



EISENACH

DIE WARTBURGSTADT

Kommunaler Wärmeplan für die Stadt Eisenach

Zwischenbericht

Eisenach/Lampertheim, 23.08.2024

Impressum

Auftraggeberin:

Stadtverwaltung der Wartburgstadt
Eisenach
Markt 2
99817 Eisenach
Telefon: 0 36 91 / 670 531
Web: www.eisenach.de

Ansprechpartner:
Fachdienst Stadtentwicklung
Anne Häring

Auftragnehmerin:



EnergyEffizienz GmbH
Gaußstraße 29a
68623 Lampertheim
Telefon: 06206/5803581
E-Mail: j.mueggenborg@e-eff.de
Web: www.e-eff.de

Projektleitung:
Johanna Müggenborg, M.Sc.

Projektteam:
Leonie Bremer, M.Sc.
Anne Jüttner, Dipl.-Ing.
Silvia Drohner, B.Sc.
Semen Pavlenko, M.A.
Sophie Weisenbach, B.Eng.



greenventory GmbH
(im Unterauftrag)
Georges-Köhler-Allee 302
79110 Freiburg im Breisgau
Telefon: 0761/76994160
E-Mail: info@greenventory.de
Web: www.greenventory.de

Projektteam:
Stefan Beck, M.Sc.

Inhalt

1. Einleitung.....	5
2. Grundlagen.....	6
2.1 Methodik und Aufbau des Wärmeplans.....	6
2.2 Datenerfassung / Methodik.....	7
2.2.1 Bestandsanalyse.....	7
2.2.2 Potenzialanalyse.....	7
2.3 Datenschutz.....	8
3. Bestandsanalyse.....	9
3.1 Das Projektgebiet.....	9
3.2 Datenerhebung.....	9
3.3 Gebäudebestand.....	10
3.4 Wärmebedarf.....	13
3.5 Analyse der dezentralen Wärmeerzeuger.....	15
3.6 Eingesetzte Energieträger.....	16
3.7 Gasinfrastruktur.....	17
3.8 Wärmenetze.....	18
3.9 Treibhausgasemissionen der Wärmeerzeugung.....	18
3.10 Zusammenfassung Bestandsanalyse.....	21
4. Potenzialanalyse.....	23
4.1 Erfasste Potenziale.....	23
4.2 Methode: Indikatorenmodell.....	24
4.3 Potenziale zur Stromerzeugung.....	28
4.4 Potenziale zur Wärmeerzeugung.....	29
4.5 Potenzial für eine lokale Wasserstoffherzeugung.....	32
4.6 Potenziale für Sanierung.....	32
4.7 Zusammenfassung und Fazit.....	34
Literaturverzeichnis.....	36

Tabellenverzeichnis	38
Abbildungsverzeichnis	38
Abkürzungsverzeichnis	39

ENTWURF

1. Einleitung

Eine umfassende Wärmewende in Deutschland ist von großer Bedeutung und Dringlichkeit, da der Wärmesektor hierzulande einen Großteil des Endenergieverbrauchs ausmacht, dieser bislang aber nur in unzureichendem Maße klimaverträglich durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Damit im Wärmesektor die übergeordneten Klimaschutzziele erfüllt werden, sind weitreichende Maßnahmen zur Sicherstellung einer nachhaltigen und klimafreundlichen Versorgung erforderlich.

Als wegweisende Maßnahme für die Wärmewende will das Land Thüringen mit seinem Gesetz zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Thüringer Klimagesetz – ThürKlimaG) den Energiebedarf in Thüringen ab dem Jahr 2040 bilanziell durch einen Mix aus erneuerbaren Energien aus eigenen Quellen decken können. Auch die Bundesregierung hat ein Wärmeplanungsgesetz in den Bundestag eingebracht, das zum Jahresbeginn 2024 in Kraft getreten ist und zum Ziel die Klimaneutralität durch eine treibhausgasneutrale Wärmeversorgung bis spätestens zum Jahr 2045 hat. Zur Erreichung dieses Ziels ist jedes Gemeindegebiet zur Erstellung eines kommunalen Wärmeplans verpflichtet.

Vor diesem Hintergrund lässt die Stadt Eisenach derzeit eine Wärmeplanung erarbeiten. Der vorliegende Bericht stellt die Zwischenergebnisse der kommunalen Wärmeplanung für die Stadt Eisenach dar. Auf Basis einer Ausschreibung hat die Stadtverwaltung Eisenach die EnergyEffizienz GmbH aus Lampertheim mit der Erarbeitung der Wärmeplanung beauftragt. Im Unterauftrag ist zudem die greenventory GmbH an der Konzepterstellung beteiligt. Das jeweilige Firmenlogo in der Kopfzeile kennzeichnet die schwerpunktmäßig erarbeiteten Inhalte der Projektpartner. Die Wärmeplanung bildet die strategische Grundlage für die Gestaltung einer zukunftsfähigen Wärmeversorgung in der Stadt. Zugleich erfüllt die Stadt Eisenach mit der vorliegenden Wärmeplanung die Verpflichtung gemäß Wärmeplanungsgesetz.

2. Grundlagen

2.1 Methodik und Aufbau des Wärmeplans

Im Wesentlichen gliedert sich die Planerstellung gemäß Leitfaden der KEA-BW in **vier Hauptphasen**:

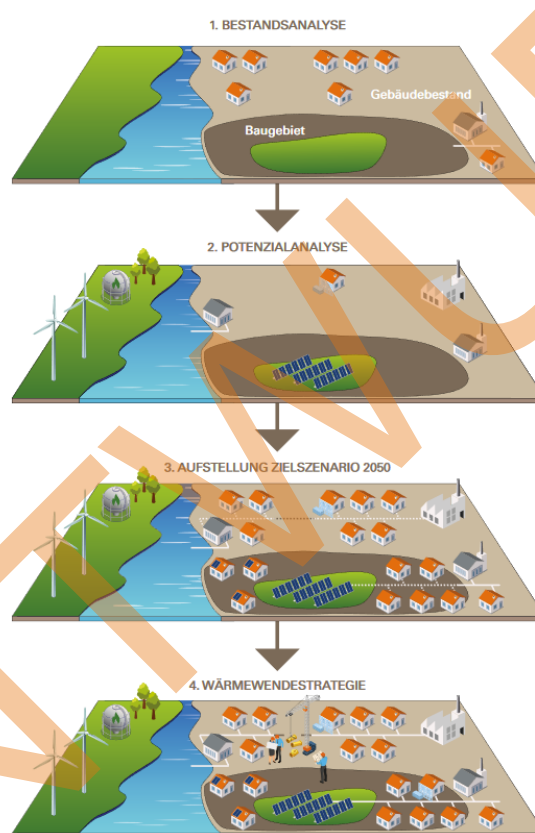


Abbildung 1: Hauptphasen des Wärmeplans

1. Bestandsanalyse

Erhebung des aktuellen Wärmebedarfs und -verbrauchs und der daraus resultierenden Treibhausgasemissionen, einschließlich Informationen zu den vorhandenen Gebäudetypen und Baualtersklassen, der Versorgungsstruktur aus Gas- und Wärmenetzen, Heizzentralen und Speichern sowie Ermittlung der Beheizungsstruktur der Wohn- und Nichtwohngebäude. Erstellung einer Energie und Treibhausgasbilanz nach Energieträgern und Sektoren.

2. Potenzialanalyse

Ermittlung der Potenziale zur Energieeinsparung für Raumwärme, Warmwasser und

Prozesswärme in den Sektoren Haushalte, Gewerbe-Handel-Dienstleistungen, Industrie und öffentlichen Liegenschaften sowie Erhebung der lokal verfügbaren Potenziale erneuerbarer Energien und der Abwärmepotenziale.

3. Zielszenario

Entwicklung eines Szenarios für eine klimaneutrale Wärmeversorgung. Dazu wird die Nutzung der in Phase 2 ermittelten Potenziale für Energieeinsparung und erneuerbare Energien in einer Energie- und Treibhausgasbilanz nach Sektoren und Energieträgern für die Jahre 2030 und 2040 dargestellt. Außerdem erfolgt eine räumlich aufgelöste Beschreibung der dafür benötigten zukünftigen Versorgungsstruktur im Jahr 2040 mit einem Zwischenziel für 2030. Insbesondere soll eine Einteilung in Eignungsgebiete für Wärmenetze und Einzelversorgung erfolgen.

4. Wärmewendestrategie

Formulierung eines Transformationspfads zum Aufbau einer klimaneutralen Wärmeversorgung und Beschreibung der dafür erforderlichen Maßnahmen. Die Maßnahmen sollen spezifisch auf unterschiedliche Eignungsgebiete und Quartiere eingehen. Insbesondere sollen der Pfad und der Endzustand der Infrastruktur für Wärme- und Gasnetze festgelegt werden. Prioritäre Maßnahmen zur Umsetzung in den nächsten fünf bis sieben Jahren sollen dabei möglichst detailliert beschrieben werden. Für mittel- und langfristige Maßnahmen sind ausführliche Skizzen ausreichend. Die Summe der beschriebenen Maßnahmen soll zu den erforderlichen Treibhausgasreduzierungen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung führen. Die Öffentlichkeit (Bürgerschaft, Interessengruppen sowie Vertreterinnen und Vertreter der Wirtschaft) soll am Entwurf des Wärmeplans beteiligt werden.

2.2 Datenerfassung / Methodik

2.2.1 Bestandsanalyse

Das Ziel der Bestandsanalyse besteht darin, ein genaues Bild des aktuellen Zustands der Gebäudestruktur, des Wärmebedarfs und der vorhandenen Wärmeinfrastruktur zu erlangen. Hierfür ist zunächst eine umfängliche Datenerhebung erforderlich, die im weiteren Projektverlauf die Basis für die Identifikation konkreter Handlungsbedarfe und die Ausarbeitung von Szenarien zur Dekarbonisierung, inklusive der darauf aufbauenden strategischen Maßnahmen bildet.

2.2.2 Potenzialanalyse

Die zu erhebenden Potenziale sind aufgeteilt in flächenbezogene sowie Gebäudepotenziale. Die Analyse von Potenzialen unterscheidet sich je nach Energiequelle erheblich. Die Methodik zur Bestimmung der erfassten Potenziale zur Energiegewinnung beruht auf der SaaS-Lösung (Software as a Service) von der greenventory GmbH, die eine integrierte und sektorübergreifende Energieplanung ermöglicht. SaaS ist ein cloudbasiertes Modell, bei dem der Anbieter eine Software entwickelt, wartet und Updates automatisch bereitstellt. Diese Plattform nutzt fortschrittliche KI-Algorithmen für die digitale Inventarisierung des Energiesystems auf Gebäudeebene und moderne Simulationsverfahren

zur Ermittlung repräsentativer Last- und Erzeugungsprofile. Die Methoden für die einzelnen Potenziale werden im Anhang ausführlich beschrieben.

2.3 Datenschutz

Bei der Erhebung und Verarbeitung der zu sammelnden Daten sind die Vorgaben an den Datenschutz eingehalten worden (gemäß § 27 Absatz 5 und § 33 KlimaG BW). Veröffentlichtes Material lässt zudem keine Rückschlüsse auf personenbezogene Daten zu.

ENTWURF

3. Bestandsanalyse

Die Grundlage der KWP ist ein Verständnis der Ist-Situation sowie eine umfassende Datenbasis. Letztere wurde digital aufbereitet und zur Analyse des Bestands genutzt. Hierfür wurden zahlreiche Datenquellen aufbereitet, integriert und für Beteiligte an der Erstellung der kommunalen Wärmeplanung zugänglich gemacht. Die Bestandsanalyse bietet einen umfassenden Überblick über den gegenwärtigen Energiebedarf, die Energieverbräuche, die Treibhausgasemissionen sowie die existierende Infrastruktur.

