarf bei FW I: ca. 11.600 MWh/a
- Gesamtstrombedarf bei FW II: ca. 9.300 MWh/a

D. h. für den Fernwärmeausbau nach FW I kommt es fast zu einer Verdoppelung des Strombedarfs im Quartier (Referenzjahr 2022: ca. 6.000 MWh/a).

Für den Ausbau von PV-Anlagen im Quartier wurden die in Abschnitt 0 ermittelten Potenziale angesetzt. Dabei wird davon ausgegangen, dass alle Anlagen aufgrund des Denkmalschutzes mit Modulen in roter Dachfarbe mit einer reduzierten Leistung von 360 W_p ggü. blauen oder schwarzen Standardmodulen ausgeführt sind. Abbildung 5-5 stellt den bei einem linearen Ausbau bis 100 % (rund 3.900 kW_p mit einem Jahresertrag von rund 3.500 MWh/a) des ermittelten Potenzials bis zum Jahr 2040 den bilanziellen Deckungsgrad des Strombedarfs im Quartier gegenüber.

- Deckungsgrad PV bei FW I: 30 %
- Deckungsgrad PV bei FW II: 38 %

Strombedarf Quartier, inkl. E-Mobilität und Szenario FW I

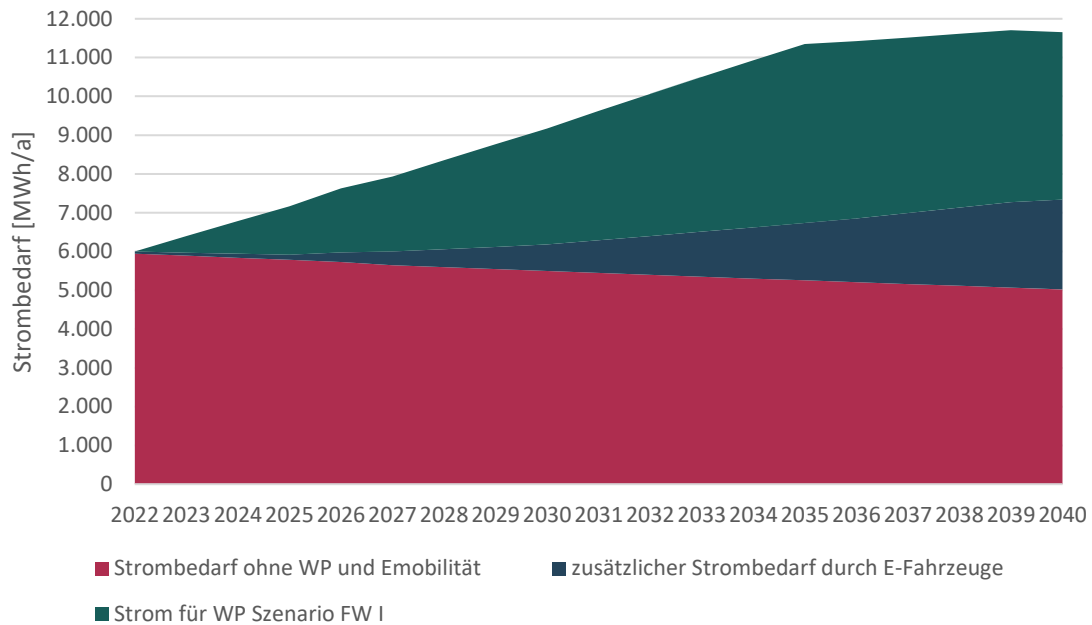


Abbildung 5-3: Prognostizierter Strombedarf bei Fernwärmeausbauszenario FW I

Strombedarf Quartier, inkl. E-Mobilität und Szenario FW II

