

**Integriertes Klimaschutzkonzept  
der Stadt Hattersheim am Main**



Hattersheim, im Juni 2024

## Impressum

### Herausgeber

Stadtverwaltung Hattersheim am Main  
Referat Bauen, Planen, Klima  
Sarceller Straße 1  
65795 Hattersheim am Main  
Telefon: 06190 970-223  
E-Mail: andreas.flettner@hattersheim.de



Projektleitung:  
Andreas Flettner, Klimaschutzmanager

Weitere Beteiligte:  
Thomas Kettenbach, Referatsleiter

### Unterstützung durch

EnergyEffizienz GmbH  
Gaußstraße 29a  
68623 Lampertheim  
Telefon: 06206 / 5803581  
Fax: 06206 / 5804712  
E-Mail: jung@e-eff.de



Projektleitung:  
Daniel Jung, M. Eng

Projektteam:  
Sophia Fuchs  
Semen Pavlenko

### Förderung

Dieses Projekt wurde im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit unter dem Förderkennzeichen 67K22277 gefördert.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Liebe Mitbürgerinnen,  
liebe Mitbürger,



Klimaschutz betrifft uns alle und ist ein wichtiges Anliegen unserer Zeit. Der Bund und das Land Hessen streben an, bis zum Jahr 2045 die Klimaneutralität zu erreichen. Bis 2030 sollen die Treibhausgasemissionen um 65 Prozent und bis 2040 sogar um 88 Prozent reduziert werden – jeweils im Vergleich zum Jahr 1990. Der Klimaplan Hessen ist ein zentraler Baustein auf dem Weg dorthin.

Auch die Stadt Hattersheim am Main wird ihren Beitrag zur Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes leisten. So beauftragte die Stadtverordnetenversammlung im März 2022 die Verwaltung, ein Integriertes Klimaschutzkonzept zu erstellen und auf den Weg zu bringen. Mit dieser Entscheidung wurde der Grundstein für die zukünftigen Klimaschutzaktivitäten in unserer Stadt gelegt. Das nun vorliegende Klimaschutzkonzept ist das Ergebnis aus der durchgeführten Treibhausgasbilanzierung, der Analyse der Potenziale sowie der Beteiligung der Öffentlichkeit. Klimaschutz ist eine langfristige Aufgabe, die kurzfristige Maßnahmen erfordert. So werden auch bereits bestehende Projekte und Themen sinnvoll eingebunden und miteinander verknüpft.

Die Erstellung des Konzeptes ist eine Querschnittsaufgabe aller Bereiche in der Stadtverwaltung unter der Federführung des Referates Bauen, Planen, Klima. Durch den umfassenden Beteiligungsprozess mit Akteursgesprächen, Arbeitsgruppen, Gremien und Workshops ist als Kernelement des Konzeptes ein Maßnahmenpaket in den Handlungsfeldern „Energie“, „Mobilität“, „Verwaltung“, „Private Haushalte und Konsum“, „Gewerbe“, „Bildung“ und „Klimaanpassung“ entstanden. Dieses Maßnahmenpaket gilt es, in den nächsten Jahren umzusetzen.

Das Klimaschutzkonzept wurde durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) gefördert und macht damit auch noch mal die Bedeutung des Themas deutlich.

Um die Bemühungen auch nachhaltig zu betreiben, muss Klimaschutz als Daueraufgabe verstetigt werden. Wir als Stadt Hattersheim am Main werden daher im Klimaschutz weiter mit gutem Beispiel vorangehen und im eigenen Zuständigkeitsbereich die Aktivitäten hierzu weiter ausbauen, um eine kontinuierliche Verbesserung zu gewährleisten.

Für die Umsetzung des Konzeptes benötigt die Stadt aber auch starke und engagierte Partner, denn alleine können wir nur wenig erreichen. Deshalb lade ich Bürgerinnen und Bürger, Betriebe, Institutionen und Vereine ein, sich für den Klimaschutz in unserer Stadt einzusetzen, sich an Kampagnen zu beteiligen oder eigene Projekte zu initiieren. Dabei sieht die Stadt Hattersheim am Main ihre Aufgabe insbesondere darin, die Klimaschutzaktivitäten zu moderieren und bessere Rahmenbedingungen für mehr Klimaschutz zu schaffen.

Ich wünsche mir für die Umsetzung der Projekte viele Unterstützer und Unterstützer sowie Aktive aus Hattersheim, Eddersheim und Okriftel.

Ihr Klaus Schindling  
Bürgermeister

## Abkürzungsverzeichnis

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

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ZIELE UND PROJEKTRAHMEN .....</b>	<b>6</b>
1.1	Ausgangssituation und politische Weichenstellung .....	6
1.2	Kurzbeschreibung der Stadt .....	6
1.3	Bisherige Aktivitäten der Stadt Hattersheim im Klimaschutz .....	7
1.4	Gegenstand und Ziel des Projekts .....	7
1.5	Inhaltlicher Aufbau des Konzeptes .....	8
<b>2</b>	<b>ENERGIE- UND TREIBHAUSGASBILANZ.....</b>	<b>9</b>
2.1	Methodik.....	9
2.2	Datenbasis.....	9
2.3	Datengüte .....	10
2.4	Ergebnisse.....	10
2.4.1	Endenergiebilanz.....	10
2.4.2	Stromsektor.....	13
2.4.3	Wärmesektor .....	14
2.4.4	Verkehrssektor .....	16
2.4.5	Kommunale Verbräuche .....	18
2.4.6	Treibhausgasbilanz.....	21
<b>3</b>	<b>POTENZIALANALYSE.....</b>	<b>25</b>
3.1	Stromsektor .....	27
3.1.1	Effizienzsteigerung in Haushalten, Gewerbe und Industrie .....	27
3.1.2	Effizienzsteigerung in den kommunalen Liegenschaften .....	29
3.1.3	Windenergie.....	32
3.1.4	Photovoltaik .....	32
3.1.5	Wasserkraft.....	36
3.1.6	Biogasanlagen .....	36
3.1.7	Faulgas / Kläranlagen .....	37
3.1.8	Straßenbeleuchtung.....	38
3.1.9	Zusammenfassung .....	38
3.2	Wärmesektor .....	40
3.2.1	Sanierung der Wohngebäude .....	40
3.2.2	Sanierung der kommunalen Liegenschaften .....	42
3.2.3	Effizienz im Wärmeverbrauch der Sektoren Gewerbe und Industrie .....	44
3.2.4	BHKWs.....	45
3.2.5	Heizöl.....	45
3.2.6	Erdgas.....	47
3.2.7	Biomasse .....	48
3.2.8	Abfall .....	51
3.2.9	Solarthermie .....	52
3.2.10	Wärmepumpen/Geothermie.....	53

3.2.11	Nah- und Fernwärme .....	59
3.2.12	Wasserstoff .....	76
3.2.13	Fazit zum Wärmesektor .....	76
3.3	Verkehrssektor .....	80
3.3.1	Fuhrpark .....	80
3.3.2	Gesamtverkehr .....	81
3.3.3	STADTRADELN .....	83
3.3.4	Reduktionspfad hin zur Klimaneutralität .....	85
3.4	Leitlinien als Ergebnis der Potenzialanalyse .....	89
<b>4</b>	<b>AKTEURSBETEILIGUNG .....</b>	<b>90</b>
4.1	Bürgerbeteiligung und Öffentlichkeitsveranstaltungen .....	90
4.2	Klimaaktionsteam (KAT) und Klimakommission .....	91
<b>5</b>	<b>MAßNAHMENKATALOG .....</b>	<b>92</b>
<b>6</b>	<b>VERSTETIGUNGSSTRATEGIE .....</b>	<b>96</b>
6.1	Bereitstellung personeller und finanzieller Ressourcen .....	96
6.2	Schaffung geeigneter Organisationsstrukturen .....	97
6.3	Vernetzung .....	98
6.4	Positive Effekte des Konzeptes .....	99
6.5	Öffentlichkeitsarbeit .....	99
<b>7</b>	<b>KLIMASCHUTZCONTROLLING .....</b>	<b>100</b>
7.1	Fortschreibung der Energie- und Treibhausgas-Bilanz (Controlling top-down) .....	100
7.2	Maßnahmen-Controlling (Controlling bottom-up) .....	100
7.3	Klimaschutzbericht .....	101
7.4	Personalbedarf und Kosten .....	101
<b>8</b>	<b>KOMMUNIKATIONSSTRATEGIE .....</b>	<b>104</b>
8.1	Klimastadt Hattersheim .....	104
8.2	Instrumente zur Information und Beratung .....	104
8.3	Instrumente zur Beteiligung .....	106
8.4	Ausgangssituation und Zuständigkeiten .....	106
<b>9</b>	<b>FAZIT .....</b>	<b>107</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG NR. 1: WEITERE AUSFÜHRUNGEN ZUM REDUKTIONSPFAD .....</b>	<b>109</b>
10.1	E-Mobilität, der resultierende Strombedarf und EE-Anlagen .....	114
<b>11</b>	<b>ANHANG NR. 2: AUSWERTUNG DER UMFRAGE ZUM IKK .....</b>	<b>118</b>
<b>12</b>	<b>ANHANG NR. 3: ERGÄNZENDE INFORMATIONEN ZU DEN RECHENZENTREN .....</b>	<b>119</b>
<b>13</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>121</b>

# 1 Ziele und Projektrahmen

## 1.1 Ausgangssituation und politische Weichenstellung

Das Übereinkommen von Paris wurde auf der 21. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (COP21) im Dezember 2015 in Paris verabschiedet und trat im November 2016 in Kraft. Die beigetretenen Staaten verpflichten sich, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C, möglichst jedoch auf 1,5 °C, gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Das Bundes-Klimaschutzgesetz, mit dem Ziel die Treibhausgasneutralität bis 2045 zu erreichen, folgte im Jahre 2019; novelliert im Jahre 2021. Die Bundesverwaltung selbst will bereits im Jahre 2030 klimaneutral arbeiten.

Weitere Gesetze mit Fokus auf bestimmten Sektoren oder Potenzialen wie beispielsweise das Gebäudeenergiegesetz (GEG) oder das Windenergie-an-Land-Gesetz werden auf Bundesebene verabschiedet, um Vorgaben in Richtung der Länder und Kommunen zu konkretisieren.

Der hessische Landtag hat das erste hessische Klimagesetz verabschiedet. Zudem ist der neue Klimaplan Hessen, der konkrete Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen festschreibt, beschlossen und damit in Kraft.

Das Hessische Kabinett hat beschlossen, dass die Emissionen bis 2030 im Sektor Energie um 51 Prozent, im Sektor Haushalt, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen um 68 Prozent, im Verkehrssektor um 35 Prozent, im Industriesektor um 65 Prozent, die Methan- und Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft um 32 Prozent und sonstige Methan- und Lachgasemissionen um 80 Prozent reduziert werden sollen.

Durch den Beitritt zu den Klimakommunen Hessen hat sich die Stadt Hattersheim im Sommer 2023 den klaren Zielvorgaben des Landes angeschlossen, welche in Folge dessen mit dem nunmehr vorliegenden Hattersheimer Klimaschutzkonzept in den folgenden Jahren umgesetzt werden sollen.

## 1.2 Kurzbeschreibung der Stadt

Hattersheim am Main liegt im Rhein-Main-Gebiet zwischen Frankfurt am Main, Wiesbaden und Mainz und besteht aus drei Stadtteilen: Hattersheim, Eddersheim und Okriftel. Die drittgrößte Stadt im Main-Taunus-Kreis hat zurzeit rund 29.500 Einwohner.

Die Gesamtfläche von 15,82 km<sup>2</sup> ist aufgeteilt in ca. 52 % landwirtschaftliche Nutzflächen und rund 31 % Siedlungsflächen.

Das hiesige Klima ist vergleichsweise warm, was an den überdurchschnittlich vielen Sonnenstunden von um die 2.000 Stunden pro Jahr liegt. Bei etwa 170 Regentagen (2022) liegt die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge bei ca. 700l/m<sup>2</sup>.

Der Hitzebelastungsindex weist für Eddersheim eher eine mittlere, in Hattersheim und Okriftel für einzelne Bereiche auch starke bis sehr starke Hitzebelastung aus. Daher sind neben den Klimaschutzmaßnahmen ebenfalls Klimaanpassungsmaßnahmen für die Bürgerinnen und Bürger wichtig.

Es gibt ein großes Industrie- und Gewerbegebiet, in dem unter anderem YASKAWA, DHL, Precision und Polyclip einen Firmensitz bzw. Verteilzentrum errichtet haben. In den Ortsteilen Okriftel und Eddersheim sind z.B. Hessische Bewehrungsstahl bzw. Aviteq und T.O.M. ansässig.

Bei der Fahrradfreundlichkeit liegt Hattersheim im ADFC-Ranking von 2022 mit einer Note von 4,20 auf Platz 331 von 447 - kein sonderlich gutes Ergebnis in der Kategorie 20.000 bis 50.000 Einwohner. Die Benotung hat sich im Vergleich zum ADFC-Ranking aus dem Jahre 2020 nochmals verschlechtert.

Das Hattersheimer Verkehrsaufkommen ist vergleichsweise hoch mit ca. 5.000<sup>1</sup> Ein- und Auspendlern, Verkehrsstaus zu den Stoßzeiten sind ein Problem der städtischen Mobilität, die Nutzungsquote für Rad und die öffentlichen Verkehrsmittel ist eher niedrig.

Für die Stadt Hattersheim wird dieses Klimaschutzkonzept und die Personalstelle des Klimaschutzmanagers für die ersten zwei Jahre zu 70 % gefördert. Schaut man über die Städtegrenzen hinaus, sind im Main-Taunus-Kreis in den Jahren 2022/23 viele neue Klimaschutzmanager hinzugekommen. In der direkten Nachbarschaft von Hattersheim ist das beispielsweise in der Kreisstadt Hofheim der Fall, Kriftel plant für 2024 die Einstellung eines Klimaschutzmanagers.

### **1.3 Bisherige Aktivitäten der Stadt Hattersheim im Klimaschutz**

Bisher wurde der Klimaschutz in Hattersheim eher sporadisch und bei größeren Projekten berücksichtigt. Vor der Einstellung eines Klimaschutzmanagers (2023) gab es keine festen Strukturen oder Personalstellen, die sich dauerhaft mit der Aufgabe des Klimaschutzes beschäftigten. An einzelnen Stellen wurden Maßnahmen umgesetzt, die der Treibhausgaseinsparung dienen:

- Nahwärmenetze auf Basis BHKW mit KWK
- Installation von PV-Anlagen
- Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf LED
- Installation smarter Thermostate in div. Liegenschaften
- Ausstattung städt. Liegenschaften mit Brennwertkesseln
- Vorbereitung der Nutzung von Rechenzentrums-Abwärme

Auf diesen Konzepten baut das vorliegende Klimaschutzkonzept auf und besonders die Umsetzung wird im Maßnahmenkatalog festgehalten.

Ein zentraler Schritt hin zu einem Klimaschutzmanagement wurde im März 2022 gemacht, als die Stadtverordnetenversammlung die Erstellung eines Klimaschutzkonzeptes beschloss. Die Einstellung des Klimaschutzmanagers erfolgte zum 01.01.2023. Der erste wichtige Auftrag an den Klimaschutzmanager bestand in der Erarbeitung eines integrierten Klimaschutzkonzeptes der Stadt, das auf den genannten bisherigen Arbeiten der Stadtverwaltung Hattersheim forciert aufsetzt, jedoch auch neue Konzepte erfordert.

### **1.4 Gegenstand und Ziel des Projekts**

Der Klimaschutz kann nicht als separates Projekt betrachtet werden, sondern stellt viel mehr eine zentrale Querschnittsaufgabe dar.

Hattersheim gilt als Stadt mit vielen sanierungsbedürftigen Liegenschaften und einer eher geringen Erzeugungsquote an erneuerbaren Energien. Klimaschutzprojekte können nicht nur Treibhausgase einsparen, sondern auch weitere Probleme der Stadt entschärfen oder sogar lösen und weitreichende Synergieeffekte erzeugen. Regionale Wertschöpfung, höhere Lebensqualität für Bürgerinnen und Bürger, mehr soziale Gerechtigkeit und Sicherheit können potenzielle Nebeneffekte von intelligenten Klimaschutzmaßnahmen sein.

Das Integrierte Klimaschutzkonzept ist die Grundlage für die bilanzielle Klimaneutralität<sup>2</sup> von Hattersheim bis zum Jahr 2045 und entspricht so den Bedingungen der Klimakommunen Hessen.

<sup>1</sup> (Deutschland123)

<sup>2</sup> Bilanzielle Klimaneutralität bedeutet, dass durchaus noch Treibhausgase emittiert werden, diese werden jedoch an anderer Stelle eingespart oder wieder aus der Atmosphäre entzogen – beispielsweise durch Baumpflanzungen.

## 1.5 Inhaltlicher Aufbau des Konzeptes

Im Anschluss an diese Einleitung erfolgt eine detaillierte Darstellung der Energie- und Treibhausgasbilanz für die Stadt Hattersheim. Auf Basis dieser Status-Quo-Analyse werden zunächst die Potenziale ermittelt, wie auf dem Hattersheimer Stadtgebiet Treibhausgasemissionen eingespart werden können. Im Kern drehen sich die Bemühungen um eine Verbrauchsreduktion von fossiler Energie. Zum einen funktioniert das durch Einsparmaßnahmen wie z.B. durch Effizienzsteigerung und zum anderen durch den Aufbau von erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen (z.B. Dachflächenphotovoltaikanlagen). Aus diesen Informationen (Bilanz & Potenziale) werden sodann zwei Szenarien modelliert: Das **Referenzszenario**, anhand dessen man die Entwicklung nach den heutigen Trends erkennen kann, und das **Klimaschutzszenario**, welches die Effekte eines funktionierenden Klimaschutzmanagements abbildet. Insgesamt besteht das Klimaschutzszenario aus einer Vielzahl an Maßnahmen, die jeweils im strukturierten Maßnahmenkatalog detailliert dargestellt werden. Die beiden Szenarien lassen einen Vergleich zu, aus dem sich für die städtischen Entscheidungsträger die Notwendigkeit und Gestaltungsansätze eines langfristigen Klimaschutzes ergeben. Wichtige weitere Bestandteile des Klimaschutzkonzeptes sind die im Rahmen des Konzeptes durchgeführten Beteiligungsformate, eine Verstetigungsstrategie, wie Klimaschutz mittel- bis langfristig in der Verwaltungsstruktur verankert wird, ein Klimaschutzcontrolling, mit dessen Hilfe man wichtige Kennzahlen wie die Zielerreichung oder die Ressourcenintensität feststellen kann, und abschließend eine Kommunikationsstrategie, um erfolgreiches Schlüsselpersonenmanagement und auch gute Öffentlichkeitsarbeit zu gewährleisten.

## 2 Energie- und Treibhausgasbilanz

Für die Messbarkeit konkreter Zielsetzungen im Bereich Klimaschutz ist als Ausgangspunkt eine Energie- und Treibhausgasbilanz unerlässlich. Im Folgenden werden die Bilanzen für die Stadt Hattersheim und das Bilanzjahr 2019 dargestellt.

### 2.1 Methodik

Die Bilanzierung erfolgt nach der Bilanzierungs-Systematik Kommunal (BISKO). Die Systematik wurde vom ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH<sup>3</sup>) im Rahmen eines vom BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) geförderten Vorhabens mit Vertretern aus Wissenschaft und Kommunen entwickelt. Die entwickelte Methodik zur Bilanzierung ist ein deutschlandweit gängiger Standard für kommunale Energie- und THG-Bilanzen und soll das Bilanzieren von Treibhausgasemissionen in Kommunen harmonisieren und vergleichbar machen. Ein weiteres Kriterium ist die Konsistenz innerhalb der Methodik, um Doppelbilanzierung sowie daraus folgende falsche Schlüsse lokaler Akteure zu verhindern – damit soll einfach gesagt eine doppelte Erfassung von Daten verhindert werden.

Die BISKO-Methodik schreibt eine endenergiebasierte Territorialbilanz vor. Dabei werden alle Verbräuche<sup>4</sup> auf Ebene der Endenergie bilanziert, welche im Gebiet der Stadt Hattersheim auftreten. Über spezifische Emissionsfaktoren findet im Rahmen der Bilanzierung eine Umrechnung in CO<sub>2</sub>-Äquivalente statt. Diese berücksichtigen nicht nur die CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern auch die Emissionen anderer Treibhausgase, wie Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O), mit ihrer entsprechenden Treibhausgas-Wirkung. In diesem Bericht sind bei der Nennung von CO<sub>2</sub> immer die CO<sub>2</sub>-Äquivalente gemeint. Die Emissionsfaktoren berücksichtigen darüber hinaus auch die Vorketten der jeweiligen Energieträger, also die Emissionen, die beim Abbau der Rohstoffe, bei der Aufbereitung, Umwandlung und dem Transport anfallen. Die Energieverbräuche und Emissionen werden den fünf Gruppen Haushalte, GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen), Industrie, Verkehr sowie städtischen Einrichtungen zugeordnet. Die Einspeisung von nicht eigenverbrauchtem Strom aus erneuerbaren Energien wird nur bedingt eingerechnet, da der Fokus auf der Menge des vorhandenen Stromverbrauchs, den es zu reduzieren gilt, liegen soll. Ökostrom wird nach dem BISKO-Standard nicht in der kommunalen Bilanz verrechnet, da dieser bereits durch seine Auswirkung auf den Bundesstrommix berücksichtigt ist. Das Augenmerk eines Klimaschutzkonzeptes liegt auf den Bemühungen zur Energie- und Emissionseinsparung innerhalb des Gebietes der betrachteten Kommune.

### 2.2 Datenbasis

Das genutzte Bilanzierungstool ECOSPEED Region stellt ein Mengengerüst (Daten zur Einwohnerzahl und Beschäftigung) zur Verfügung, welches zur Aufteilung der Energieverbräuche auf die Verbrauchergruppen herangezogen werden kann, sofern eine Aufteilung nicht bereits anderweitig vorliegt. Auf Basis von Daten der Energieversorger werden Werte für den Gas- und Stromverbrauch sowie für die Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energiequellen zur Verfügung gestellt. Die Verbräuche von Heizöl, Flüssiggas und Biomasse beruhen auf der Auswertung der lokalen Schornsteinfegerdaten. Für den Ölverbrauch des Sektors Industrie wird auf statistische Zahlen des Landkreises zurückgegriffen, welche über das Verhältnis des Gasverbrauchs für die Stadt

<sup>3</sup> Am 20.4.2023 hat die neue "Agentur für kommunalen Klimaschutz" des BMWK ihre Arbeit begonnen, mit Sitz im difu (Deutsches Institut für Urbanistik) in Berlin.

<sup>4</sup> Energie kann grundsätzlich weder erzeugt noch verbraucht, sondern lediglich von einer Form in eine andere umgewandelt werden (Erster Hauptsatz der Thermodynamik). Der Begriff des Energieverbrauchs steht im üblichen Sprachgebrauch wie auch in diesem Bericht in der Regel für die Umwandlung von Energie von einer höherwertigen in eine niederwertigere Energieform. Der Begriff der Energieerzeugung entsprechend umgekehrt.

heruntergerechnet werden. Daten zum Nahwärmenetz wurden von den Hattersheimer Stadtwerken bereitgestellt bzw. von den Netzdiensten RheinMain angefordert. Die Daten für die Nutzung von Solarthermie werden über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) bezogen. Der Verbrauch der Wärmepumpen wird über Angaben des Energieversorgers zum Stromverbrauch der Wärmepumpen berechnet. Für den Verkehrssektor liegen statistische Hochrechnungen anhand von ifeu-Daten im Bilanzierungstool ECOSPEED Region vor, die durch regionale Daten der Buslinien und S-Bahnen ergänzt werden. Darüber hinaus enthält die Bilanz Angaben zu den kommunalen Energieverbräuchen für die Liegenschaften, den Fuhrpark und die Straßenbeleuchtung. Die Emissionsfaktoren werden ebenfalls von ECOSPEED bezogen, welche die Faktoren inkl. Vorkette (LCA) zur Verfügung stellt.

## 2.3 Datengüte

Die Aussagekraft der Bilanz beruht auf der Qualität der zugrundeliegenden Daten. Während regionale Primärdaten, etwa vom lokalen Energieversorger sehr exakt sind, unterliegen Hochrechnungen anhand bundesweiter Kennzahlen einer gewissen Unschärfe. Die Qualität wird anhand ihrer Datenquelle als Datengüte angegeben und in folgende Kategorien unterteilt:

- Datengüte A: Regionale Primärdaten (z.B. Daten vom Energieversorger (EVU)) → Faktor 1
- Datengüte B: Primärdaten und Hochrechnung → Faktor 0,5
- Datengüte C: Regionale Kennwerte und Statistiken → Faktor 0,25
- Datengüte D: Bundesweite Kennzahlen → Faktor 0

Die Datengüte der Gesamtbilanz ergibt sich aus der Datengüte der einzelnen Datenquellen und deren Anteil an der Energiebilanz. Die Datengüte der Gesamtbilanz wird wie folgt bewertet:

Tabelle 1: Aussagekraft nach Datengüte, Quelle: (Difu, 2018)

Datengüte der Gesamtbilanz	Bewertung der Aussagekraft der Ergebnisse
> 0,8	Gut belastbar
> 0,65 – 0,8	Belastbar
> 0,5 – 0,65	Relativ belastbar
< 0,5	Bedingt belastbar

Die Datengüte der Bilanz für die Stadt Hattersheim liegt bei 0,74 und fällt damit in die Kategorie „belastbar“.

## 2.4 Ergebnisse

Insgesamt werden in der Stadt Hattersheim derzeit (Bilanzjahr 2019) rund 517.500 MWh Energie pro Jahr verbraucht und rund 150.000 t CO<sub>2</sub>e (unter Berücksichtigung des lokalen Strommixes) emittiert. Im Folgenden wird dargestellt, wie sich die Energieverbräuche und Emissionen zusammensetzen.

### 2.4.1 Endenergiebilanz

Es zeigt sich (siehe Abbildung 1), dass der Wärmesektor mit rund 283.000 MWh den größten Anteil (55 %) am gesamten Endenergieverbrauch der Stadt hält. Darauf folgt mit rund 146.000 MWh der Verkehrsbereich (28 %) und mit rund 87.000 MWh der Stromsektor (17 %). Der Energieträger Gas wird dabei für rund 36 % des Gesamtenergieverbrauchs genutzt. Der Energieträger Öl macht 14 % und Flüssiggas 1 % des gesamten Endenergieverbrauchs aus. Wärme aus erneuerbaren Energien repräsentieren rund 4 % des Endenergieverbrauchs. Im Verkehrssektor ist der Großteil des

Endenergieverbrauchs auf den Kraftstoff Diesel zurückzuführen (17 % des Endenergieverbrauchs), gefolgt von Benzin (10 %). Nur ein sehr geringer Anteil entfällt auf E-Mobilität und Erdgas oder Flüssiggas (jeweils ca. 1 %).

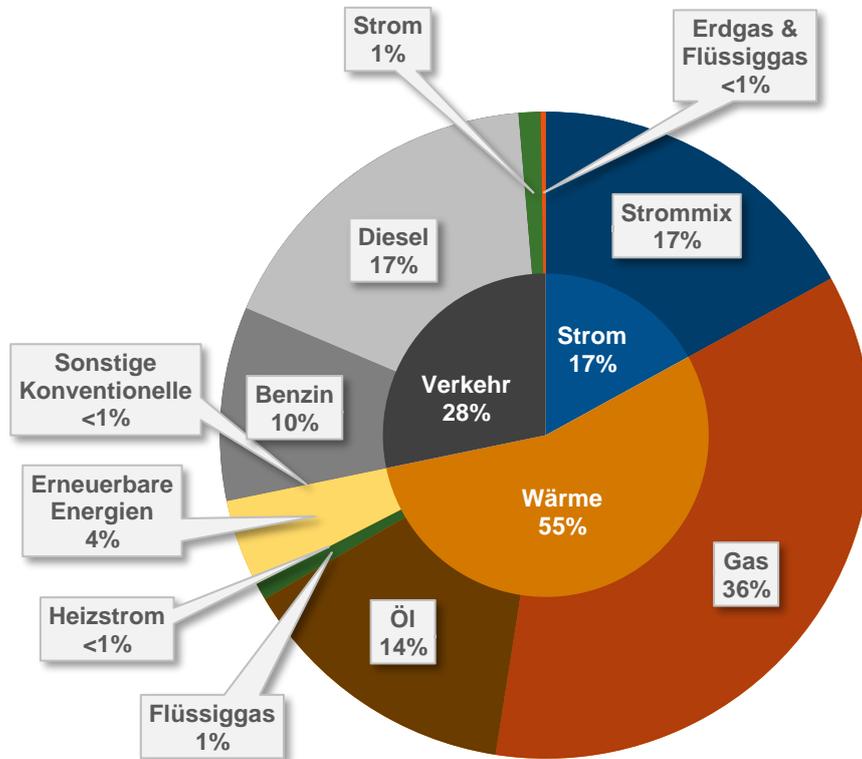


Abbildung 1: Endenergieverbrauch nach Sektoren und Energieträgern (2019)

Nach Verbrauchergruppen aufgeteilt, wie in Abbildung 2 dargestellt, entfallen rund 35 % des Verbrauchs auf den Sektor Gewerbe Handel und Dienstleistungen (GHD), 28 % auf den Sektor Verkehr, 19 % auf den Sektor Private Haushalte und 17 % auf den Industriesektor. Die Verbräuche der kommunalen Einrichtungen machen nur ca. 1 % des Gesamtendenergieverbrauchs aus, dennoch wird ihnen im Klimaschutzkonzept aufgrund der Vorbildfunktion der Verwaltung eine besondere Bedeutung zugewiesen.