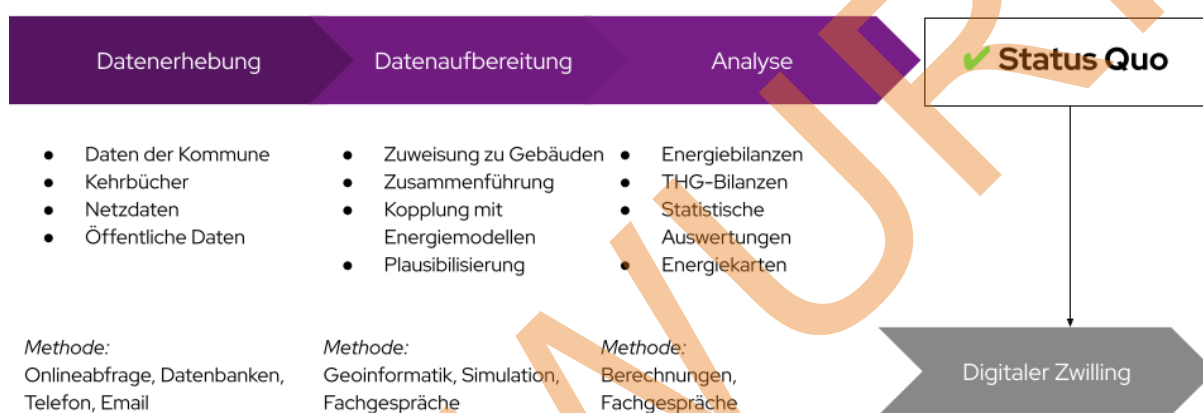


Abbildung 2: Vorgehen bei der Bestandsanalyse

3.1 Das Projektgebiet

Eisenach ist eine Große Kreisstadt im Wartburgkreis in Thüringen und hat 42.817 Einwohner (Dezember 2023). Die gesamte Fläche Eisenachs beträgt etwa 104 km². Die Stadt Eisenach besteht aus der Kernstadt sowie 11 weiteren Ortsteilen. Eisenach ist gekennzeichnet durch das Vorhandensein einer vielfältigen Landschaftsstruktur, die sowohl große Waldflächen und landwirtschaftlich genutzte Flächen als auch städtische und industrielle Bereiche umfasst. Das UNESCO-Welterbe Wartburg ist das Wahrzeichen der Stadt. Kulturell und historisch geprägt ist Eisenach außerdem als Geburtsstadt von Johann Sebastian Bach, Lutherstadt und Stadt des Automobilbaus. Insbesondere die große erhaltene Altstadt prägt das Stadtbild.

3.2 Datenerhebung

Am Anfang der Bestandsanalyse erfolgte die systematische Erfassung von Verbrauchsdaten für Wärme, einschließlich Gas- und Stromverbrauch speziell für Heizzwecke. Zusätzlich wurden ortsspezifische Daten aus Plan- und Geoinformationssystemen (GIS) der städtischen Ämter bezogen, die ausschließlich für die Erstellung des Wärmeplans freigegeben und verwendet wurden. Die primären Datenquellen für die Bestandsanalyse sind folgendermaßen:

- Statistik und Katasterdaten des amtlichen Liegenschaftskatasters (ALKIS)
- Daten zu Strom- und Gas- und Wärmenetzverbräuchen, welche von Netzbetreibern zur Verfügung gestellt werden
- Verlauf der Strom- und Gas- und Wärmenetze
- Daten über Abwärmequellen, welche durch Befragungen bei Betrieben erfasst wurden
- 3D-Gebäudemodelle (LoD2)

Die vor Ort bereitgestellten Daten wurden durch externe Datenquellen sowie durch energietechnische Modelle, Statistiken und Kennzahlen ergänzt. Aufgrund der Vielfalt und Heterogenität der Datenquellen und -anbieter war eine umfassende manuelle Aufbereitung und Harmonisierung der Datensätze notwendig.

Da in der KWP andere, teils detailliertere Datensätze zur Ermittlung der Bestandsanalyse genutzt werden und andere Jahre als Grundlage verwendet wurden, sind die Ergebnisse nicht direkt mit denen anderer Konzepte, wie beispielsweise dem Klimaschutzkonzept zu vergleichen.

3.3 Gebäudebestand

Durch die Zusammenführung von offenem Kartenmaterial sowie dem amtlichen Liegenschaftskataster ergaben sich 12.521 analysierte Gebäude in Eisenach. Wie in Abbildung 2 zu sehen, besteht der überwiegende Anteil der Gebäude aus Wohngebäuden, gefolgt von GHD sowie Industrie und Produktion und öffentlichen Bauten. Hieraus wird ersichtlich, dass die Wärmewende eine kleinteilige Aufgabe ist und sich zu großen Stücken im Wohnbereich abspielen muss.

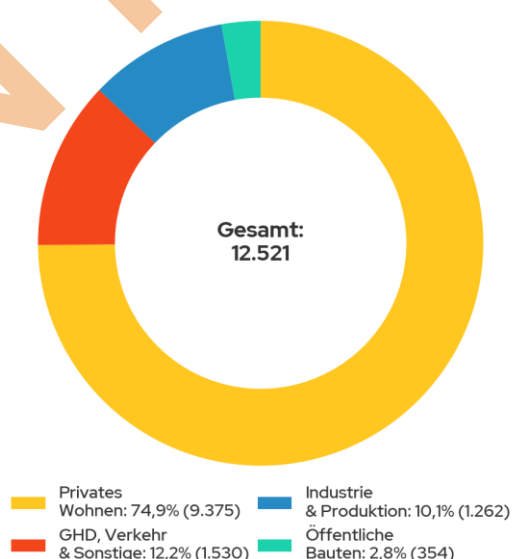


Abbildung 3: Gebäudeanzahl nach Sektor in Eisenach

Die Analyse der Baualtersklassen (siehe Abbildung 4) enthüllt, dass mehr als 67 % der Gebäude vor 1948 errichtet wurden. Zudem wurden über 37 % der Gebäude vor 1919 gebaut. Diese Altbauten stellen den größten Anteil am Gebäudebestand dar und bieten somit das umfangreichste Sanierungspotenzial. Altbauten, die vor 1919 errichtet wurden, zeigen, sofern sie bislang wenig oder nicht saniert wurden, häufig den höchsten spezifischen Wärmebedarf. Diese Gebäude sind wegen ihrer oft robusten Bauweise interessant für eine Sanierung, allerdings können denkmalschutzrechtliche Auflagen Einschränkungen mit sich bringen. Um das Sanierungspotenzial jedes Gebäudes vollständig ausschöpfen zu können, sind gezielte Energieberatungen und angepasste Sanierungskonzepte erforderlich.

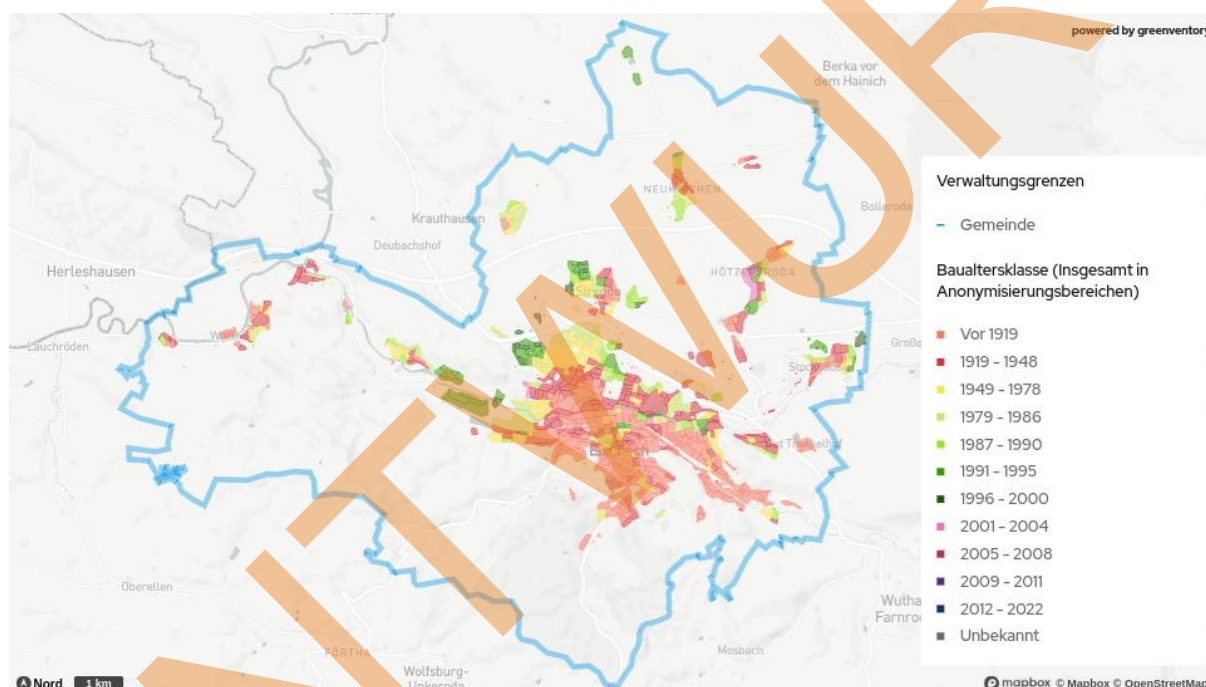


Abbildung 4: Verteilung der Baualtersklassen für Gebäude

Abbildung 4 zeigt eine räumliche Analyse der Baualtersklassen in Eisenach. Es wird deutlich, dass Gebäude, die vor 1948 erbaut wurden, flächendeckend in Eisenach angesiedelt sind. Insbesondere im Zentrum sowie in den Zentren der Ortskerne. Jüngere Bauten sind eher an den Außengrenzen der Orte und vornehmlich im Norden Eisenachs zu finden sind. Die Identifizierung von Sanierungsgebieten erweist sich insbesondere in den Bereichen mit älteren Gebäuden als besonders relevant. Zudem spielt die Verteilung der Gebäudealtersklassen eine entscheidende Rolle bei der Planung von Wärmenetzen. Dies ist vor allem in der dicht bebauten Altstadt von Bedeutung, wo sowohl die Aufstellflächen für Wärmepumpen begrenzt sind als auch die Möglichkeiten für energetische Sanierungen durch strukturelle Gegebenheiten eingeschränkt sein können.

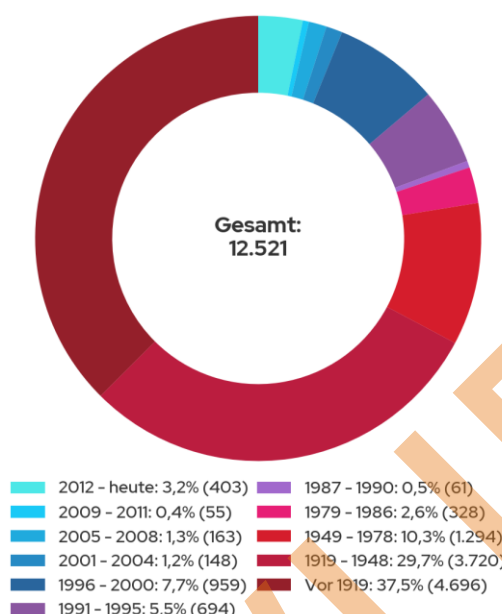


Abbildung 5: Gebäudeverteilung nach Baualtersklassen in Eisenach

Anhand des Baujahres, des Verbrauchs und der Grundfläche wurde eine überschlägige Einteilung der Gebäude in die GEG-Energieeffizienzklassen vorgenommen, um den Sanierungsstand abzuschätzen. Bei der Analyse der GEG-Energieeffizienzklassen fällt auf, dass die Kommune vergleichsweise sehr viele Gebäude aufweist, die vollumfänglich saniert werden müssten (Effizienzklassen G und H). Ein großer Teil Großteil der Gebäude befindet sich im Mittelfeld der Energieeffizienz (siehe Abbildung 5). Von den Gebäuden, denen ein Wärmebedarf zugeordnet werden konnte, sind 30,2 % den Effizienzklassen G und H zuzuordnen, was unsanierten oder nur sehr wenig sanierten Altbauten entspricht. 18,2 % der Gebäude sind Effizienzklasse F zuzuordnen und entsprechen überwiegend Altbauten, die nach den Richtlinien der Energieeinsparverordnung (EnEV) modernisiert wurden. Durch weitere energetische Sanierungen kann der Anteil der Gebäude in den unteren Effizienzklassen zugunsten besserer Effizienzklassen reduziert werden.