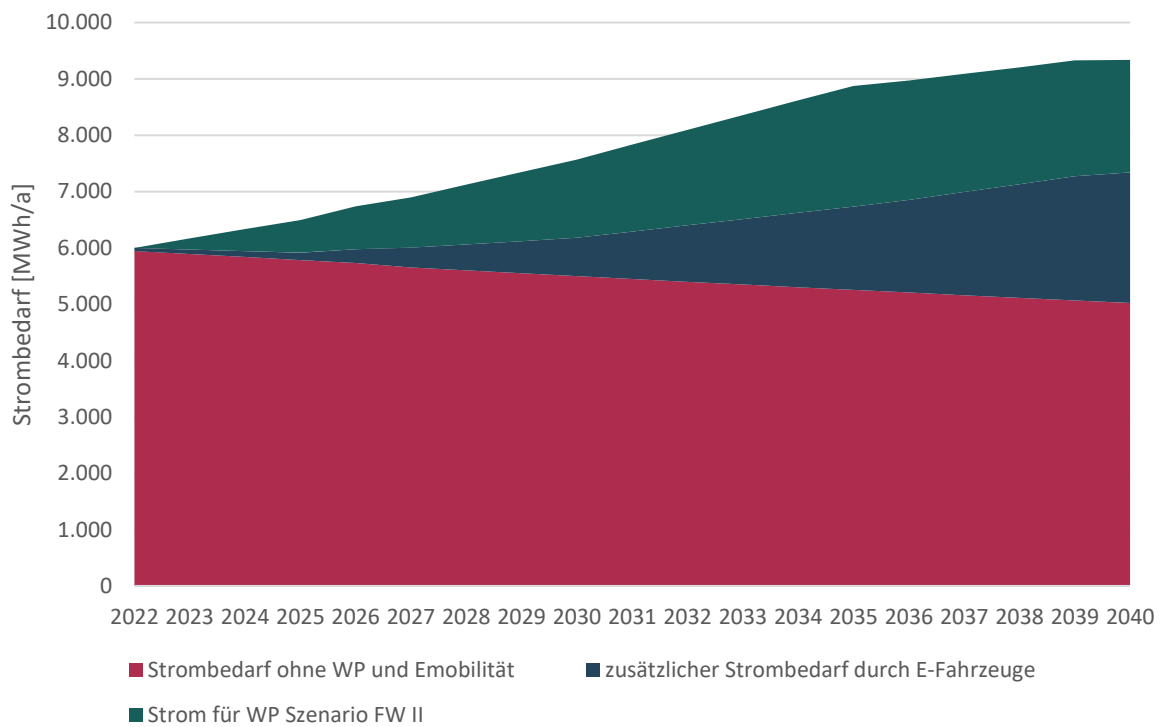


Abbildung 5-4: Prognostizierter Strombedarf bei Fernwärmeausbauszenario FW II

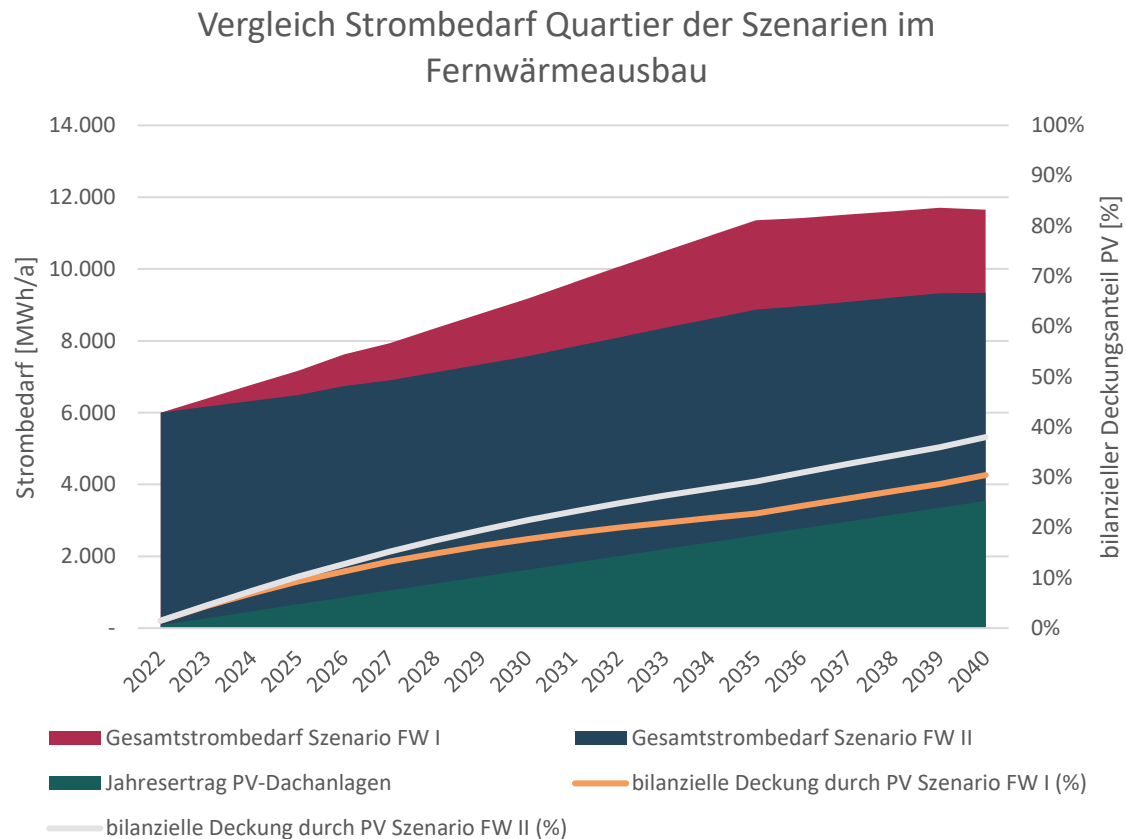


Abbildung 5-5: Vergleich des PV-Ertrags bei Vollausbau des ermittelten Potenzials bis zum Jahr 2040 und der dazugehörige

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 von einem linearen Verlauf des Emissionsfaktors in der Stromerzeugung von derzeit 0,435 t/MWh auf 0,028 t/MWh im Jahr 2050 ausgegangen (43). 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 5-6 geht hervor, dass die Gesamtemissionen nahezu unabhängig vom Ausbaupfad der Fernwärme oder Photovoltaik auf rund 2.000 bis 2.400 t/a absinken werden, das ist eine Reduktion um rund 80 %. 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.

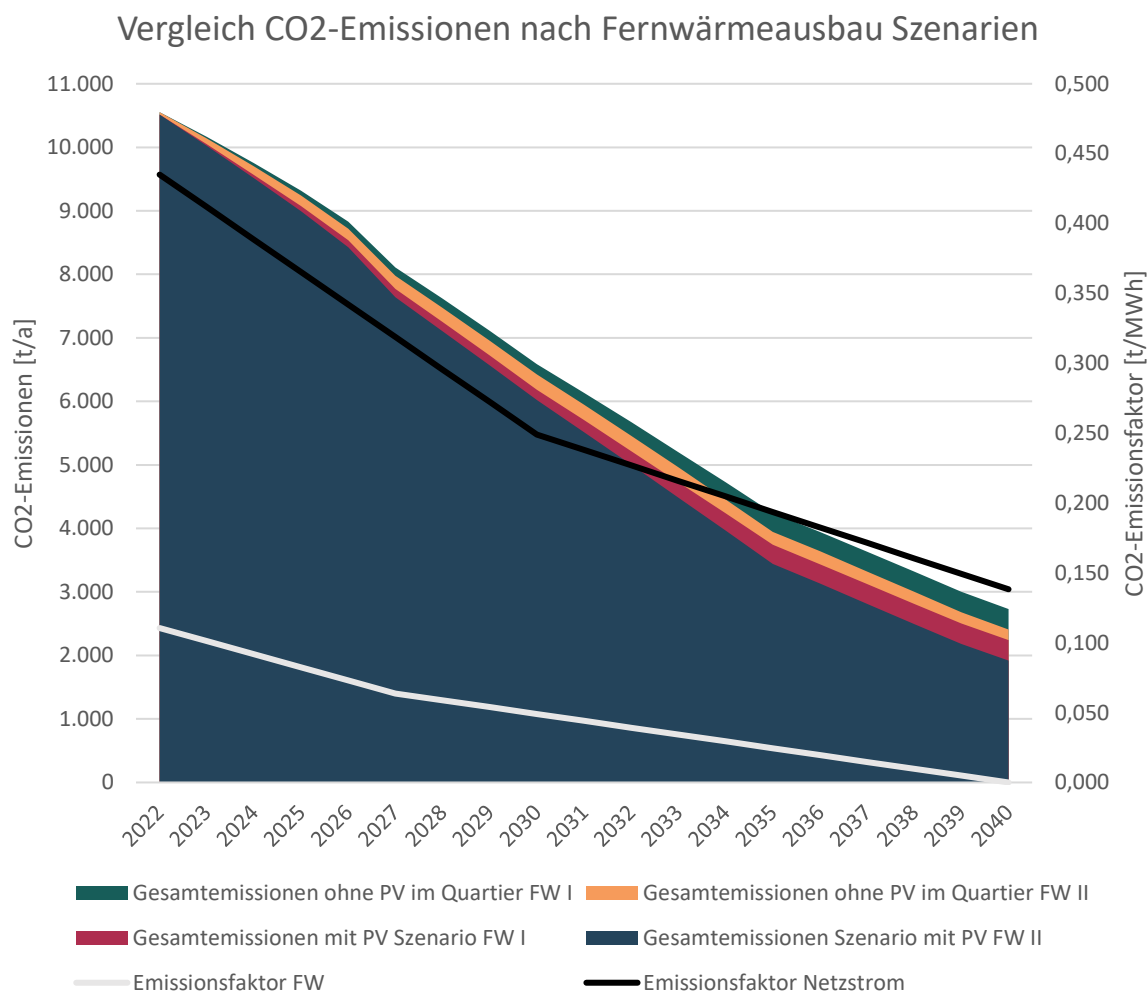


Abbildung 5-6: Entwicklung der gesamten CO2-Emissionen im Quartier bei unterschiedlichen Fernwärmeausbauszenarien unter Berücksichtigung der Emissionsfaktoren für Netzstrom und Fernwärme der Stadtwerke Mühlhausen und der Berücksichtigung, ob PV im Quartier installiert