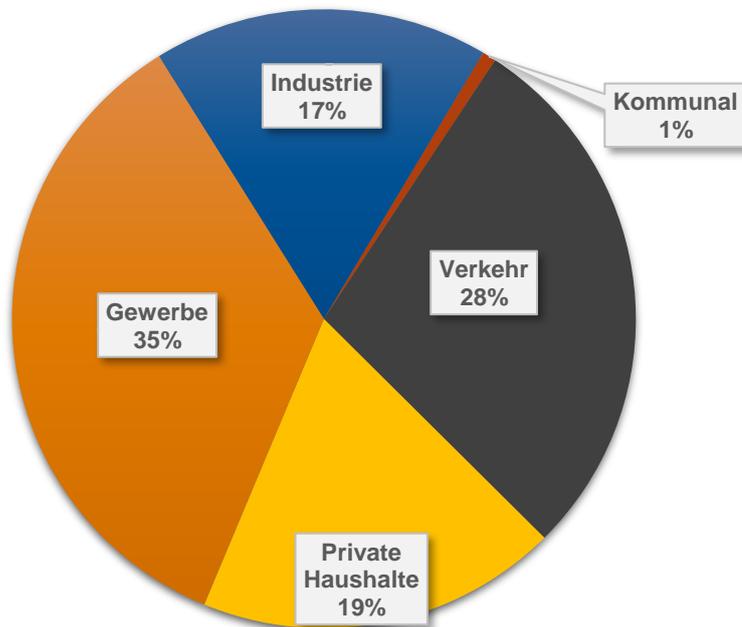


Abbildung 2: Endenergieverbräuche nach Verbrauchergruppen (2019)

Auffällig ist der deutlich geringere Pro-Kopf-Energieverbrauch in Hattersheim im Vergleich zum Bundesdurchschnitt. Gerechnet mit einer Einwohnerzahl von ca. 29.000 Einwohnern in Hattersheim am Main sowie einer Einwohnerzahl von 83.200.000 Einwohnern für die gesamte BRD ergibt sich für Hattersheim am Main ein Pro-Kopf-Energieverbrauch von 18,4 MWh pro Einwohner sowie für die gesamte BRD von 30,1 MWh pro Einwohner.

Dieser vergleichsweise auffallend geringe Energieverbrauch lässt sich erklären durch eine nähere Betrachtung des gesamten Kontextes. Die räumliche Nähe der Stadt Hattersheim an die Stadt Frankfurt am Main führt dazu, dass sich beispielsweise die Verkehrsleistungen des Pendlerverkehrs zum größten Teil dem Raum Frankfurt zurechnen lassen. Die Verbräuche von GHD und Industrie wurden aufgrund von Gesamtdaten von Kreis oder Land eruiert und mittels z.B. Beschäftigtenzahlen runtergerechnet. Die tatsächlichen bottom-up Berechnungen der Energieverbräuche bezogen auf jeden einzelnen Haushalt und jeden Betrieb würden eine sensible Datensammlung darstellen, die im Rahmen dieses Berichts nicht abgedeckt wird. Dazu kommt die Tatsache, dass die allgemeine Struktur der Energieverbräuche in einer ähnlichen Stadt wie Hattersheim (Kriterien: Bevölkerungsanzahl, Verkehrsverbindungen, Ballungsraum in der Nähe, Zusammensetzung des Gebäudebestandes) die Schlussfolgerungen und Hauptergebnisse dieses Berichts nicht widerlegt.

Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass sich der relativ niedrige Energieverbrauch pro Kopf in Hattersheim in erster Linie zum einen aus der Systematik der BSKO-Erfassung ergibt und zum anderen aus einer besonderen Struktur mit Blick auf die Industrie/GHD sowie auf Verkehr und Nähe zur Gemarkung der Stadt Frankfurt am Main.

Die fossile Struktur aller Sektoren, unabhängig von den Verbrauchergruppen, lässt feststellen, dass für Hattersheim ein klarer Handlungsauftrag mit Blick auf den Klimaschutz zu erkennen ist.

## 2.4.2 Stromsektor

Der Stromverbrauch lag im Bilanzjahr 2019 bei rund 87.000 MWh. Dem Verbrauch gegenüberstehend wurden ca. 2.800 MWh Strom aus erneuerbaren Energien (Photovoltaik, Biomasse) ins Netz eingespeist, was einem Anteil von ca. 3 % des Stromverbrauchs entspricht. Damit liegt die Stromeinspeisung weit unter dem Bundesdurchschnitt aus dem Jahr 2019 von 42 %<sup>5</sup>. Die Stromeinspeisung entstammte nur aus Photovoltaikanlagen.

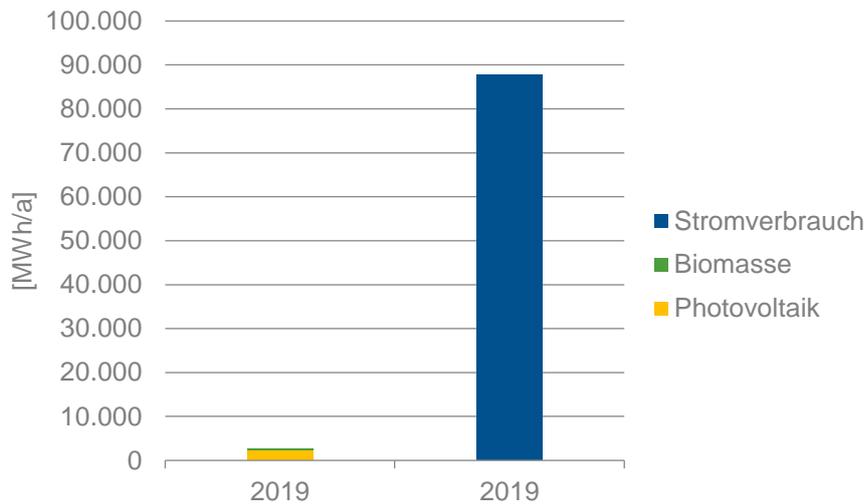


Abbildung 3: Stromeinspeisung vs. Stromverbrauch (2019)

Die Verteilung des Stromverbrauchs auf die verschiedenen Verbrauchergruppen wird in Abbildung 4 dargestellt. Die größten Anteile halten im Bilanzjahr 2019 die Industrie mit 43 %, gefolgt von den privaten Haushalten mit 37 %. Dem Gewerbe wird rund 18 % des Stromverbrauchs zugeordnet sowie 2 % den kommunalen Einrichtungen.

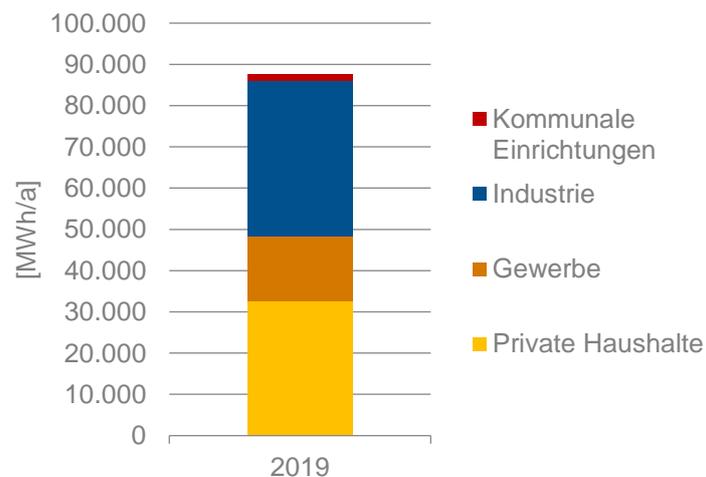


Abbildung 4: Stromverbrauch nach Verbrauchergruppen (2019)

<sup>5</sup> Klimaschutz-Planer

### 2.4.3 Wärmesektor

Der Wärmeverbrauch lag im Bilanzjahr 2019 bei 283.500 MWh. Die Aufteilung nach Energieträgern ist in Abbildung 5 dargestellt. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Wärmeversorgung liegt bei insgesamt 8 %. Damit liegt der Anteil Erneuerbarer Energien an der Wärmeversorgung unter dem bundesweiten Durchschnitt von 15 %.<sup>6</sup>

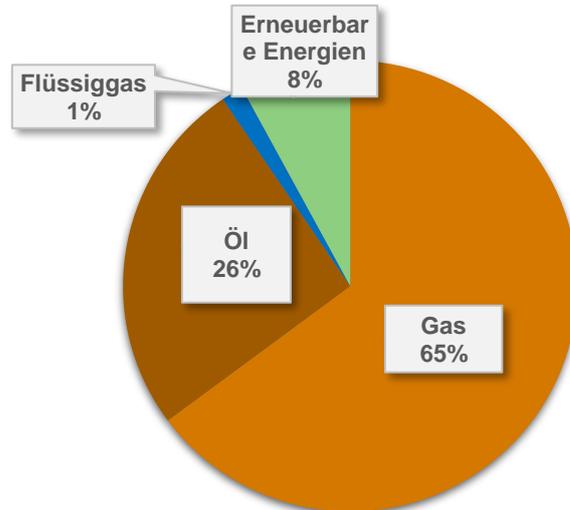


Abbildung 5: Energieverbrauch im Wärmesektor nach Energieträgern (2019)

Die Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmesektor ist im Bilanzjahr 2019 zu einem großen Teil auf Biomasse zurückzuführen mit 7.000 MWh, gefolgt von 5.000 MWh über Wärmepumpen und 2.800 MWh über Solarthermie. Die Kategorie „Sonstige Erneuerbare“ bezieht sich hauptsächlich auf verschiedene Energieträger der biomassebasierten Wärmeerzeugung.(s. Abbildung 6)

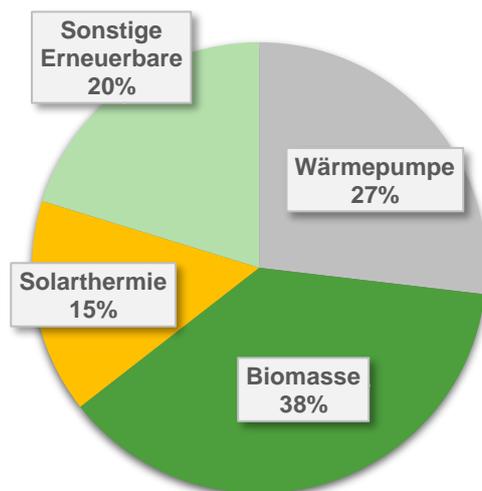


Abbildung 6: Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung (2019)

<sup>6</sup> Klimaschutz-Planer

Die Verteilung des Wärmeverbrauchs auf die verschiedenen Verbrauchergruppen wird in Abbildung 7 dargestellt. Den größten Anteil halten im Bilanzjahr 2020 mit Abstand das Gewerbe mit 58 %, darauf folgen private Haushalte (23 %) und Industrie mit 18 %. Den kommunalen Einrichtungen wird rund 1 % des Wärmeverbrauchs zugeordnet.

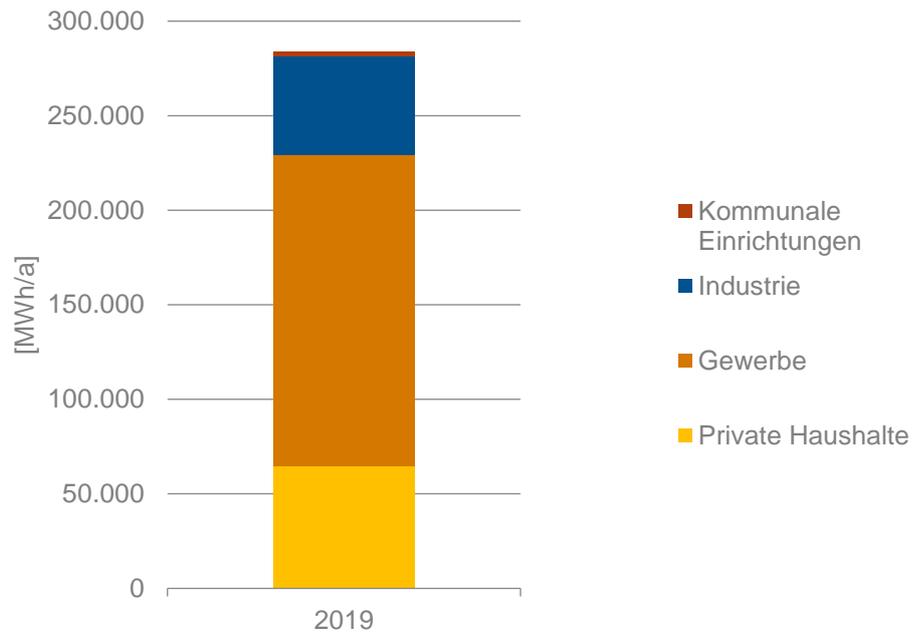


Abbildung 7: Wärmeverbrauch nach Verbrauchergruppen (2019)

#### 2.4.4 Verkehrssektor

Der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors lag im Bilanzjahr 2019 bei rund 146.600 MWh. Nach der BSKO-Methodik wird der Verkehr rein territorial bilanziert, wodurch alle Verkehrsbewegungen, die innerhalb des Gebiets der Stadt Hattersheim vollzogen werden, berücksichtigt werden. Die hier dargestellten Werte beruhen auf statistischen Berechnungen, die vom Bilanzierungstool ECOSPEED Region zur Verfügung gestellt werden.

Damit kann der motorisierte Individualverkehr (MIV), den Straßen- und Schienengüterverkehr und der Schienenpersonenverkehr abgedeckt werden. Ergänzt wird das Verkehrsmodell um den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Hierzu werden die Fahrleistungen der Busse berücksichtigt. Da es sich bei diesem Modell um eine statistische Betrachtung handelt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die tatsächlichen Energieverbräuche und Emissionen des Verkehrs deutlich abweichen.

Die Verteilung nach Antriebsart zeigt, dass neben einer überwiegenden Nutzung von Diesel mit 89.200 MWh/a und Benzin mit 50.124 MWh/a die Nutzung von Strom nur etwa 4 % ausmacht. Die Nutzung von Erdgas und Flüssiggas beträgt ca. 1 %.

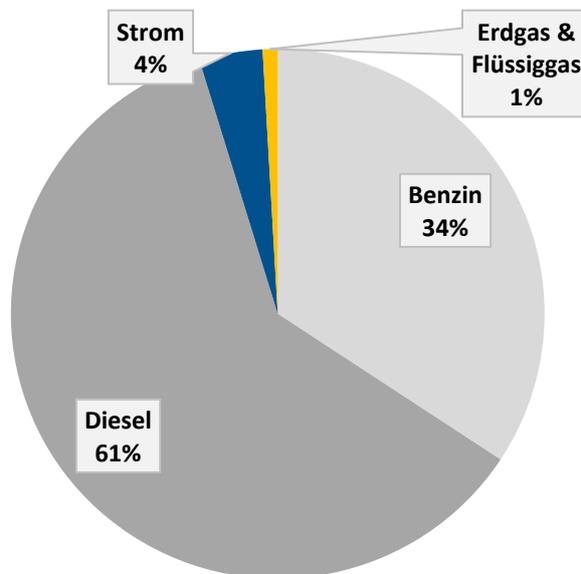


Abbildung 8: Endenergieverbrauch nach Antriebsart (2019)

Durch den motorisierten Individualverkehr werden in der Stadt Hattersheim mit 66 % bereits zwei Drittel des verkehrsbedingten Energieverbrauchs verursacht. Dabei stellt der Pkw das dominante Fortbewegungsmittel dar. Der gewerbliche Verkehr (Lkw, leichte Nutzfahrzeuge und Schienengüterverkehr) ist für etwa 33 % des Energieverbrauchs verantwortlich. Der ÖPNV und der Kommunale Verkehr haben mit rund 1 % nur einen sehr geringen Anteil am Energieverbrauch.

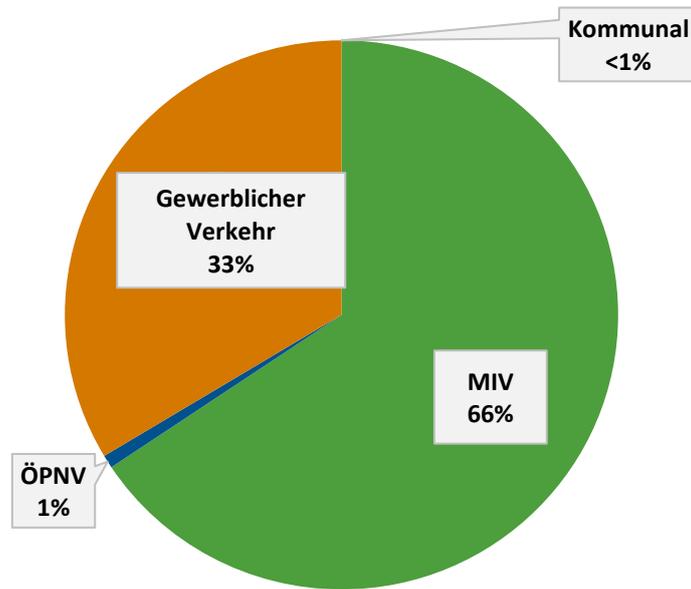


Abbildung 9: Endenergieverbrauch im Verkehr nach Fahrzeugarten (2019)

### 2.4.5 Kommunale Verbräuche

Aufgrund der Vorbildfunktion werden die Endenergieverbräuche und Emissionen der kommunalen Verwaltung detailliert betrachtet und dargestellt. Die folgende Abbildung zeigt die verschiedenen Sektoren und genutzten Energieträger im Bereich des kommunalen Energieverbrauchs. Insgesamt lag der Energieverbrauch im Jahr 2019 bei rund 3.700 MWh. Die daraus resultierenden Emissionen belaufen sich auf rund 1.200 t CO<sub>2</sub>/a.

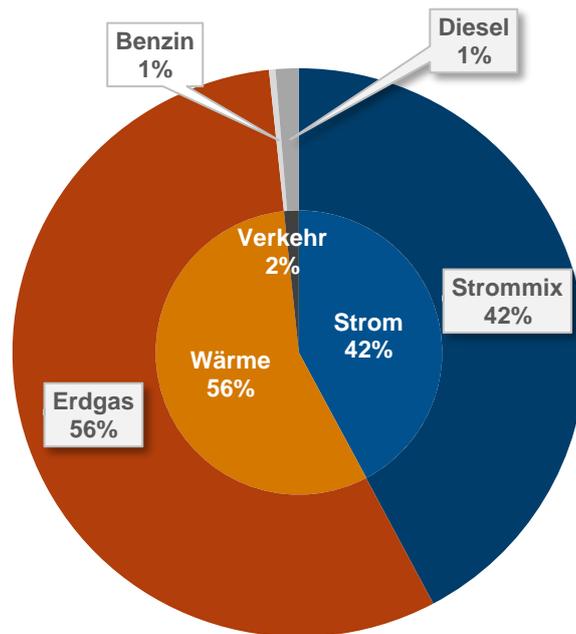


Abbildung 10: Kommunaler Endenergieverbrauch nach Energieträgern (2019)

Der Wärmeverbrauch hat den größten Anteil an den Energieverbräuchen mit rund 2.100 MWh/a. Erdgas macht hier den größten Anteil aus, gefolgt von den erdgasbetriebenen Nahwärmenetzen. Eine detailliertere Darstellung ist aufgrund der Datenlage zu diesem Zeitpunkt nicht möglich.

Der Stromverbrauch ist für ca. 1.600 MWh/a des Energieverbrauchs verantwortlich. Ca. 800 MWh/a davon sind auf die Straßenbeleuchtungsanlagen zurückzuführen.

Im Folgenden werden die Energieverbräuche der kommunalen Liegenschaften nach Gebäudekategorien und Energieträgern dargestellt. Die größte Verbrauchergruppe (16 % des Gesamtverbrauchs) stellen die Kindertagesstätten dar – 112 MWh/a Strom- und 453 MWh/a Erdgasnutzung. Die zweitgrößte Verbrauchergruppe stellen die Verwaltungsgebäude (12 %) mit 430 MWh/a dar. Hier sind die erdgasbetriebenen Nahwärmenetze für die hohen Energieverbräuche entscheidend. Die drittgrößte Verbrauchergruppe bildet die Kategorie „Sport- und Turnhallen“ (11 %) mit 398 MWh/a. Die hohen Stromverbräuche sind auf die kommunal betriebenen Straßenbeleuchtungsanlagen zurückzuführen (ca. 870 MWh/a).

Es sind aktuell 4 PV-Anlagen auf den kommunalen Gebäuden der Stadt verbaut. 2 bereits seit Jahren laufende Anlagen auf der Sporthalle Karl-Eckel-Weg und auf der Kita JSB in Okriftel. Die 2023 neu

errichtete Anlage auf dem Stadtmuseum in Hattersheim soll mit den installierten 28 kWp etwa 28.000 kWh ab 2024 produzieren und so fast die Hälfte des im Stadtmuseum und der angeschlossenen Gastronomie benötigten Stroms generieren. Die auf der Fahrzeughalle der Feuerwehr Eddersheim installierte Anlage (ca. 10,4 kWp) ist im Februar 2024 in Betrieb gegangen, der dort erzeugte Strom soll gemäß Verbrauchsberechnung zu knapp 80 % direkt selbst verbraucht werden.

Im Mobilitätsbereich unterstützt und bezuschusst die Stadt Hattersheim am Main für ihre Beschäftigten die Anschaffung und die Nutzung von Leasing-Fahrrädern per Gehaltsumwandlung. Diese seit Februar 2024 geltende Vereinbarung soll den Umstieg vom Auto zum Fahrrad erleichtern und so auch hier zur Verringerung des MIV beitragen.

Der städtische Fuhrpark besteht derzeit (Stand Dezember 2023) aus 3 Elektroautos, die jährlich zusammen eine Laufleistung von ca. 12.500 km (entspricht ca. 1.875 kWh/ca. 787 kg CO<sub>2</sub> gem. deutschem Strommix) haben und darüber hinaus aus Verbrennerfahrzeugen, die einen Jahresgesamtverbrauch von 47.656 Liter Diesel sowie 12.975 Liter Benzin aufweisen, was einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 128 t für Diesel bzw. 30t CO<sub>2</sub> für Benzin entspricht<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Berechnungsmethode der US Environmental Protection Agency

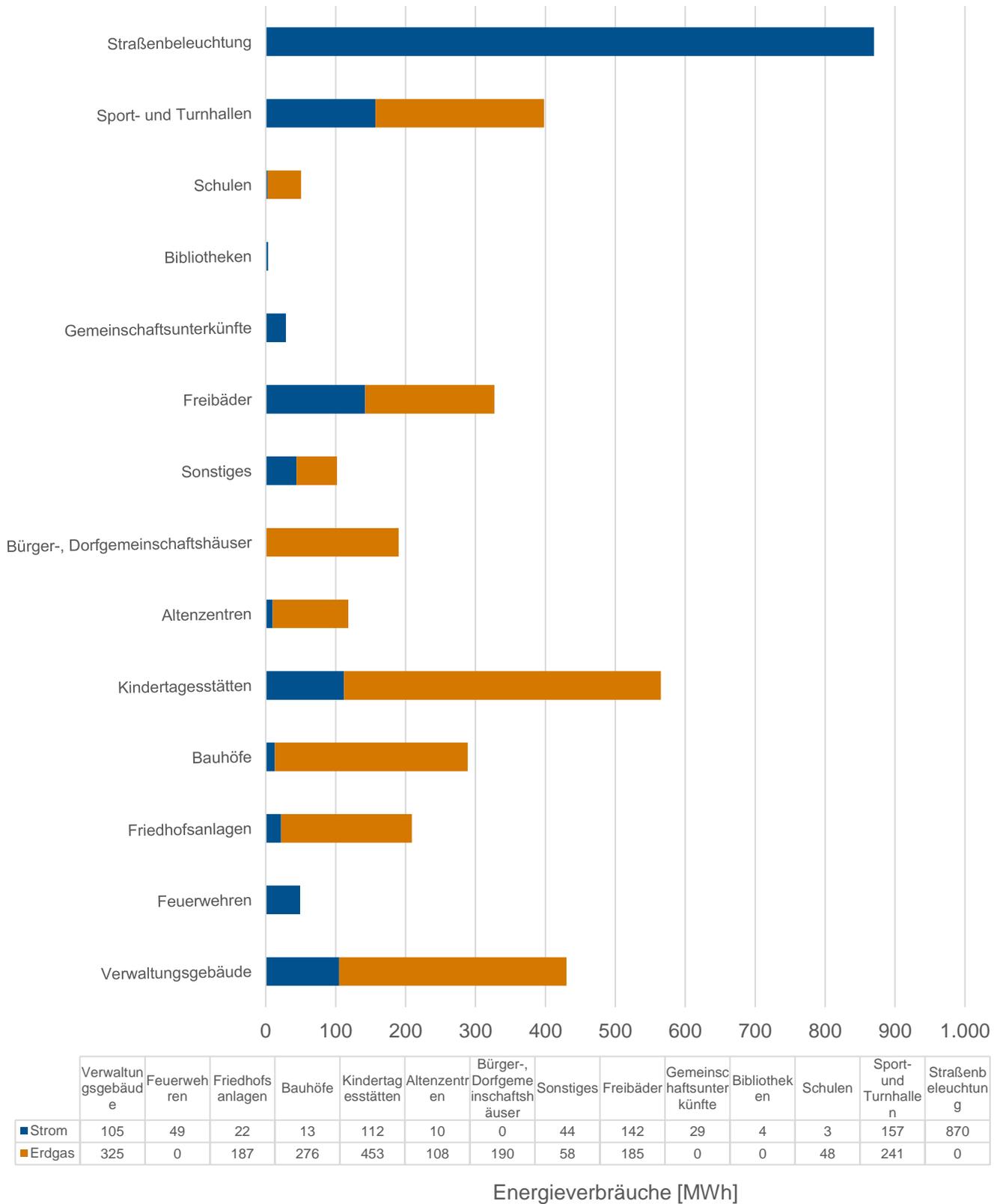


Abbildung 11: Energieverbräuche der kommunalen Verwaltung inkl. Straßenbeleuchtung (2019)

### 2.4.6 Treibhausgasbilanz

Die Treibhausgasemissionen werden auf Grundlage der ermittelten Endenergieverbräuche und unter Anwendung der Emissionsfaktoren nach BSKO-Systematik ermittelt. Im Jahr 2019 betragen die Emissionen insgesamt 150.000 t CO<sub>2</sub>. In der Stadt Hattersheim sind die Emissionen 2019 nach den drei Sektoren Strom, Wärme und Verkehr dargestellt und nach Energieträgern weiter aufgeschlüsselt.

Die aus den Stromverbräuchen resultierenden Emissionen sind für 20 % (41.900 t) der Gesamtemissionen verantwortlich. Die obige Darstellung geht von der Nutzung des bundesweiten Strommix für die Stromverbräuche aus. Die dargestellte Bilanz ist entsprechend BSKO-konform. Um die lokalen Klimaschutzerfolge mit dem Ausbau der Stromproduktion durch erneuerbare Energien zu berücksichtigen, kann ergänzend dazu der lokale Stromemissionsfaktor und die entsprechend reduzierten Emissionen dargestellt werden. Die Emissionen im Stromsektor würden sich für die Stadt Hattersheim in diesem Fall um 1.300 t CO<sub>2</sub> auf einen Gesamtemissionswert von rund 40.600 t CO<sub>2</sub> reduzieren.

Aus dem Wärmesektor resultieren in der Stadt 48 % der Emissionen. Dabei wird ein Großteil der Treibhausgase durch das Heizen mit Gas (30 % der Gesamtemissionen) und Öl (15 %) emittiert. Nur ein geringer Anteil der Emissionen wird durch Flüssiggas (1%) und sonstige konventionelle Energieträger (ca. 1 %) verursacht. Der geringe Anteil der erneuerbaren Energien an den gesamten Emissionen der Stadt Hattersheim (<1 %) ist insbesondere auf die niedrigen Emissionsfaktoren von Solarthermie, Biomasse und Wärmepumpen zurückzuführen.