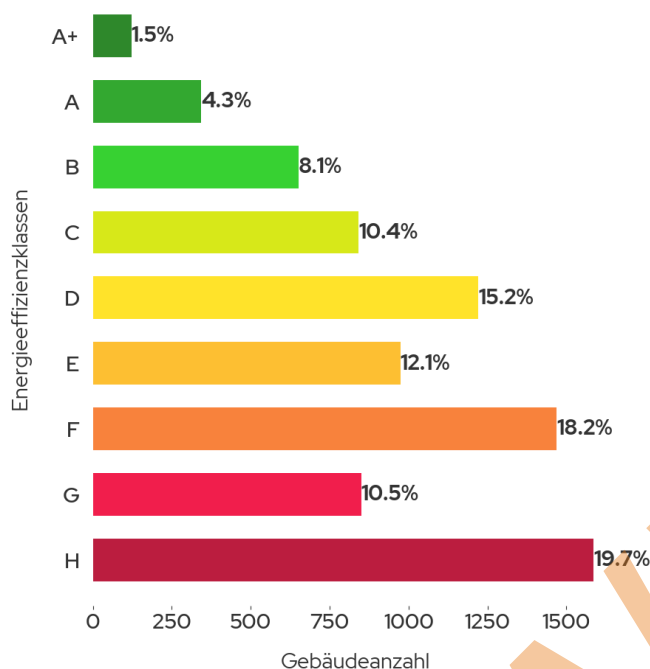


Abbildung 6: Gebäudeverteilung nach GEG-Effizienzklassen (Verbrauchswerte)

3.4 Wärmebedarf

Die Bestimmung des Wärmebedarfs erfolgte für die leitungsgebundenen Heizsysteme (Gas, Wärmenetz, Strom für Wärmepumpen und Nachtspeicherheizungen) über die gemessenen Verbrauchsdaten (Endenergieverbräuche), sofern diese verfügbar waren. Mit den Wirkungsgraden der verschiedenen Heiztechnologien konnte so der Wärmebedarf, die Nutzenergie, ermittelt werden. Bei nicht-leitungsgebundenen Heizsystemen (Öl, Holz, Kohle) und bei beheizten Gebäuden mit fehlenden Informationen zum verwendeten Heizsystem wurde der Wärmebedarf auf Basis der beheizten Fläche, des Gebäudetyps und weiteren gebäudespezifischen Datenpunkte berechnet. Für die Gebäude mit nicht-leitungsgebundenen Heizsystemen konnte unter Verwendung der entsprechenden Wirkungsgrade auf die Endenergieverbräuche geschlossen werden.

Aktuell beträgt der Wärmebedarf in Eisenach 379 GWh jährlich (siehe Abbildung 6). Mit 68,6 % ist der Wohnsektor anteilig am stärksten vertreten, während auf die Industrie 19,6 % des Gesamtwärmebedarfs entfällt. Auf den Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungssektor (GHD) entfällt ein Anteil von 6,1 % des Wärmebedarfs und auf die öffentlich genutzten Gebäude, die ebenfalls kommunale Liegenschaften beinhalten, entfallen 5,8 %.

Die räumliche Verteilung des Wärmebedarfs auf Baublockebene ist in Abbildung 7 dargestellt.

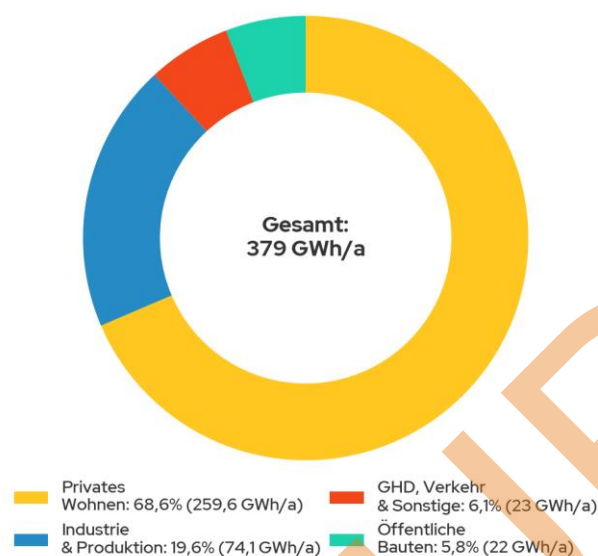


Abbildung 7: Wärmebedarf nach Sektor

Anmerkung: Wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, verwendet der Wärmeplan unterschiedliche Grunddaten als das Klimaschutzkonzept, weshalb die Ergebnisse (insbesondere bezüglich des Wärmebedarfs, des Endenergiebedarfs und der verwendeten Energieträger) dieser nicht direkt miteinander zu vergleichen sind. So liegen für den Wärmeplan Informationen auf Gebäudeebene vor, welche durch statistische Daten ergänzt werden, wodurch sich ein detailliertes Bild der Beheizungsstruktur Eisenachs ergibt. Die zugrundeliegenden Verbrauchsdaten beziehen sich zudem auf ein 3-Jahresmittel (2019 bis 2021) je gelieferter (anonymisierter) Verbrauchsgruppe bestehend aus geclusterten Anschlüssen, während das Klimaschutzkonzept die Daten aus dem Jahr 2019 betrachtet.

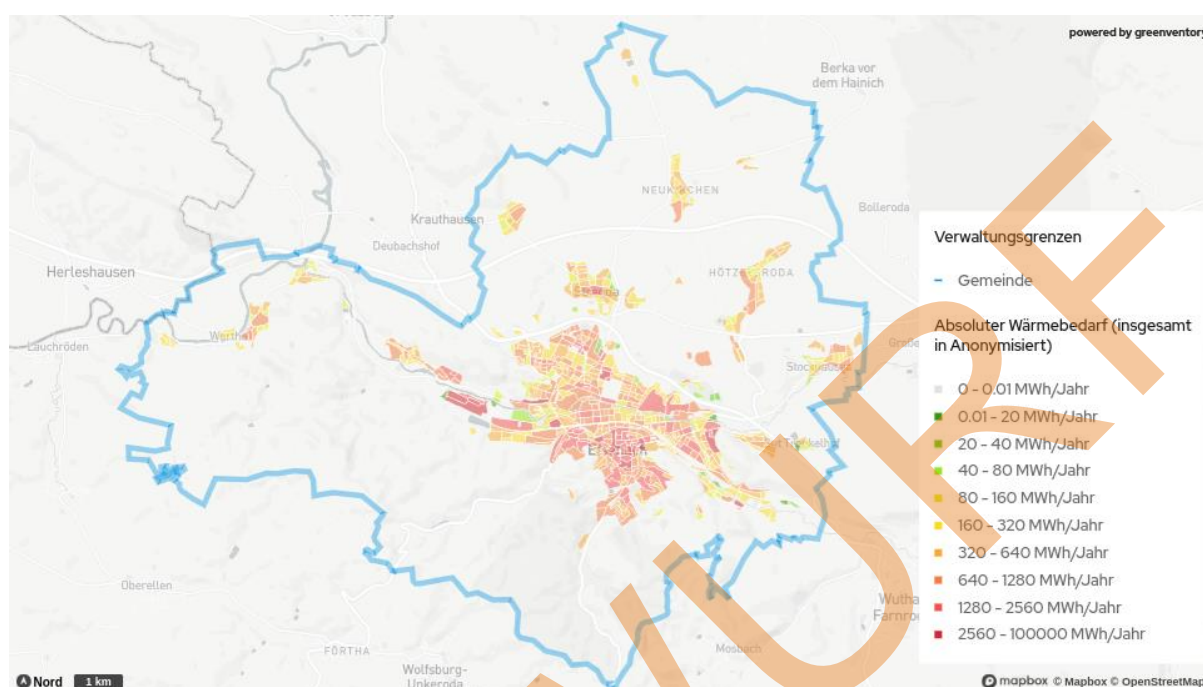


Abbildung 8: Verteilung der Wärmebedarfe je Baublock

3.5 Analyse der dezentralen Wärmeerzeuger

Eine Herausforderung im Projekt war die fehlende gesetzliche Grundlage zum Zeitpunkt der Datenerhebung zum Datenaustausch der Schornsteinfegerdaten in Thüringen. Daher konnte keine Detailanalyse der dezentralen Energieversorgung im Projekt durchgeführt werden. Die elektronischen Kkehrbücher sind eine wichtige Datenquelle, da sie wichtige Informationen zum verwendeten Brennstoff, sowie zur Art und zum Alter der jeweiligen Feuerungsanlage enthalten. In einer Fortschreibung des KWP sollte dies – unter der Voraussetzung, dass sowohl die gesetzliche Grundlage als auch technischen Möglichkeiten bestehen – durchgeführt werden.

Gemäß § 72 GEG dürfen Heizkessel, die flüssigen oder gasförmigen Brennstoff verbrauchen und vor dem 1. Januar 1991 aufgestellt wurden, nicht mehr betrieben werden. Das Gleiche gilt für später in Betrieb genommene Heizkessel, sobald sie 30 Jahre in Betrieb waren. Ausnahmen gelten für Niedertemperatur-Heizkessel und Brennwertkessel, Heizungen mit einer Leistung unter 4 Kilowatt oder über 400 Kilowatt sowie heizungstechnische Anlagen mit Gas-, Biomasse- oder Flüssigbrennstoffeuerung als Bestandteil einer Wärmepumpen-Hybridheizung soweit diese nicht mit fossilen Brennstoffen betrieben werden. Ausgenommen sind ebenfalls Hauseigentümer in Ein- oder Zweifamilienhäusern, die ihr Gebäude zum 01.02.2002 bereits selbst bewohnt haben. Heizkessel mit fossilen Brennstoffen dürfen jedoch längstens bis zum Ablauf des 31.12.2044 betrieben werden (GEG, 2024).

In der Neuerung des GEG, die ab dem 01.01.2024 in Kraft getreten ist, müssen Heizsysteme, die in Kommunen bis maximal 100.000 Einwohnern nach dem 30.06.2028 neu eingebaut werden, zukünftig mit mindestens 65 % erneuerbaren Energien betrieben werden. In Kommunen mit mehr als 100.000 Einwohnern gilt bereits der 30.06.2026 als Frist. Wird in der Kommune auf Grundlage eines erstellten Wärmeplans nach § 26 WPG ein Gebiet zum Neu- oder Ausbau von Wärme- oder Wasserstoffnetzen in Form einer gesonderten Satzung ausgewiesen, gilt die 65 %-Regelung des GEG in diesem Gebiet entsprechend früher.

Es ist somit ersichtlich, dass in den kommenden Jahren ein erheblicher Handlungsdruck auf Immobilienbesitzer zukommt. Dies betrifft v. a. die Punkte eines Systemaustauschs gemäß § 72 GEG. Für die Heizsysteme, die eine Betriebsdauer von mehr als 30 Jahren aufweisen, muss demnach geprüft werden, ob eine Verpflichtung zum Austausch des Heizsystems besteht. Zudem sollte eine technische Modernisierung der Heizsysteme mit einer Betriebsdauer zwischen 20 und 30 Jahren erfolgen oder es wird zumindest eine technische Überprüfung empfohlen. Diese sollte um die Komponente einer ganzheitlichen Energieberatung ergänzt werden.

3.6 Eingesetzte Energieträger

Für die Bereitstellung der Wärme in den Gebäuden werden 442 GWh Endenergie pro Jahr benötigt¹. Die Zusammensetzung der Energiebereitstellung verdeutlicht die Dominanz fossiler Brennstoffe im aktuellen Energiemix (siehe Abbildung 8). Erdgas trägt mit 288 GWh/a (65%) maßgeblich zur Wärmeerzeugung bei, gefolgt von Nah- und Fernwärme mit 93 GWh/a (19 %). Heizöl trägt mit knapp 60 GWh/a (13,5 %) zur Wärmeversorgung bei und Biomass trägt mit 10 GWh/a (ca. 2,3 %) zum bereits erneuerbaren Anteil der Wärmeversorgung bei. Ein weiterer Anteil von 2 GWh/a (0,5 %) des Endenergiebedarfs wird durch Strom gedeckt, der in Wärmepumpen und Direktheizungen genutzt wird. Die aktuelle Zusammensetzung der Endenergie verdeutlicht die Dimension der Herausforderungen auf dem Weg zur Dekarbonisierung. Die Verringerung der fossilen Abhängigkeit erfordert technische Innovationen, verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien, den Bau von Wärmenetzen und die Integration verschiedener Technologien in bestehende Systeme. Eine zielgerichtete, technische Strategie ist unerlässlich, um die Wärmeversorgung zukunftssicher und treibhausgasneutral zu gestalten.

¹ Im Klimaschutzkonzept der Stadt Eisenach beträgt dieser Wert ca. 473 GWh. Die beiden Werte lassen sich jedoch aufgrund der unterschiedlichen Methodiken und Betrachtungszeiträume nicht direkt vergleichen.