6 Umsetzung und Wirksamkeitskontrolle

6.1 Handlungskonzept

Im *Abschnitt 4* 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 QK Südwestliche Altstadt

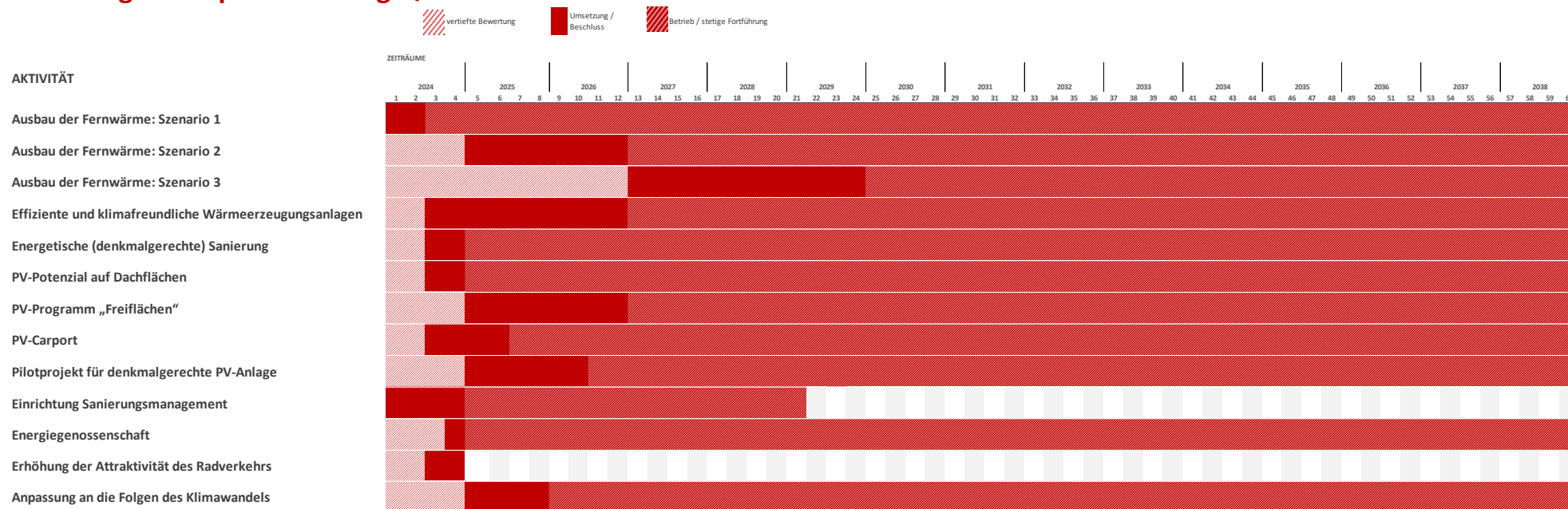


Abbildung 6-1: Ablaufplan der Maßnahmen

6.2 Umsetzungsstrategie

6.2.1 Bedeutung personeller Ressourcen

Die Umsetzung der identifizierten Maßnahmen im angestrebten Zeitplan (siehe Abbildung 6-1) 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, Wirtschaftsbetriebe, Kreis- und Landesverwaltung).

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 „Martini-Vorstadt“ 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. (44)

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 weiteres 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 (29).

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.

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 GmbH
F. Börner	Stadtwerke Mühlhausen GmbH
R. Wilms	Amtsgericht Mühlhausen
F. Spangenberg	SWG Mühlhausen mbH
Hofmann	SWG Mühlhausen mbH
B. Pickel	Wohnungsgenossenschaft Mühlhausen eG
J. Dietrich	Wohnungsgenossenschaft Mühlhausen
F. Braun	Hufeland Klinikum GmbH
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“ Martini-Vorstadt 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.

In einer Abstimmungsrunde wurde dann die Einschätzung der Akteure zur Wahrscheinlichkeit des Umsetzungserfolgs der jeweiligen vorgestellten Maßnahme abgefragt. Hervorgehoben wurde dabei, dass die technisch-wirtschaftliche Analyse im Nachgang erst durch den Konzeptersteller erfolgt, hier also vielmehr die „soziale“ Realisation abgefragt werden sollte.

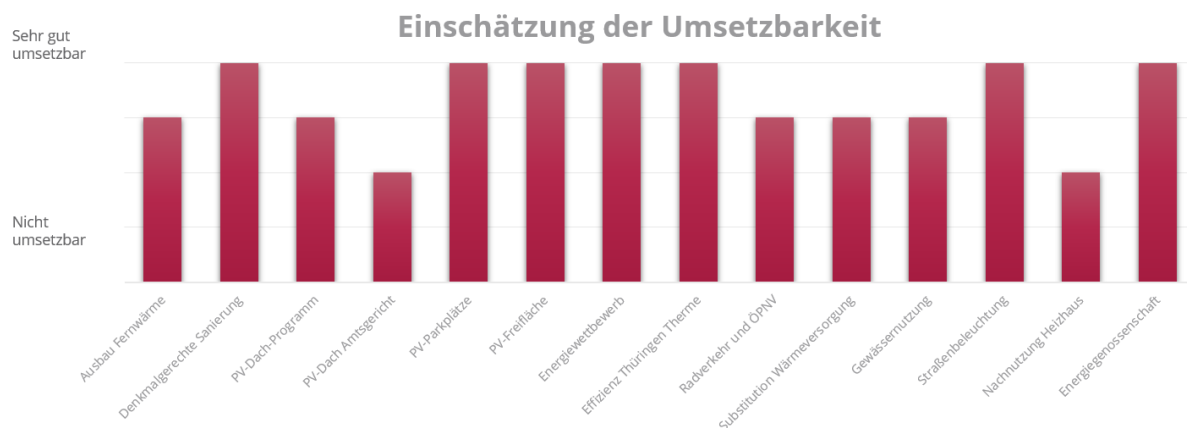


Abbildung 7-1: Einschätzung der Akteure zur "sozialen" Umsetzbarkeit der Ideen und Maßnahmen im Quartier

7.3 3. Akteursworkshop: Abstimmung der Maßnahmen – 03.11.2023

Der dritte Workshop mit den Akteuren fand erneut in Präsenz gemeinsam mit dem Schwesterquartier Martini-Vorstadt 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.

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.

8 Dokumentation und Erfolgskontrolle

Ein energetisches Monitoring wird empfohlen und dient der Evaluierung des mit der Erstellung des integrierten energetischen Quartierskonzeptes angestoßenen Prozesses der Energie- und CO₂-Einsparung. Das Energiemanagement für das betrachtete Quartier lässt sich gut mit den Aktivitäten der Stadt Mühlhausen zum Energiemanagement in kommunalen Gebäuden verknüpfen. Ein künftiges 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.