Der Verkehrssektor hat in der Stadt einen Anteil von 24 % an den Emissionen zu verzeichnen. Ein Großteil davon wird mit 15 % der Gesamtemissionen durch Diesel verursacht. Weitere 9 % Prozent sind dem Kraftstoff Benzin zuzuordnen. An dieser Stelle ist zum wiederholten Mal die methodische Basis des BSKO-Standards zu erwähnen, wonach das Territorialprinzip für die Bilanzierung ausschlaggebend ist.

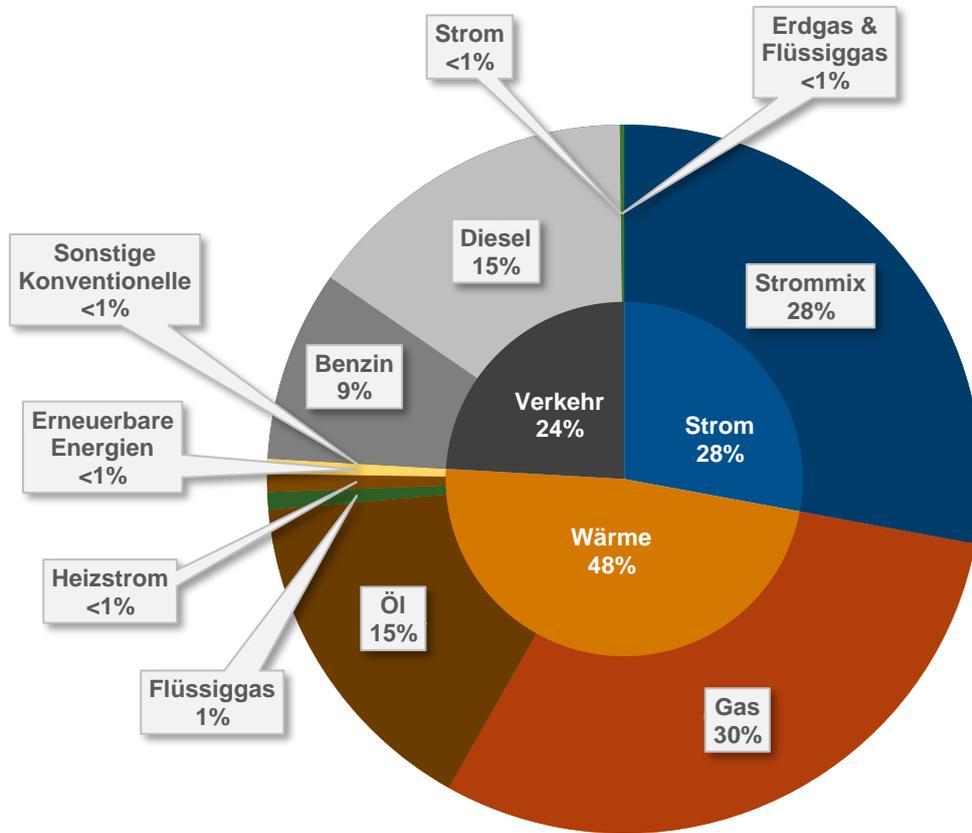


Abbildung 12: Treibhausgasemissionen nach Sektoren und Energieträgern (2019)

Die Verteilung nach Verbrauchergruppen zeigt folgendes Bild: Rund 24 % der Gesamtemissionen sind auf den Verkehr zurückzuführen, 33 % auf das Gewerbe, 22 % auf die privaten Haushalte, und rund 20 % auf die Industrie. Der Anteil der Liegenschaften an den Gesamtemissionen liegt bei <1 %.

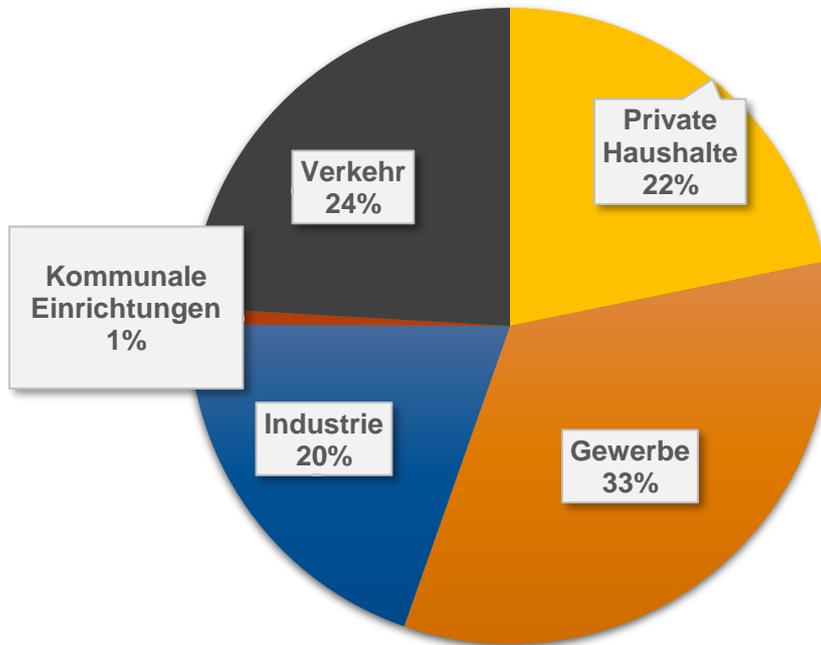


Abbildung 13: Emissionen nach Verbrauchergruppen (2019)

	Energieverbrauch [MWh/a]		Emissionen [t CO <sub>2</sub> /a]	
<b>Strom</b>	<b>87.715</b>	<b>17 %</b>	<b>41.927</b>	<b>28 %</b>
<i>Einspeisung/Einsparung<sup>8</sup></i>	2.786		-1.332	
<b>Wärme</b>	<b>283.503</b>	<b>53 %</b>	<b>70.815</b>	<b>48 %</b>
Gas	183.795		45.397	
Öl	72.833		23.160	
Flüssiggas	4.426		1.221	
Heizstrom	0		0	
Nahwärme	0		0	
Sonstige Konventionelle	0		0	
Steinkohle	0		0	
Umweltwärme	5.024		907	
Biomasse	7.020		51,7	
Solarthermie	2.871		70,5	
Biogas	0		0	
Sonstige Erneuerbare	3.779		6	
<b>Verkehr</b>	<b>146.249</b>	<b>30 %</b>	<b>36.148</b>	<b>24 %</b>
Diesel	84.383		22.801	
Benzin	48.052		13.058	
Strom	5.601		0	
Sonstige	8.213		289	
<b>Summe (ohne Gutschrift der Emissionseinsparung aus der Stromspeisung von erneuerbaren Energien)</b>	<b>517.468</b>	<b>100 %</b>	<b>148.891</b>	<b>100 %</b>
<b>Summe (mit Gutschrift der Emissionseinsparung aus der Stromspeisung aus erneuerbaren Energien)</b>			<b>147.610</b>	<b>100 %</b>

Tabelle 2: Endenergieverbräuche und Emissionen (2019)<sup>9</sup>

Eine finale Übersicht über den Energieverbrauch und die Emissionen der Stadt Hattersheim im Jahr 2019 ist in Tabelle 16 aufgeteilt nach Energieträgern dargestellt.

<sup>8</sup> Anrechnung der Erzeugung von EE-Strom auf die Emissionsbilanz nach BSKO-Standard nicht zulässig, deshalb nur ergänzende Darstellung. Die Einspeisemenge wird zur Berechnung des lokalen Strommix genutzt.

<sup>9</sup> Aufgrund von gerundeten Kommazahlen kann es zu kleinen Unstimmigkeiten bei den Summenzahlen kommen.

### 3 Potenzialanalyse

In der Potenzialanalyse werden für die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr Potenziale zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen ermittelt. Anschließend erfolgt die Entwicklung zweier denkbarer Szenarien bis zum Zieljahr der Stadt Hattersheim 2045 mit dem Zwischenziel 2030.

#### Potenziale

Grundsätzlich lassen sich auf zwei Arten Emissionen reduzieren. Zum einen durch eine Verringerung des Verbrauchs durch Energieeinsparmaßnahmen und Effizienzsteigerung. Zum anderen durch den Einsatz erneuerbarer Energien und die Umrüstung auf klimafreundliche Technologien. Die Energieeinsparung und Effizienzsteigerung sollte in ihrer Bedeutung nicht verkannt werden, da die klimafreundlichste Energieeinheit diejenige ist, die erst gar nicht verbraucht und deshalb auch nicht produziert werden muss. Entsprechend werden zuerst Einsparmöglichkeiten betrachtet, gefolgt von den Potenzialen bei Nutzung regenerativer Energien und Effizienzsteigerungen. Es werden die vorhandenen Potenziale dargestellt und Aussagen zur Nutzbarkeit vor Ort (soweit möglich) anhand von natürlichen oder regulatorischen Beschränkungen getroffen.

#### Szenarien

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

#### Referenzszenario

Das Referenzszenario (auch „Business-as-usual-Szenario“ genannt) basiert sowohl auf der bisherigen Entwicklung der Verbräuche in der Stadt Hattersheim als auch auf dem aktuellen Stand der Politik in puncto Energiewende und Klimaschutz. Dieses Szenario geht davon aus, dass in Zukunft keine zusätzlichen Anstrengungen unternommen werden, Energiewende und Klimaschutz in der Stadt voranzutreiben. Vielmehr wird der bisherige Trend fortgeschrieben, weshalb dieses Szenario auch als Trendszenario bezeichnet wird.

#### Klimaschutzszenario

Im Gegensatz zum Trendszenario basiert das Klimaschutzszenario auf der Annahme, dass sowohl in der Stadt als auch auf bundespolitischer und gesetzgeberischer Ebene Aktivitäten zur Energiewende und zum Klimaschutz vorangetrieben werden. Die getroffenen Annahmen des Klimaschutzszenarios beruhen auf der Analyse lokaler Potenziale sowie den Ergebnissen bundesweiter Studien, welche Anpassungen notwendig und sinnvoll erscheinen. Insbesondere die Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ von Prognos AG et al. (2021)<sup>10</sup> als auch der Analyse „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045“ (Kopernikus-Projekt Ariadne, 2021) wurden für die Annahmen im Strom- und Wärmesektor genutzt. Für den Verkehrssektor wurden insbesondere die Ergebnisse der

<sup>10</sup> Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende

„Renewability-Studie“ (Öko-Institut e.V, 2016) als Grundlage genommen. Da lokale Potenziale und Ausgangsbedingungen berücksichtigt werden müssen, kann nicht für jede Gebietskörperschaft ein einheitliches Zielbild erstellt werden. Die verwendeten Studienergebnisse dienen daher lediglich als Orientierung und lokale Szenarien können in ihren Annahmen abweichen. Auch ist darauf hinzuweisen, dass es verschiedene Möglichkeiten gibt, die Wahrscheinlichkeit der Erreichung von der Treibhausgasneutralität zu erhöhen. So gewichten etwa Studien den Einfluss verschiedener Technologien und Energieträger unterschiedliche stark bzw. schwach (Beispiel Wasserstoff). Entsprechend sind auch andere Entwicklungen als hier formuliert denkbar, jedoch erscheint das dargestellte Szenario unter den gegebenen Ausgangsbedingungen sowie den getroffenen Annahmen als besonders passend.

Im jeweiligen Fazit sind alle relevanten Veränderungen des Sektors (Strom, Wärme, Verkehr) übersichtlich dargestellt. Welche Ausbauziele dafür notwendig sind und über welches Potenzial die Stadt Hattersheim am Main verfügt, wird in den jeweiligen Unterkapiteln im Detail erläutert.

### 3.1 Stromsektor

Um Aussagen über die Potenziale im Stromsektor treffen zu können, wird zunächst untersucht, wie sich der Stromverbrauch bis zum Jahr 2045 entwickeln wird. Durch technologische Fortschritte ist mit Einsparungen durch eine erhöhte Energieeffizienz von Geräten zu rechnen. Zusätzlich wird eine Verhaltensänderung hin zu einem sparsameren Umgang mit Energie notwendig sein und deshalb aktiv beworben werden. Gleichzeitig ist von einer deutlichen Steigerung des Strombedarfs aufgrund einer Umstellung auf strombasierte Technologien, insbesondere durch die Nutzung von Wärmepumpen im Wärmesektor und dem Ausbau von Elektromobilität im Verkehrssektor sowie durch stromintensives Gewerbe (z.B. Rechenzentren) auszugehen.

Anschließend wird geprüft, welche Technologien eingesetzt werden können, um einen möglichst hohen Anteil des Strombedarfs durch lokale und emissionsarme Erzeugung zu decken. Dabei spielen sowohl Großanlagen wie Biogasanlagen und Freiflächen-Photovoltaik als auch kleine Anlagen für den Eigenbedarf wie PV-Dachflächenanlagen von Wohngebäuden eine Rolle. Während Dachflächen-PV in jeder Kommune ausgebaut werden kann, ist der Einsatz anderer grüner Technologien im Rahmen von Großprojekten von den regionalen Voraussetzungen abhängig und unterscheidet sich daher stark. So wird z.B. für das Hattersheimer Stadtgebiet die Errichtung von Windkraftanlagen als wirtschaftlich nicht sinnvoll erachtet. Daher sollte in der Praxis überregional gedacht und kooperiert werden.

#### 3.1.1 Effizienzsteigerung in Haushalten, Gewerbe und Industrie

##### 3.1.1.1 Grundsätzliches Potenzial

Den Energieverbrauch zurückzufahren ist der primäre Schritt zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Stadt. Werden in diesem Bereich große Fortschritte erzielt, fallen Schritte der Substitution von Energieträgern und gegebenenfalls CO<sub>2</sub>-Kompensationsmaßnahmen deutlich geringer aus. In der Energieeffizienzstrategie 2050 hat sich Deutschland das Ziel gesetzt, den Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 um 50 % zu reduzieren. Bis 2030 soll eine Reduktion um 30 % des Primärenergieverbrauchs erreicht werden. Dazu sind verschiedene Maßnahmen im Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE 2.0) festgelegt.

Ein wesentlicher Faktor, der zur Reduzierung des Stromverbrauchs beiträgt, ist der technologische Fortschritt und die Produktion immer effizienterer Geräte. Das EU-Energielabel bietet dabei eine gute Orientierung. Es wird angenommen, dass der vermehrte Einsatz energiesparender Anlagen wie Haushaltsgeräte und Beleuchtung in der Stadt Hattersheim zu einem Rückgang des Stromverbrauchs in den Haushalten führt. Die Verhaltensänderung spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Das Bewusstsein für vorhandene Einsparpotenziale, beispielsweise durch das vollständige Abschalten nicht genutzter technischer Produkte, muss gestärkt werden. Die Analyse der Stromverbräuche zeigt, dass rund 80 % des Stroms in den Bereichen "Industrie" und "Private Haushalte" verbraucht werden.

Für Unternehmen bestehen – wie auch für Haushalte – geförderte Möglichkeiten der Energieberatung, um Einsparpotenziale zu identifizieren. Der Einsatz energieeffizienter Anlagen wird in Zukunft entscheidend sein (Beleuchtung, Lüftung, IKT, Maschinen etc.).

### 3.1.1.2 Szenarien

Deutschlandweit sank der Nettostromverbrauch in den Jahren 2010-2019 um rund 5 %.<sup>11</sup> Unter den verschiedenen Verbrauchergruppen ist kein relevanter Unterschied zu verzeichnen. Entsprechend hoch ist die Notwendigkeit umfassende Veränderungen vorzunehmen, um die deutschlandweiten Ziele zu erreichen.

Die Energieeffizienzstrategie Deutschlands sieht ambitionierte Reduktionsziele für den Energieverbrauch vor. Im Klimaschutzszenario wird davon ausgegangen, dass der Stromverbrauch bis 2045 um 25 % reduziert wird. Ausgenommen bei diesen Reduktionen sind die elektrische Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpen und der Stromverbrauch verursacht durch Elektromobilität. Ihr Energieverbrauch und die daraus resultierenden Emissionen werden im vorliegenden Konzept in den Sektoren Wärme und Verkehr betrachtet. Durch ihren Stromverbrauch wird der in der folgenden Abbildung dargestellte Rückgang des „klassischen“ Stromverbrauchs überkompensiert – der Gesamtwert des Stromverbrauchs ist also infolge der Steigerung von E-Mobilität und Einsatz von Wärmepumpen deutlich höher. Dies wird im folgenden Fazit zum Stromsektor informativ ergänzend dargestellt.

### 3.1.1.3 Referenzszenario

Angelehnt an bisherige deutschlandweite Entwicklungen wird für alle Sektoren eine Reduktion von 6,2 % bis 2030 und 11,5 % bis 2045 angenommen. Der Gesamtstrombedarf sinkt um rund 10.000 MWh auf 78.000 MWh bis 2045. Die Realisierung des Reduktionspotenzials entspricht einer Emissionseinsparung von ca. 4.700 t CO<sub>2</sub>, wenn mit dem Bundesstrommix von 2019 gerechnet wird.

### 3.1.1.4 Klimaschutzszenario

Die bundesweite Zielsetzung der Energieeffizienzstrategie wird auf den betrachteten Zeitraum von 2019 – 2045 heruntergebrochen und eine Reduktion des klassischen Stromverbrauchs von 15 % bis 2030 und von 25 % bis 2045 für die Haushalte, das Gewerbe und für die Industrie angenommen. Der Gesamtstrombedarf sinkt bis 2045 um ca. 25.000 MWh/a auf 63.000 MWh/a, während die Realisierung des Reduktionspotenzials einer Emissionseinsparung von ca. 11.800 t CO<sub>2</sub> entspricht, wenn mit dem Bundesstrommix von 2019 gerechnet wird. Damit können die Emissionseinsparungen den Wert von 96 % erreichen.

Es ist zu beachten, dass die hier beschriebenen Emissionseinsparungen im Vergleich zum Bundesstrommix von 2019 und dessen Emissionsfaktor berechnet wurden. Die tatsächliche Emissionseinsparung für das Jahr 2045 wird deutlich geringer ausfallen, da sich der Emissionsfaktor des Bundesstrommix entsprechend der derzeitigen Ausbauziele für erneuerbare Energien stark verbessern wird. Um jedoch die Klimaschutzwirkung der einzelnen Maßnahmen darzustellen, wird für die Einzeldarstellungen der Vergleich mit den Emissionen von 2019 herangezogen.

---

<sup>11</sup> (BMWi, 2019)

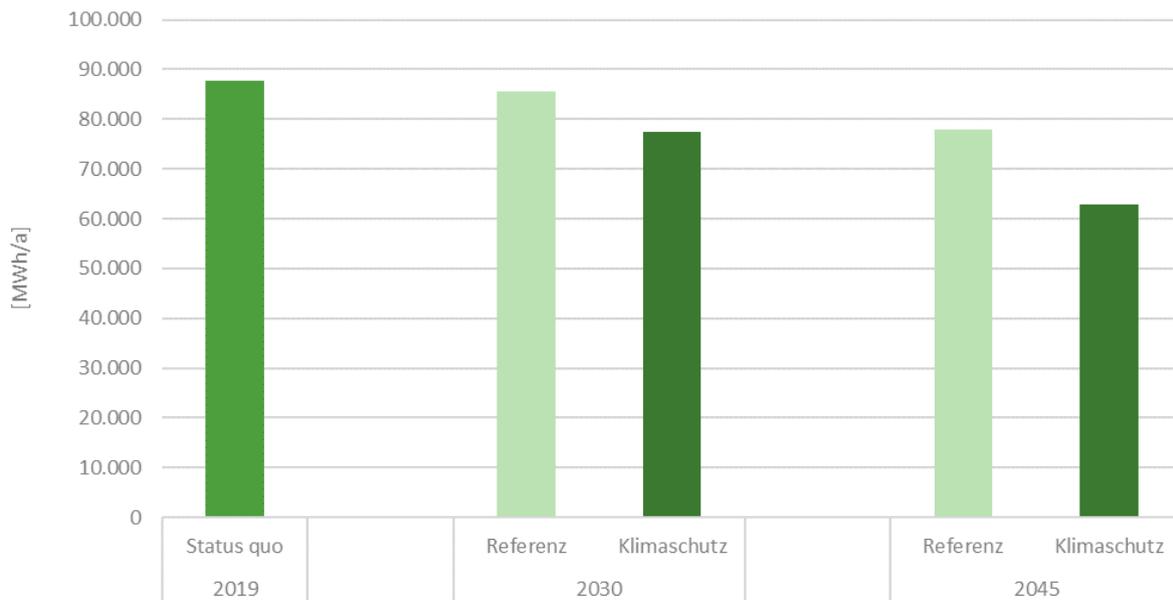


Abbildung 14: Resultierender Stromverbrauch nach Szenarien in der Stadt Hattersheim

### 3.1.2 Effizienzsteigerung in den kommunalen Liegenschaften

Kommunale Liegenschaften können und sollen bei der Umsetzung der angestrebten Emissionsziele eine bedeutende Rolle spielen, um die Vorbildfunktion der Verwaltung zu stärken. Für die Liegenschaften der Stadt Hattersheim werden die spezifischen Stromverbräuche (Verhältnis der Verbräuche gegenüber der Grundfläche) ermittelt. Daraus lässt sich eine gewisse Effizienz der jeweiligen Gebäude ableiten. Die spezifischen Verbräuche der kommunalen Liegenschaften sind in der Abbildung am Ende dieses Kapitels dargestellt. Des Weiteren sind die Referenzwerte für vergleichbare „gute Bestandsgebäude“ aufgetragen, wie sie vom BMWK vorgegeben werden.<sup>12</sup> Insgesamt wurden die Stromverbrauchswerte von 34 Liegenschaften<sup>13</sup> zur Verfügung gestellt. Eine Potenzialanalyse unter Vollständigkeit der Daten konnte bei 29 Gebäuden durchgeführt werden. Bei 20 Gebäuden wurden die Referenzwerte für den Stromverbrauch überschritten.

Dank den primär erhobenen Daten zum Stromverbrauch der kommunalen Liegenschaften lassen sich konkrete Einsparpotenziale ermitteln. Die Differenz zwischen den spezifischen Stromverbräuchen und den Referenzwerten multipliziert mit der vorhandenen Fläche ergibt ein Einsparpotenzial pro Gebäude. Den größten spezifischen Stromverbrauch weist der Sportplatz Hattersheim inkl. Gebäude mit rund 221 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) auf. Darauf folgen das Bürgerbüro/Stadtpunkt mit einem spezifischen Verbrauch von rund 180 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) und Sportplatz Okriftel mit 120 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Das größte Einsparpotenzial (gegenüber guten Bestandsgebäuden) liegt bei der Sporthalle mit 49 MWh/a, gefolgt von dem Sportplatz inkl. Gebäude (43 MWh/a) und Bürgerbüro mit 42 MWh/a.<sup>14</sup> Wird auch das

<sup>12</sup> „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ (BMWK, BMI Vom 15. April 2021)

<sup>13</sup> Einzelne kommunale Gebäude sind nicht abgebildet, wenn keine Informationen zu Verbräuchen oder Grundflächen vorliegen.

<sup>14</sup> Dies ist eine erste Potenzialabschätzung ohne Detailbetrachtung, sodass die tatsächlichen Werte davon deutlich abweichen können.

Freibad Hattersheim mit dem Verbrauch von ca. 700 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) und dem Einsparpotenzial von rund 133 MWh/a in Betracht genommen, ist diese Anlage bzgl. der Sanierungsmaßnahmen zunächst zu analysieren. Um die Ergebnisse der anderen Gebäude mit solchen hohen Werten nicht zu verzerren, wurde entschieden, diese Werte aus der untenstehenden Abbildung rauszunehmen.

Die daraus resultierenden Strom- und Emissionseinsparungen sind in der folgenden Tabelle für die jeweiligen Szenarien dargestellt. Die Emissionsreduktion ist mit Annahme des Bundesstrommix von 2019 berechnet, um das Einsparpotenzial von Maßnahmen darzustellen. Im Jahr 2045 wird diese Einsparung deutlich geringer ausfallen, da von einem stark verbesserten Bundesstrommix ausgegangen wird.

Die Ergebnisse beruhen auf einer ersten Analyse von Kennzahlen und enthalten entsprechend eine gewisse Unschärfe. Die tatsächlich realisierbaren Reduktionspotenziale bedürfen einer fachmännischen Vor-Ort-Analyse der einzelnen Gebäude und Gegebenheiten.

**Durch die Einführung eines Energiemanagementsystems würde die Möglichkeit einer genaueren Datenerfassung sowie einer spezifischeren Analyse der Daten der kommunalen Liegenschaften bestehen.**

Szenario	Ausgestaltung	Energie-einsparung	Emissions-reduktion
Referenz	Realisierung des Einsparpotenzials aus dem Vergleich mit „guten Bestandsgebäuden“	450 MWh/a	215 t CO <sub>2</sub> /a
Klimaschutz	Realisierung des Einsparpotenzials bei Sanierung auf KfW-70-Standard	507 MWh/a	242 t CO <sub>2</sub> /a

Tabelle 3: Effizienzsteigerung der kommunalen Liegenschaften nach Szenarien

## Potenzialanalyse

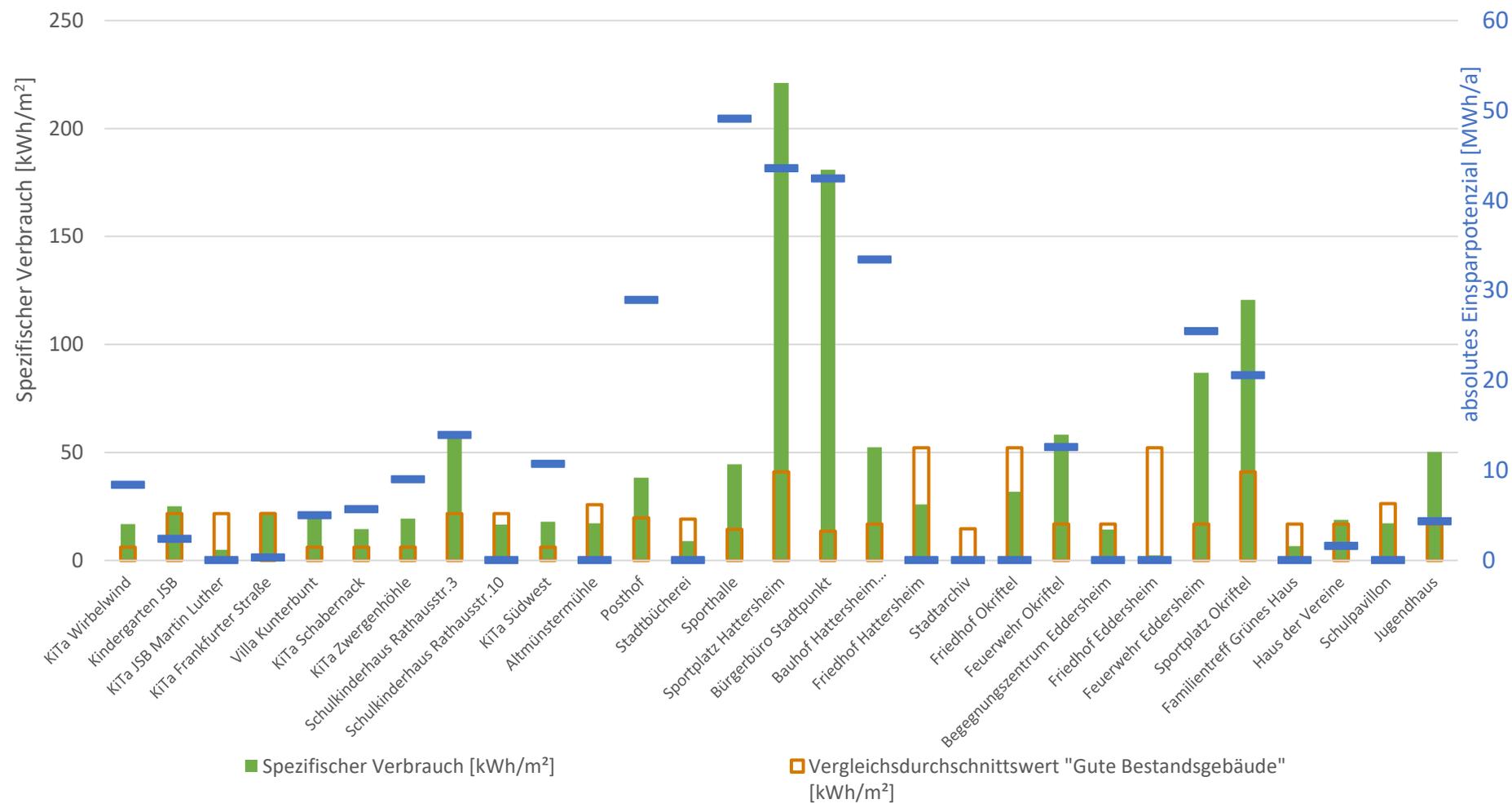


Abbildung 15: Spezifischer Stromverbrauch der kommunalen Liegenschaften in der Stadt Hattersheim

### 3.1.3 Windenergie

Aufgrund der lokalen Begebenheiten sieht die Stadt Hattersheim keinen Ausbau an Windkraft vor.