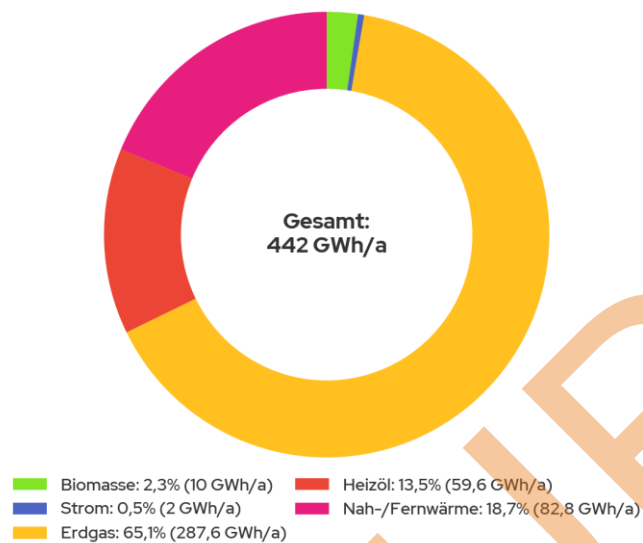


Abbildung 9: Endenergiebedarf nach Energieträger

3.7 Gasinfrastruktur

In Eisenach ist die Gasinfrastruktur flächendeckend etabliert (siehe Abbildung 9). Die Eignung für die Nutzung von Wasserstoff im Gasnetz ist gegenwärtig noch Gegenstand von Prüfungen. Die zukünftige Verfügbarkeit von Wasserstoff hinsichtlich Menge und Preis ist allgemein noch nicht abzusehen.

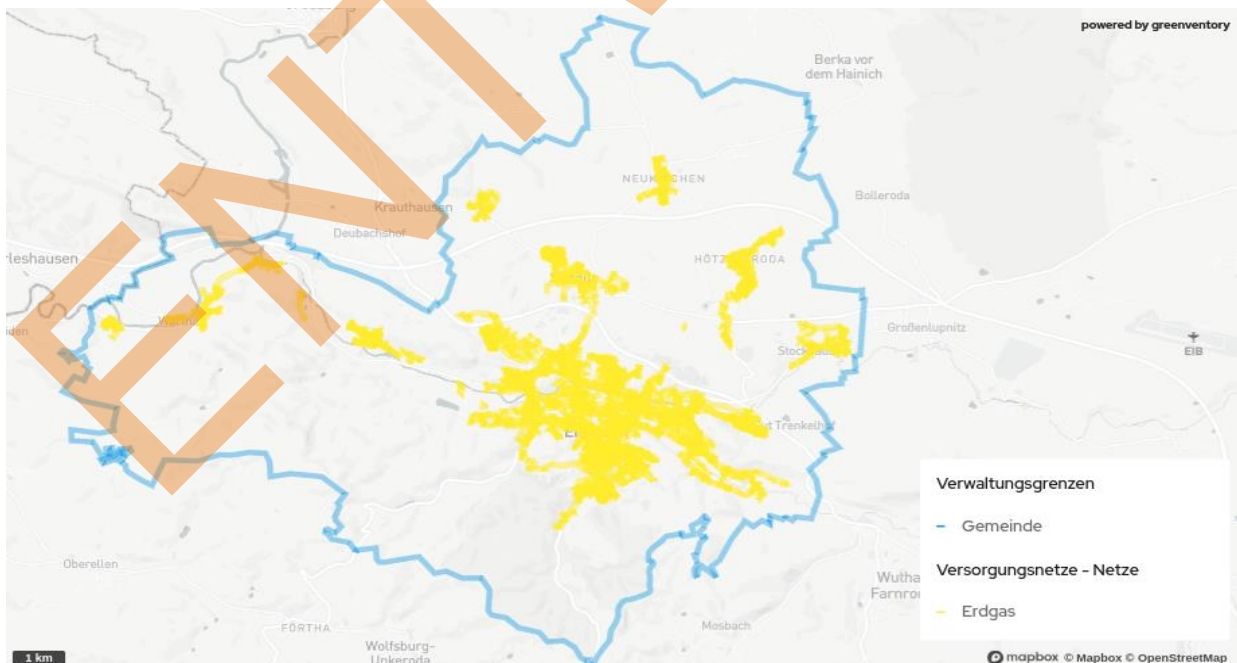


Abbildung 10: Gasnetzinfrastruktur in Eisenach

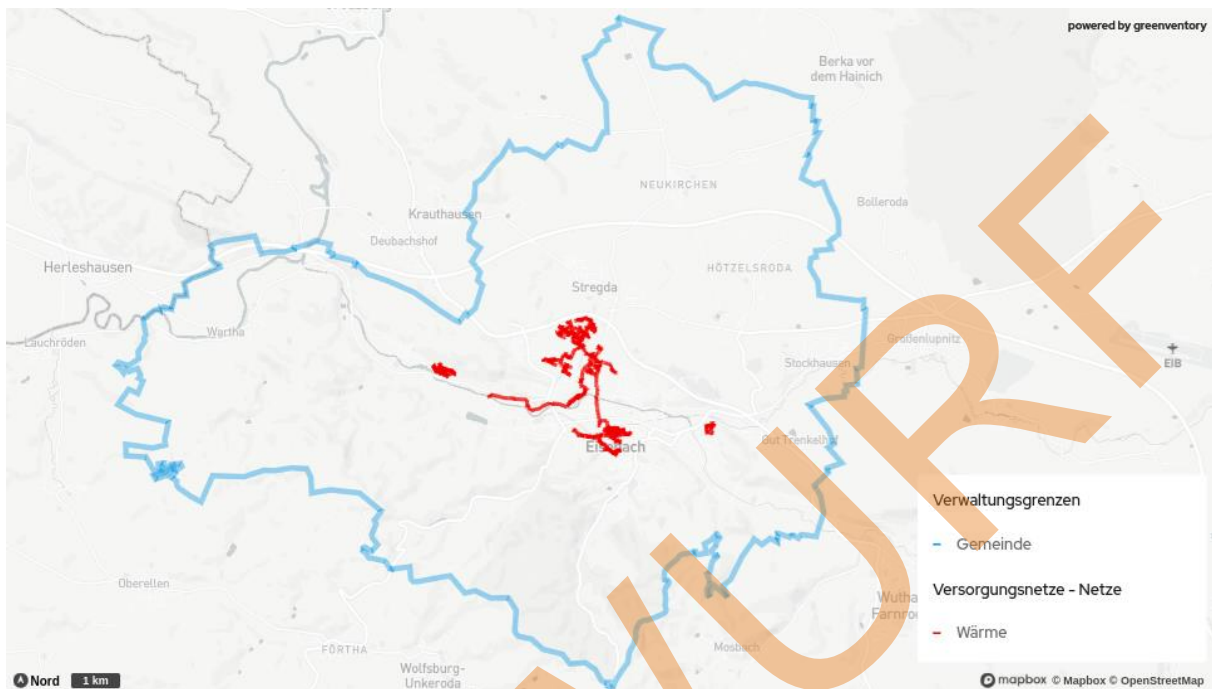


Abbildung 11: Wärmenetzinfrastruktur in Eisenach

3.8 Wärmenetze

Aktuell gibt es in Eisenach ein zentrales Wärmenetz, welches die innerstädtischen Bereiche im Norden und im Zentrum der Stadt versorgt sowie die beiden kleineren Inselnetze "Stedtfeld" im Westen und "Petersberg" im Osten der Stadt. Der Verlauf der Wärmenetze ist vereinfacht in Abbildung 10 wiedergegeben.

3.9 Treibhausgasemissionen der Wärmeerzeugung

In Eisenach betragen aktuell die gesamten Treibhausgasemissionen im Wärmebereich 94,794 Tonnen pro Jahr. Sie entfallen zu 70,6 % auf den Wohnsektor, zu 6,6 % auf den Gewerbe- Handels und Dienstleistungssektor (GHD), zu 17,7 % auf die Industrie, und zu 5,1 % auf öffentlich genutzte Gebäude (siehe Abbildung 11). Damit sind die Anteile der Sektoren an den Treibhausgasemissionen in etwa proportional zu deren Anteilen am Wärmebedarf (siehe Abbildung 6). Jeder Sektor emittiert also pro verbrauchter Gigawattstunde Wärme ähnlich viel Treibhausgas, wodurch eine Priorisierung einzelner Sektoren auf Basis der spezifischen Emissionen nicht erfolgen muss.

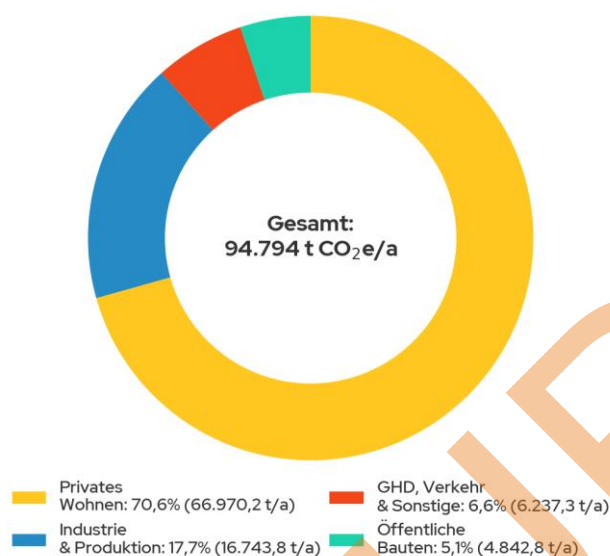


Abbildung 12: Treibhausgasemissionen nach Sektoren in Eisenach

Erdgas ist mit 65,5 % der Hauptverursacher der Treibhausgasemissionen, gefolgt von Heizöl mit 18,4 %. Damit verursachen die beiden fossilen Wärmeerzeuger fast 84 % der Emissionen im Wärmesektor in Eisenach. Nah- und Fernwärmenetze machen aufgrund der verwendeten Energieträger (vornehmlich Erdgas) 14,8 % der Emissionen aus. Der Anteil von Strom ist mit 1,1 % deutlich geringer und hängt mit dem Bundesstrommix zusammen, welcher nach wie vor hohe Emissionen verursacht. Biomasse (0,2 %) macht nur einen Bruchteil der Treibhausgas-Emissionen aus (siehe Abbildung 11). An diesen Zahlen wird deutlich, dass der Schlüssel für die Reduktion der Treibhausgase in der Abkehr von Erdgas und Erdöl liegt, aber eben auch in der erneuerbaren Stromerzeugung, zumal dem Strom durch die absehbare, starke Zunahme von Wärmepumpen zukünftig eine zentrale Rolle zufallen wird.

Tabelle 1: Heizwertbezogene Emissionsfaktoren nach Energieträger (KWW Halle, 2024)

Energieträger	Emissionsfaktoren (tCO ₂ /MWh)		
	2022	2030	2040
Strom	0,499	0,110	0,025
Heizöl	0,310	0,310	0,310

Erdgas	0,240	0,240	0,240
Steinkohle	0,400	0,400	0,400
Biogas	0,139	0,133	0,126
Biomasse (Holz)	0,020	0,020	0,020
Solarthermie	0	0	0

Eine örtliche Verteilung der aggregierten Treibhausgasemissionen auf Baublockebene ist in Abbildung 14 dargestellt. Im innerstädtischen Bereich und in den Industriegebieten sind die Emissionen besonders hoch. Gründe für hohe lokale Treibhausgasemissionen können große Industrie- betriebe oder eine Häufung besonders schlecht sanierter Gebäude gepaart mit dichter Besiedelung sein, wie es beispielsweise in der Altstadt Teils der Fall ist. Eine Reduktion der Treibhausgasemissionen bedeutet auch eine Verbesserung der Luftqualität, was besonders in den Wohnvierteln eine erhöhte Lebensqualität mit sich bringt.