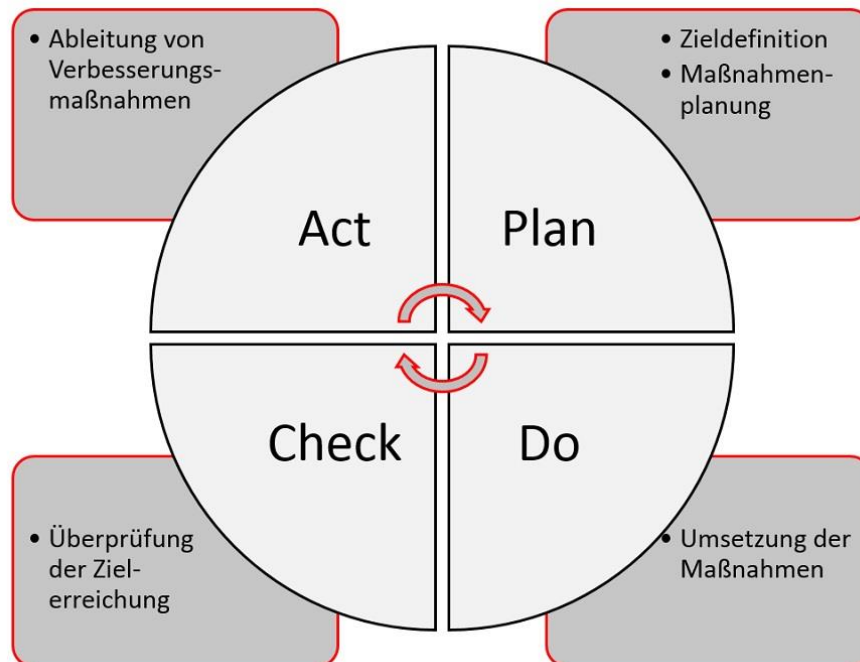


Abbildung 8-1: PDCA-Zyklus

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

Das vorliegende Quartierskonzept ist ein erster Schritt für die Umsetzung von energetischen Klimaschutzmaßnahmen, die zur Einsparung von Emissionen und einer Senkung des Energieverbrauchs beitragen. Damit die Umsetzung der im Quartierskonzept erarbeiteten Maßnahmen gelingt, wurden im vorliegenden Bericht bereits mehrere Erfolgsfaktoren genannt. Diese sollen hier nochmal einmal zusammengefasst aufgeführt werden:

Erfolgsfaktor 1: Kontinuierliche Umsetzung und Monitoring der Maßnahmen

Um die Maßnahmen effektiv umzusetzen, muss die Umsetzung der Maßnahmen kontinuierlich verfolgt und ein regelmäßiges Monitoring durchgeführt werden. Hierzu wäre z. B. ein Sanierungsmanager, der sich um die Umsetzung der Maßnahmen kümmert, prädestiniert. Der Sanierungsmanager sollte sich regelmäßig mit den relevanten Akteuren treffen, die Umsetzung von Maßnahmen anstoßen und die bereits umgesetzten Maßnahmen auswerten (Reduzierung Treibhausgasemissionen, Energieeinsparung etc.).

Erfolgsfaktor 2: Bildung von Kooperationen und gemeinschaftliche Umsetzung

Eine Vielzahl der angedachten Maßnahmen können jedoch nicht vom Energieteam im Alleingang umgesetzt werden. Je nach Maßnahme ist es sinnvoll Kooperationen mit den relevanten Akteuren im Energiebereich zu bilden und diese für die Umsetzung der Maßnahmen zu nutzen. Für nahezu alle Maßnahmen ist eine enge Zusammenarbeit zwischen der Gemeinde und den Energieverbrauchern notwendig. Weiterhin sind für einzelne Maßnahmen eine gemeinschaftliche Zusammenarbeit mit den lokalen Energieberatern, den Industrieunternehmen und Gewerbetreibenden oder dem lokalen Nahverkehrsunternehmen sinnvoll. Es wird empfohlen, diese Akteure punktuell zu den Treffen des Personenkreises zur Maßnahmenumsetzung hinzuzuholen.

Ein großes Augenmerk ist auf die Bemühungen zur Bildung einer Energiegenossenschaft zu legen. Diese ermöglichen Investitionen in Energieerzeugung und bindet Bewohner in die Energiewende ein, indem diese als Genossenschaftler profitieren können.

Erfolgsfaktor 3: Einbeziehung und Sensibilisierung der Bürger

Um eine erfolgreiche Umsetzung zu gewährleisten, müssen auch die Bewohner des Quartiers kontinuierlich mit einbezogen werden. Hier ist es sinnvoll regelmäßig Informationen über soziale Medien, die Homepage der Stadt, lokale Zeitungen und Informationsveranstaltungen zu verbreiten. Außerdem sollte es Bürgersprechstunden und Veranstaltungen geben, in denen die Maßnahmen kritisch hinterfragt und diskutiert werden können. Zusätzlich besteht die Möglichkeit für gezielte Kampagnen für Klimaschutzmaßnahmen, z. B. zum Thema Photovoltaik, Energiesparen oder Modernisierung der Heizungsanlagen. Bei Maßnahmen mit Projektcharakter ist auch die Einbeziehung der Bürgerschaft durch geeignete Beteiligungsmodelle (Energiegenossenschaften, etc.) denkbar.

Um den Energieverbrauch in den Privathaushalten nachhaltig zu senken, ist eine Sensibilisierung der Bewohner für den eigenen Energieverbrauch und Energieverbrauchssenkungen unabdingbar. Über den Sanierungsmanager sollten hier weiterhin Informationsangebote zur Verfügung gestellt werden, die Möglichkeiten zur Senkung des Strom- und Wärmeverbrauchs darstellen.

Werden diese Erfolgsfaktoren berücksichtigt, sind die Chancen hoch, dass die empfohlenen Maßnahmen erfolgreich umgesetzt werden können. Das Quartierskonzept ist nur ein kleiner Schritt für die Erreichung der Klimaschutzziele des Quartiers Bollstedt und der Stadt Mühlhausen. Nichtsdestotrotz kann es aber ein großer Schritt für das Quartier sein und dort grundlegende Änderungen in der Energieversorgung und bei den Bewohnern hervorrufen.