### 3.1.4 Photovoltaik

#### 3.1.4.1 Grundsätzliches Potenzial

Im Jahr 2023 befinden sich nach den Daten des Marktstammdatenregisters im Stadtgebiet 524 Photovoltaikanlagen (Dach- sowie gewerbliche und Freiflächenanlagen) mit einer Gesamtleistung von ca. 5 MWp im Betrieb. Davon sind 0,16 MWp auf PV-Freiflächenanlagen zurückzuführen.

Im Jahr 2019 wurden durch die existierenden PV-Anlagen (248 St.) rund 2.380 MWh Strom erzeugt und damit CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von ca. 100 t CO<sub>2</sub>-Äq. vermieden. Viele Anlagen wurden in den PV-Boom-Jahren zwischen 2008 und 2011 errichtet (s. Abbildung unten). Danach hat sich das Tempo der Installation von neuen Anlagen aufgrund veränderter Förderbedingungen abgeflacht.

Seit 2020 ist allerdings ein deutlich höherer Anstieg zu beobachten.

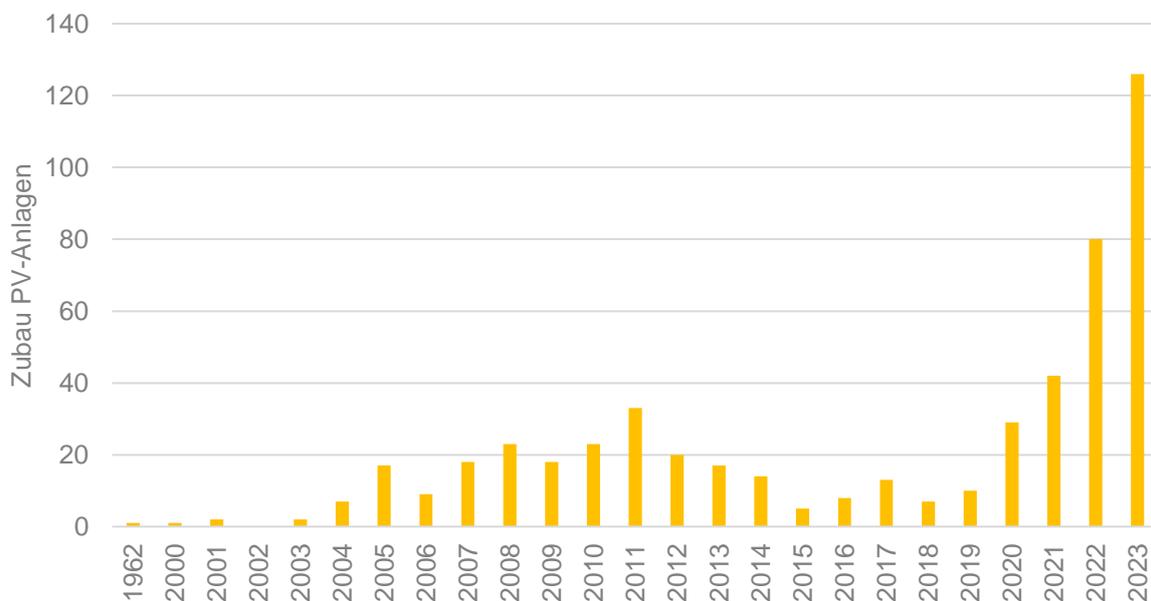


Abbildung 16: Anzahl jährlich zugebauter Photovoltaikanlagen in der Stadt Hattersheim

Wären die Dachflächen-PV-Anlagen ausschließlich auf Wohngebäuden verbaut, würde dies einen Anteil von ca. 10 % der ca. 5.320 Wohngebäude (Stand 31.12.2021) ausmachen. Es wird daher weiterhin ein großes Potenzial für PV-Dachanlagen in der Stadt Hattersheim gesehen.

Leider bietet der Datenservice des Solaratlas Hessen keine Gesamtübersicht der für PV-Installationen geeigneten Dachflächen. Eine Auswertung kann nur gebäudespezifisch erfolgen. Gerade im Hinblick auf die zu erwartende steigende Anzahl an Wärmepumpen wird der Ausbau von PV-Anlagen in Kombination mit einer Wärmepumpe für viele Haushalte eine rentable Option darstellen.

Bezüglich der Freiflächen-PV-Anlagen sind nach EEG 2023 grundsätzlich

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

Darüber hinaus wurden mit der EEG-Novelle „besondere Solaranlagen“ wie Agri-PV, Grünland-PV, Floating-PV, Moor-PV und Parkplatz-PV in die Förderung aufgenommen. Die Auswahl passender Flächen für PV-Freiflächenanlagen ist derzeit ein vieldiskutiertes Thema. Soll die Anlage nicht über das EEG gefördert werden, ist auch die Installation als nicht-privilegiertes Bauvorhaben im Außenbereich möglich.

Grundsätzlich sind eine Aufstellung des Bebauungsplans und die entsprechende Änderung des Flächennutzungsplans erforderlich. Die Belange der Land- sowie Forstwirtschaft sind ebenso zu berücksichtigen. Als geeignete Standorte für die Installation der PV-Freiflächenanlagen können folgende Flächen betrachtet werden<sup>15</sup>:

- versiegelte Konversionsflächen
- Siedlungsbrachen und sonstige brachliegende, ehemals baulich genutzte Flächen
- Abfalldeponien und -verdachtsflächen sowie Altlasten
- Flächen im räumlichen Zusammenhang mit größeren Gewerbegebieten
- Trassen entlang größerer Verkehrsstrassen (Schienenwege und Autobahnen)
- Sonstige durch Infrastruktur-Einrichtungen veränderte Landschaftsausschnitte, z.B. Hochspannungsleitungen
- Flächen ohne besondere landschaftliche Eigenart.

Der Ausbau muss im Einklang mit dem Naturschutz einhergehen.

Das jährliche Kontingent von max. 50 MWp, welches an den Auktionen der Bundesnetzagentur teilnehmen konnte, wurde in Anlehnung an die deutlich gesteigerten bundesweiten Ziele auf 200 MWp jährlich erhöht.<sup>16</sup>

Als Benchmark für eine benachteiligte Fläche gilt der landesweite Durchschnitt mit einer Ertragsmesszahl (EMZ) von 35. In Spezialfällen kann auf Ebene der Städte der lokale Durchschnitt als Grenzwert herangezogen und entsprechend abweichende Entscheidungen getroffen werden.

---

<sup>15</sup> S. Hinweise des bayerischen Staatsministeriums für die vollständige Erläuterung

<sup>16</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

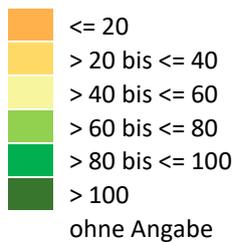
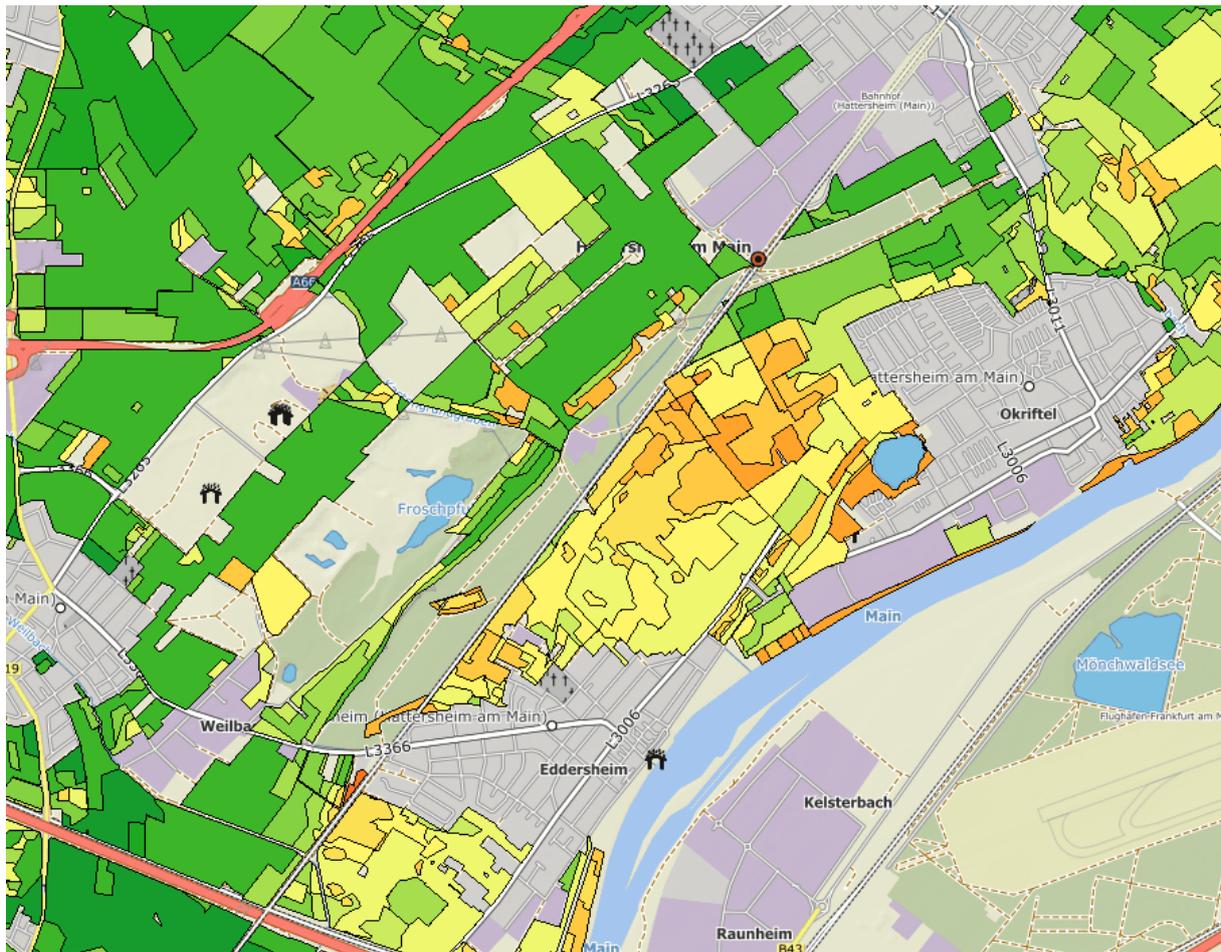


Abbildung 16: Übersicht der Ackerzahl in der Stadt Hattersheim. Für die pixelgenaue Darstellung siehe Originalquelle. Quelle der Daten: Energieatlas Hessen. Legende: EnergyEffizienz GmbH

Der weitere Ausbau der PV-Freiflächen auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen stößt verständlicherweise auf einen gewissen Widerstand einiger zivilgesellschaftlicher Organisationen. Einen möglichen Kompromiss stellt die Agri-Photovoltaik (Agri-PV) dar: Hierbei wird die gleichzeitige Nutzung einer Fläche für sowohl landwirtschaftliche Zwecke als auch die Stromproduktion durch Photovoltaik ermöglicht. Dies kann von hoch aufgeständerten PV-Anlagen, unter denen genügend Platz für Ackerbau oder auch Obstplantagen etc. zur Verfügung steht, bis hin zu Flächen mit extensiver Beweidung und nur geringfügigem Anpassungsbedarf für die Installation der PV-Module reichen. Durch die kombinierte Nutzung erhöht sich die Flächeneffizienz deutlich. Dadurch ergibt sich zusätzliches Potenzial für PV-Freiflächenanlagen.

**3.1.4.2 Szenarien**

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

**3.1.4.3 Referenzszenario**

Der Trend der Ausbaurrate wird fortgesetzt: Es werden jährlich rund 67 Anlagen auf Wohngebäuden und drei Anlagen im GHD-Sektor installiert (durchschnittliche Nennleistung: ca. 8 kWp). Es wird außerdem von einem Zubau von drei PV-Freiflächenanlagen (à 0,4 MWp) bis zum Zieljahr 2045 ausgegangen. Bis 2030 können so rund 11.500 MWh/a bereitgestellt werden, was einer Emissionseinsparung von knapp 5.000 t CO<sub>2</sub> entspricht. Bis 2045 könnten rund 22.500 MWh/a erzeugt und damit eine Einsparung in Höhe von ca. 9.900 t CO<sub>2</sub>/a ermöglicht werden.

**3.1.4.4 Klimaschutzszenario**

Eine ambitioniertere Ausbaurrate mit 315 Dachflächen-PV-Anlagen auf Wohngebäuden sowie 60 Anlagen im GHD-Sektor (jährlich) wird angenommen. Es wird von einem Ausbau von fünf PV-Freiflächenanlagen bis 2030 mit einer installierten Leistung von 5 MWp sowie zehn Anlagen bis 2045 mit einer installierten Leistung von 10 MWp ausgegangen, um den erwarteten Strombedarf komplett abdecken zu können. Wird von einem Durchschnittswert von 1 MWp pro 0,8 ha ausgegangen, entspräche das ca. 8 ha.

Mit den getroffenen Annahmen bzgl. Dachflächen-PV sowie Freiflächenanlagen würde sich die EE-Stromeinspeisung bis 2030 auf rund 60.100 MWh/a steigern, was einer zusätzlichen Emissionseinsparung von 25.300 t CO<sub>2</sub>/a entspricht. Bis 2045 steigt die Stromeinspeisung in diesem Szenario um insgesamt rund 137.000 MWh/a. Die zusätzliche Emissionseinsparung liegt im Vergleich zum Bundesstrommix von 2019 bei 59.000 t CO<sub>2</sub>/a.

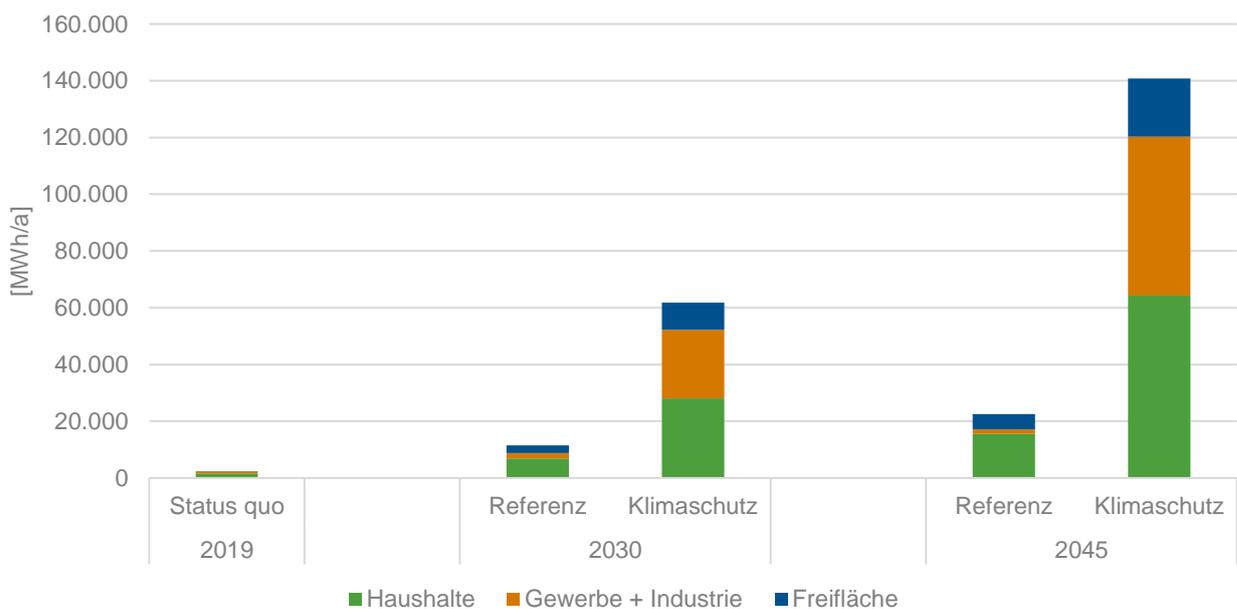


Abbildung 17: Entwicklung des Photovoltaikausbaus in der Stadt Hattersheim nach Szenarien

Hierbei wird die beschriebene Emissionseinsparung verglichen mit dem Emissionsfaktor von 2019 dargestellt. Die tatsächliche Einsparung sinkt im Referenzszenario und fällt im Klimaschutzszenario sogar auf 0. Dies begründet sich in der Annahme eines im Jahr 2045 deutlich verbesserten Strommixes aufgrund der Ausbauziele für erneuerbare Energien der Bundesregierung. Würde man den durch Photovoltaik produzierten Strom jedoch mit dem jetzigen Stromemissionsfaktor vergleichen, wären die Einsparungen offensichtlich. An dieser Stelle sei angemerkt, dass sich eine Verbesserung des Bundesstrommixes nur durch lokales Engagement realisieren lässt. Dadurch werden die in der Realität sinkenden Emissionseinsparungen relativiert, die nur eine Folge des notwendigen ambitionierten Ausbaus der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ist.

### 3.1.5 Wasserkraft

Auf der Gemarkung der Stadt Hattersheim sind keine Wasserkraftanlagen verzeichnet. Die mögliche Nutzung der Wasserressourcen vom Main wird im Kapitel „Wärme“ genauer behandelt.

### 3.1.6 Biogasanlagen

Potenziale der Bioenergie befinden sich vor allem im landwirtschaftlichen Bereich durch Energiepflanzen und der Verwertung von Reststoffen (Vergärung von Gülle/Festmist etc.). Außerdem kann Biogas bei der Abfallverwertung genutzt werden, insbesondere bei der Vergärung von Bioabfällen, der Verbrennung von Grüngut und bei Kläranlagen. Ein großer Vorteil der Stromerzeugung aus Biogas ist die konstante Energiebereitstellung, die im Gegensatz zu den fluktuierenden Energiequellen der Wind- und Photovoltaikenergie leichter steuerbar ist. Sie wird deshalb als Ersatz für das Erdgas in der Spitzenlast gesehen.<sup>17</sup> Aufgrund der geänderten gesetzlichen Regelungen stagnierte mit Einführung des EEG 2013 der Ausbau von Biogasanlagen weitgehend.

Das Potenzial der Biogasanlagen in Deutschland wird in verschiedenen Studien als eine der möglichen Antworten auf die Gas- und Energieknappheit eingeschätzt.<sup>18</sup> Gleichzeitig wird aufgrund von Zielkonflikten zwischen der klimafreundlichen Energiebereitstellung und der ausreichenden Lebensmittelversorgung der Anbau von Energiepflanzen häufig kritisch gesehen.<sup>19</sup> Eine Lösung bietet der Wechsel der Einsatzstoffe von Energiepflanzen hin zu landwirtschaftlichen Rest- und Abfallstoffen, welche ein noch großes teilweise ungenutztes Potenzial bieten.<sup>20</sup> Die gegenwärtige Erzeugung der ca. 32.000 GWh Strommenge durch die fast 13.000 Anlagen (deutschlandweit)<sup>21</sup> weist auf die bereits vorhandene Infrastruktur und Erfahrungen in der Planung, Umsetzung und Betrieb der Anlagen hin, was zukünftige Investitionen stärken sollte. Auch die Repowering-Maßnahmen der bestehenden Anlagen sollen berücksichtigt werden, da diese den Stromertrag erheblich erhöhen können.<sup>22</sup> Die Stromerzeugung aus Biogas beträgt derzeit deutschlandweit mengenmäßig rund 15 % der Stromerzeugung aus Erdgas. Mit verstärkten Anstrengungen wird davon ausgegangen, dass fast 50 % des derzeitigen Gasverbrauchs zur Stromerzeugung durch Biogas gedeckt werden könnte.<sup>23</sup>

---

<sup>17</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>18</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben., (Neumann, 2022)

<sup>19</sup> (UBA, 2020)

<sup>20</sup> (Neumann, 2022)

<sup>21</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben., S.19

<sup>22</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>23</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

Obwohl sich die gesetzgeberische Szene zu diesem Zeitpunkt etwas robust gegenüber den Entwicklungen in dem genannten Bereich erweist<sup>24</sup> (bspw. die aktuelle Gasnetz Zugangsverordnung, Biomasse-Strom-Nachhaltigkeitsverordnung), wird eine genauere Analyse der Biogas-Potenziale vor Ort als sinnvoll erachtet. Neben dem Einsatz zur Stromerzeugung durch landwirtschaftliche Abfallprodukte, ist die Nutzung von aufbereitetem Biogas als Ersatz für Erdgas im Wärmesektor denkbar<sup>25</sup>, was die Bedeutung von Biogas für eine erfolgreiche Energiewende unterstreicht.

### 3.1.6.1 Grundsätzliches Potenzial

In der Stadt Hattersheim ist eine Bioenergieanlage zu finden (0,6 MW Leistung; BHKW; Stand 2019). Da sich die Ziele der klimafreundlichen Energiebereitstellung und der ausreichenden Lebensmittelversorgung oft widersprechen, gibt es häufig Kritik am Anbau von Energiepflanzen. Das Umweltbundesamt weist explizit auf die Möglichkeit einer Energiewende ohne die Nutzung von Energiepflanzen hin.<sup>26</sup> Aus diesen Gründen wird für die Szenarien von keinem weiteren Ausbau von Biogasanlagen ausgegangen.

Im Gegensatz zu Maiskulturen wird die Nutzung von Gülle und Grassilage als konfliktfrei zur Biogaserzeugung angesehen, da hierbei kein Wettbewerb zur Humanernährung besteht. Eine genaue quantitative Analyse der Biogas- bzw. Biomethanpotenziale in der Stadt Hattersheim bedarf einer vertieften Potenzialstudie.

### 3.1.7 Faulgas / Kläranlagen

Weiteres Potenzial zur Herstellung von klimafreundlichem Strom bietet die energetische Verwertung von Faulgasen, welche bei der Abwasserentsorgung anfallen. Diese Abfallstoffe können ein hohes Potenzial zur Energiebereitstellung bergen. Ca. 29.000 Einwohnerinnen und Einwohner der Stadt Hattersheim sind an die Kanalisation angeschlossen. Abwassermengen werden über eine Kläranlage in Eddersheim entsorgt und aufbereitet.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Jahresabwassermenge (m <sup>3</sup> )	511.547	446.205	398.173	380.288	358.589	389.737	361.786
Klärschlamm (indirekte Verwertung; m <sup>3</sup> )	2.368	4.990	2.906	2.205	1.720	3.470	2.240
Entsorgter Klärschlamm (t)	211,34 t / 29% TM	0 t	0 t	0 t	0 t	0 t	193,85 t / 24,1 % TM

Tabelle 4: Angaben zum entsorgten Abwasser in der Stadt Hattersheim. Datenquelle: Abwasserverband Main-Taunus

Die während der Abwasserreinigung entstehenden Klärschlamm-mengen sind die Basis für Faulgasgewinnung. Unter der Annahme, dass pro Kilogramm Klärschlamm ca. 3 kWh Energie gewonnen werden kann, ist mit den theoretischen Energiemengen von ca. 600 MWh/a zu rechnen.

<sup>24</sup> (Tagesschau, 2022)

<sup>25</sup> (Neumann, 2022)

<sup>26</sup> (UBA, 2020)

Eine Beantragung der separaten Potenzialstudie für die größten Kläranlagen erscheint aus dieser Perspektive ebenfalls als ein maßgeblicher Orientierungswert für die Berechnung der weiteren Potenziale.

### 3.1.8 Straßenbeleuchtung

Die durchgeführte Bilanzanalyse für die Stadt zeigt, dass für die Straßenbeleuchtung in der Stadt Hattersheim 2019 ca. 870 MWh/a verbraucht wurden. Ein erheblicher Anteil davon lässt sich auf die alten Glühbirnen zurückführen, da große Teile der Straßenbeleuchtungsanlagen noch nicht auf LED-Lampen umgerüstet wurden.

Die untenstehende Grafik zeigt die Anteile der verschiedenen Leuchtmittel. Für 2024 sind weitere Umrüstungen auf moderne LED-Technik geplant. Auch der Einsatz so genannter Smart LED Lampen ist vorgesehen, was zu einem nochmals verbesserten Stromverbrauch führen sollte.

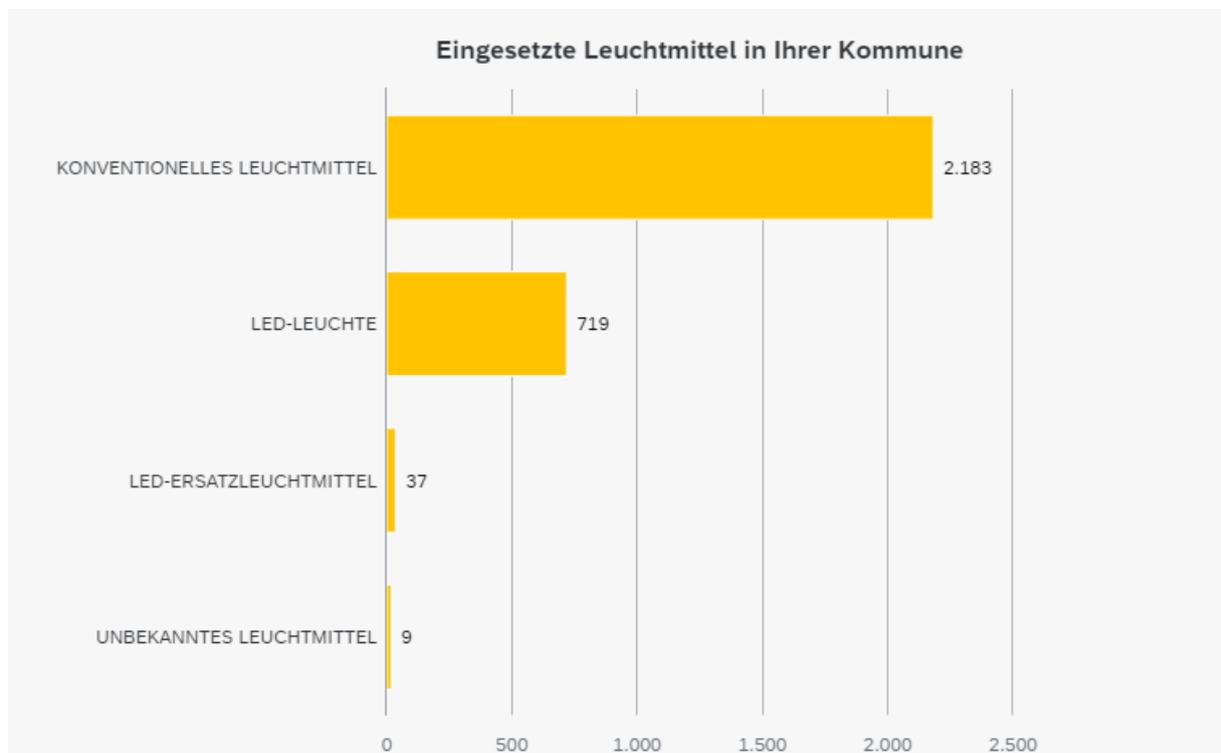


Abbildung 18: Übersicht der bestehenden Straßenbeleuchtungsanlagen, Stand Q1 2023  
Quelle der Daten: Syna

### 3.1.9 Zusammenfassung

Die Analyse des Stromsektors hat gezeigt, dass Photovoltaik und Stromeinsparung die wesentlichen Stellschrauben zur Verringerung der Emissionen im Stromsektor in der Stadt Hattersheim sein werden. Abbildung 19 stellt den Stromverbrauch und dessen Reduktionspotenzial der Einspeisung aus erneuerbaren Energien gegenüber. Beim Stromverbrauch ist schraffiert ebenfalls der zusätzliche Strombedarf durch die Nutzung von Wärmepumpen und Elektromobilität dargestellt. Für die Gesamtbetrachtung des Stromsektors von großer Bedeutung, wird er in der Bilanz jedoch unter den

Sektoren „Wärme“ und „Verkehr“ bilanziert. Es ist erkennbar, dass die Stromeinspeisung in allen Szenarien ansteigt. Dies ist auf den Zubau von PV-Anlagen zurückzuführen. Der Anteil der Deckung des Strombedarfs (inkl. Wärmepumpen und Elektromobilität) liegt im **Referenzszenario** bei **12 %** (2030) und **53 %** (2045). Im **Klimaschutzszenario** kann eine Deckung des Eigenbedarfs von **57 %** (2030) und **101 %** (2045) erreicht werden. Das Ziel der 100%igen Deckung würde also einen ambitionierten Ausbau der Erneuerbaren erfordern. Dies ist keinesfalls ausgeschlossen, insbesondere für Freiflächen-PV sind grundsätzlich zahlreiche Flächen vorhanden, jedoch muss der Wille hierzu und etwaige Nutzungskonflikte mitbedacht und im Vor herein geprüft werden. Die Annahmen bezüglich der E-Mobilität lassen sich im Abschnitt „Weitere Ausführungen zum Reduktionspfad“ (Anhang 1) genauer untersuchen. Es ist zu beachten, dass die Prozentwerte den stark ansteigenden Strombedarf durch die Nutzung von Wärmepumpen und Elektromobilität berücksichtigen – würden diese außen vorgelassen, wäre eine Autarkie im Stromsektor bis 2045 gut machbar.