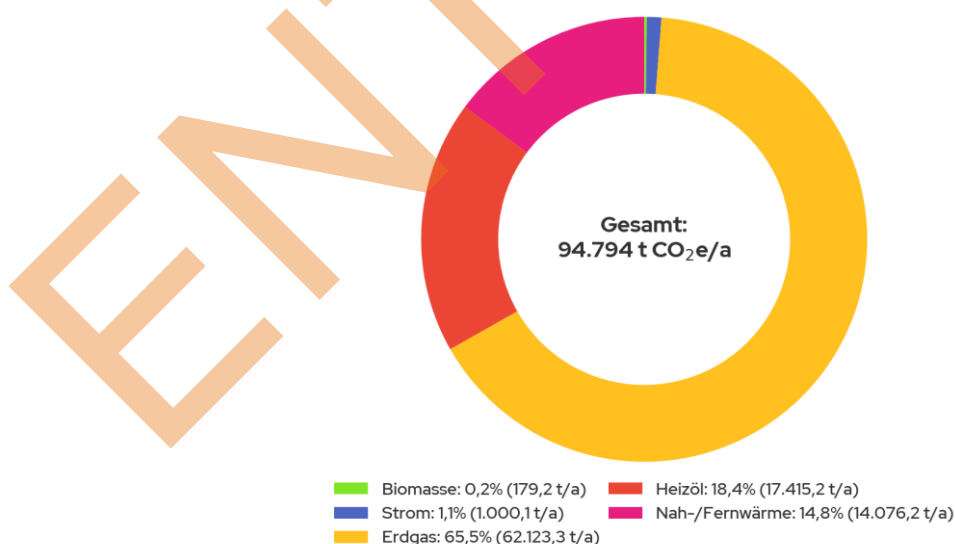


Abbildung 13: Treibhausgasemissionen nach Energieträger in Eisenach

Die verwendeten Emissionsfaktoren lassen sich Tabelle 1 entnehmen. Diese beziehen sich auf den Heizwert der Energieträger. Bei der Betrachtung der Emissionsfaktoren wird der Einfluss der Brennstoffe bzw. Energiequellen auf den Treibhausgasausstoß deutlich. Zudem spiegelt sich die erwartete Dekarbonisierung des Stromsektors in den Emissionsfaktoren wider. Dieser entwickelt sich für den deutschen Strommix von heute 0,499 tCO₂/MWh auf zukünftig 0,025 tCO₂/MWh – ein Effekt, der elektrische Heizsysteme wie Wärmepumpen zukünftig weiter begünstigen dürfte. Der zukünftig stark reduzierte Emissionsfaktor des Strommixes spiegelt die erwartete Entwicklung einer fast vollständigen Dekarbonisierung des Stromsektors wider.

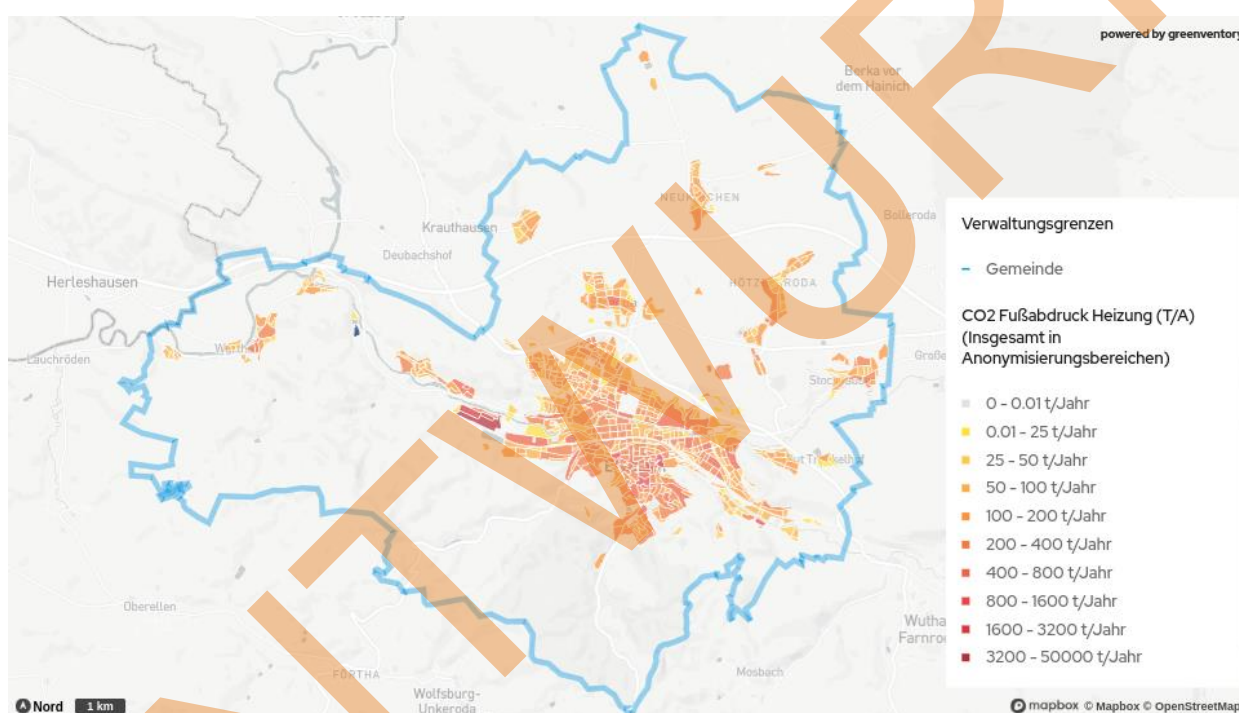


Abbildung 14: Verteilung der Treibhausgasemissionen in Eisenach

3.10 Zusammenfassung Bestandsanalyse

Die Bestandsanalyse verdeutlicht die zentrale Rolle fossiler Energieträger in der aktuellen Wärmeversorgungsstruktur, mit einem signifikanten Anteil im Wohnsektor, der sowohl die Mehrheit der Emissionen als auch der Gebäudeanzahl ausmacht. Erdgas ist der vorherrschende Energieträger in den Heizsystemen und trägt auch zur Wärmeerzeugung in den Wärmenetzen bei. Die Analyse betont den dringenden Bedarf an technischer Erneuerung und Umstellung auf erneuerbare Energieträger, um den hohen Anteil fossiler Brennstoffe in der Wärmeversorgung zu reduzieren. Gleichzeitig bietet der signifikante Anteil veralteter Heizungsanlagen ein erhebliches Potenzial für Energieeffizienzsteigerungen und die Senkung von Treibhausgasemissionen durch gezielte Sanierungsmaßnahmen. Trotz der herausfordernden Ausgangslage zeigen die Daten auch positive Aspekte auf: Ein ausgeprägtes Engagement der Stadt Eisenach und evb sowie das großflächige

Wärmenetze deuten auf ein solides Fundament für die Gestaltung der Wärmewende hin. Dieses Engagement ist essenziell für die Realisierung einer nachhaltigen, effizienten und letztendlich treibhausgasneutralen Wärmeversorgung. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Bestandsanalyse nicht nur die Notwendigkeit für einen systematischen und technisch fundierten Ansatz zur Modernisierung der Wärmeinfrastruktur aufzeigt, sondern auch konkrete Ansatzpunkte und Chancen für die zukünftige Gestaltung der Wärmeversorgung bietet. Die Umstellung auf erneuerbare Energieträger und die Sanierung bzw. der Austausch veralteter Heizsysteme sind dabei zentrale Maßnahmen, die unterstützt durch das Engagement der Kommunen und die Nutzung bestehender Erfahrungen mit Wärmenetzen, eine effektive Reduktion der Treibhausgasemissionen und eine nachhaltige Verbesserung der Wärmeversorgung ermöglichen.

ENTWURF

4. Potenzialanalyse

Zur Identifizierung der technischen Potenziale wurde eine umfassende Flächenanalyse durchgeführt, bei der sowohl übergeordnete Ausschlusskriterien als auch Eignungskriterien berücksichtigt wurden. Diese Methode ermöglicht für das gesamte Projektgebiet eine robuste, quantitative und räumlich spezifische Bewertung aller relevanten erneuerbaren Energieressourcen. Die endgültige Nutzbarkeit der erhobenen technischen Potenziale hängt von weiteren Faktoren, wie der Wirtschaftlichkeit, Eigentumsverhältnissen und eventuellen zusätzlich zu beachtenden spezifischen Restriktionen ab, welche Teil von weiterführenden Untersuchungen sind.

Unabhängig von der Potenzialanalyse der KWP, wurden im Klimaschutz Potenziale erhoben. Zudem wird zurzeit eine Solar-Potenzialanalyse in Eisenach durchgeführt. Die Methodiken, Annahmen und zugrundeliegenden Parameter in diesen Studien sind unterschiedlich, weshalb es zu unterschiedlichen Ergebnissen – sowohl bei den betrachteten Potenzialflächen, als auch den berechneten Erträgen – kommen kann.

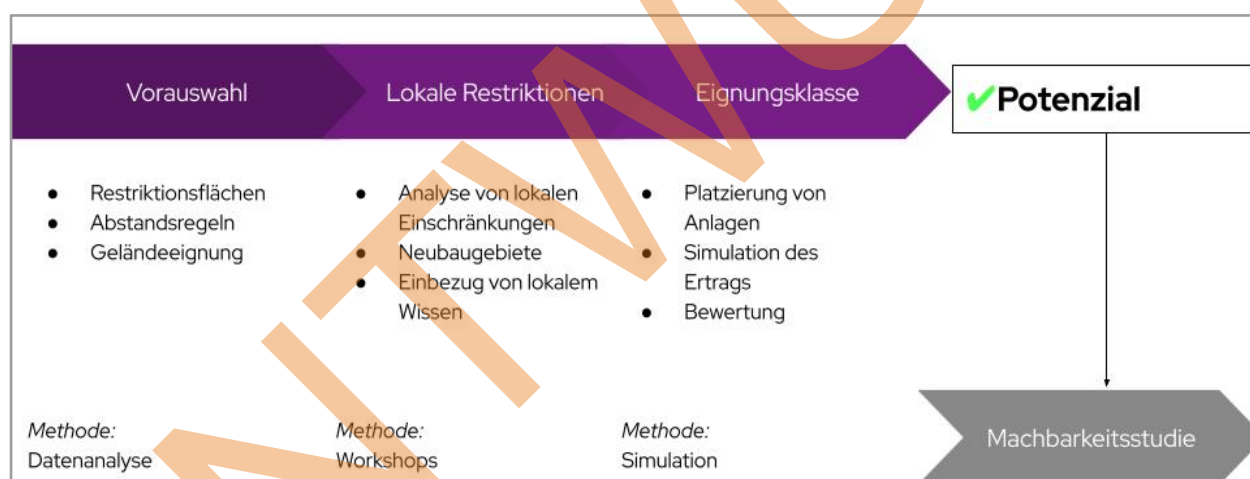


Abbildung 15: Vorgehen bei der Ermittlung von erneuerbaren Potenzialen

4.1 Erfasste Potenziale

Die Potenzialanalyse fokussiert sich auf die technischen Möglichkeiten zur Erschließung erneuerbarer Wärmequellen im Untersuchungsgebiet. Sie basiert auf umfassenden Datensätzen aus öffentlichen Quellen und führt zu einer räumlichen Eingrenzung und Quantifizierung der identifizierten Potenziale. Neben der Bewertung erneuerbarer Wärmequellen wurde ebenfalls das Potenzial für die Erzeugung regenerativen Stroms evaluiert. Im Einzelnen wurden folgende Energiepotenziale erfasst:

- Biomasse: Erschließbare Energie aus organischen Materialien

- Windkraft: Stromerzeugungspotenzial aus Windenergie
- Solarthermie (Freifläche & Aufdach): Nutzbare Wärmeenergie aus Sonnenstrahlung
- Photovoltaik (Freifläche & Aufdach): Stromerzeugung durch Sonneneinstrahlung
- Oberflächennahe Geothermie: Nutzung des Wärmepotenzials der oberen Erdschichten
- Tiefengeothermie: Nutzung von Wärme in tieferen Erdschichten zur Wärme- und Stromgewinnung
- Luftwärmepumpe: Nutzung der Umweltwärme der Umgebungsluft
- Gewässerwärmepumpe (Flüsse und Seen): Nutzung der Umweltwärme der Gewässer
- Abwärme aus Klärwerken: Nutzbare Restwärme aus Abwasserbehandlungsanlagen
- Industrielle Abwärme: Erschließbare Restwärme aus industriellen Prozessen.

Diese Erfassung ist eine Basis für die Planung und Priorisierung zukünftiger Maßnahmen zur Energiegewinnung und -versorgung.