10 Anhang

10.1 Förderkatalog

Stand: 28.02.2024

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 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	https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie/weitere-investivmassnahmen-fuer-den-klimaschutz/einbau-von-komponenten-der-mess-steuer-und-

							regelungs-technik
ES2	Aktionsveranstaltungen in öffentlichen Einrichtungen	Kommunen, Kitas, Schulen und Hochschulen, Sportvereine, kommunale Unternehmen, Religionsgemeinschaften und weitere kommunale Akteure sowie, jetzt neu, auch Sozial- und Wohlfahrtsverbände, Contractoren und gemeinnützige Vereine	Erstmalige Einführung von Energiesparmodellen, die Nutzende sowie Träger von Bildungseinrichtungen (insbesondere in 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	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/kommunalrichtlinie/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)	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-klima-freundlicher-

			- Errichtung von Radabstellanlagen - Mobilitätsinfrastruktur zur Verbesserung des fließenden Radverkehrs				mobilitaet/verbesserung-des-ruhenden-radverkehrs-und-deren-infrastruktur
		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-bike-ride-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 (Angaben zum Denkmalschutz siehe entsprechendem Merkblatt bzw. Richtlinie)						

	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 Beratungshonorars, 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/Module2_Energieberatung/module2_energieberatung_node.html
--	----------------------------------	--	--	---	--	--	---

	Gebäudehülle, Anlagen- technik, Heizungsanlagen, Heizungsoptimierung, Energetische Fachpla- nungs- und Baubeglei- tungsleistungen	Privatpersonen und Woh- nungseigentümergein- schaften, Kommunen, Unternehmen; gilt für Ei- gentümer, Pächter oder Mieter sowie für Contrac- toren.	Gebäudehülle, Anlagen- technik, Heizungsanlagen, Heizungsoptimierung, Ener- getische Fachplanungs- und Baubegleitungsleistungen	Zuschuss: i.d.R. Förderquote i. H. v. 20-45 %; je nach Maß- nahme; Fach- planung und Baubegleitung: 50 % Das förderfä- hige Mindestin- vestitionsvolu- men 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_Gebaeude/Sa-nie-rung_Wohn-gebaeude/sa-nie-rung_wohn-ge-baeude_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/inlandsfoerderung/%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.klima-schutz.de/de/foerderung/foerderkompass/technik

Raumluftechnische 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 raumluftechnischen Anlagen in Nichtwohngebäuden: Raumluftechnische 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-raumluftechnischen-Anlagen	https://www.klima-schutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie/sanierung-und-nachruetzung-von-raumluftechnischen-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/EnergieUmwelt/F%C3%BCrderprodukte/Energieeffizienz-und-Prozessw%C3%A4rme-aus-Erneuerbaren-Energien-(295)

	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-investivemassnahmen-fuer-den-klimaschutz/beckenwasserpumpen
--	---	-----------------------	---	------	---	---	---

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/foerderprogramme/kommunalrichtlinie/sanierung-von-aussen-und-strassenbeleuchtung/zeit-oder-praesenzabhaengig-geregelte-aussen-und-strassenbeleuchtung
-----	------------------------------	--	---	--	---	---	---

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-investivemassnahmen-fuer-den-klimaschutz/elektrogeraete-der-hoechsten-effizienzklasse
-----	---	--	--	------	---	---	---

10.1.3 Geeignete Förderprogramme für Maßnahmen der Energiekonsistenz (EK)

#	Maßnahme	Antragsteller	Fördergegenstand	Förderhöhe	Besonderheiten / Kummulierbarkeit	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/Waermetze/Effiziente_Waermetze/effiziente_waermetze_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 überwiegen- den Versorgung von Neubau- ten 60 %, mit Wärme aus er- neuerbaren Energien c. Zu mindestens 50 %, bei Wärmenetzen zur überwiegen- den Versorgung von Neubau- ten 60 %, aus Wärmepumpen d. Zu mindestens 50 % bei Wär- menetzen zur überwiegenden Versorgung von Neubauten 60 %, aus Anlagen zur Nutzung von Abwärme oder d. Zu mindestens 50 %, bei Wärmenetzen zur	KfW: Erneuerbare Energien – Stan- dard (KfW 270)	https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270)/
--	--	---	--	---------------------------------------	--	--	---

					überwiegenden Versorgung von Neubauten 60 %, einer Kombination der in den Buchstaben a bis d genannten Maßnahmen und ansonsten fast ausschließlich 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	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/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.förderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Förderprogramm/Bund/BMU/klimaanpassung-in-sozialen-einrichtungen.html
K2	Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels	Städte, Gemeinden, Landkreise, kommunale Eigenbetriebe, Unternehmen mit kommunaler Beteiligung Hochschulen, Universitätskliniken, Forschungseinrichtungen Verbände, Vereine, Stiftungen	Zwei Förderschwerpunkte: A: Erstellung eines nachhaltigen Anpassungskonzepts für die Kommune, Umsetzungsvorhaben, ausgewählte Klimaanpassungsmaßnahmen B: Innovative Modellprojekte für die Klimawandelanpassung	Je nach Förderschwerpunkt: A: Erstvorhaben: max. 225.000 €; Anschlussvorhaben: max. 275.000 €; ausgewählte Maßnahmen: max. 200.000 € B: Erstellung eines Konzepts: max. 300.000 €; Umsetzung eines Konzepts: max. 500.000 €	/	Förderdatenbank / BMU / Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel	https://www.zug.org/das/

K3	Städtebauförderung	Städte und Gemeinden, Investoren, Eigentümer	Erhalt und Entwicklung der Stadt- und Ortskerne, historische Altstädte: Städtebauliche Gesamtmaßnahmen zur Anpassung, Stärkung, Revitalisierung und zum Erhalt Gestaltung eines sozialen Zusammenlebens im Quartier Gestaltung Lebenswerter Quartiere	1/3 der Kosten des Bundes, 2/3 müssen Land und Gemeinde aufbringen	/	Förderdatenbank / BMWBSB / Städtebauförderung Bund	https://www.staedtebaufoerderung.info/DE/Startseite/startseite_node.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

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 Aufbaubank / Förderprogramme / Klimaschutz-Sonderprogramm	Klimaschutz - Sonderprogramm (Zuweisungen für Gemeinden, Städte und Landkreise 2021) - Thüringer Aufbaubank
---	------------------------------	--	--	--	---	---	---