Abbildung 19: Entwicklung des Strombedarfs und der Stromeinspeisung aus Erneuerbaren (Status quo und Zukunftsszenarien 2030 und 2045)

## 3.2 Wärmesektor

Es wird zunächst untersucht, wie sich der Wärmebedarf für die Stadt Hattersheim in den unterschiedlichen Szenarien bis 2045 entwickelt. Dazu wird analysiert, wie sich eine Sanierung der Wohngebäude, Energieeffizienzmaßnahmen im Gewerbe und der Industrie sowie Sanierungsmaßnahmen bei den kommunalen Liegenschaften auf den Wärmebedarf auswirken, wobei die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung hierbei eine wichtige Rolle einnehmen kann.

Anschließend wird ermittelt, wie der Wärmebedarf für die Stadt Hattersheim möglichst klimafreundlich gedeckt werden kann. Dazu wird das Potenzial der Wärmeerzeugung aus Biomasse, Solarthermie und Umweltwärme (Wärmepumpen) untersucht und für die einzelnen Szenarien zielführende Ausbauraten abgeleitet. Zudem werden die Möglichkeiten und Vorteile der Nutzung von Nahwärmenetzen thematisiert. Im Folgenden werden die verschiedenen Aspekte zur klimafreundlichen Umgestaltung des Wärmesektors in der Stadt Hattersheim betrachtet.

### 3.2.1 Sanierung der Wohngebäude

#### 3.2.1.1 Grundsätzliches Potenzial und Szenarien

Neben der Verwendung von erneuerbaren Energien liegt ein großes Potenzial zur Emissionseinsparung in der Verminderung der Energieverbräuche. Eine Schlüsselrolle nimmt dabei die Sanierung der Wohngebäude ein. Zur Untersuchung des Sanierungspotenzials in privaten Haushalten wird der derzeitige Wohnungsbestand in der Stadt Hattersheim betrachtet. Etwa 64 % aller Wohngebäude wurden vor 1979 erbaut<sup>27</sup>. Es ist daher davon auszugehen, dass die Sanierung des Gebäudebestands einen großen Beitrag zum Klimaschutz in der Stadt Hattersheim leisten kann. Je nach Szenario werden unterschiedliche Sanierungsraten, Sanierungszyklen und Sanierungsstandards angenommen und über den betrachteten Zeitraum bis 2045 angewendet. Die Sanierungsrate beschreibt den Anteil der jährlich sanierten Gebäude zum Gesamtgebäudebestand und liegt in Deutschland aktuell bei 0,8 % pro Jahr. Auch wenn dem Begriff eine genaue Definition fehlt, wird darunter gemeinhin sowohl Komplett-sanierungen als auch Einzelmaßnahmen (Fenster austausch, Dachdeckensanierung etc.) verstanden. Um die Klimaschutzziele der Bundesregierung zu verwirklichen, ist eine Erhöhung der Sanierungsrate auf 2 - 3 % nötig. Der Sanierungszyklus beschreibt die Dauer, bis ein bestimmter Teil des Gebäudes saniert wird. Bei der Gebäudehülle liegt der Zeitraum bei etwa 30 bis 40 Jahren<sup>28</sup>.

Als Sanierungsstandards werden im Referenzszenario die Anforderung des GEG<sup>29</sup> zugrunde gelegt, welche bei der Sanierung von bestimmten Bauteilen eingehalten werden müssen<sup>30</sup>. Diese betragen für Ein- und Zweifamilienhäuser 74 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) und für Mehrfamilienhäuser 77 kWh/(m<sup>2</sup>\*a).

Die weitere Berechnungsgrundlage basiert auf TABULA-Methodik – diese bezieht sich auf ein auf der EU-Ebene elaboriertes Konzept zur Ermittlung der Wärmebedarfswerte und Durchschnittswerte des Energieverbrauchs für die Zwecke der Wärmeversorgung von Gebäuden verschiedener Haustypen, Baualters, Konstruktion etc.<sup>31</sup> Diese an die deutschen Umstände angepasste Methodik<sup>32</sup> wird als Fundament des Klimaschuttszenarios genommen – je nach Baualtersklasse und Haustyp wird ein Wärmebedarf zwischen 40 und 60 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) angenommen.

<sup>27</sup> (Zensus Datenbank, 2011)

<sup>28</sup> (BMWl, 2014)

<sup>29</sup> Ehemals EnEV

<sup>30</sup> (GEG, 2020)

<sup>31</sup> (Institut Wohnen und Umwelt, 2022)

<sup>32</sup> (Episcope Tabula, 2022)

Eine Priorisierung bezüglich der bisherigen Deckung des Wärmebedarfs (Öl/Gas/Abwärme...) ist empfehlenswert.

In der untenstehenden Tabelle werden die jährlichen Sanierungsraten und Standards dargestellt, welche in den jeweiligen Szenarien zur Berechnung der Einsparpotenziale verwendet werden. Daraus ergeben sich die angegebenen szenariospezifischen Sanierungsanteile des heutigen Wohnbestandes.

Szenario	jährliche Sanierungsquote	Sanierungsstandard	Sanierungsanteil am Bestand (2030)	Sanierungsanteil am Bestand (2045)
<b>Referenz</b>	0,83 %	Gesetzlicher Standard (GEG)	14 %	20 %
<b>Klimaschutz</b>	3 %	Sanierungspaket TABULA	44 %	59 %

Tabelle 5: Annahmen zur Berechnung der Einsparpotenziale von Wohngebäuden

Die Analyse des Einsparpotenzials durch Sanierung wird nicht anhand des tatsächlichen Verbrauchs, sondern anhand des theoretischen Wärmebedarfs der Wohngebäude durchgeführt. Dieser wird durch die Kombination von Daten der Zensus Befragung 2011 sowie Daten des statistischen Landesamts (1991-2019) und mit typischen spezifischen Wärmebedarfen in kWh/(m<sup>2</sup>\*a) ermittelt. Die Verwendung dieser flächenbezogenen Wärmebedarfe ist nötig, um das Einsparpotenzial bei Sanierungen auf einen bestimmten Standard zu ermitteln. Diese werden prozentual auf den tatsächlichen Wärmeverbrauch angerechnet.

Es ergeben sich für die verschiedenen Szenarien gegenüber dem Status quo die in der folgenden Abbildung dargestellten Wärmebedarfe. Für 2030 ergibt sich für das Referenzszenario eine Reduzierung des Wärmebedarfs um 12 %, für das Klimaschutzszenario um 36 %. Für 2045 steigt die Reduktion des Wärmebedarfs auf 16 % im Referenzszenario und auf 47 % im Klimaschutzszenario.

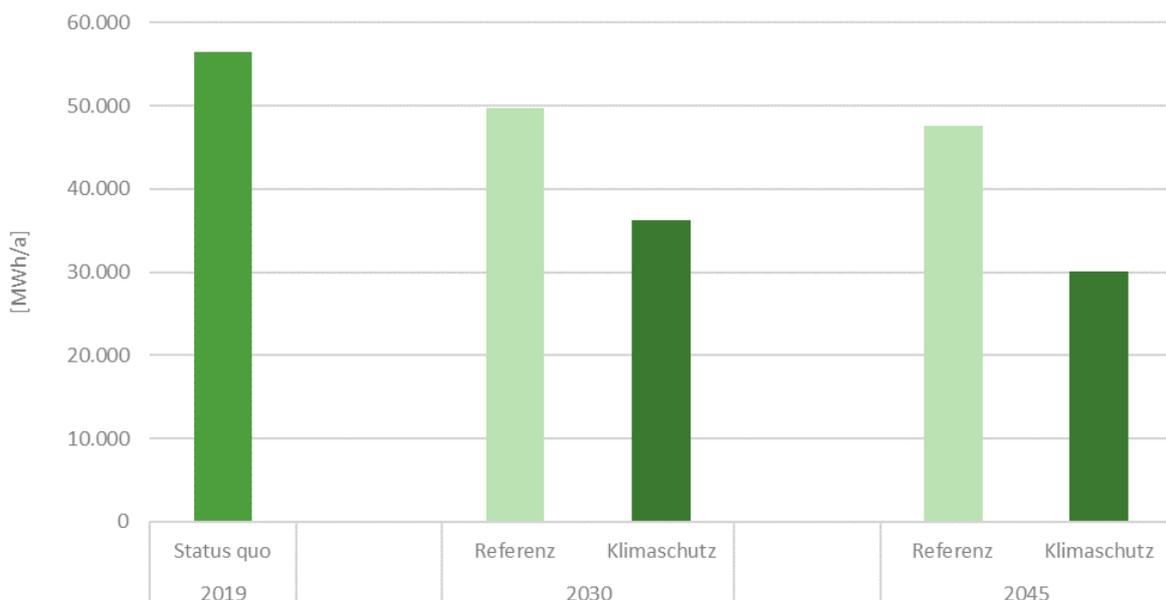


Abbildung 16: Wärmebedarf der Wohngebäude in der Stadt Hattersheim nach Szenarien

### 3.2.2 Sanierung der kommunalen Liegenschaften

Neben den Wohngebäuden wird eine Sanierung der kommunalen Liegenschaften genauer untersucht. Eine Sanierung dieser Gebäude trägt der Vorbildfunktion der Verwaltung Rechnung und kann zu einer Stärkung des Bewusstseins für die Notwendigkeit von Klimaschutzaktivitäten in der Stadt Hattersheim beitragen.

Abbildung 21 zeigt den spezifischen Wärmebedarf der kommunalen Liegenschaften in kWh/(m<sup>2</sup>\*a) auf. Insgesamt wurden 32 Liegenschaften betrachtet. Des Weiteren sind die Referenzwerte für vergleichbare „gute Bestandsgebäude“ aufgetragen, wie sie vom BMWK vorgegeben werden.<sup>33</sup> Diese Referenzwerte werden bei 21 der abgebildeten Liegenschaften überschritten.

Den größten spezifischen Wärmeverbrauch weist das Jugendhaus (Mainzer Landstraße) mit 402 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) auf. Darauf folgt der Sportplatz Hattersheim inkl. Gebäude mit 381 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) und das Gebäude für Lagerung des Friedhofs Eddersheim mit 355 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) bzw. Schule / Schulpavillon Hopfengarten mit 313 kWh/(m<sup>2</sup>\*a).

Die Differenz zwischen den spezifischen Wärmeverbräuchen und den Referenzwerten multipliziert mit der vorhandenen Fläche ergibt das Einsparpotenzial pro Gebäude. Das größte Einsparpotenzial bei den kommunalen Gebäuden liegt bei dem Feuerwehrdienstgebäude Hattersheim (inkl. Bauhof) mit rund 215 MWh/a, gefolgt von Posthof (Sarceller Straße) mit 172 MWh/a und dem Gebäude für Lagerung des Friedhofs Eddersheim (ca. 98 MWh/a).

In Tabelle 6: Sanierung der kommunalen Liegenschaften nach Szenarien werden die Annahmen, welche in den jeweiligen Szenarien für die Sanierung getroffen werden, und die resultierenden Ergebnisse dargestellt.

Szenario	Ausgestaltung	Energieeinsparung	Emissionsreduktion
<b>Referenz</b>	Realisierung des Einsparpotenzials aus dem Vergleich mit „guten Bestandsgebäuden“	2.084 MWh/a	514 t CO <sub>2</sub> /a
<b>Klimaschutz</b>	Realisierung des Einsparpotenzials bei Sanierung auf KfW-70-Standard	3.017 MWh/a	795 t CO <sub>2</sub> /a

Tabelle 6: Sanierung der kommunalen Liegenschaften nach Szenarien

<sup>33</sup> (BMWK, 2021)

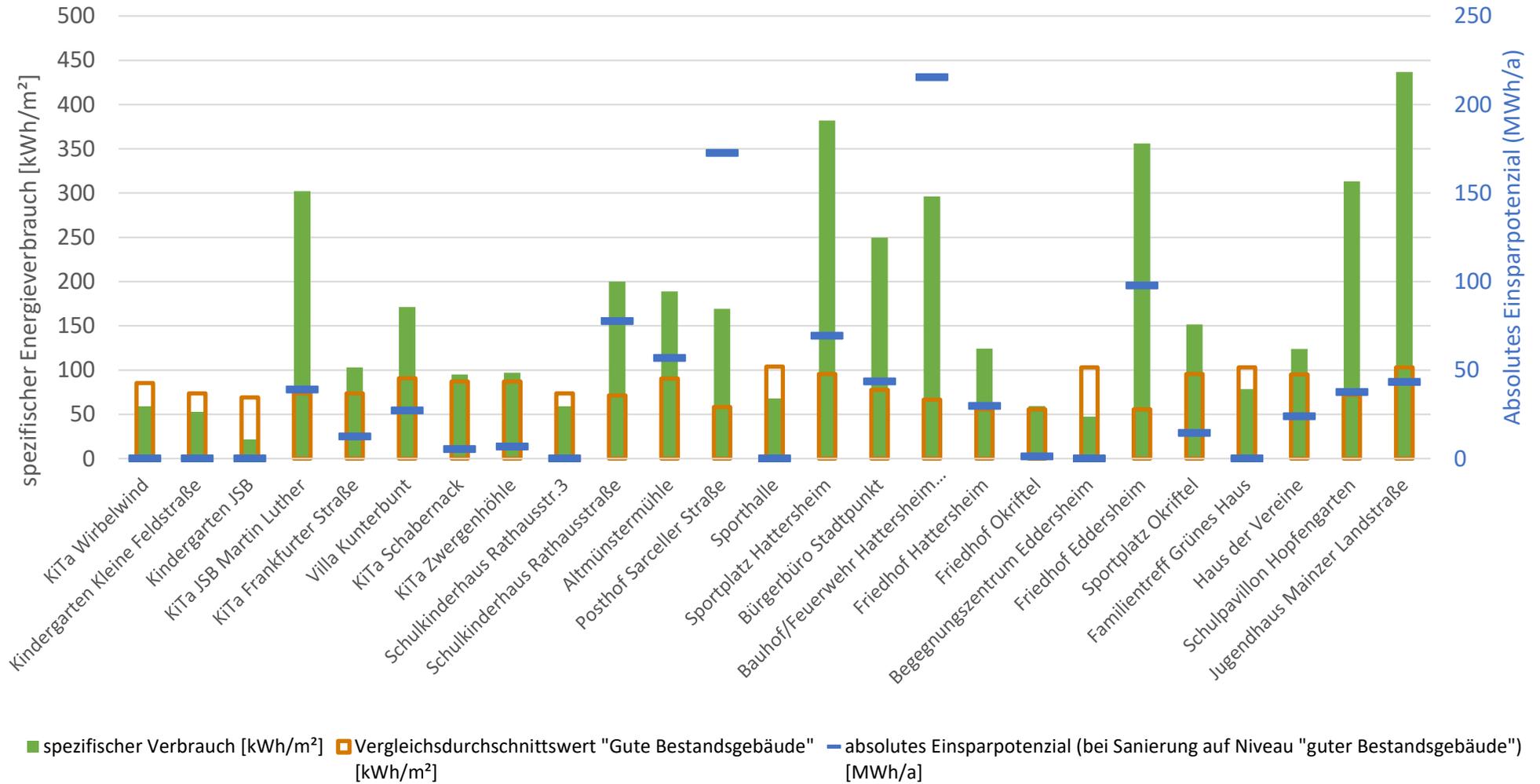


Abbildung 21: Spezifischer Wärmeverbrauch der kommunalen Liegenschaften der Stadt Hattersheim

### 3.2.3 Effizienz im Wärmeverbrauch der Sektoren Gewerbe und Industrie

#### 3.2.3.1 Grundsätzliches Potenzial

Die Sektoren Gewerbe und Industrie werden in kommunalen Klimaschutzkonzepten meist nur am Rande betrachtet, da die Einflussmöglichkeiten der Kommune als vergleichsweise gering eingeschätzt werden. Die Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz beeinflussen sie jedoch je nach Situation vor Ort teilweise enorm. Auch wenn wenig Industrie in der Stadt Hattersheim vorhanden ist, spielt der gewerbliche Sektor eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Um Aussagen über den zukünftigen Energieverbrauch der Sektoren Gewerbe und Industrie zu treffen, wird auf bundesweite Annahmen zurückgegriffen.<sup>34</sup> Die tatsächlichen energetischen Reduktionspotenziale sind stark unternehmensabhängig. Es ist zu beachten, dass im Sektor GHD der Wärmeverbrauch überwiegend auf verbrauchter Raumwärme beruht. Im Gegensatz dazu macht im Industriesektor der Hauptanteil des Wärmeverbrauchs die Prozesswärme aus. Entsprechend unterschiedlich sind die Einspar- und Effizienzmöglichkeiten sowie die sinnvollen Maßnahmen diesbezüglich. Während im Sektor GHD Gebäudesanierungen in Betracht gezogen werden sollten, ist im Industriesektor der Einsatz effizienter Geräte und optimierter Abläufe entscheidend.

Deutschlandweit hat sich der Wärmeverbrauch im Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen in den Jahren 2010-2019 um 11,3 % erhöht. Im Industriesektor hingegen stieg der Wärmeverbrauch im selben Zeitraum nur um 3,1 % an.<sup>35</sup> Im Referenzszenario werden beide Entwicklungen entsprechend fortgeschrieben.

#### 3.2.3.2 Szenarien

Um die Ziele der Bundesregierung in Richtung Klimaneutralität zu erreichen, sind massive Einsparungen sowohl in den Sektoren Gewerbe/Handel/Dienstleistungen als auch in der Industrie erforderlich. In der Studie „Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045“<sup>36</sup> wird als notwendige Energieeinsparung für eine klimaneutrale Gesellschaft von einer Energieverbrauchsreduktion im Sektor GHD um rund 38 % verglichen mit dem Basisjahr 2015 und im Sektor Industrie um ca. 23 % ausgegangen. Diese ambitionierten Reduktionsziele werden im Klimaschutzszenario auf den vorliegenden Betrachtungszeitraum (2019-2045) für die Stadt Hattersheim übertragen. Es werden folgende Annahmen getroffen.

#### 3.2.3.3 Referenzszenario

Der bisherige Trend (2010-2019) wird fortgeschrieben. Entsprechend wird bis 2030 eine Reduktion des Wärmeverbrauchs im GHD-Sektor um 14 % und bis 2045 um 30 % angenommen. Für den Industriesektor liegt die angenommene Reduktion des Wärmeverbrauchs bei 4 % bis 2030 und 10 % bis 2045. Der Gesamtwärmeverbrauch der beiden Sektoren sinkt bis 2030 um rund 24.500 MWh/a und bis 2045 - um 52.900 MWh/a. Das entspricht einer durchschnittlichen Emissionsminderung von 6.900 t CO<sub>2</sub>/a bis 2030 und 15.000 t CO<sub>2</sub>/a bis 2045.<sup>37</sup>

<sup>34</sup> (Prognos, 2021)

<sup>35</sup> (BMW, 2019)

<sup>36</sup> (Ariadne-Projekt, 2021)

<sup>37</sup> Bei Annahme der Wärmebedarfsdeckung durch Erdgas und Erdöl zu gleichen Anteilen.

### 3.2.3.4 Klimaschutzszenario

Im Klimaschutzszenario wird sich an den Zielen des Ariadne-Reports orientiert und die Einsparziele mit Basisjahr 2015 bis zur Klimaneutralität auf die Sektoren GHD und Industrie in der Stadt Hattersheim angewendet. Entsprechend wird bis 2030 eine Reduktion des Wärmeverbrauchs im GHD-Sektor um 16 % und bis 2045 um 38 % angenommen. Für den Industriesektor liegt die angenommene Reduktion des Wärmeverbrauchs bei 10 % bis 2030 und 23 % bis 2045. Der Gesamtenergieverbrauch der beiden Sektoren sinkt bis 2030 um rund 31.200 MWh/a und bis 2045 um 73.800 MWh/a. Das entspricht einer durchschnittlichen Emissionsminderung von 8.800 t CO<sub>2</sub>/a bis 2030 und 20.800 t CO<sub>2</sub>/a bis 2045.<sup>38</sup>

### 3.2.4 BHKWs

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

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

### 3.2.5 Heizöl

Die Annahmen zum Trend beruhen auf den derzeitigen Entwicklungen insb. der am 1. Januar 2021 eingeführten CO<sub>2</sub>-Steuer auf Heizöl, Gas, Benzin und Diesel. Der Preis von derzeit 25 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> soll auf 55 Euro pro Tonne im Jahr 2025 gesteigert werden. Die Mehrkosten für Heizöl belaufen sich von 8 ct pro Liter im Jahr 2021 bis 17,4 ct – bis 2025<sup>39</sup>. Zusätzlich besteht ein Verbot zum Einbau neuer Ölheizungen ab 2026<sup>40,41</sup>, so dass von einer moderaten Reduktion des Ölverbrauchs in Zukunft ausgegangen werden kann. Gleichzeitig ist das bundesweite Ziel der Treibhausgasneutralität nur mit einem vollkommenen Verzicht auf fossile Energieträger möglich, sodass im Klimaschutzszenario der Energieträger Öl vollständig aufgegeben wird.

<sup>38</sup> Bei Annahme der Wärmebedarfsdeckung durch Erdgas und Erdöl zu gleichen Anteilen.

<sup>39</sup> (Barmalgas, 2021)

<sup>40</sup> Bis auf einzelne Ausnahmen.

<sup>41</sup> (Mein Eigenheim, 2022)

### 3.2.5.1 Grundsätzliches Potenzial

Der Gesamtanteil von Heizöl lag 2019 bei ca. 25 % der Wärmebereitstellung in der Stadt Hattersheim. Der hohe Anteil an der Wärmeversorgung resultiert in hohen jährlichen Emissionen von rund 23.100 t CO<sub>2</sub>.

Unter der Annahme, dass alle vor dem 30.09.1988 installierten Ölheizungen<sup>42</sup> ab 2022 ausgetauscht werden müssen<sup>43</sup>, sind in der Stadt Hattersheim ab sofort ca. 4.460 kW Ölheizungsleistung<sup>44</sup> zu ersetzen. Folgende Szenarien bieten die Übersicht der zu ersetzenden Kapazitäten je nach Installationsjahr der Heizungsanlage an.

### 3.2.5.2 Szenarien

Es wird nach **Referenzszenario** vermutet, dass Ölheizungen nach 35 Jahren durch eine neue Anlage ersetzt werden müssen. Dies bedeutet, dass ca. 4.460 kW Leistung bereits im Jahr 2023 zu ersetzen sind. Im Sektor „Private Haushalte“ ist mit dem Wert 2.960 kW (100 Anlagen) zu rechnen, im GHD-Sektor – 1.500 kW (12 Anlagen).

Im **Klimaschutzszenario** wird die Nutzung von Öl bis 2045 in allen Sektoren sukzessive auf null reduziert. Die Annahmen beruhen auf den oben genannten politischen Entscheidungen und der Notwendigkeit eines vollkommenen Verzichts auf fossile Energieträger, um das Ziel der Treibhausgasneutralität für Deutschland zu erreichen.

Sollten im Jahr 2023 diejenigen Anlagen ersetzt werden, deren Alter >25 Jahre ist, ist mit insgesamt 11.600 kW Leistung (350 Anlagen) zu rechnen. Rund 8.300 kW (323 Anlagen) der zu ersetzenden Leistung sind im Sektor „Private Haushalte“ zu finden.

Insgesamt sind in der Stadt Hattersheim 664 Ölheizungen (Gesamtleistung: ca. 20.700 kW) festzustellen. Sollte die vollständige Klimaneutralität erzielt werden, sind diese Anlagen zu ersetzen.

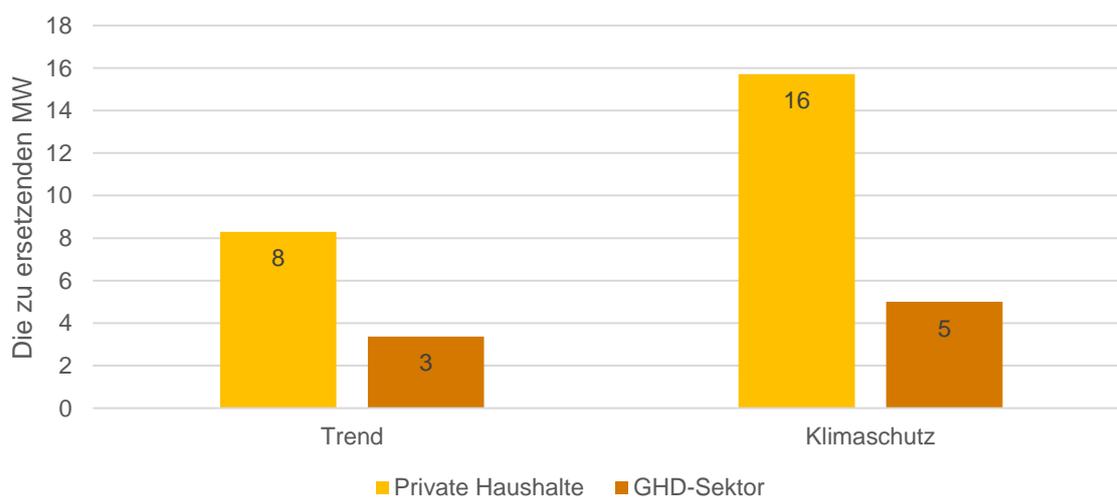


Abbildung 17: Übersicht der zu ersetzenden Ölheizungsanlagen in der Stadt Hattersheim.  
Quelle der Daten: Schornsteinfegerinnung. Eigene Darstellung der EnergyEffizienz GmbH

<sup>42</sup> Gemeint werden diejenigen Heizkessel, die keine Niedertemperatur-Heizkessel und/oder Brennwertkessel sind

<sup>43</sup> (Energie-Fachberater, 2021)

<sup>44</sup> Aufgrund der Datenbasis wurde ein Mittelwert der Leistungsklassen für die Berechnungen genommen. Bspw. aus der Klasse der Feuerstätten „4-25 kW“ wurde der Wert i.H.v. 14,5 gebildet.

### 3.2.6 Erdgas

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

Die gasbetriebenen Heizungsanlagen sind in der Stadt für ca. 65 % der Wärmeversorgung zuständig. Langfristig wird für das Klimaschutzszenario jedoch ein Wechsel auf regenerative Energieträger angenommen. Ob Ersatzprodukte wie Wasserstoff oder Biogas über die bestehenden Gasnetze auch für die Wärmeerzeugung genutzt werden, bleibt von den zukünftigen technologischen und politischen Entwicklungen abhängig. Nach derzeitigem Stand wird in der vorliegenden Potenzialanalyse davon ausgegangen, dass andere Technologien (Wärmepumpen, Biomasse, Nahwärme) vorrangig genutzt werden.

Unter der Annahme, dass alle vor dem 30.09.1988 installierten Gasheizungen<sup>45</sup> ab 2022 ausgetauscht werden müssen<sup>46</sup>, sind in der Stadt ab sofort ca. 11.200 kW Gasheizungsleistung<sup>47</sup> zu ersetzen. Folgende Szenarien bieten die Übersicht der zu ersetzenden Kapazitäten je nach Installationsjahr der Heizungsanlage an.

Es wird nach **Referenzszenario** vermutet, dass Gasheizungen nach 35 Jahren durch eine neue Anlage ersetzt werden müssen. Dies bedeutet, dass ca. 11.260 kW Leistung bereits im Jahr 2023 zu ersetzen sind. Im Sektor „Private Haushalte“ ist mit dem Wert 9.500 kW (492 Anlagen) zu rechnen, im GHD-Sektor – rund 1.600 kW (13 Anlagen).

Im **Klimaschutzszenario** wird die Nutzung von Gas bis 2045 in allen Sektoren sukzessive auf null reduziert. Die Annahmen beruhen auf den oben genannten politischen Entscheidungen und der Notwendigkeit eines vollkommenen Verzichts auf fossile Energieträger, um das Ziel der Treibhausgasneutralität für Deutschland zu erreichen.

Sollten im Jahr 2023 diejenigen Anlagen ersetzt werden, deren Alter >25 Jahre ist, ist mit insgesamt 34.000 kW Leistung (1.603 Anlagen) zu rechnen. Rund 30.000 kW (1.571 Anlagen) der zu ersetzenden Leistung sind im Sektor „Private Haushalte“ zu finden.

Insgesamt sind in der Stadt Hattersheim 4.153 Gasheizungen (Gesamtleistung: ca. 88.700 kW) festzustellen. Sollte die vollständige Klimaneutralität erzielt werden, sind diese Anlagen zu ersetzen.

<sup>45</sup> Gemeint werden diejenigen Heizkessel, die keine Niedertemperatur-Heizkessel und/oder Brennwertkessel sind

<sup>46</sup> (Energie-Fachberater, 2021)

<sup>47</sup> Aufgrund der Datenbasis wurde ein Mittelwert der Leistungsklassen für die Berechnungen genommen. Bspw. aus der Klasse der Feuerstätten „4-25 kW“ wurde der Wert i.H.v. 14,5 gebildet.