Restriktionen	Geodaten	Potenzialflächen	Technische Bewertung	Wirtschaftliche Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> → Kriterienkatalog <ul style="list-style-type: none"> ◆ Positive Restriktionen ◆ Harte Restriktionen ◆ Weiche Restriktionen → Datenquellen <ul style="list-style-type: none"> ◆ Genehmigungsrecht ◆ Effizienzgrenzwerte 	<ul style="list-style-type: none"> → Datenquellen <ul style="list-style-type: none"> ◆ OpenStreetMap ◆ Bundesämter (BKG, BAF, BFG, BFN) ◆ European Environment Agency ◆ Wind- & Solaratlas 	<ul style="list-style-type: none"> → Erzeugung <ul style="list-style-type: none"> ◆ Verschneidung ◆ Kategorisierung → Verfeinerung <ul style="list-style-type: none"> ◆ Segmentierung ◆ Metadaten ◆ Ranking 	<ul style="list-style-type: none"> → Anlagenplatzierung <ul style="list-style-type: none"> ◆ Mindestabstände → Berechnungsmodelle <ul style="list-style-type: none"> ◆ Wetterdaten ◆ reale Anlagendaten → Aggregation 	<ul style="list-style-type: none"> → Erschließungskosten → Betriebskosten → Energiekosten → Emissionen

Abbildung 16: Vorgehen und Datenquellen der Potenzialanalyse

4.2 Methode: Indikatorenmodell

Als Basis für die Potenzialanalyse wird eine stufenweise Eingrenzung der Potenziale vorgenommen. Hierfür kommt ein Indikatorenmodell zum Einsatz. In diesem werden alle Flächen in Eisenach analysiert und mit spezifischen Indikatoren (z.B. Windgeschwindigkeit oder solare Einstrahlung) versehen und bewertet. Die Schritte zur Erhebung des Potenzials sind folgende:

1. Erfassung von strukturellen Merkmalen aller Flächen des Untersuchungsgebietes.
2. Eingrenzung der Flächen anhand harter und weicher Restriktionskriterien sowie weiterer technologiespezifischer Einschränkungen (beispielsweise Mindestgrößen von Flächen für PV-Freiflächen).
3. Berechnung des jährlichen energetischen Potenzials der jeweiligen Fläche oder Energiequelle auf Basis aktuell verfügbarer Technologien.

In Tabelle 2 ist eine Auswahl der wichtigsten für die Analyse herangezogenen Flächenkriterien aufgeführt. Diese Kriterien erfüllen die gesetzlichen Richtlinien nach Bundes- und Landesrecht, können jedoch keine raumplanerischen Abwägungen um konkurrierende Flächennutzung ersetzen.

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung zielt die Potenzialanalyse darauf ab, die Optionen für die Wärmeversorgung, insbesondere bezüglich der Fernwärme in den Eignungsgebieten, zu präzisieren und zu bewerten. Gemäß den Richtlinien des Handlungsleitfadens zur Kommunalen Wärmeplanung der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA, 2020) fokussiert sich diese Analyse primär auf die Identifikation des technischen Potenzials (siehe Infobox - Definition von Potenzialen). Neben der technischen Realisierbarkeit sind auch ökonomische und soziale Faktoren bei der späteren Entwicklung spezifischer Flächen zu berücksichtigen. Es ist zu beachten, dass die KWP nicht den Anspruch erhebt, eine detaillierte Potenzialstudie zu sein. Tatsächlich realisierbare Potenziale werden in nachgelagerten kommunalen Prozessen ermittelt.

Tabelle 2: Potenziale und Auswahl der wichtigsten berücksichtigten Kriterien

Potenzial	Wichtigste Kriterien (Auswahl)
Elektrische Potenziale	
Windkraft	Abstand zu Siedlungsflächen, Flächeneignung, Infrastruktur, Naturschutz, Flächengüte
PV Freiflächen	Siedlungsflächen, Flächeneignung, Infrastruktur, Naturschutz, Flächengüte
PV Dachflächen	Dachflächen, Mindestgrößen, Gebäudetyp, techno-ökonomische Anlagenparameter
Thermische Potenziale	
Abwärme aus Klärwerken	Klärwerk-Standorte, Anzahl versorgter Haushalte, techno-ökonomische Anlagenparameter
Industrielle Abwärme	Wärmemengen, Temperaturniveau, zeitliche Verfügbarkeit
Biomasse	Landnutzung, Naturschutz, Hektarerträge von Energiepflanzen, Heizwerte, techno-ökonomische Anlagenparameter
Solarthermie Freiflächen	Siedlungsflächen, Flächeneignung, Infrastruktur, Naturschutz, Flächengüte, Nähe zu Wärmeverbrauchern

Solarthermie Dachflächen	Dachflächen, Mindestgrößen, Gebäudetyp, techno-ökonomische Anlagenparameter
Oberflächennahe Geothermie	Siedlungsflächen, Flächeneignung, Infrastruktur, Naturschutz, Wasserschutzgebiete, Nähe zu Wärmeverbrauchern
Tiefengeothermie	Siedlungsflächen, Flächeneignung, Infrastruktur, Naturschutz, Wasserschutzgebiete, Potenzial, Gesteinstypen
Luftwärmepumpe	Gebäudeflächen, Gebäudealter, techno-ökonomische Anlagenparameter, gesetzliche Vorgaben zu Abständen
Großwärmepumpen Flüsse und Seen	Landnutzung, Naturschutz, Temperatur- und Abflussdaten der Gewässer, Nähe zu Wärmeverbrauchern, techno-ökonomische Anlagenparameter

Infobox - Definition von Potenzialen

Infobox: Potenzialbegriffe

Theoretisches Potenzial:

Physikalisch vorhandenes Potenzial der Region, z. B. die gesamte Strahlungsenergie der Sonne, Windenergie auf einer bestimmten Fläche in einem definierten Zeitraum.

Technisches Potenzial:

Eingrenzung des theoretischen Potenzials durch Einbeziehung der rechtlichen Rahmenbedingungen und technologischen Möglichkeiten. Das technische Potenzial ist somit als Obergrenze anzusehen.

Differenzierung in:

- *Geeignetes Potenzial* (weiche und harte Restriktionen): unter Anwendung harter und weicher Kriterien. Natur- und Artenschutz wird grundsätzlich ein „politischer Vorrang“ eingeräumt, weshalb sich die verfügbare Fläche zur Nutzung von erneuerbaren Energien verringert.
- *Bedingt geeignetes Potenzial* (nur harte Restriktionen): Natur- und Artenschutz wird der gleiche oder ein geringerer Wert einräumt als dem Klimaschutz (z. B. durch Errichtung von Wind-, PV- und Solarthermieanlagen in Landschaftsschutz- und FFH-Gebieten).
 - Das technische Potenzial wird im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung ermittelt und analysiert.

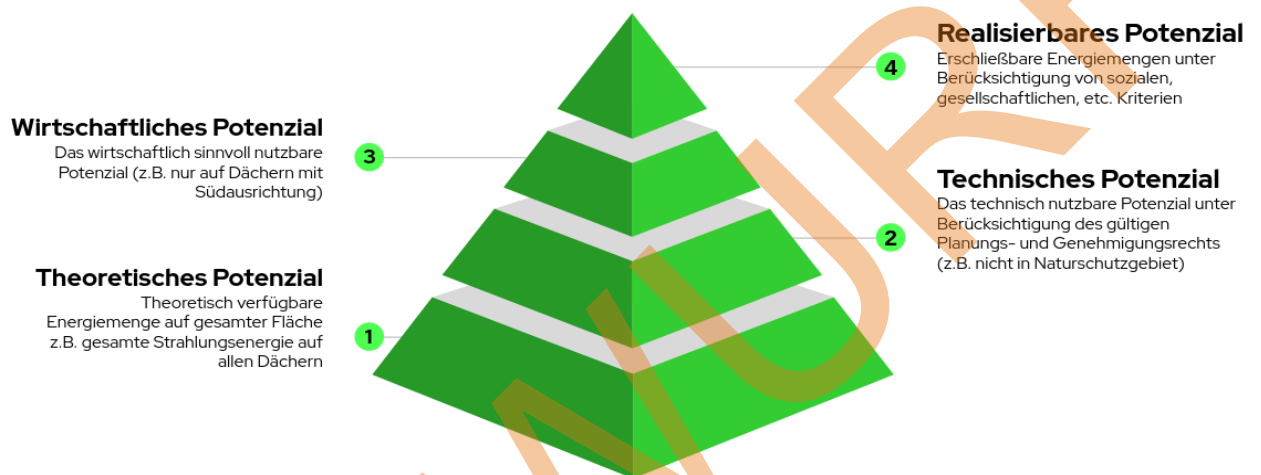
Wirtschaftliches Potenzial:

Eingrenzung des technischen Potenzials durch Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit (beinhaltet z. B.

Bau- und Erschließungs- sowie Betriebskosten sowie erzielbare Energiepreise).

Realisierbares Potenzial:

Die tatsächliche Umsetzbarkeit hängt von zusätzlichen Faktoren (z. B. Akzeptanz, raumplanerische Abwägung von Flächenkonkurrenzen, kommunalen Prioritäten) ab. Werden diese Punkte berücksichtigt, spricht man von dem realisierbaren Potenzial bzw. "praktisch nutzbaren Potenzial".



ENERGIE

4.3 Potenziale zur Stromerzeugung

Die Analyse der Potenziale in Eisenach zeigt verschiedene Optionen für die lokale Erzeugung von erneuerbarem Strom (siehe Abbildung 16).

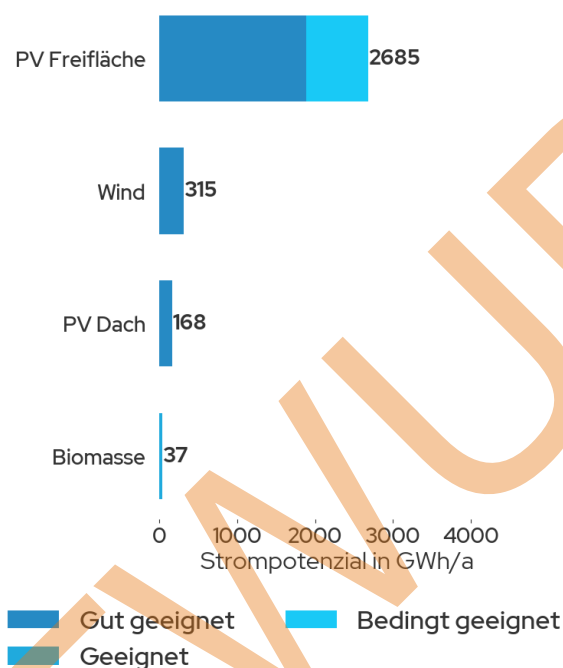


Abbildung 17: Erneuerbare Strompotenziale in Eisenach

Biomasse wird für Wärme oder Strom entweder direkt verbrannt oder zu Biogas vergoren. Für die Biomassenutzung geeignete Gebiete schließen Naturschutzgebiete aus und berücksichtigen landwirtschaftliche Flächen, Waldreste, Rebschnitte und städtischen Biomüll. Die Potenzialberechnung basiert auf Durchschnittserträgen und der Einwohnerzahl für städtische Biomasse, wobei wirtschaftliche Faktoren wie die Nutzungseffizienz von Mais und die Verwertbarkeit von Gras und Stroh berücksichtigt werden. Es zeigt sich, dass die Nutzung von ausschließlich in Eisenach vorhandener Biomasse nur einen geringen Beitrag zur Stromerzeugung leisten könnte. Der Einsatz von Biomasse sollte daher, wenn dann eher für die Wärmeerzeugung genutzt werden. Windkraftanlagen nutzen Wind zur Stromerzeugung und sind eine zentrale Form der Windenergienutzung. Potenzialflächen werden nach technischen und ökologischen Kriterien sowie Abstandsregelungen selektiert, wobei Gebiete mit mindestens 1900 Volllaststunden als gut geeignet gelten. Die Potenzial- und Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt lokale Windverhältnisse, Anlagentypen und erwartete Energieerträge, wobei Flächen unter 1900 Volllaststunden ausgeschlossen werden. Mit 315 GWh/a bietet die Windkraft ein signifikantes Potenzial. Allerdings sind hier Aspekte der Akzeptanz sowie der Einfluss auf die lokale Flora und Fauna zu berücksichtigen,

weshalb die Eignungsflächen stark eingegrenzt sind und die Analyse der Windflächen außerhalb der KWP erfolgen sollte.