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 0-1: Überblick der Themengebiete und wichtigsten Ergebnisse	6
Abbildung 1-1: Darstellung des Quartiers Eigene Markierung.....	8
Abbildung 1-2: Deutschland auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität	9
Abbildung 2-1: Städtebauliche Entwicklungsziele aus Smart City Strategie Mühlhausen	18
Abbildung 2-2: Altersstruktur der Stadtteile Mühlhausens, hier repräsentativ für das Quartier der Stadtteil Altstadt.....	19
Abbildung 2-3: Änderung der Altersstruktur bis zum Jahr 2040.....	20
Abbildung 2-4: Altersaufbau der Bevölkerung von der Gemeinde Mühlhausen in den Jahren 2019 und 2040.....	21
Abbildung 2-5: Bestehendes Fernwärmenetz (grün) im Quartier.....	23
Abbildung 2-6: Wärmebereitstellung im Quartier nach Art der Wärmeversorgung und des Abnehmers	24
Abbildung 2-7: Aufteilung des Wärmeverbrauchs nach Verbrauchertypen (Datengrundlage: Stadtwerke Mühlhausen)	25
Abbildung 2-8: Heatmap des Wärmeverbrauchs im Quartier (violett entspricht hohem, rot-orange einem mittleren bis niedrigem Wärmeverbrauch)	25
Abbildung 2-9: Synthetisches Lastprofil des Wärmeverbrauchs mit zugehöriger Jahresdauerlinie aller Verbraucher im Quartier	27
Abbildung 2-10: Verteilung der wärmebasierten CO ₂ -Emissionen nach Sektoren	28
Abbildung 2-11: PV-Anlagen im Quartier (in hellgelb).....	29
Abbildung 2-12: Verteilung des Stromverbrauchs nach Sektoren	29
Abbildung 2-13: CO ₂ -Bilanz des Stromverbrauchs und -produktion im Quartier aufgeteilt nach den Sektoren, Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien wurde als negative Emissionen einbezogen	31
Abbildung 2-14: Verteilung der Fahrzeuganteile im Quartier.....	33
Abbildung 2-15: Anteile am Energieverbrauch nach Fahrzeugart und Antriebstyp	35
Abbildung 2-16: Relative Verteilung der Energie- und CO ₂ -Bilanz über die verschiedenen Sektoren	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 2-17: Relative Verteilung der Energie- und CO ₂ -Bilanz über die verschiedenen Sektoren.	37
Abbildung 2-18: Übersicht zum Gesamtenergieverbrauch im Quartier „Südwestliche Altstadt“	37
Abbildung 3-1: Solarpotenzial für PV-Anlagen und Solarthermie im Quartier „Südwestliche Altstadt“	38
Abbildung 3-2: Beispielhafte Belegung eines Teilgebäudes (straßenabgewandte Seite) des Hotels und Gastwirtschaft „Brauhaus zum Löwen“ am Kornmarkt 3 mit Hilfe des Solarrechner Thüringen, analog wurden alle Gebäude im Quartier zur Ermittlung der PV-Potenzials untersucht, links das geschätzte Einstrahlungspotenzial und links die Belegung der Dachfläche mit PV-Modulen	39
Abbildung 3-3: Rote PV-Module (AXSun Solar AX M-108 premium ensemble).....	41
Abbildung 3-4: PV-Ziegel bei der Montage (Autarq GmbH).....	41
Abbildung 3-5: Belegung des Daches des Amtsgerichts mit einer Aufdachanlage (PV)	42
Abbildung 3-6: rot markiert die geeignete Fläche für einen PV-Carport hinter der Brunnenstraße 9444	

Abbildung 3-7: Historisches Haus aus dem 16. Jhd. in der Altstadt von Freiberg (Sachsen) mit einem solaren Deckungsgrad des Wärmebedarfs von mehr als 70 %; links Innenhof (straßenabgewandt) und rechts die Straßenansicht (Quelle: FASA AG)	47
Abbildung 3-8: Geothermisches Potenzial im Gebiet der Altstadt von Mühlhausen	49
Abbildung 3-9: Beispiel für ein Gebäude für mehrgeschossige Reihenwohnhäuser in Blockrandbebauung (bis 1870), hier Linsenstraße 12 in Mühlhausen.....	52
Abbildung 3-10: Einsparpotenzial und Denkmalverträglichkeit (oben), Vergleichende Beurteilung der Maßnahmen (unten), mehrgeschossige Reihenwohnhäuser in Blockrandbebauung (bis 1870)	55
Abbildung 3-11: Einsparpotenzial und Denkmalverträglichkeit (oben), Vergleichende Beurteilung der Maßnahmen (unten), mehrgeschossige Reihenhäuser in Blockrandbebauung (1870 bis 1920)	56
Abbildung 3-12: Fernwärmeausbau in der südwestlichen Altstadt, in Grün die bestehende Fernwärmeleitung, in rosa der aktuelle Ausbau und in orange das damit erschlossenes Gebiet (FW I), in Rot der angenommene Ausbau mit dem erschlossenen Gebiet.....	58
Abbildung 3-13: Anteile von Anwendungsbereichen am Stromverbrauch privater Haushalte 2018...	62
Abbildung 3-14: Liniennetzplan des Kommunalverkehrs in Mühlhausen. Die Linien im Quartier „Südwestliche Altstadt“: 2, 5 und 8A.....	65
Abbildung 3-15: Deutsche Genossenschafts- und Raiffeisenverband	68
Abbildung 5-1: Wärmeversorgung bei Umsetzung des Fernwärmeszenarios I	85
Abbildung 5-2: Wärmeversorgung bei Umsetzung des Fernwärmeszenarios I und II	85
Abbildung 5-3: Prognostizierter Strombedarf bei Fernwärmeausbauszenario FW I	87
Abbildung 5-4: Prognostizierter Strombedarf bei Fernwärmeausbauszenario FW II	87
Abbildung 5-5: Vergleich des PV-Ertrags bei Vollausbau des ermittelten Potenzials bis zum Jahr 2040 und der dazugehörige	88
Abbildung 5-6: Entwicklung der gesamten CO2-Emissionen im Quartier bei unterschiedlichen Fernwärmeausbauszenarien unter Berücksichtigung der Emissionsfaktoren für Netzstrom und Fernwärme der Stadtwerke Mühlhausen und der Berücksichtigung, ob PV im Quartier installier.....	89
Abbildung 6-1: Ablaufplan der Maßnahmen.....	91
Abbildung 7-1: Einschätzung der Akteure zur "sozialen" Umsetzbarkeit der Ideen und Maßnahmen im Quartier	94
Abbildung 8-1: PDCA-Zyklus	97

10.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufschlüsselung der Wärmeerzeuger nach Art und Anteil an der Wärmeversorgung (heizwertbezogen).....	24
Tabelle 2: CO ₂ -Bilanz der Wärmeversorgung bezogen auf die Versorgungsart (Medium), Angaben beziehen sich auf ein Jahr, CO ₂ -Faktoren sind brennwertbezogen.....	27
Tabelle 3: CO ₂ -Bilanz Strom, die Stromproduktion durch die PV-Anlage auf dem Gebäude der Kriminalpolizei wird als Gutschrift betrachtet und vom Verbrauch abgezogen	30
Tabelle 4: Berechnung Approximationsfaktor	32
Tabelle 5: Anzahl zugelassener Fahrzeuge in der Stadt Mühlhausen und im Quartier (zum 01.01.2022)	33
Tabelle 6: PKW-Dichte des Quartiers im Vergleich zum Freistaat Thüringen und Deutschland insgesamt	33
Tabelle 7: Durchschnittliche Fahrleistungen der betrachteten Fahrzeuge	34
Tabelle 8: Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch bzw. Energieverbrauch der Fahrzeuge bezogen auf 100 km Fahrstrecke	34
Tabelle 9: Gesamter Energieverbrauch der Fahrzeugtypen pro Jahr im Quartier	34
Tabelle 10: CO ₂ -Faktor nach Kraftstoffart (bezogen auf Heizwert), CO ₂ -Faktor für Strom entspricht dem deutschen Strommix	35
Tabelle 11: CO ₂ -Bilanz Verkehr.....	35
Tabelle 12: Gesamt Energie- und CO ₂ -Bilanz für das Quartier Südwestliche Altstadt.....	36
Tabelle 13: Potentiale Solarenergie (PV) von Dachflächen.....	39
Tabelle 14: PV-Anlage für das Amtsgericht, Vergleich verschiedener PV-Lösungen	42
Tabelle 15: Maße des PV-Carports mit der installierbaren PV-Leistung	43
Tabelle 16: Kennwerte einer PV-Freiflächenanlage zur bilanziellen Deckung des derzeitigen Strombedarfs im Quartier Südwestliche Altstadt	45
Tabelle 17: Theoretisches Potenzial an solarthermischen Anlagen im Quartier	46
Tabelle 18: Einsparpotenziale der häufigsten Bebauungsart im Quartier gemäß der und Abbildung 24	53
Tabelle 19: Kosten und Potenziale der drei Fernwärmeszenarien zum Ausbau der Fernwärme in der südwestlichen Altstadt	59
Tabelle 20: Vergleich von Luft-Wasser- zu Sole-Wasser-Wärmepumpen bei Ersatz der bestehenden Öl- und Gaskessel im Quartier	61
Tabelle 21: Stromverbrauch durch Straßenbeleuchtung im Quartier	63
Tabelle 22: Buslinien im Quartier mit ihrer jeweiligen Taktung	65