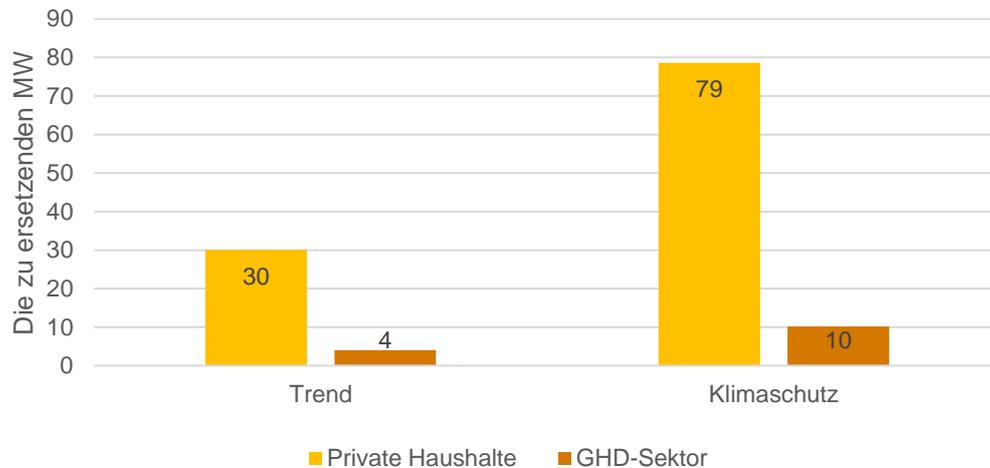


Abbildung 23: Kumulierte Leistung der Heizungsanlagen (Energieträger: Gas), die im jeweiligen Stichjahr 20+ Jahre alt sind. Quelle der Daten: Schornsteinfegerinnung. Eigene Darstellung der EnergyEffizienz GmbH

### 3.2.7 Biomasse

Deutschlandweit stieg die Nutzung von Pelletheizungen zur Wärmebereitstellung in den Jahren 2012 - 2021 konstant an und hat sich im besagten Zeitraum verdoppelt<sup>48</sup>. Die Nutzung von Biomasse ist aus Sicht des Klimaschutzes bedingt empfehlenswert. Die bei der Verbrennung freiwerdenden Emissionen – im Gegensatz zu den Emissionen aus fossilen Brennstoffen – werden dem Kreislauf des Wachstums und Kompostierung von Biomasse (insbesondere Holz) zugeordnet, so dass bilanziell nur sehr geringe Emissionen für Aufbereitung und Transport anfallen. Diese Rechnung gelingt allerdings nur, wenn entsprechende Biomasse nachwachsen kann. Zusätzlich ist die Nutzung von Biomasse zur Wärmeversorgung aufgrund bestehender Nutzungskonflikte nur in Maßen zu befürworten.

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

Die Nutzung von Holz zur Energieproduktion ist umstritten. Zum einen stellt Holz einen wertvollen Rohstoff dar, für den höherwertige Verwendungsmöglichkeiten als die Verfeuerung bestehen (z.B. als Baumaterial), zum anderen stellt der Wald als solches eine wichtige CO<sub>2</sub>-Senke dar. Holz, welches nicht anderweitig genutzt werden kann, bietet jedoch eine klimafreundliche Energiequelle zur Wärmeversorgung.

#### 3.2.7.1 Grundsätzliches Potenzial

In der Bilanz ist zu erkennen, dass die energetische Nutzung der Biomasse mit rund 7.020 MWh im Jahr 2019 etwa 2,5 % der Wärmeversorgung in der Stadt Hattersheim einnimmt.

<sup>48</sup> Anzahl der Pelletheizungen 2012: ca. 280.000, Anzahl der Pelletheizungen 2020: 570.000. Quelle: (Statista, 2022)

Aufgrund der geringen Waldfläche auf der Gemarkung der Stadt (insgesamt 52 ha) ist von den rentablen energetischen Nutzungen der Biomasse abzusehen. Allerdings lassen sich Kooperationen mit den benachbarten Gebietskörperschaften in Betracht ziehen, weswegen die untenstehenden allgemeinen Daten zu den biomassebezogenen Potenzialen eine gewisse Aussagekraft in Sachen der zukünftigen Planung der Wärmeversorgung innehaben.

Die Rolle der Wälder im Kontext der globalen Klima- und Umweltpolitik ist nicht zu unterschätzen – der Beitrag vom LULUCF<sup>49</sup>-Sektor zur Emissionsreduktion lässt sich nach bereits ausgearbeiteten Methodiken konkret quantifizieren<sup>50</sup>. Die aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse gehen davon aus, dass 1 m<sup>3</sup> Holz im Wald ca. 800 kg CO<sub>2</sub> speichern kann. Dank der erhöhten Aufmerksamkeit gegenüber den lokal vorhandenen Wäldern und Holzpotenzialen lässt sich auch ein Beitrag der jeweiligen Kommune zu den globalen klima- und umweltpolitischen Maßnahmen erkennen.

Gleichzeitig leiden die Wälder in Deutschland schon seit mehreren Jahren unter dem Klimawandel und der damit verbundenen verstärkten Trockenheit sowie dem vermehrten Auftreten von Schädlingen wie dem Borkenkäfer.<sup>51</sup> Insofern ist eher mit einer Verringerung des Waldpotenzials in der Zukunft zu rechnen. Grundsätzlich wird nur ein gewisser Teil der gesamten Entnahme des jährlichen Holzzuwachses direkt der energetischen Nutzung zugeführt.

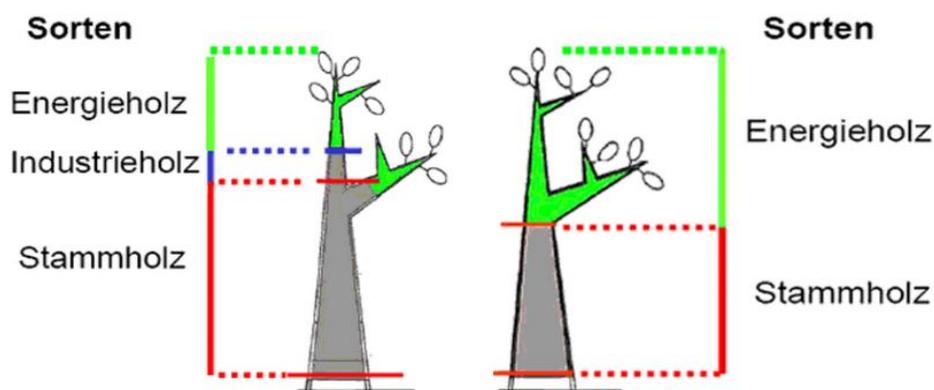


Abb. 1: Herkömmliche Aushaltungsvariante.

Abb. 2: „Stammholz-PLUS“ Variante.

Abbildung 24: Erläuterung verschiedener Methodologien während der Berechnung des Energieholzpotenzials<sup>52</sup>

Zwei Perspektiven auf die Energieholzgewinnung gelten als Grundannahmen. Einerseits wird die klassische Herangehensweise genommen, die die Energieholzmengen nach herkömmlicher Aushaltungsvariante berechnet. Andererseits wird die Methodik „Stammholz-PLUS“ verwendet, wo eine deutlich intensivere Benutzung der Stammengen angenommen wird.

### 3.2.7.2 Szenarien

Der Rolle von Biomasse wird in verschiedenen bundesweiten Szenarien eine unterschiedliche Bedeutung zugeordnet. Aufgrund der lokalen Ressourcen und gleichzeitig der bereits genannten Nutzungskonflikte wird für die Stadt Hattersheim von einer moderaten Nutzung des Energieträgers zur

<sup>49</sup> Aus der engl. Abkürzung „Land-Use, Land-Use Change and Forestry“

<sup>50</sup> Für die weiteren sektorspezifischen Erläuterungen s. (UNFCCC, 2022)

<sup>51</sup> (Spiegel, 2021)

<sup>52</sup> Quelle der Abbildung: (Waldwissen, 2007)

Wärmeerzeugung ausgegangen. Für die Szenarien werden auf Basis des bisherigen Zubaus in der Stadt Hattersheim und in Anlehnung an bundesweite Empfehlungen folgende Annahmen getroffen:

### 3.2.7.3 Referenzszenario

Der lokale Zubau in den vergangenen fünf Jahren (2017-2021) in der Stadt Hattersheim von BAFA-geförderten Pelletheizungen entsprach jährlich durchschnittlich 1 Anlage bei privaten Haushalten, obwohl kein konstanter Trend beobachtet werden kann (s. Abbildung unten).<sup>53</sup> Im Referenzszenario wird von einer Fortführung dieses Trends ausgegangen. Bis 2030 können so weitere 226 MWh/a Wärme bereitgestellt werden. Es wurde angenommen, dass die Pelletheizungen weiterhin nach und nach ersetzt werden, weswegen es bis 2045 mit nur rund 4 MWh/a zusätzlich aus Biomasse zu rechnen ist.

In der gesamtstädtischen Beheizungsstruktur erhält damit die Biomasse den Anteil von ca. 3 % (2045). Die zusätzliche Emissionseinsparung liegt 2030 gegenüber 2019 bei rund 59t CO<sub>2</sub>/a und 2040 bei 1t CO<sub>2</sub>/a.

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

### 3.2.7.4 Klimaschutzszenario

Um dem Ziel der Klimaneutralität näher zu kommen, werden sowohl ambitionierte Sanierungsraten als auch ambitionierte Ausbauraten der regenerativen Wärmeträger angenommen. Die Ressource Biomasse ist jedoch limitiert. Dazu kommt die Tatsache, dass die Förderung der biomassebetriebenen Anlagen in der Zukunft komplett gestrichen wird, ergänzt von dem flächendeckenden Wachstum der Wärmepumpenanteile. Dementsprechend werden hier reduzierte Zubau-Rhythmen angenommen.

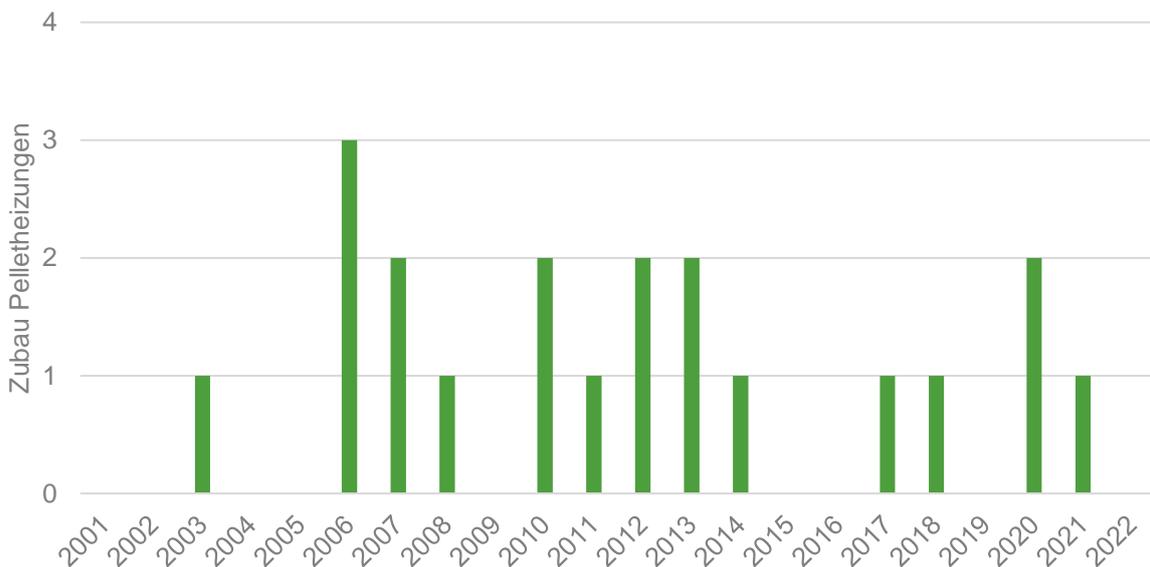


Abbildung 25: Zubau der BAFA-geförderten biomassebetriebenen Anlagen in der Stadt Hattersheim. Quelle der Daten: BAFA. Eigene Darstellung der EnergyEffizienz GmbH

Es wird ein jährlicher Zubau von 3 Anlagen pro Jahr für die privaten Haushalte sowie 2 Anlagen im GHD-Sektor angenommen. Damit ist 2045 mit ca. 2.800 MWh/a auf die Biomasse bezogener Wärmeenergie

<sup>53</sup> BAFA

zu rechnen. Bis 2045 erhöht sich der Anteil der Biomasse in der gesamtstädtischen Beheizungsstruktur der privaten Haushalte in der Stadt Hattersheim auf 6 %.

### 3.2.8 Abfall

Im Bereich Abfallverwertung und Abfallmanagement lassen sich erfahrungsgemäß hohe Verknüpfungen und Interdependenzen mit Nachbarkommunen identifizieren, was auf eine tiefere separate Analyse des Bereichs für die Stadt Hattersheim selbst hinweisen soll.

Während Hausmüll klassischerweise thermisch entsorgt und die Verbrennung zur Energiegewinnung genutzt wird, bergen insbesondere die Abfallarten Grünschnitt und Bioabfall weiteres Potenzial. Die vorhandenen Daten des städtischen Abfallmanagements lassen folgende Werte ablesen:

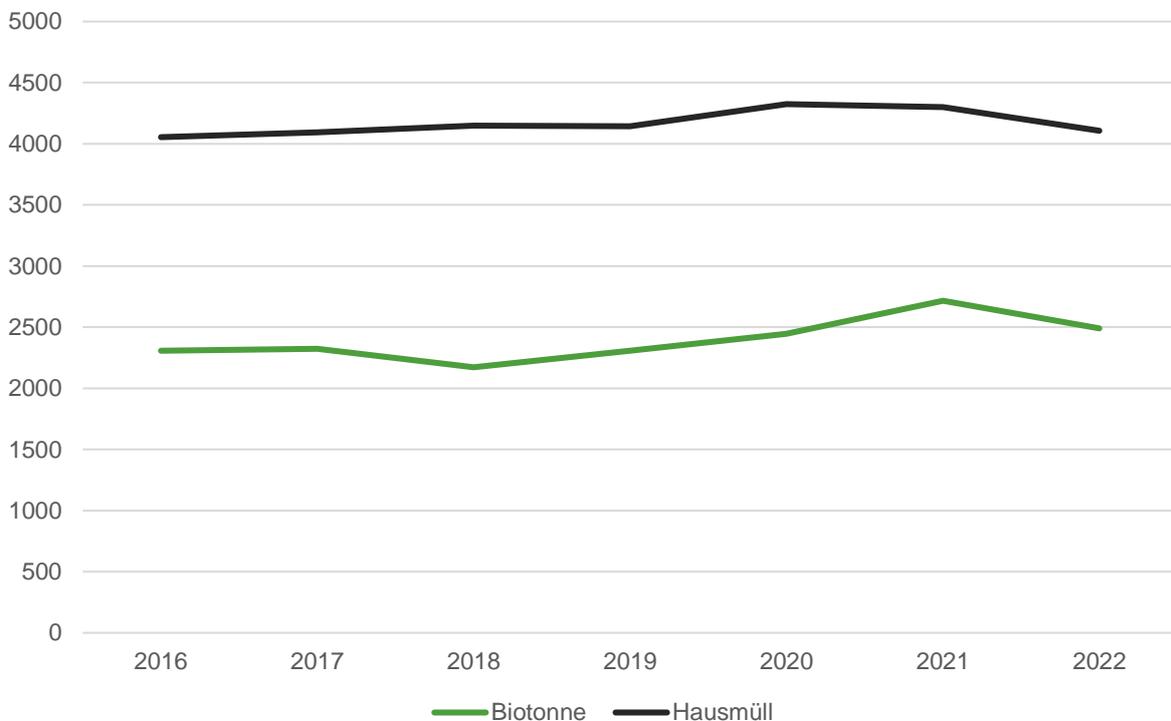


Abbildung 26: Abfallaufkommen auf der Gemarkung der Stadt Hattersheim (2016-2022).  
Quelle der Daten: Rhein-Main Abfall GmbH. Eigene Darstellung der EnergyEffizienz GmbH

Besondere Aufmerksamkeit ist hier den Bioabfällen zu widmen, da diese abschließend energetisch verwertet werden können. Der aktuelle Wert liegt bei ca. 87 kg pro Einwohner pro Jahr. Rein theoretisch kann man mindestens ein Drittel des Hausmülls dazu zählen, da die Bioabfälle oft inkorrekt sortiert werden<sup>54</sup>. Während bei der Vergärung Gas anfällt, welches klassischerweise (energetisch) genutzt wird, fällt bei der Kompostierung weniger Gas an, jedoch entweicht dieses ungehindert in die

<sup>54</sup> Deutschlandweite Studien zeugen davon, dass ca. 40% des Restmülls der Biomülltonne zuzuordnen ist (Ministerin für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg, 2022) S. 75

Atmosphäre. Hier entfällt insofern ein doppelter Effekt: Treibhausgase gelangen in die Luft und ihre energetische Verwertungsmöglichkeit wird nicht genutzt.

Pro Tonne Bioabfall lassen sich als grober Richtwert zwischen 85 und 125 m<sup>3</sup> Biogas erzeugen (Methangehalt: 50-80%). Nimmt man diese Annahmen in Betracht, ergeben sich für die Stadt Hattersheim folgende Werte:

	Potenzial gesamt min.	Potenzial gesamt max.	Potenzial pro Kopf min.	Potenzial pro Kopf max.
Potenzieller Energieertrag (MWh)	1.270	1.868	44,6	65,6

Tabelle 7: Übersicht der theoretisch erreichbaren Energiemengen aus der Biomüllmengen der Stadt Hattersheim

Unter der Annahme, dass eine Tonne der verwerteten Biomüllmenge ca. 194 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent einspart, könnte man in der Stadt allein 483 t CO<sub>2</sub>-Emissionen (17 kg pro Einwohner) vermeiden.

### 3.2.9 Solarthermie

#### 3.2.9.1 Grundsätzliches Potenzial

Der Zubautrend für Solarthermie ist deutschlandweit in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen, obwohl die Technologie geeignet ist, um klimafreundlich Wärme zu erzeugen und auch parallel zur Photovoltaik ausgebaut werden kann. Die gleiche Tendenz ist innerhalb der Stadt Hattersheim zu beobachten. Im Zeitraum 2015-2022 wurden nur 9 von der BAFA geförderten solarthermischen Anlagen zugebaut. Derzeit werden mit 2.800 MWh/a nur 1 % der Wärmeversorgung in der *Stadt Hattersheim* über Solarthermie gedeckt.

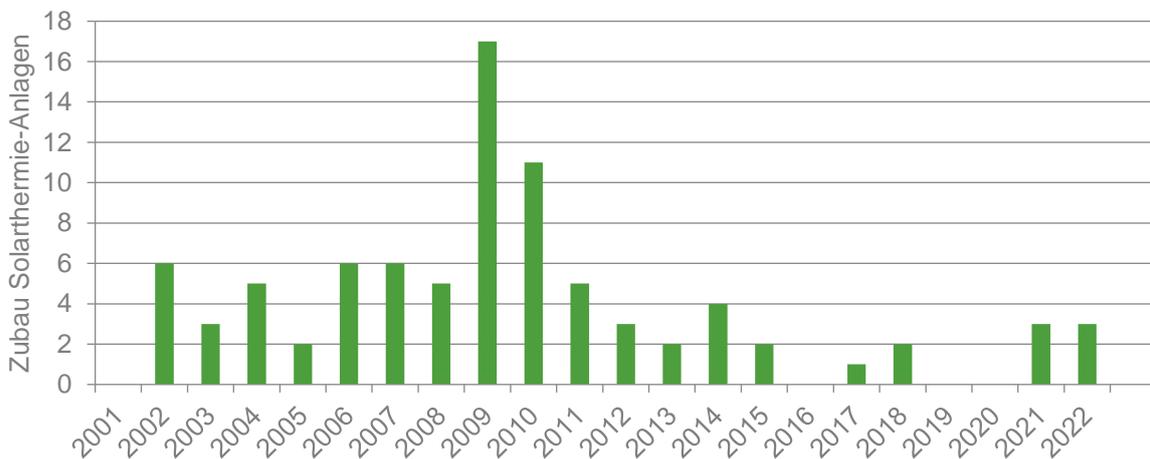


Abbildung 27: Zubauraten von solarthermischen Anlagen in der Stadt Hattersheim.

Quelle der Daten: BAFA. Eigene Darstellung der Energy Effizienz GmbH

#### 3.2.9.2 Szenarien

Die in den meisten bundesweiten Studien deklarierten Anteile der Solarthermie an der lokalen Wärmeversorgung belaufen sich selten über den Wert von 5 %. Es besteht also mindestens ein 5-faches Potenzial zum weiteren Ausbau der entsprechenden Wärmeerzeugungsanlagen vor Ort. Es wird, wie bei Photovoltaik, davon ausgegangen, dass die bestehenden Anlagen nach ihrer

angenommenen Lebensdauer erneuert werden und der Zubau dazu ergänzend erfolgt. Folgende Ausbauraten werden in den jeweiligen Szenarien angenommen:

### 3.2.9.3 Referenzszenario

Der Trend der Ausbaurate von Solarthermieanlagen (2017-2022) liegt derzeit bei 1,3 Anlagen bei privaten Haushalten pro Jahr. Für das Referenzszenario wird der Trend fortgeschrieben (1 Anlage) sowie ein jährlicher Zubau von zwei gewerblichen Anlagen<sup>55</sup> angenommen. Bis 2030 können so weitere 130 MWh/a Wärme und bis 2045 rund 310 MWh/a zusätzlich aus Solarthermie bereitgestellt werden. In der gesamtstädtischen Beheizungsstruktur der privaten Haushalte bleibt damit die Solarthermie bei dem Anteil von ca. 1 % (2045). Die zusätzliche Emissionseinsparung liegt 2030 gegenüber 2019 bei rund 34 t CO<sub>2</sub>/a und 2045 bei 80 t CO<sub>2</sub>/a.<sup>56</sup>

### 3.2.9.4 Klimaschutzszenario

Im Klimaschutzszenario erfolgt ein deutlich intensiverer Ausbau der Solarthermie. Es ist zu berücksichtigen, dass aufgrund von Sanierungsmaßnahmen insgesamt weniger Wärme benötigt wird. Außerdem werden die anderen Wärmeerzeugungsanlagen (etwa Wärmepumpen und Biomasse) ebenso flächendeckend ausgebaut. Um den Anteil der Solarthermie an der lokalen Wärmeversorgung zu erhöhen, wird der jährliche Zubau von 40 Anlagen im privaten Sektor benötigt, ergänzt von 40 gewerblichen und drei industriellen Anlagen.

Bis 2030 können so weitere rund 4.200 MWh/a Wärme und bis 2045 rund 9.900 MWh/a zusätzlich aus Solarthermie bereitgestellt werden. Der Anteil von Solarthermie an der gesamtstädtischen Wärmeversorgung 2045 steigt auf ca. 7 %. Die dadurch erzielte Emissionseinsparung liegt 2030 gegenüber 2019 bei rund 1.100 t CO<sub>2</sub>/a und 2045 bei 2.500 t CO<sub>2</sub>/a.

## 3.2.10 Wärmepumpen/Geothermie

Durch die Kombination eines Wärmetauschers mit einer Wärmepumpe kann die in der Umgebung gespeicherte Wärme zur Beheizung eines Gebäudes und zur Warmwasserbereitung genutzt werden. Der Wärmetauscher kann dabei die Umgebungsluft, ein Erdwärmekollektor (horizontal, in ca. 1,5 m Tiefe), eine Erdwärmesonde (vertikal, bis zu 100 m Tiefe) oder das Grundwasser darstellen. Die Nutzung der Umgebungsluft ist uneingeschränkt möglich, aber weist im Vergleich zu den übrigen Wärmetauschern den geringsten Wirkungsgrad auf. Wird die Wärmepumpe mit grünem Strom betrieben, stellt sie eine der umweltfreundlichsten Heizformen dar, da der Emissionsfaktor sehr gering ausfällt. Deswegen bietet sich die Kombination einer Wärmepumpe mit einer PV-Anlage an. Entsprechend ihrer Funktionsweise haben Wärmepumpen ein begrenztes Temperaturniveau, welches ihren Einsatz hauptsächlich in Neubauten und sanierten Bestandsgebäuden sinnvoll macht. Durch Kombination mehrerer Wärmepumpen ist jedoch auch die Nutzung im gewerblichen und industriellen Bereich möglich.

Laut den BAFA-Daten wurden in der *Stadt Hattersheim* (Stand 2021) nur 11 Wärmepumpen installiert. Es ist allerdings zu erwähnen, dass die bestehende Datengrundlage sich ausschließlich auf die geförderten Anlagen orientiert. Dies bedeutet, dass die tatsächliche Anzahl der installierten Wärmepumpen höher sein kann, besonders in einigen Neubauten und gewerblichen Gebäuden zum

<sup>55</sup> Unter der Annahme, dass gewerbliche Anlagen die gleiche Größenordnung haben wie Anlagen für private Wohngebäude.

<sup>56</sup> Die Emissionseinsparung bezieht sich auf den Ersatz einer Öl- oder Gasheizung.

Zwecke der Selbstversorgung. Nimmt man die Daten der Basisbilanz und durchschnittliche Verbräuche einer Wärmepumpe als Grundlage der Abschätzung, ist in Hattersheim mit ca. 280 Anlagen zu rechnen. Das Gesamtpotenzial der *Stadt* für die Nutzung von Wärmepumpen lässt sich nicht beziffern, da insbesondere die hierfür verwendete Umweltwärme aus der Luft annähernd uneingeschränkt vorhanden ist.

**Das Thema der Wärmepumpen wird in den darauffolgenden Unterkapiteln aufgrund der besonderen Bedeutung im gesamten deutschen Klimaschutzsektor detaillierter betrachtet.**

### 3.2.10.1 Allgemeine Trends

In der Studie „Durchbruch für die Wärmepumpe“ weist Agora Energiewende darauf hin, dass die Realitätsverhältnisse der neuen Installationen von Wärmepumpen deutlich hinter den formulierten Zielen (6.5 Mio. Wärmepumpen bis zum Jahr 2030)<sup>57</sup> bleiben. Die Einführung von zusätzlichen Anreizinstrumenten sowie die eigene Initiative der einzelnen Kommunen und Gebietskörperschaften auf Basis des Subsidiaritätsprinzips sind dementsprechend notwendig.

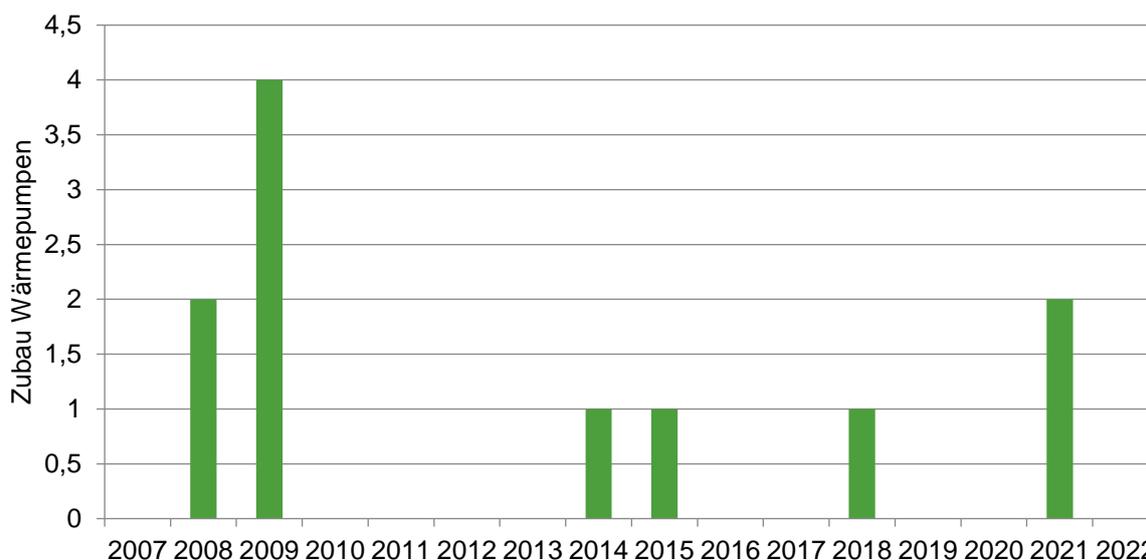


Abbildung 28: Zubauraten von BAFA-geförderten Wärmepumpen in der Stadt Hattersheim. Quelle der Daten: Wärmepumpenatlas<sup>58</sup>. Eigene Darstellung der EnergyEffizienz GmbH

### 3.2.10.2 Wärmepumpen und Gebäudebestand

Zieht man in Betracht, dass die Wärmepumpen prädominant in den Ein- oder Zweifamilienhäusern installiert wurden (s. Studie „Durchbruch für die Wärmepumpe“ von Agora Energiewende), kommen für die Stadt Hattersheim ca. 4.000 Gebäude in die engere Betrachtung für die Nutzung von Wärmepumpen<sup>59</sup>. Dazu kommt die Anzahl der Wärmepumpen in den geplanten zukünftigen Neubauten. Jedoch lässt sich auch eine verstärkte Nutzung bei den Bestandsgebäuden erkennen (vgl. folgende Abbildung). Die Möglichkeit der Nutzung im Bestand wird grundsätzlich für 2/3 der

<sup>57</sup> (Öko-Institut und Fraunhofer ISE, 2022)

<sup>58</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>59</sup> Grundlage der Berechnung: Daten der ZENSUS-Datenbank (Zensus Datenbank, 2011) Plan bezüglich der Anzahl von Ein- und Zweifamilienhäusern in der analysierten Gemeinde

Bestandsgebäude von Wohngebäuden ohne komplexe Sanierungs- oder Umbaumaßnahmen für möglich erachtet<sup>60</sup>.