Photovoltaik auf Freiflächen stellt mit 2.685 GWh/a das größte erneuerbare Potenzial dar², wobei Flächen als grundsätzlich geeignet ausgewiesen werden, die keinen Restriktionen unterliegen und die technischen Anforderungen erfüllen; besonders beachtet werden dabei Naturschutz, Hangneigungen, Überschwemmungsgebiete und gesetzliche Abstandsregeln. Bei der Potenzialberechnung werden Module optimal platziert und unter Berücksichtigung von Verschattung und Sonneneinstrahlung werden jährliche Volllaststunden und der Jahresenergieertrag pro Gebiet errechnet. Die wirtschaftliche Nutzbarkeit wird basierend auf Mindestvolllaststunden und dem Neigungswinkel des Geländes bewertet, um nur die rentabelsten Flächen einzubeziehen. Zudem sind Flächenkonflikte, beispielsweise mit landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie die Netzanschlussmöglichkeiten abzuwägen. Ein großer Vorteil von PV-Freiflächen in Kombination mit großen Wärmepumpen ist, dass sich die Stromerzeugungsflächen nicht in unmittelbarer Nähe zur Wärmenachfrage befinden müssen und so eine gewisse Flexibilität in der Flächenauswahl möglich ist.

Das Potenzial für Photovoltaikanlagen auf Dachflächen fällt mit 168 GWh/a geringer aus als in der Freifläche, bietet jedoch den Vorteil, dass es ohne zusätzlichen Flächenbedarf oder Flächenkonflikte ausgeschöpft werden kann. In der aktuellen Analyse wird davon ausgegangen (siehe KEA, 2020), dass das Stromerzeugungspotenzial von Photovoltaik auf 50 % der Dachflächen von Gebäuden über 50 m² möglich ist. Die jährliche Stromproduktion wird durch flächenspezifische Leistung (220 kWh/m²a) berechnet. Im Vergleich zu Freiflächenanlagen ist allerdings mit höheren spezifischen Kosten zu kalkulieren. In Kombination mit Wärmepumpen ist das Potenzial von PV auf Dachflächen gerade für die Warmwasserbereitstellung im Sommer sowie die Gebäudeheizung in den Übergangszeiten interessant.

Zusammenfassend bieten sich vielfältige Möglichkeiten zur erneuerbaren Stromerzeugung in Eisenach, wobei jede Technologie ihre eigenen Herausforderungen und Kostenstrukturen mit sich bringt. Bei der Umsetzung von Projekten sollten daher sowohl die technischen als auch die sozialen und wirtschaftlichen Aspekte sorgfältig abgewogen werden. Es ist jedoch hervorzuheben, dass die Nutzung der Dachflächen der Erschließung von Freiflächen vorzuziehen ist.

4.4 Potenziale zur Wärmeerzeugung

Die Untersuchung der thermischen Potenziale offenbart ein breites Spektrum an Möglichkeiten für die lokale Wärmeversorgung (siehe Abbildung 17).

² Wie in der Einleitung des Kapitels beschrieben, lässt sich dieser Wert nicht direkt mit der parallel – und unabhängig vom Wärmeplan – entstehenden Solarpotenzialanalyse vergleichen. Beide Analysen verwenden unterschiedliche Annahmen, wodurch auch andere Endergebnisse zu erwarten sind.

Solarthermie auf Freiflächen stellt mit einem Potenzial von 4.354 GWh/a die größte Ressource dar. Solarthermie nutzt Sonnenstrahlung, um mit Kollektoren Wärme zu erzeugen und über ein Verteilsystem zu transportieren. Geeignete Flächen werden nach technischen Anforderungen und ohne Restriktionen wie Naturschutz und bauliche Infrastruktur ausgewählt, wobei Flächen unter 500 m² ausgeschlossen werden. Die Potenzialberechnung basiert auf einer Leistungsdichte von 3.000 kW/ha und berücksichtigt Einstrahlungsdaten sowie Verschattung, mit einem Reduktionsfaktor für den Jahresenergieertrag und einer wirtschaftlichen Grenze von maximal 1.000 m zur Siedlungsfläche. Flächen mit einem Abstand von bis zu 200 m zu Siedlungen werden als gut geeignet gekennzeichnet. Bei der Planung und Erschließung von Solarthermie sind jedoch Flächenverfügbarkeit und Anbindung an Wärmenetze zu berücksichtigen. Auch sollten geeignete Flächen für die Wärmespeicherung (eine Woche bis zu mehreren Monaten je nach Einbindungskonzept) vorgesehen werden. Zudem sei darauf hingewiesen, dass es bei Solarthermie- und PV-Freiflächenanlagen eine Flächenkonkurrenz gibt.

Auch auf Dachflächen kann Solarthermie genutzt werden. Bei der Solarthermie auf Dachflächen wird mittels KEA-BW Methode das Potenzial aus 25 % der Dachflächen über 50 m² für die Wärmeerzeugung geschätzt. Die jährliche Produktion basiert auf 400 kWh/m² durch flächenspezifische Leistung und durchschnittliche Volllaststunden. Die Potenziale der Dachflächen für Solarthermie belaufen sich auf 210 GWh/a und konkurrieren direkt mit den Potenzialen für Photovoltaik-Anlagen auf Dächern. Eine Entscheidung für die Nutzung des einen oder anderen Potenzials sollte individuell getroffen werden.

Wärmepumpen sind eine etablierte und unter gewissen Bedingungen energetisch hocheffiziente Technologie für die Wärmeerzeugung. Eine Wärmepumpe ist ein Gerät, das Wärmeenergie aus einer Quelle (wie Luft, Wasser oder Erde) auf ein höheres Temperaturniveau transferiert, um Gebäude zu heizen oder mit Warmwasser zu versorgen. Sie nutzt dabei ein Kältemittel, das im Kreislauf geführt wird, um Wärme aufzunehmen und abzugeben, ähnlich eines Kühlschranks, der in umgekehrter Richtung arbeitet. Wärmepumpen können vielseitig in Eisenach genutzt werden. Das Potenzial der Luftwärmepumpe (275 GWh/a) ergibt sich jeweils im direkten Umfeld der Gebäude. Luftwärmepumpen haben für die zukünftige Wärmeversorgung ein großes Potenzial. Dieses ist besonders groß für Ein- und Zweifamilienhäuser sowie kleinere bis mittlere Mehrfamilienhäuser und kann im Vergleich zu Erdwärmekollektoren auch in Gebieten ohne große Flächenverfügbarkeit genutzt werden, sofern die geltenden Abstandsregelungen zum Lärmschutz eingehalten werden. Auch für die Nutzung in Wärmenetzen sind Luftwärmepumpen mit einer Größenordnung von 1-4 MW gut geeignet. Essenziell bei der Nutzung von Wärmepumpen ist eine Optimierung der Temperaturen, um möglichst geringe Temperaturhübe zu benötigen.

Oberflächennahe Geothermie (Sonden) hat ein Potenzial von 3.072 GWh/a in Eisenach. Die Technologie nutzt konstante Erdtemperaturen bis 100 m Tiefe mit einem System aus Erdwärmesonden und Wärmepumpe zur Wärmeextraktion und -anhebung. Die Potenzialberechnung berücksichtigt spezifische geologische Daten und schließt Wohn- sowie Gewerbegebiete ein, wobei Gewässer und Schutzzonen ausgeschlossen und die Potenziale einzelner Bohrlöcher unter Verwendung von Kennzahlen abgeschätzt werden.

Erdwärmekollektoren (2.190 GWh/a) ergeben sich jeweils im direkten Umfeld der Gebäude. Erdwärmekollektoren sind Wärmetauscher, die wenige Meter unter der Erdoberfläche liegen und die vergleichsweise konstante Erdtemperatur nutzen, um über ein Rohrsystem mit Wärmeträgerflüssigkeit Wärme zu einer Wärmepumpe zu leiten. Dort wird die Wärme für die Beheizung von Gebäuden oder Warmwasserbereitung aufbereitet. Wie auch bei Solarthermie, gilt für oberflächennahe Geothermie in der Untersuchung eine wirtschaftliche Grenze von 1000 m zu Siedlungsflächen, wobei Flächen mit einem Abstand von 200 m zu Siedlungen als gut geeignet gekennzeichnet werden, sofern keine weiteren Restriktionen vorliegen.

Das thermische Biomassepotenzial beträgt 54 GWh/a und setzt sich aus Waldrestholz, Hausmüll, Grünschnitt, Rebschnitt und dem möglichen Anbau von Energiepflanzen zusammen. Biomasse hat den Vorteil einer einfachen technischen Nutzbarkeit sowie hoher Temperaturen. Allerdings ist ersichtlich, dass diese nur in sehr begrenzter Menge zur Verfügung steht. Das Potenzial für Gewässerwärmepumpen an Flüssen in Eisenach beträgt 43 GWh/a und das an Seen 13 GWh/a und ist eher zu vernachlässigen, da die untersuchten fließenden und stehenden Gewässer eher klein sind.

Das Abwärmepotenzial, welches aus dem geklärten Abwasser am Kläranlagenauslauf gehoben werden kann, wurde auf 40 GWh/a beziffert. Wie dieses Potenzial in zukünftigen möglichen Wärmenetzen im Umfeld der Kläranlage genutzt werden kann, ist zu prüfen.

Für die Evaluierung der Nutzung von industrieller Abwärme wurden in Eisenach Abfragen bei möglichen relevanten Industrie- und Gewerbebetrieben durchgeführt und so ein Potenzial von ca. 12 GWh/a identifiziert. Potenzial zur Nutzung von Tiefengeothermie liegt in Eisenach nicht vor.

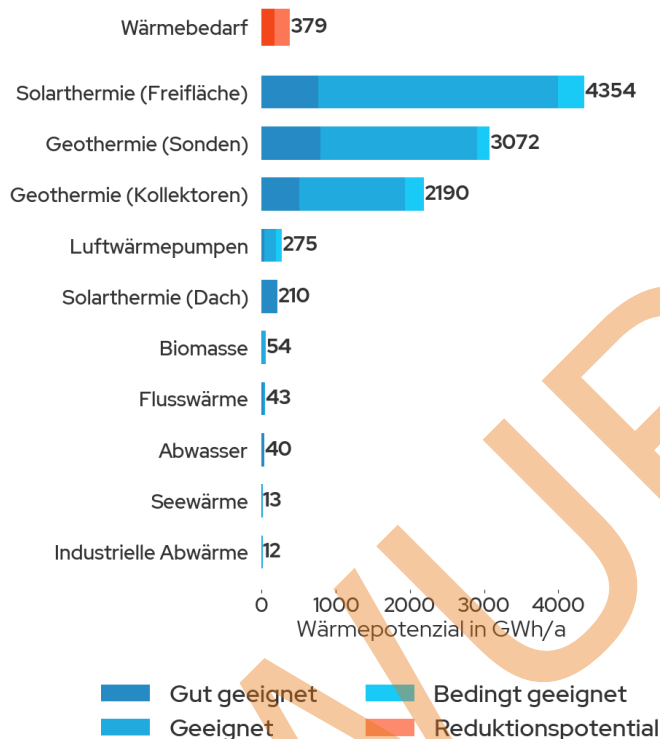


Abbildung 18: Erneuerbare Wärmepotenziale in Eisenach

Ein wichtiger Aspekt, der in der Betrachtung der erhobenen Potenziale Berücksichtigung finden muss, ist das Temperaturniveau des jeweiligen Wärmeerzeugers. Das Temperaturniveau hat einen signifikanten Einfluss auf die Nutzbarkeit und Effizienz von Wärmeerzeugern, insbesondere Wärmepumpen. Des Weiteren gilt es zu berücksichtigen, dass die meisten hier genannten Wärmeerzeugungspotenziale eine Saisonalität aufweisen, sodass Speicherlösungen für die bedarfsgerechte Wärmebereitstellung bei der Planung mitberücksichtigt werden sollten.

4.5 Potenzial für eine lokale Wasserstoffherzeugung

Die lokale Erzeugung von Wasserstoff zur Verwendung als Energieträger für Wärme wird aufgrund der zum heutigen Tag geringen lokalen Verfügbarkeit von Überschussstrom sowie einer Wasserstoffproduktion in der vorliegenden Planung nicht weiter betrachtet. Eine mögliche zukünftige Nutzung kann und sollte jedoch bei sich ändernden Rahmenbedingungen in die Planungen aufgenommen werden. Dies kann im Rahmen der Fortschreibung des kommunalen Wärmeplans erfolgen.