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
EE1 – EE8	Maßnahmen der Effizienz
EFH	Einfamilienhaus
EK1- EK4	Maßnahmen der Konsistenz
EnEV	Energieeinsparverordnung
ES1 – ES3	Maßnahmen der Suffizienz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GW / GWh	Gigawatt / Gigawattstunden
GTZ	Gradtagszahl
iKWK	Innovative KWK
INSEK	Integriertes Stadtentwicklungskonzept
JAZ	Jahresarbeitszahl
K	Kelvin
K1 – K3	Maßnahmen der Kompensation
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
U1 – U2	Maßnahmen zur Umsetzungsunterstützung
VBH	Versorgungsbetriebe Mühlhausen GmbH
VGH	Verkehrsgesellschaft Mühlhausen mbH
VL	Vorlauf
WK	Wohnkomplex

10.5 Ermittlung Primärenergiefaktoren

Die Primärenergiefaktoren der Varianten in Bezug auf Wärme wurden nach dem Arbeitsblatt FW 309 Teil 1 – Energetische Bewertung von Fernwärme und Fernkälte der AGFW als aktuell und bis 2030 gültige Bilanzierungsmethode ermittelt.

$$f_{P,FW} = \frac{\sum W_{Br,i} * f_{P,Br,i} + (A_{HN} - A_{Bne,KWK}) * f_{P,verdr}}{\sum Q_{FW,j}}$$

mit

$f_{P,FW}$ Primärenergiefaktor des Fernwärmesystems

$W_{Br,i}$ Brennstoffwärme des Energieträgers i (Bezug auf Heizwert)

$f_{P,Br,i}$ Primärenergiefaktor des Brennstoffes i

A_{HN} Stromarbeit zum Betrieb des Heiznetzes

$A_{Bne,KWK}$ KWK-Nettostromerzeugung nach AGFW FW 308

$f_{P,verdr}$ Primärenergiefaktor des Verdrängungsmix (entspricht 2,8)

$Q_{FW,j}$ Auf Primärseite der Hausstation des Gebäudes j gemessener Wärmeverbrauch

			KONVENTIONELL	HYBRID	NACHHALTIG	SEETHERMIE
Wärme						
Jahreswärmebedarf	MWh		57.725	57.725	57.725	57.725
Netzverluste Wärmenetz	MWh		11.545	11.545	11.545	11.545
Jahreswärmeerzeugung	MWh		69.270	69.270	69.270	69.270
Davon Wärme aus KWK-Anlagen	MWh		44.746	34.658	34.658	0
Davon Wärme aus Nicht-KWK-Anlagen	MWh		24.524	34.612	34.612	69.270
Anteil KWK-Wärme (nur BHKW)	%		65%	50%	50%	0%
Endenergiebedarf						
Erdgas für KWK-Anlagen	MWh		104.371	79.494	0	0
Erdgas für Nicht-KWK-Anlagen	MWh		28.851	13.814	13.814	0
Biomethan für KWK-Anlagen	MWh		0	0	79.494	0
Biomethan für Nicht-KWK-Anlagen	MWh		0	0	0	0
Strom: Wärmepumpen	MWh		0	5.022	5.022	30.353
Umweltenergie: Solarenergie	MWh		0	9.057	9.057	0
Umweltenergie: Erd-/ Umgebungswärme	MWh		0	25.665	25.665	143.315
Primärenergiebedarf						
		$f_{P,Br}$				
Erdgas für KWK-Anlagen	MWh	1,1	114.809	87.443	0	0
Erdgas für Nicht-KWK-Anlagen	MWh	1,1	31.737	15.196	15.196	0
Biomethan für KWK-Anlagen	MWh	0,5	0	0	39.747	0
Biomethan für Nicht-KWK-Anlagen	MWh	0,5	0	0	0	0
Strom: Wärmepumpen	MWh	1,8	0	9.040	9.040	54.636
Umweltenergie: Solarenergie	MWh	0,0	0	0	0	0
Umweltenergie: Erd-/ Umgebungswärme	MWh	0,0	0	0	0	0
Σ	MWh		146.545	111.679	63.983	54.636
Stromgutschrift						
Nettostromerzeugung	MWh	$f_{P,verdr}$	47.624	35.079	35.079	0
Primärenergiegutschrift	MWh	2,8	133.348	98.220	98.220	0
Primärenergiefaktor						
Primärenergiefaktor 2021	-		0,23	0,23	0,00	0,95
Primärenergiefaktor 2030	-		0,23	0,16	-	0,50

Berechnungstabelle Primärenergiefaktoren

*PEF Strommix für 2030 hochskaliert anhand historischer Entwicklung auf 0,95

11 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. Europäischer Rat. [Online] 2023. <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. ISEK Mühlhausen. [Online] 2018. <https://www.muehlhausen.de/rathaus-erkunden/stadtverwaltung/stadtentwicklung-bauordnung/stadtplanung/staedtebauliche-konzepte/>.
7. Stadt Mühlhausen. [Online] 2020.
https://www.muehlhausen.de/fileadmin/documents/BROSCHUEREN_FLYER/KLIMASCHUTZ/Massnahmenkatalog_Klimaschutz_Muehlhausen.pdf.
8. 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.
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. Einwohnermeldeamt. *Einwohner Mühlhausen*. 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. Stadtverwaltung Wilke. *STADT MÜHLHAUSEN STADTENTWICKLUNGSKONZEPT 2018*.