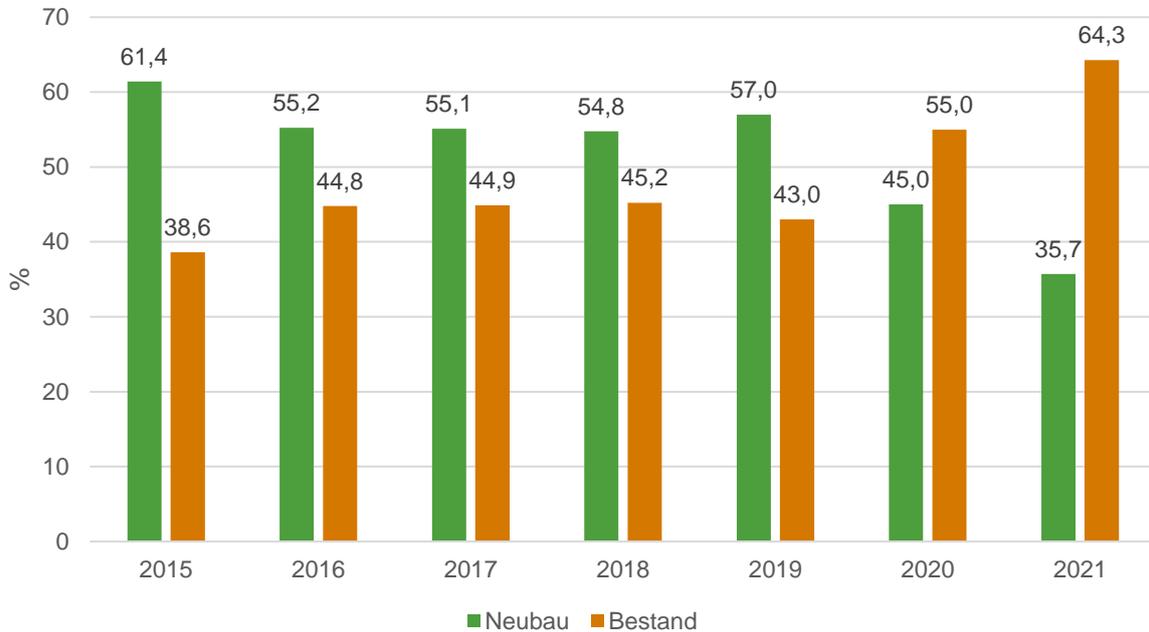


Abbildung 29: Prozentuale Anteile der installierten Wärmepumpen in Neubauten und bestehenden Gebäuden in Deutschland (Vergleich). Grundlage der Daten: Absolute Anzahl der Wärmepumpen aus der Studie „Durchbruch für die Wärmepumpe“ von Agora Energiewende.<sup>61</sup> Die benutzten Daten der Studie basieren auf Marktdaten des Bundesverbands Wärmepumpen (BWP) sowie Destatis (2022). Eigene Darstellung der relativen Werte und Design der EnergyEffizienz GmbH.

### 3.2.10.3 Erdwärmekollektoren & -sonden

Im Folgenden werden die Grundvoraussetzungen für oberflächennahe Erdwärmenutzung vor Ort betrachtet.

Die durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit der oberen Erdschichten für Installation der Erdwärmekollektoren und -sonden in der Stadt Hattersheim ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Die auf der Webseite des HLNUG auffindbare Karte bietet nur die punktegenauen Informationen zu den Ergebnissen der Bohrungen (siehe Abb. 30), weswegen eine flächendeckende Visualisierung der gesamten Stadtgemarkung nicht möglich ist.

<sup>60</sup> (Öko-Institut und Fraunhofer ISE , 2022)

<sup>61</sup> (Öko-Institut und Fraunhofer ISE , 2022)

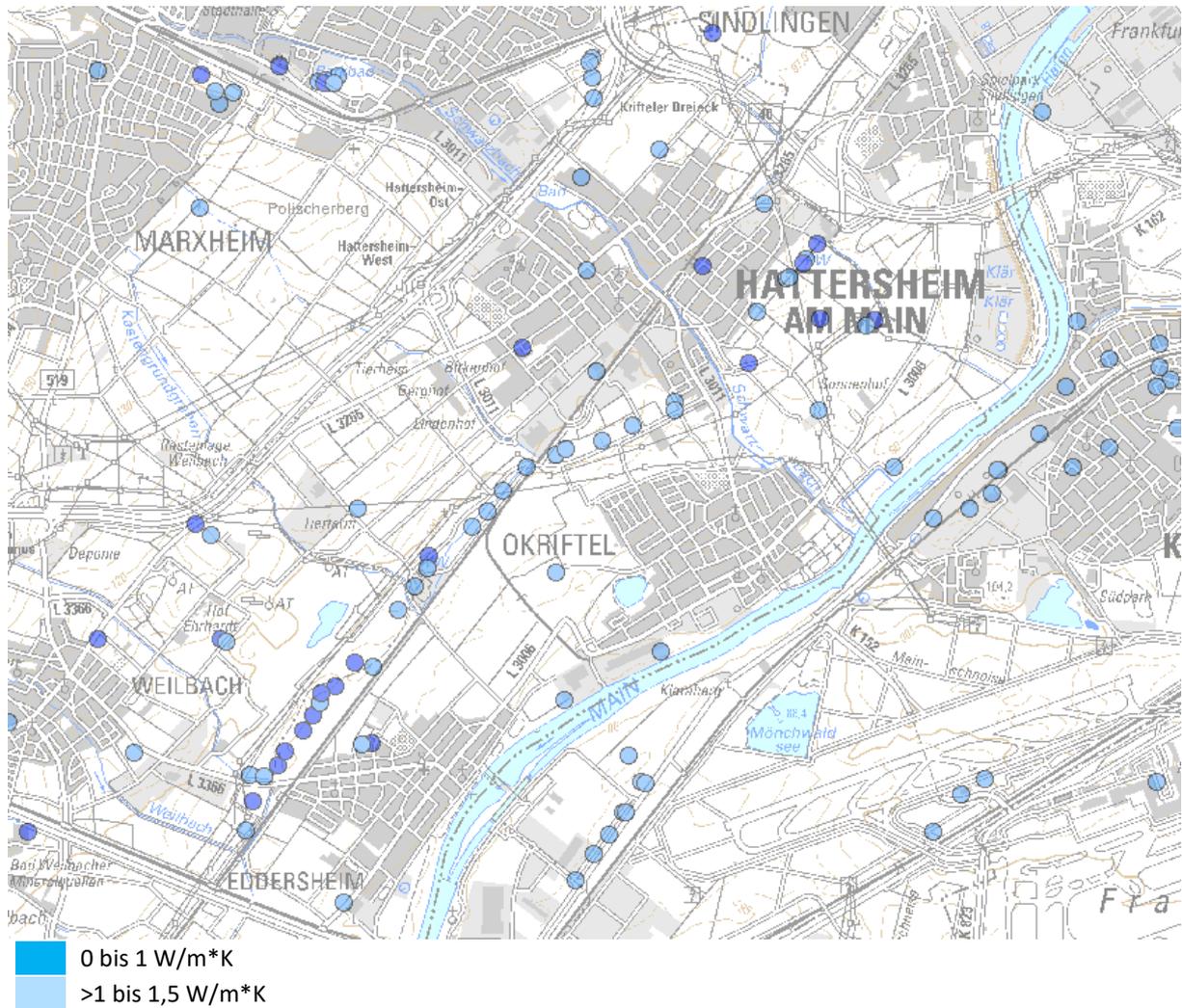
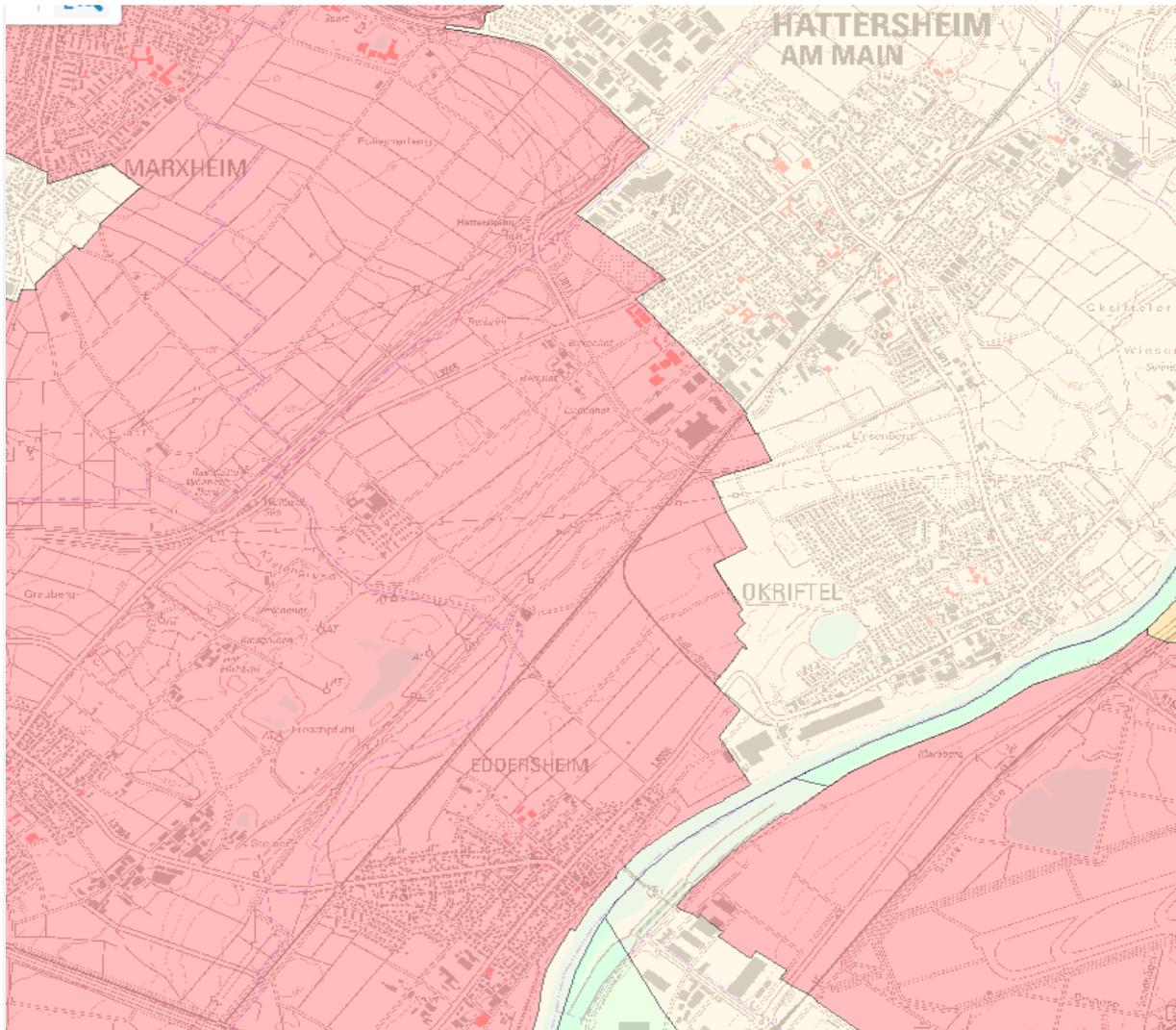


Abbildung 30: Eignung des Bodens für Erdwärmekollektoren. Quelle der Daten: Energieatlas Rheinland-Pfalz. Eigene Darstellung der Energy Effizienz GmbH

Die Darstellung der Ergebnisse von weiteren Messungen verfügt über eine deutlich reduzierte Anzahl von Messpunkten, weswegen von diesen Daten im Rahmen der vorliegenden Analyse abzusehen ist.

Laut den HLNUG-Daten ist die Gemarkung der Stadt Hattersheim zu einem erheblichen Teil wasserwirtschaftlich unzulässig für die Installation der oberflächennahen geothermischen Anlagen. Der Stadtteil Okriftel, der Stadtkern und der östliche Teil von Hattersheim erscheinen aus dieser Perspektive zwar flexibler, sind aber als hydrogeologisch ungünstig eingestuft. (siehe Abb. 31)



Wasserwirtschaftliche Standortbeurteilung (TK25, <1:5.000)

Wasserwirtschaftlich unzulässig, WSG I, II, III bzw. IIIA; HQSG I, II, III, III/1, A



Hydrogeologische Standortbeurteilung

Hydrogeologisch ungünstig



Hydrogeologisch günstig



Abbildung 31: Wasserwirtschaftliche Beurteilung für die Installation von Erdwärmekollektoren

Quelle der Daten: HLNUG

#### 3.2.10.4 Luft-Wärmepumpen

Die Nutzung der Umgebungsluft ist grundsätzlich aufgrund der unbegrenzt vorkommenden Ressource nicht limitiert, Einschränkungen sind durch die Einhaltung von Mindestabständen zu Nachbargebäuden basierend ggf. auf der resultierenden akustischen Belastung gegeben (mind. 3 m). Im Vergleich zu den übrigen Wärmetauschern weisen Luft-Wärmepumpen den geringsten Wirkungsgrad auf, trotzdem lässt sich diese Technologie als einer der wichtigsten Bausteine der nachhaltigen Wärmezeugung und -versorgung bewerten. Eine detaillierte Analyse überschreitet den Umfang eines Klimaschutzkonzepts, kann aber in detaillierteren Analysen wie Quartierskonzepten betrachtet werden.

#### Szenarien

Die Szenarien werden im Folgenden mit den entsprechenden Ergebnissen beschrieben.

#### 3.2.10.5 Referenzszenario

Im Jahr 2019 stellte die Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen in der Verbandsgemeinde mit 5.024 MWh/a einen Anteil des Wärmeverbrauchs von ca. 2 % dar.

Der lokale Zubau in den vergangenen Jahren (2018-2022) in der Stadt Hattersheim von BAFA-geförderten Wärmepumpen entsprach jährlich durchschnittlich ca. einer Anlage. Im Referenzszenario wird von einer Fortführung des Trends für die privaten Haushalte sowie dem Zubau von zwei gewerblichen Anlagen jährlich ausgegangen. Die zusätzliche Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen beläuft sich 2030 um rund 979 MWh/a und bis 2045 auf 2.314 MWh/a. Der Anteil von Wärmepumpen an der Wärmeversorgung liegt 2030 bei 8,5 % bei den privaten Haushalten, sowie 0,6 % im Gewerbe. Bis 2045 steigt der Anteil für die privaten Haushalte auf 9,1 %, im Gewerbe steigt er auf 1,7 %. Die zusätzliche Emissionseinsparung liegt 2030 gegenüber 2019 bei rund 430 t CO<sub>2</sub>/a und 2045 bei 952 t CO<sub>2</sub>/a.<sup>62</sup>

#### 3.2.10.6 Klimaschutzszenario

Um dem Ziel der Klimaneutralität näher zu kommen, werden ambitionierte Ausbauraten der regenerativen Wärmeträger angenommen. Wärmepumpen werden bundesweit als grundlegender Bestandteil der Energiewende angesehen<sup>63</sup>. Es wird ein jährlicher Zubau von 29 Anlagen pro Jahr für die privaten Haushalte, 60 Anlagen im GHD-Sektor sowie sechs Anlagen im industriellen Sektor angenommen<sup>64</sup>. Bis 2030 können so weitere 35.800 MWh/a Heizenergie und bis 2045 rund 84.600 MWh/a Heizenergie zusätzlich durch Wärmepumpen bereitgestellt werden. Bis 2045 erhöht sich der Anteil für die privaten Haushalte auf 54 %, im gewerblichen Sektor auf 55 % und im industriellen Sektor auf 40 %. Die zusätzliche Emissionseinsparung liegt 2030 gegenüber 2019 bei rund 9.700 t CO<sub>2</sub>/a und 2045 bei 23.900 t CO<sub>2</sub>/a.

<sup>62</sup> Die Emissionseinsparung bezieht sich auf den Ersatz einer Öl- oder Gasheizung.

<sup>63</sup> Vergleiche Prognos-Studie und den Ariadne-Report

<sup>64</sup> Die Anzahl der zugebauten Anlagen im GHD-Sektor und industriellen Branche kann sich reduzieren, da die Leistungen der Anlagen in diesen Bereichen deutlich höher als die von den privaten Haushalten sind.

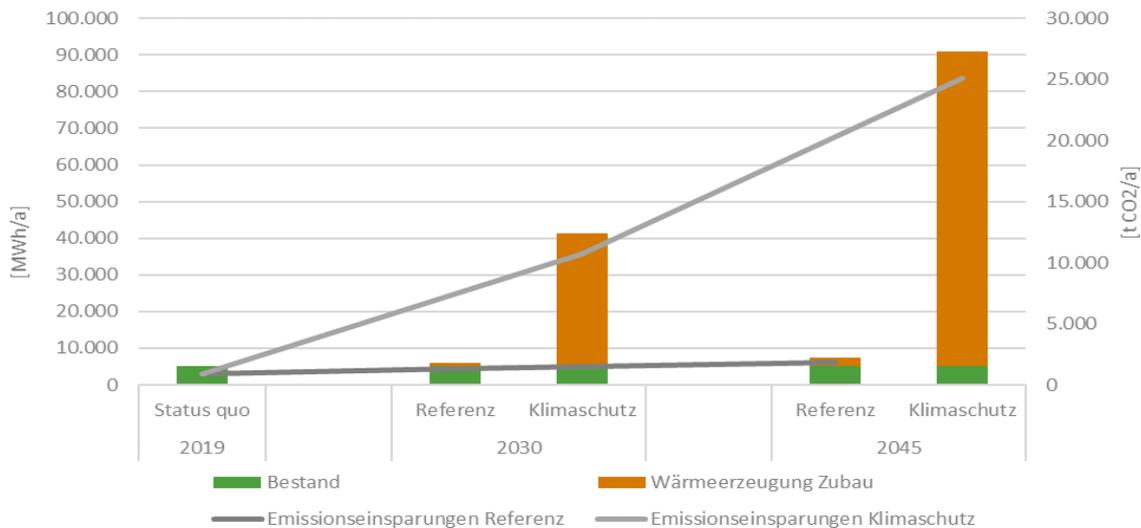


Abbildung 32: Ertrag und vermiedene Emissionen durch Wärmepumpen im Status quo und den Szenarien

### 3.2.11 Nah- und Fernwärme

#### 3.2.11.1 Grundsätzliches Potenzial

Der Ausbau der Nah- und Fernwärme wird als wichtiger Faktor zur Umsetzung der Energiewende sowohl im städtischen als auch im ländlichen Raum gesehen. Im städtischen Raum liegt der entscheidende Vorteil bei den geringen Abständen zwischen den Gebäuden, so dass die Netzlänge und damit Netzverluste geringgehalten werden können. Ein gutes Beispiel bietet die Stadt Stockholm, in der rund 70 % der Gebäude mit Fernwärme beheizt werden und zunehmend regenerative Energien dafür genutzt werden. Auch ist die erfolgreiche Umsetzung von der Kooperation aller Beteiligten abhängig, weshalb eine Stärkung der Akzeptanz aller Beteiligten durch eine zielführende Kommunikations- und Bildungsinitiativen fokussiert werden sollte.

Nah- und Fernwärme ist nur dann klimafreundlich, wenn nachhaltige Energieträger zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Häufig werden Biomasse oder kleine Blockheizkraftwerke genutzt. Auch Geothermie kann als Wärmequelle genutzt werden. Der Emissionsfaktor ist entsprechend geringer als bei einer herkömmlichen Öl- oder Gasheizung, was den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck verringert und den Nachhaltigkeitsaspekt stärkt. Gleichzeitig verringert sich der Gesamtaufwand für Wartung und Instandhaltung. Weiter müssen sich die Hausbesitzer nicht mehr eigenständig um ihre Heizanlage kümmern. Nahwärme wird entsprechend dann gegenüber Einzelgebäudeheizungen auf Basis erneuerbarer Energien bevorzugt, wenn die genannten Vorteile genutzt werden sollen. Für das Ziel der Klimaneutralität ist die Umrüstung der Nahwärmenetze notwendig. Dies sollte die Stadt daher zukünftig auch forcieren.

Die Wichtigkeit der Nahwärme als eine der möglichen Antworten auf die Herausforderungen des Wärmesektors ist selbsterklärend und bedarf daher einer tieferen Analyse der bestehenden Optionen. Neben den benötigten Gebäudesanierungen ist die Erweiterung der lokalen Nahwärmenetze ausschlaggebend für den Erfolg der lokalen nachhaltigen Transformation des Wärmesektors<sup>65</sup>.

<sup>65</sup> (Huengs, et al., 2014)

Relevant ist dabei insbesondere die Nutzung von erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung in den Wärmenetzen, da jeglicher Einsatz fossiler Energieträger eine falsche Antwort auf die Herausforderungen des energiepolitischen Sektors wäre.

Zur Beheizung von Nahwärmenetzen können verschiedene Energieträger genutzt werden. Zahlreiche Projekte der lokalen Nahwärmeversorgung nehmen Solarenergie als Hauptenergieträger, ebenso gibt es moderne Nahwärmenetze auf Basis von Geothermie, Biomasse oder auch industrieller Abwärme. (Groß-)Wärmepumpen kommen ebenso infrage. Die grundlegende Analyse der lokal vorhandenen Anschlussdichte, des ortsbezogenen Wärmebedarfs und der Wärmedichte sind während der Planung der Nahwärmeversorgung unabdingbar. Außerdem muss die räumliche Nähe von Erzeuger und Verbraucher sichergestellt werden, um den Grad der Wärmeverluste zu minimieren. Diejenigen Planungs- und Vertriebsangelegenheiten, die außerhalb dieser Potenzialstudie stehen, sind bspw. im Leitfaden "Nahwärme" des Fraunhofer Instituts zu finden<sup>66</sup>.

Insgesamt sind mehrere aussagekräftige Vorteile zu identifizieren, die für die Entwicklung der lokalen Nahwärmenetze sprechen<sup>67</sup>:

- Flexibilität und Vielfalt bei der Nutzung lokaler erneuerbarer Energien, wie große Solarthermie, Tiefe Geothermie, Umweltwärme, Biomasse
- Deckung der verbleibenden Bedarfslücken der Stromerzeugung aus Sonne und Wind (Residuallasten) durch bedarfsgerecht betriebene, stromnetzgeführte Kraft-Wärme-Kopplung in den Heizzentralen
- Erhöhung der Effizienz im Energiesystem aufgrund der Möglichkeit, vielfältige Abwärmequellen nutzen zu können
- Flexibilitätsgewinne im Wärme- und Strombereich durch Einbindung großer thermischer Speicher
- kommunale Steuerungsfunktion zur Senkung des Ausstoßes vermeidbarer Treibhausgasemissionen durch netzgebundene Wärmeversorgung
- Langfristig hohe Versorgungssicherheit
- Zukünftig keine aufwändige und teure Anlagenerneuerung
- Erfüllung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes
- Geringe Betriebskosten (Wartung/Instandhaltung usw.)
- Geringerer Raumbedarf für Technik.
- Regionale Wertschöpfung<sup>68</sup>

Es ist dementsprechend von Vorteil, die Potenziale der lokalen Begebenheiten zu untersuchen, um die räumliche und strukturelle Ausgestaltung der Nahwärmeversorgung rechtzeitig zu optimieren und den höchsten Wirtschaftlichkeitsgrad zu erzielen. Die Möglichkeiten diverser Optionen werden in den untenstehenden Abschnitten thematisiert.

Wichtiger Parameter für die Planung eines Nahwärmenetzes ist der zu erwartende Wärmebedarf der Verbraucher im Tages- und Jahresverlauf. Auf die Verbrauchskurve aufbauend kann die Auswahl der möglichen Technologie erfolgen, wobei oftmals aus wirtschaftlichen Gründen eine Kombination von verschiedenen Energieträgern empfehlenswert ist.

<sup>66</sup> (Dötsch, Taschenberger, & Schönberg, 1998)

<sup>67</sup> (zeozweifrei, 2023)

<sup>68</sup> (Energieagentur RLP, Praxis-Leitfaden Nahwärme, 2016)

### 3.2.11.2 Biomasse

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

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

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

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

### 3.2.11.3 Solarthermie

Das Thema der Nahwärmeversorgung mit Hilfe solarer Kollektoren und saisonalen Wärmespeichern wird in den letzten Jahren intensiv diskutiert – sowohl in Deutschland als auch im Ausland. Zu diesem Zeitpunkt erscheinen vor allem kleinflächige Lösungen für kleine Städte (Einwohnerzahl: ca. 4.000-5.000) oder bestimmte Stadtquartiere sinnvoll. Einige Beispiele der erfolgreichen Projektumsetzung in diesem Bereich lassen sich unter anderem in Dänemark beobachten<sup>69</sup>. Der durchschnittlich zu erwartende Ertrag liegt auf Basis der Grundannahmen sowie der bereits bestehenden Projekterfahrungen bei 2.000 MWh/a pro Hektar Landfläche<sup>70</sup>.

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

Die während der industriellen Herstellungsprozesse entstehende Energie lässt sich entweder direkt mittels Wärmetauscher nutzen oder kann langfristig für die Wärmeversorgung zu

<sup>69</sup> (PlanEnergi, 2018)

<sup>70</sup> (Solarthemen Media GmbH, 2021)

Spitzenbedarfszeiten gespeichert werden. Dies benötigt zwar zusätzliche infrastrukturelle Maßnahmen, kann damit aber auch zeitversetzte Energiebedarfe abdecken<sup>71</sup>.

	Ertrag (MWh/a)	Leistung (MW)	Flächenbedarf	Emissions- einsparun g (t CO2)	Investitions- kosten (Mio. Euro)	Größe des Wärmespeichers (falls vorhanden), m <sup>3</sup>
<b>Greifswald</b> <sup>72,73</sup>	8.000	11	Baufläche 4 ha Grundfläche Sondergebiet 40.000 m <sup>2</sup> Kollektorfeld Flächen 18.700 m <sup>2</sup>	1.780	7	5.500
<b>Lemgo</b> <sup>74,75</sup>		5,2	Bruttokollektorfläche 9.128 m <sup>2</sup>			Komplex mit Flusswasser-WP und 2 BHKWs
<b>Mühlhausen</b> <sup>76, 77</sup>	3.300		Flächenbedarf 19.000 m <sup>2</sup> , Kollektorfläche 5.700 m <sup>2</sup>	675	3	1.152 Röhren- kollektoren, Versorgung von 400 Haushalten
<b>Senftenberg</b> <sup>78</sup>	4	4,5	Grundfläche 20.000 m <sup>2</sup> , Kollektorfläche 8.300 m <sup>2</sup>			Stadtgröße: 25.000

Tabelle 8: Übersicht einiger bereits realisierter solarthermischer Projekte in Deutschland

<sup>71</sup> (PlanEnergi, 2018)

<sup>72</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>73</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>74</sup> (Solarthemen Media GmbH, 2021)

<sup>75</sup> (AGFW-Projekt-GmbH, 2022)

<sup>76</sup> (Stadtwerke Mühlhausen, 2021)

<sup>77</sup> (Solarthemen Media GmbH, 2021)

<sup>78</sup> (RitterXL, kein Datum)

Auch in angrenzenden Nachbarländern lassen sich mehrere Projekte finden<sup>79</sup>.