4.6 Potenziale für Sanierung

Die energetische Sanierung des Gebäudebestands stellt ein zentrales Element zur Erreichung der kommunalen Klimaziele dar. Die Untersuchung zeigt, dass durch umfassende Sanierungsmaßnahmen

eine Gesamtreduktion um bis zu 209 GWh bzw. 55 % des Gesamtwärmeverbrauchs in Eisenach realisiert werden könnte. Erwartungsgemäß liegt der größte Anteil des Sanierungspotenzials bei Gebäuden, die vor 1948 und insbesondere vor 1919 erbaut wurden (s. Abbildung 18). Diese Gebäude sind sowohl in der Anzahl als auch in ihrem energetischen Zustand besonders relevant. Diese Altbauten haben daher einen erhöhten Sanierungsbedarf. Besonders im Wohnbereich zeigt sich daher ein hohes Sanierungspotenzial. Hier können durch energetische Verbesserung der Gebäudehülle signifikante Energieeinsparungen erzielt werden. In Kombination mit einem Austausch der Heiztechnik bietet dies speziell für Gebäude mit Einzelversorgung einen großen Hebel. Typische energetische Sanierungsmaßnahmen für die Gebäudehülle sind in der Infobox „Energetische Gebäudesanierungen“ dargestellt. Diese können von der Dämmung der Außenwände bis hin zur Erneuerung der Fenster reichen und sollten im Kontext des Gesamtpotenzials der energetischen Sanierung betrachtet werden.

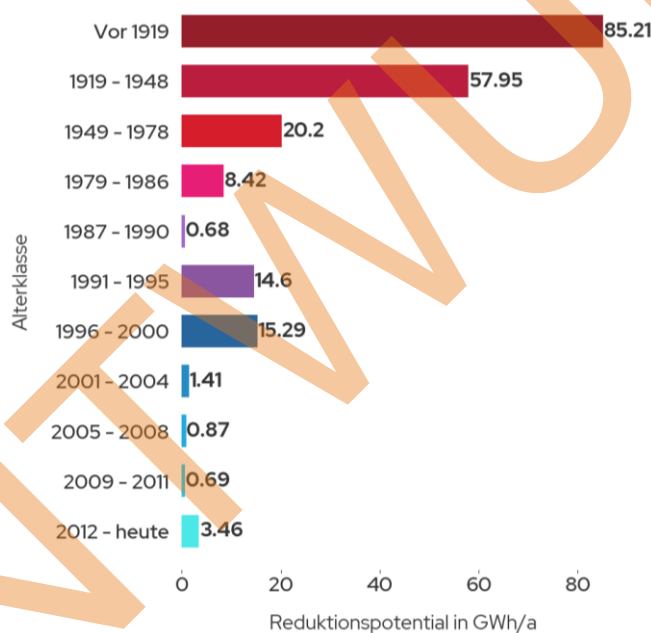






Abbildung 19: Reduktionspotential nach Baualterklassen

Das Sanierungspotenzial bietet nicht nur eine beträchtliche Möglichkeit zur Reduzierung des Energiebedarfs, sondern auch zur Steigerung des Wohnkomforts und zur Wertsteigerung der Immobilien. Daher sollten entsprechende Sanierungsprojekte integraler Bestandteil der kommunalen Wärmeplanung sein.

Infobox - Energetische Gebäudesanierung - Maßnahmen und Kosten

Infobox: Energetische Gebäudesanierung			
	Fenster	<ul style="list-style-type: none"> • 3-fach Verglasung • Zugluft / hohe Wärmeverluste durch Glas vermeiden 	800 €/m ²
	Fassade	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmedämmverbundsystem ~ 15 cm • Wärmebrücken (Rollladenkästen, Heizkörpernischen, Ecken) reduzieren 	200 €/m ²
	Dach	<ul style="list-style-type: none"> • (teil-)beheiztes Dachgeschoss: Dach abdichten / Zwischensparrendämmung • Unbeheiztes Dachgeschoss: oberste Geschossdecke dämmen • Oft: verhältnismäßig gutes Dach in älteren Gebäuden 	400 €/m ² 100 €/m ²
	Kellerdecke	<ul style="list-style-type: none"> • Bei unbeheiztem Keller 	100 €/m ²

4.7 Zusammenfassung und Fazit

Die Potenzialanalyse für erneuerbare Energien in der Wärmeerzeugung in Eisenach offenbart signifikante Chancen für eine nachhaltige Wärmeversorgung.

In Eisenach sind die Potenziale räumlich heterogen verteilt: In der Kernstadt und den Ortschaften dominieren die Potenziale der Solarthermie auf Dachflächen und in lockerer bebauten Quartieren der Erdwärmekollektoren, während an den Stadträndern Solar-Kollektorfelder und außerhalb der Wasserschutzgebiete große Erdwärme-Kollektorfelder oder Sondenfelder vielerorts potenziell möglich sind. Die Solarthermie auf Freiflächen erfordert trotz hohem Potenzial eine sorgfältige Planung hinsichtlich der Flächenverfügbarkeit und Möglichkeiten der Integration in das Wärmenetz, Flächen zur Wärmespeicherung sowie der Flächenkonkurrenz mit Agrarwirtschaft und Photovoltaik. Die Erschließung dieser Potenziale wird bei der detaillierten Prüfung der Wärmenetzeignungsgebiete im Anschluss an die Wärmeplanung mit untersucht. Hierbei sind insbesondere soziale und wirtschaftliche Faktoren sowie Eigentumsverhältnisse und die Flächennutzungskonkurrenz zu beachten.

Im Stadtkern liegt das größte Potenzial in der Gebäudesanierung, mit einem Schwerpunkt auf kommunalen Liegenschaften und Wohngebäuden. Besonders Gebäude, die bis 1948 erbaut wurden, bieten ein hohes Einsparpotenzial durch Sanierung. Zu beachten ist hierbei der Denkmalschutz. Aufgrund der dichten Bebauung eignen sich im Stadtkern dezentrale Luft- und Erdwärmepumpen nur

begrenzt, eine potenzielle Erweiterung des Wärmenetzes inkl. Anschlusses dieser Gebäude, kann hier eine klimafreundliche Wärmeversorgung ermöglichen.

Außerhalb der Altstadt ergeben sich wichtige Wärmequellen durch die Nutzung von Aufdach-PV in Kombination mit Wärmepumpen, Solarthermie, Biomasse und der Möglichkeit eines teilweisen Anschlusses an das Wärmenetz. Auch große Luftwärmepumpen können flexibel in Wärmenetze integriert werden, wobei sich gerade Gewerbeflächen als gute Standorte anbieten.

Die umfassende Analyse legt nahe, dass es zwar technisch und bilanziell möglich ist, den gesamten Wärmebedarf durch erneuerbare Energien auf der Basis lokaler Ressourcen zu decken. Dieses ambitionierte Ziel erfordert allerdings eine differenzierte Betrachtungsweise, da die Potenziale räumlich stark variieren und nicht überall gleichermaßen verfügbar sind. Vor allem die Flächenverwendung ist ein zentrales Thema, das nicht nur aus energetischer Perspektive zu betrachten ist. Zudem ist die Saisonalität der erneuerbaren Energiequellen zu berücksichtigen und in der Planung mittels Speichertechnologien und intelligenter Betriebsführung zu adressieren.

Im Hinblick auf die dezentrale Erzeugung und Nutzung erneuerbarer Energien spielt die Flächenverfügbarkeit eine entscheidende Rolle. Individuelle, räumlich angepasste Lösungen sind daher unerlässlich für eine effektive Wärmeversorgung. Dabei sind Dachflächenpotenziale und weitere Potenziale in bereits bebauten, versiegelten Gebieten den Freiflächenpotenzialen gegenüber prioritär zu betrachten.

Literaturverzeichnis

BAFA (2024). *Förderprogramm im Überblick*. BAFA.de. Aufgerufen am 12. Februar 2024 unter https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/Foerderprogramm_im_Ueberblick/foerderprogramm_im_ueberblick_node.html

BMWK (2024). *Erneuerbares Heizen – Gebäudeenergiegesetz (GEG). Häufig gestellte Fragen (FAQ)*. Aufgerufen am 11. Juli 2024 unter <https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Navigation/DE/Service/FAQ/GEG/faq-geg.html>

BMWSB (2023a). *Bundesregierung einigt sich auf neues Förderkonzept für erneuerbares Heizen*. BMWSB.de. Aufgerufen am 13. Februar 2024 unter <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/Webs/BMWSB/DE/2023/04/geg-foerderkonzept.html>

BMWSB (2023b). *Novelle des Gebäudeenergiegesetzes auf einen Blick (GEG)*. BMWSB.de. Aufgerufen am 12. Februar 2024 unter https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/geg-auf-einen-Blick.pdf;jsessionid=AD290818DAE9254DBAF11EC268661C84.1_cid505?__blob=publicationFile&v=3

dena (2016). *Der dena-Gebäudereport 2016. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand*. Deutsche Energie-Agentur dena.de. Aufgerufen am 12. Februar 2024 unter https://www.dena.de/fileadmin/user_upload/8162_dena-Gebaeudereport.pdf

IWU (2012). *„TABULA“ – Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern*. Institut Wohnen und Umwelt (IWU). Aufgerufen am 12. Oktober 2023 unter <https://www.iwu.de/index.php?id=205>

KEA (2020). *Leitfaden Kommunale Wärmeplanung*. KEA-BW.de. Aufgerufen am 12. Februar 2024 unter https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/094_Leitfaden-Kommunale-Waermeplanung-022021.pdf

KEA (2024). *Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung | Wärmewende*. KEA-BW.de. Aufgerufen am 15. Juli 2024 unter <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/technikkatalog>

KfW (2024). *Energetische Stadtsanierung - Zuschuss (432)*. KfW.de. Aufgerufen am 12. Februar 2024 unter [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Kommunen/Quartiersversorgung/F%C3%B6rderprodukte/Energetische-Stadtsanierung-Zuschuss-Kommunen-\(432\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Kommunen/Quartiersversorgung/F%C3%B6rderprodukte/Energetische-Stadtsanierung-Zuschuss-Kommunen-(432)/)

KWW Halle (2024). *Technikkatalog Wärmeplanung*. Kompetenzzentrums Kommunale Wärmewende. kww-halle.de. Aufgerufen am 15. Juli 2024 unter <https://www.kww-halle.de/wissen/bundesgesetz-zur-waermeplanung>

Umweltbundesamt (2023). *Erneuerbare Energien in Zahlen*. Umweltbundesamt.de.
Aufgerufen am 12. Oktober 2023 unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>

ENTWURF

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Heizwertbezogene Emissionsfaktoren nach Energieträger (KWW Halle, 2024)	19
Tabelle 2: Potenziale und Auswahl der wichtigsten berücksichtigten Kriterien	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hauptphasen des Wärmeplans.....	6
Abbildung 2: Vorgehen bei der Bestandsanalyse.....	9
Abbildung 3: Gebäudeanzahl nach Sektor in Eisenach.....	10
Abbildung 4: Verteilung der Baualtersklassen für Gebäude.....	11
Abbildung 5: Gebäudeverteilung nach Baualtersklassen in Eisenach.....	12
Abbildung 6: Gebäudeverteilung nach GEG-Effizienzklassen (Verbrauchswerte).....	13
Abbildung 7: Wärmebedarf nach Sektor.....	14
Abbildung 8: Verteilung der Wärmebedarfe je Baublock.....	15
Abbildung 9: Endenergiebedarf nach Energieträger.....	17
Abbildung 10: Gasnetzinfrastruktur in Eisenach.....	17
Abbildung 11: Wärmenetzinfrastruktur in Eisenach.....	18
Abbildung 12: Treibhausgasemissionen nach Sektoren in Eisenach.....	19
Abbildung 13: Treibhausgasemissionen nach Energieträger in Eisenach.....	20
Abbildung 14: Verteilung der Treibhausgasemissionen in Eisenach.....	21
Abbildung 15: Vorgehen bei der Ermittlung von erneuerbaren Potenzialen.....	23
Abbildung 16: Vorgehen und Datenquellen der Potenzialanalyse.....	24
Abbildung 17: Erneuerbare Strompotenziale in Eisenach.....	28
Abbildung 18: Erneuerbare Wärmepotenziale in Eisenach.....	32
Abbildung 19: Reduktionspotenzial nach Baualtersklassen.....	33

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr (anno)
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMWSB	Bundesministerium für Wirtschaft, Struktur und Bau
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EnEV	Energieeinsparverordnung
evb	Eisenacher Versorgungs-Betriebe
FFH-Gebiet	Flora-Fauna-Habitat-Gebiet
GEG	Gebäudeenergiegesetz (Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden)
GIS	Geoinformationssystem
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GWh	Gigawattstunde(n)
GWh/a	Gigawattstunde pro Jahr
ha	Hektar
inkl.	Inklusive
KEA-BW	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kWh	Kilowattstunde(n)
KWP	Kommunale Wärmeplanung
m	Meter
MWh	Megawattstunde(n)
PV	Photovoltaik
WPG	Wärmeplanungsgesetz des Bundes