17. Diez, Beatrice, et al. *Wohnungsmarktprognose der Stadt Mühlhausen (Thüringen)*. Timourou Wohn- & Stadtraumkonzepte. Leipzig : s.n., Juni 2022.
18. Thüringer Landesamt für Statistik. *Demografisches Gemeindeprofil der Gemeinde Mühlhausen/thüringen, Stadt im Landkreis Unstrut-Hainich-Kreis*. 2021.
19. Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserverband (BGW). *Praxisinformation P 2006 / 8 Gastransport, Betriebswirtschaft*. Bonn : Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, 2006.
20. Deutscher Wetterdienst. DWD Klimaberatungsmodul. *Portal*. [Online] 31. 07 2023. <https://kunden.dwd.de/obt/>.
21. 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.
22. Statistik Thüringen. *Pressemitteilung 049/2023*. [Online] 16. 03 2023. https://www.statistik.thueringen.de/presse/2023/pr_049_23.pdf.
23. Destatis. [Online] 15. 09 2022. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/09/PD22_N058_51.html.
24. Kraftfahrtbundesamt. KBA. *Bestand*. [Online] 11. 06 2021. https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/FahrzeugklassenAufbauarten/fz_b_fzkl_auf_b_archiv/2021/2021_b_pkw_bundeslaender_gif2.html?nn=2598042.
25. 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/>.
26. hvv Schulprojekte. hvv Schulprojekte. *Kraftstoffverbrauch*. [Online] 11. 06 2021. <https://www.hvv-schulprojekte.de/unterrichtsmaterialien/kraftstoffverbrauch/>.
27. Medici Internet AG. Bußgeldkatalog. *Elektro-Motorrad*. [Online] 21. 06 2021. <https://www.bussgeldkatalog.de/elektro-motorrad>.
28. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH. IFEU. *Klimaschutzplaner*. [Online] 21. 06 2021. <https://www.ifeu.de/projekt/klimaschutz-planer/>.
29. BAFA Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. BAFA. *Energieberatung*. [Online] 18. 11 2022. https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieberatung/Nichtwohngebaeude_Anlagen_Systeme/nicht_wohngebaeude_anlagen_systeme_node.html.
30. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. BAFA. *Infoblatt CO2*. [Online] 15. 11 2021. https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2021.pdf?__blob=publicationFile&v=5.

31. Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur & Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz Thüringen. Solarrechner Thüringen. [Online] August 2023. <https://www.solarrechner-thueringen.de/>.
32. Solardachziegel – Echte Alternative oder teurer Hingucker? [Online] 27. Dezember 2023. [Zitat vom: 15. Januar 2024.] <https://www.wegatech.de/ratgeber/solardachziegel/>.
33. 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>.
34. Augsburg, Bernd, et al. *Energetische Sanierung von Baudenkmalen: Handlungsanleitung für Behörden, Denkmaleigentümer, Architekten und Ingenieure*. [Hrsg.] Abteilung 5 - Standtwentwicklung, Bau- und Wohnungswesen Sächsisches Staatsministerium des Innern. 1. Auflage. Dresden : Druck- und Verlagsgesellschaft Marienberg GmbH, 2011.
35. BINE Informationsdienst. Wirtschaftlichkeit energieoptimierter Gebäude. *enbausa.de*. [Online] 2017. https://www.enbausa.de/fileadmin/user_upload/Downloads/BINE_EnEV_Wirtschaftlichkeit.pdf.
36. Statista. Altersstruktur von Öl- und Gasheizungen in Deutschland im Jahr 2022. [Online] [Zitat vom: 12. Dezember 2023.] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/209449/umfrage/altersstruktur-von-oel-und-gasheizungen-in-deutschland/#statisticContainer>.
37. Umweltbundesamt. Energieverbrauch privater Haushalte. [Online] 03. 03 2023. [Zitat vom: 06. 12 2023.] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#endenergieverbrauch-der-privaten-haushalte>.
38. REGIONALBUS-Gesellschaft Unstrut-Hainich- und Kyffhäuserkreis mbH. Stadtlinien Mühlhausen. [Online] [Zitat vom: 14. Dezember 2023.] <https://www.regionalbus.de/service/stadtlinien/muehlhausen>.
39. ChargeFinder. [Online] [Zitat vom: 14. Dezember 2023.] <https://chargefinder.com/de/stromtankstelle-muehlhausen-brunnenstrasse/pj56q3>.
40. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB). Sanierungsmanagement: Aufgabenfelder, Kompetenzen, Organisationsmodelle. *Energetische Stadtsanierung*. [Online] [Zitat vom: 4.. Januar 2024.] <https://energetische-stadtsanierung.info/informationen-fuer-die-praxis/sanierungsmanagement/>.
41. Forschungsinformationssystem. Blau-grüne Infrstruktur zur Regulierung des Stadtklimas. [Online] [Zitat vom: 15. Dezember 2023.] <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/542870/>.
42. mellon Gesellschaft für nachhaltige Infrastruktur mbH. *Teilkonzept Stadtgrün - Mühlhausen/Thüringen*. 2023.

43. 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.
44. 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).
45. Umweltbundesamt. Umweltbundesamt.de. *Treibhausgasemissionen in Deutschland*. [Online] 21. 06 2021. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung>.
46. Bauer, Jan. *Vorstellung der Carsharing PLattform im Rahmen der Zukunftswerkstatt Industriegebiet Konstanz*. 20. 10 2021.
47. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. *Klimaschutzplan 2050*. [Online] 31. 01 2022.
<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-klimaschutzplan-2050.html>.
48. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). *www.umweltbundesamt.de*. [Online] 2021. [Zitat vom: 11. 05 2021.]
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/radverkehr#gtgt-gesund/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/radverkehr#gtgt-gesund>.
49. Fraunhofer ISI, Consentec GmbH, ifeu. *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland*. 2021.
50. ISE, Fraunhofer. *Abschlussbericht WP smart im Bestand*. Freiburg : s.n., 2020.
51. 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>.
52. Umweltamt Thüringen. [Online] 14. 12 2018.
<https://umwelt.thueringen.de/themen/klima/klimagesetz>.
53. Stadt Mühlhausen. [Online] 2020. <https://www.muehlhausen.de/rathaus-erkunden/stadtverwaltung/kultur-sport-ehrenamt-klimaschutz/klimaschutz/>.
54. Stadt Mühlhausen. [Online] 10 2017.
https://www.muehlhausen.de/fileadmin/documents/ORTSRECHT_SATZUNGEN/FD7.2_Stadtplanung/Staedtebauliche_Konzepte/Radverkehrskonzept_Oktober_2017.pdf.
55. 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.

56. Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz. Kartendienst des Thüringer Landesamtes für Umwelt, Bergbau und Naturschutz. [Online] November 2023.
<https://antares.thueringen.de/cadenza/pages/home/index.xhtml>.

57. *Vitalitätsprüfung Bollstedt*. 2023.

58. Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz . [Online] 14. 12 2018.
<https://umwelt.thueringen.de/themen/klima/klimagesetz>.

59. LLC, Google. *Google Earth Pro*. 2023.

60. Stadt Mühlhauesen. [Online] <https://www.muehlhausen.de/rathaus-erkunden/stadtverwaltung/wirtschaft-soziales/wirtschaftsfoerderung/branchen-unternehmen/>.