Ort	Informationen
Silkeborg, Dänemark <sup>80</sup>	100-110 MW Leistung, Kollektorfläche 156.000 m <sup>2</sup>
Baotou, China	65 MW Leistung
Vojens, Dänemark	49 MW Leistung
Aalborg, Dänemark <sup>81</sup>	11.000 m <sup>2</sup> , 3.300 MWh
Groningen, Niederlande <sup>82</sup>	48.000 m <sup>2</sup> , 37 MW Leistung; voraussichtliche Erträge: 25 GWh = 520 kWh/m <sup>2</sup> a
Silkeborg, Dänemark <sup>83</sup>	100-110 MW Leistung, Kollektorfläche 156.000 m <sup>2</sup>

Tabelle 9: Übersicht einiger realisierten solarthermischer Projekte im Ausland

<

#### 3.2.11.4 Abwärme

Verschiedene industrielle Prozesse erzeugen als Nebenprodukt Wärmeenergie, welche teilweise ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird oder aber mit weiterem Energieaufwand heruntergekühlt wird. Dies wird als relevantes Potenzial zur Nutzung für die Wärmeversorgung desselben oder angrenzender Gebäude gesehen, sofern die Größenordnung ausreichend ist. Die Abkühlung der zu hohen Temperaturen (<80-90°C) für die Einspeisung in die Nahwärmenetze kann mittels eines Wärmetauschers erfolgen. Die bisher veröffentlichten Studien zu den Potenzialen der Abwärmenutzung weisen auf ein großes Potenzial hin: Eine Erhebung spricht für den gesamten deutschen Industriesektor davon, dass 18% bis ca. 50% der Abwärme energetisch genutzt werden könnten<sup>84</sup>. Andere Veröffentlichungen weisen sogar Werte von 30% bis 90% des energetisch erschließbaren Wärmepotenzials der industriellen Anlagen für die weitere Wärmebereitstellung auf<sup>85</sup>.

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

Die folgende Tabelle bietet eine Übersicht der energetisch verwertbaren Temperaturen je Industriebranche und des jeweiligen Abwärme-Indikators, der auf die theoretisch möglichen nutzbaren Mengen der Wärmeenergie hinweist<sup>86</sup>.

<sup>79</sup> (SHIP Plants, 2023)

<sup>80</sup> (Solarthemen Media GmbH, 2021)

<sup>81</sup> (Aalborg CSP A/S, 2022)

<sup>82</sup> (Solrico, 2022)

<sup>83</sup> (Solarthemen Media GmbH, 2021)

<sup>84</sup> (Hirzel, Sontag, Benjamin, & Rohde, 2013)

<sup>85</sup> (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2015)

<sup>86</sup> (Aydemir, Doderer, Hoppe, & Braungardt, 2019), S. 29

Industriebranche	Temperatur der verwertbaren Wärmeenergie	Abwärme-indikator	Ergänzung
Eisen- und Stahlherstellung	80-250 °C	19%	Die höheren Temperaturebenen beinhalten große Menge der nicht verwertbaren Gase; die Nutzung der Energie für die Wärmebereitstellung erst in den letzten Phasen des Produktionsprozesses möglich
Nichteisenmetallherstellung (Aluminium, Kupfer, Zink, Blei et al.)	40-70 °C		Wegen der bereits vorhandenen effizienten Anlagen der Wärmerückgewinnung meist für die Niedertemperaturanwendungen brauchbar
Zementerzeugung	Ersten Produktionsphasen: 200-450 °C Weitere Produktionsphasen: 100-300 °C		Nutzung der heißen Abgase für die Stromerzeugung, Verdampfung o. ä. möglich
Papierherstellung	20-160 °C	9%	Wird als prioritäre Branche für Abwärmenutzung betrachtet
Glasherstellung	Divergierende Angaben je Herstellungsphase	15%	
Chemie	Ethylen: 150 °C bei großer Variation Ammoniak: Divergierende Angaben je Herstellungsphase	9%	Grundsätzlich für Verdampfung geeignet

Tabelle 10: Übersicht der thermischen Potenziale einzelner Industriebranchen

Eine veröffentlichte Studie des Fraunhofer Instituts zu den Möglichkeiten der Abwärmenutzung listet Unternehmen der Nahrungsmittelindustrie ebenso als potenziell effiziente Quellen der Abwärme auf. Eine Veröffentlichung der dena zur Abwärme weist die Installation der Abwärmegewinnungsanlagen in einem Unternehmen der Papierindustrie als ein Beispiel der erfolgreichen Innovations- und Investitionsaktivitäten aus<sup>87</sup>. Auch Unternehmen der Holzveredlung und produktionsintensiver Holzverarbeitung bergen Abwärmepotenziale, allerdings in deutlich kleinerem Ausmaß<sup>88</sup>.

Des Weiteren sind Rechenzentren und IT-Cluster große Abwärmequellen.

Die Abwärme von Rechenzentren lässt sich als eine der möglichen Quellen der nachhaltigen Wärmeversorgung innerhalb der dicht besiedelten Ballungsräume betrachten. Die zunehmende Digitalisierung als auch der weitere Aufbau der IT-bezogenen Infrastruktur nicht nur in Deutschland, sondern auch global ist eine Grundlage für die zukunftssicheren Perspektiven bzgl. der konstant vorhandenen Abwärmequelle aus Rechenzentren. Es lassen sich bereits heute Prognosen finden, die von dem doppelten Strombedarf der Rechenzentren bis zum Jahre 2030 sprechen<sup>89</sup>. Die realistischen Prognosen gehen von dem Wert i.H.v. 350.000 Wohnungen aus, die mit Hilfe der aus den Rechenzentren stammenden Wärme versorgt werden können<sup>90</sup>. Werden auch die zu diesem Zeitpunkt

<sup>87</sup> (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2015)

<sup>88</sup> (Pehnt, Bödeke, Arens, Jochem, & Idrissova, 2010), S. 17, S. 19

<sup>89</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>90</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

geplanten Großprojekte in Betracht gezogen, steigt die Anzahl der potenziell angeschlossenen Wohneinheiten.

Für die genauere Analyse eignen sich die Rechenzentren ab 5 MW Leistung<sup>91</sup>. Es sind allerdings Belege vorhanden, die auch von der Relevanz der kleineren Rechenzentren sprechen<sup>92</sup>. Die weitere Verdoppelung der Leistung von IT-Rechenzentren im Großraum Frankfurt am Main ist in den kommenden Jahren zu erwarten. Allerdings ist die Umstellung bzw. Modernisierung der Nahwärmenetze notwendig, um eine effiziente Kopplung der Wärmequelle mit den Wärmeabnehmern zu ermöglichen. Die zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Wärmenetze sind größtenteils technisch nicht geeignet, um die Abwärme aus dem Niedertemperaturbereich direkt aufzunehmen. Sollten die modernen Wärmepumpentechnologien in der Nähe der Abwärmequelle Einsatz finden, ist eine Revision der Strompreise für die Betreiber der Wärmequelle in Betracht zu ziehen.

Unternehmen	Ort	Ergänzung
Apple	Viborg, Dänemark	30 MW Leistung; 700 GWh/a Stromverbrauch; Wärmeabgabe mittels Wärmepumpe <sup>93 94</sup> ; weiteres Projekt in Seattle, USA <sup>95</sup>
Amazon	Tallaght, Irland	Beheizung der 135 Wohneinheiten und mehrerer Tausend m <sup>2</sup> Bürofläche; 25°C Wassertemperatur bei der Abgabe vor der ersten Wärmepumpe; danach - Abgabe ins Netz bei üblichen Temperaturen <sup>96</sup>
Meta	Odense, Dänemark	Beheizung der 6.900 Wohneinheiten: ca. 100.000 MWh Abwärme <sup>97</sup>
EcoDataCenter	Falun, Schweden	2 MW Leistung <sup>98</sup>

Tabelle 10: Beispiele der Projekte mit Abwärmenutzung von Rechenzentren

Die Haupthindernisse ähnlicher Projekte bestehen größtenteils in den hohen Investitionskosten mit einer langen Amortisationszeit. Währenddessen müssen umfangreiche infrastrukturelle Maßnahmen umgesetzt werden, um die Verkopplung möglichst effizient zu gestalten. Allerdings müssen solche Varianten der zukünftigen Wärmeversorgung in Betracht gezogen werden, sollte das deklarierte Ziel der Klimaneutralität tatsächlich schon in den kommenden Jahrzehnten erreicht werden.

Die unterschiedliche Energieintensität der verschiedenen industriellen Verarbeitungsprozesse ist in der folgenden Grafik noch einmal dargestellt. Insbesondere die Metallherzeugung gilt als energieintensiv und bietet ein entsprechend hohes Abwärmepotenzial. Darauf folgt die Grundstoffchemie, die Papier-, Glas- und Keramik- und Metallindustrie sowie die Verarbeitung von Steinen und Erden.

<sup>91</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>92</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>93</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>94</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>95</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>96</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>97</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>98</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

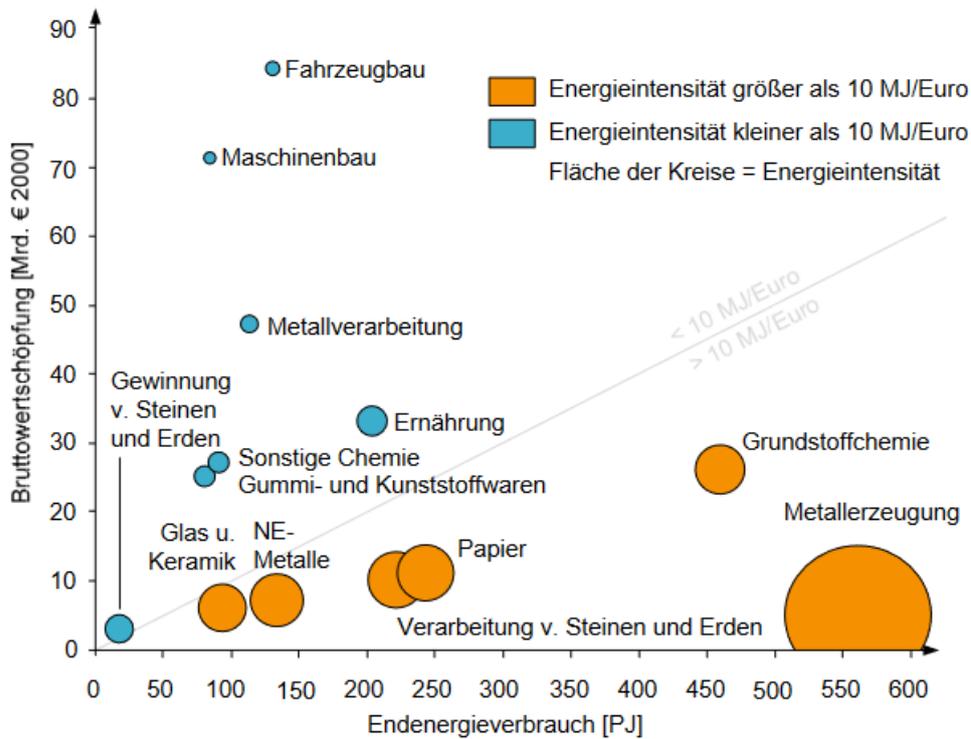


Abbildung 18: Energieintensität verschiedener Industriebranchen.  
Quelle: Fraunhofer Institut basierend auf Daten von Fleiter et al. 2013

### 3.2.11.5 Umweltwärme und Wärmepumpen

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

Beim Einsatz von Wärmepumpen sind geringe Netztemperaturen vorteilhaft, um eine kleine Temperaturdifferenz überwinden zu müssen und somit eine möglichst gute Effizienz zu erreichen. Zusätzlich empfiehlt sich beim Einsatz von Wärmepumpen in jedem Fall die Installation von Photovoltaik zu untersuchen, um den benötigten Strom auf regenerative Weise zu produzieren. Im Fall der Planung von Nahwärmenetzen auf Basis von geothermischen Anlagen ist die Installation eines Wärmespeichers zu prüfen. Die Kombination von Wärmepumpen und eines Speichers in den Maßstäben eines Nahwärmenetzes<sup>99</sup> hat sich mehrmals in vielen Projekten als eine rentable wirtschaftliche Lösung erwiesen.

<sup>99</sup> (Bundesverband Geothermie e.V., 2021)

Potenzialanalyse

	Wärmeleistung	Höhe (m) / Durchmesser (m) / Fassungsvermögen (l)	Temperatur (°C)	Weitere Details und Investitionskosten
Reuter West, Siemensstadt, Berlin	200 MW	45 / 43 / 56 Mio.	50-98	
Enertrag, Nechlin, Stettin		4 / 18 / 1 Mio.	93	38 MWh; Kombination mit dem Windfeld; 35 Häuser werden versorgt
Kiel <sup>100</sup>	1.500MW	60 / 30 / 42 Mio.	60-115	Von Null auf 191 Megawatt in nur 5 Minuten
Zolling <sup>101</sup>	400 MW	23 / 24 / 10 Mio.	Bis 95	
Mannheim <sup>102</sup>	1.500 MW	36 / 40 / 45 Mio.	98	27 Mio. Euro Kosten; Unterstützt Fernwärmenetz Raum Mannheim, Heidelberg, Speyer
Niederösterreich, Theiß <sup>103</sup>	2.200 MW	25 / 50 / 50 Mio.	bis 98	Versorgung der Stadt Theis, Gedersdorf und Grunddorf
Dänemark, Studstrup	1200 MW	// 30 Mio.		
Dänemark, Marstal	4.350 MW	k. A./k. A./ 75 Mio.	k. A.	Fernwärme basiert auf 100% erneuerbare Energien (55 PV und 45 Biomasse)
Schweiz, Ibach bei Schwyz <sup>104</sup>	1300 MW	50 / 30 / 28 Mio.	50-95	Investitionskosten 6 Mio. Euro
Österreich, Linz <sup>105</sup>	1.350 MW	65 / 27 / 34,5 Mio.	55-97	

Tabelle 11: Übersicht der Kennzahlen von Erdwärmespeichern

### 3.2.11.6 Flusswärmepumpen

Flusswärmepumpen gewinnen Wärmeenergie aus einem Fließgewässer, indem dessen Wärme unter Anwendung von elektrischer Arbeit auf eine höhere Temperatur angehoben wird.<sup>106</sup>

Mittlerweile gibt es zahlreiche Typen und Bauarten von Flusswärmepumpen, die sich allerdings übergeordnet in zwei Kategorien einteilen lassen: offene und geschlossene Systeme. In offenen Systemen wird aktiv Fließwasser entnommen, dem durch einen Verdampfer die Wärme entzogen wird. Anschließend wird das Wasser zurück in den Fluss geleitet. In einem geschlossenen System wird die Wärme aus dem Fluss direkt durch einen Wärmetauscher gewonnen. In beiden Systemen wird die gewonnene Umweltwärme im Anschluss auf einen Heizkreislauf übertragen.<sup>107</sup> Die weitere Funktionsweise gleicht der einer herkömmlichen Wärmepumpe, siehe Abbildung unten.<sup>108</sup>

<sup>100</sup> (Stadtwerke Kiel, 2022)

<sup>101</sup> (Mündliche Nachfrage beim Betreiber. Nach dewiki.de, 2023)

<sup>102</sup> (Bundesverband Geothermie e.V., 2023)

<sup>103</sup> (EVN AG, 2012)

<sup>104</sup> (Agro Energie Schwyz AG, 2020)

<sup>105</sup> (Linz AG, 2022)

<sup>106</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>107</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>108</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

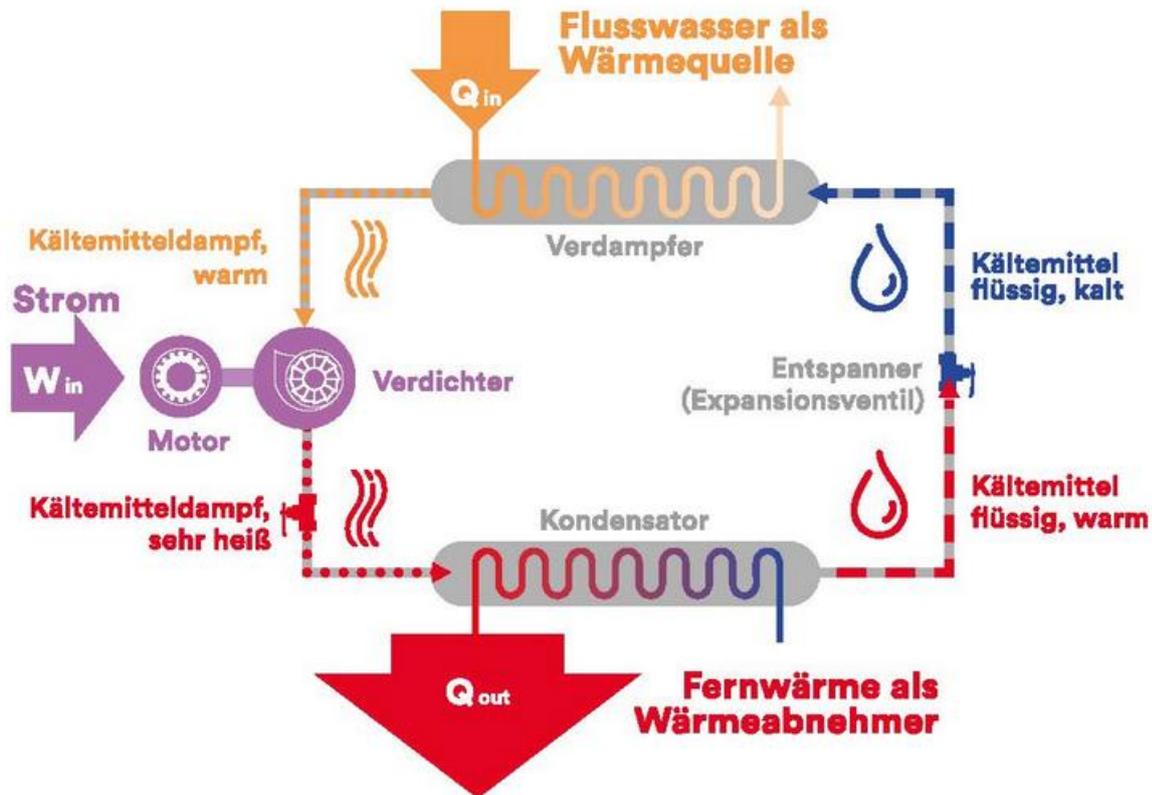


Abbildung 19: Schema der Funktionsweise einer Flusswärmepumpe, Quelle: (ENERGIEWENDE BAUEN, 2022)

Ein Problem von Flusswärmepumpen ist, dass im Falle von sehr niedrigen Wassertemperaturen möglicherweise keine Wärme mehr gewonnen werden kann. Die Pumpe muss im Fall von Temperaturen unter dem Gefrierpunkt abgeschaltet werden, um die Gefahr von Eisbildung und damit der Beschädigung der Pumpe vorzubeugen. Auch Schwebstoffe, Laub oder Treibgut können besonders bei offenen Systemen zu einer Minderung der Leistungsfähigkeit der Pumpe sorgen. Korrosion ist eine weitere Gefahr.<sup>109</sup>

Die Rückgabe von abgekühltem Flusswasser kann bei großen Pumpen zu einer Flussabkühlung sorgen. Das kann auch ein Problem darstellen, da es rechtliche Grenzwerte für Temperaturabsenkungen von Flüssen gibt. Im Regelfall werden diese allerdings nicht unterschritten. Sinkt die durchschnittliche Flusstemperatur langfristig ab, kann es sein, dass eine Anlage wirtschaftlich nicht mehr rentabel genug ist und außer Betrieb genommen wird.<sup>110</sup>

Abhängig von der Größe des Gewässers kann die Wärmepumpe Einfluss auf die Gewässerdynamik haben. Es muss daher darauf geachtet werden, die Strömung des Flusses beim Einsatz der Anlage nicht wesentlich zu verändern, um Sohl- und Böschungsstabilität beizubehalten. Bei größeren Flüssen darf die Pumpe den Schiffsverkehr auch nicht beeinträchtigen.<sup>111</sup>

<sup>109</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>110</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>111</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

Wasser als Wärmequelle hat zum einen den Vorteil, dass es eine hohe Wärmekapazität von 4,19 Kilojoule pro Kilogramm und Kelvin besitzt. Diese ist viermal so größer als die von Luft mit 1 Kilojoule pro Kilogramm und Kelvin.<sup>112</sup> Bei gleicher Abkühlung und gleichem Massestrom ist eine Flusswärmepumpe dadurch in der Lage ebenfalls eine viermal höhere Leistung zu erzielen.<sup>113</sup>

Des Weiteren ist der Wärmetauscher deutlich kleiner und damit platzsparender, als bei Luftwärmepumpen und Schallemissionen reduzieren sich auch, da keine Ventilatoren benötigt werden. Ein weiterer Vorteil gegenüber Luftwärmepumpen zeigt sich bei geringen Umgebungstemperaturen von unter 0°C in den kalten Jahreszeiten. Die Flusswärmepumpe besitzt in diesem Fall aufgrund der höheren und im Tagesverlauf relativ konstanten Temperatur des Wassers eine höhere Effizienz.<sup>114</sup>

Da in einem Fließgewässer ständig neues Wasser in den Wärmetauscher nachfließen kann, wird eine konstante Wärmeleistung gewährleistet. Dieser Vorteil gilt vor allem gegenüber Wärmepumpen von stehenden Gewässern, die Grundwasser nutzen oder gegenüber Erdsonden. Hier, im Gegensatz zu Flusswärmepumpen, ist die maximal entziehbare Wärmemenge nämlich an die oft sehr langsame Regeneration der Umgebung gekoppelt.<sup>115</sup>

Die erwähnte Flussabkühlung kann auch ein positiver Nebeneffekt sein, um in (durch den Klimawandel immer häufiger vorkommenden) Hitzeperioden überhitzte Gewässer abzukühlen.<sup>116</sup> Generell herrscht in Deutschlands Fließgewässern ein hohes nutzbares Wärmepotential. Bei größeren Flüssen übersteigt dieses Potential sogar signifikant den lokalen Bedarf.<sup>117</sup>

Ein aktuelles Projekt, das den aktuellen Stand der technischen Entwicklung von Flusswärmepumpen repräsentiert, ist die Flusswärmepumpe in Kuppenheim, Baden-Württemberg, an der Murg. Nach kompletter Fertigstellung sollen hier 144 Wohneinheiten von der Wärmeenergie profitieren.<sup>118</sup>

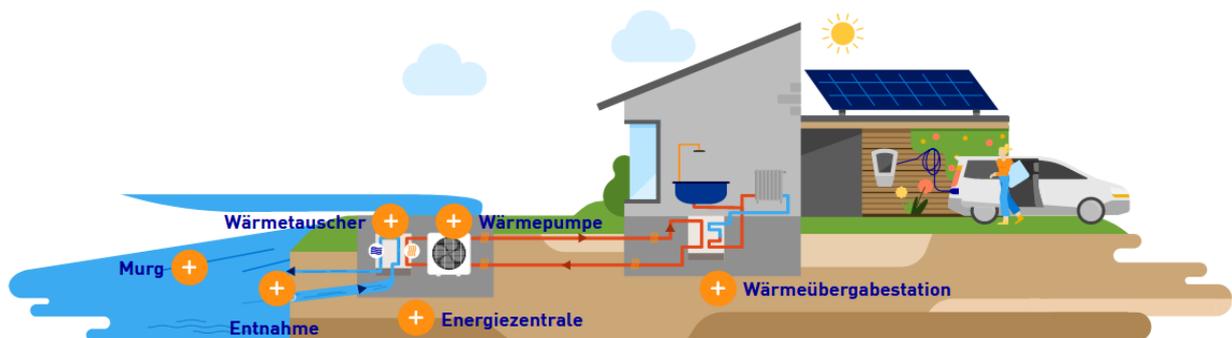


Abbildung 20: Funktionsprinzip der Flusswärmepumpe in Kuppenheim, Baden-Württemberg<sup>119</sup>

<sup>112</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>113</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>114</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>115</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>116</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>117</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>118</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>119</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

Bei der Entnahme des Flusswassers werden 40 Liter pro Sekunde der Murg entzogen, was bei einem durchschnittlichen Wasserfluss von 15.000 Liter pro Sekunde nur einen Bruchteil der Flusskapazität ausmacht. Bereits verwendetes und abgekühltes Flusswasser ist nur einige wenige Grad kühler als der Fluss und ist eine so geringe Menge, sodass sich die Flusstemperatur nicht ändert.<sup>120</sup>

Damit im Wasser lebende Tiere wie Frösche und Fische nicht versehentlich in die Anlage gelangen sind gibt es Schutzgitter und bei der Entnahmestelle ist eine Froschklappe installiert.<sup>121</sup>

Durch den Einsatz der Flusswärmepumpe in Kuppenheim soll das an das Nahwärmenetz der Pumpe angeschlossene Quartier mit 99 Tonnen CO<sub>2</sub> anstatt von 651 Tonne CO<sub>2</sub> pro Jahr produzieren und damit 85% der zum Heizen benötigten CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr einsparen. Des Weiteren ist dieses Quartier zu 73% unabhängig von externer Energie und hat damit einen außerordentlich hohen Autarkiegrad. (Blockheizkraftwerke haben lediglich einen Autarkiegrad von 9%.) Durch eine spezielle Methode eines Umlaufprozesses, die zu einer „partiellen Eiskristallisierung“ führt, kann selbst an kalten Wintertagen Flusswasser, das Minusgrade hat, noch zur Wärmegewinnung eingesetzt werden. (Diese soll allerdings von der EnBW zum Patent angemeldet werden).<sup>122</sup>

Die Energiekosten für Bewohner sind sehr gering, auch dadurch, dass im Quartier in Kuppenheim viele Photovoltaikanlagen sind bzw. eingeplant sind. Beispielsweise zahlt eine vierköpfige Familie in einer 75m<sup>2</sup> großen Wohnung im entsprechenden Quartier maximal 100 Euro pro Monat für Wärme bei einer Wärmeabnahme von 3.500 kWh.<sup>123</sup>

Ein Beispiel für eine laufende Flusswärmepumpe ist Lauterecken in Rheinland-Pfalz. Hier versorgt seit 2011 eine Flusswärmepumpe öffentliche und Privatgebäude vor Ort mit Wärme. Es werden hier ca. 10 Liter Flusswasser pro Sekunde entnommen und um 3°C abgekühlt. Die dadurch erzielte Heizwärmeleistung beträgt 500 kW und die jährliche gelieferte Energie beträgt 950 MWh.<sup>124</sup>

In Mannheim am Rhein wurde eine der größten Flusswärmepumpen Europas in Rahmen Reallabors der Energiewende „Großwärmepumpen in Fernwärmenetzen“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz in Betrieb genommen. Mit einer Kilowattsunde Strom soll sie das 2,7-fache an Wärme erzeugen können und besitzt eine thermische Leistung von 20 MW. Dadurch können Hochrechnungen zufolge rund 3.500 Haushalte mit Wärme versorgt werden. Die Investitionskosten der Wärmepumpen belaufen sich auf 15 Millionen Euro.<sup>125</sup>

Die Lage der Stadt Hattersheim mit zwei Ortsteilen direkt am Mainufer (Abfluss ca. 190.000 Liter/Sekunde) zeugt bereits jetzt von den hohen Potenzialen der Wärmeenergie mittels Flusswärmepumpe. Die Wärme kann zur Wärmeversorgung von Einzelobjekten oder (Mikro)-Nahwärmenetzen in der Nähe des Flusses genutzt werden. Im Rahmen des Klimaschutzkonzeptes wurde das theoretische energetische Potenzial auf Grundlage von Daten der Messstelle Raunheim/Main berechnet. Die tatsächliche Eignung des Mains für eine Wärmeentnahme mithilfe von Wärmepumpen wird nicht überprüft. In Deutschland ist hierfür stets eine Einzelfallprüfung

<sup>120</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>121</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>122</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>123</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>124</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>125</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

erforderlich, da Parameter wie die maximal erlaubte Abkühlung des Gewässers individuell untersucht und festgelegt werden müssen.

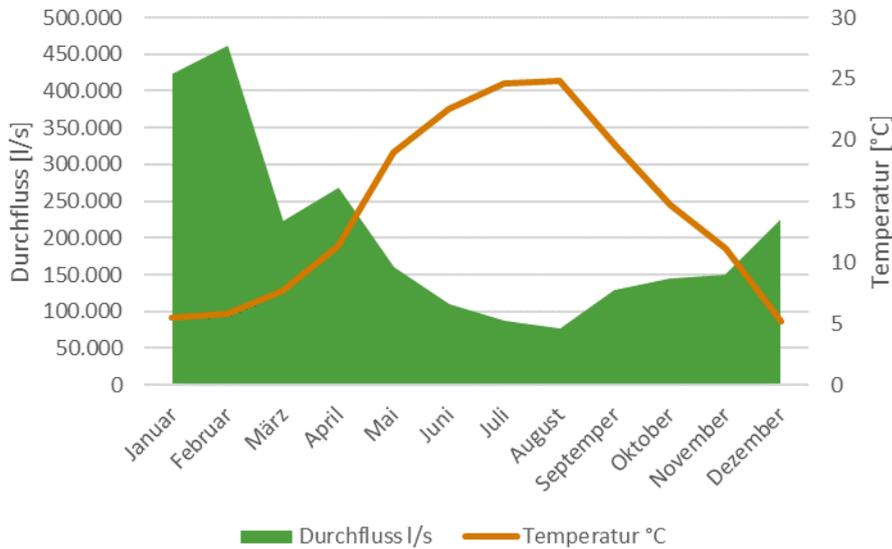


Abbildung 21: Darstellung der Durchflusswerte und durchschnittlichen Wassertemperatur an dem Messpunkt Raunheim/Main. Quelle der Daten: GKD Bayern. Eigene Darstellung der EnergyEffizienz GmbH

Unter der Annahme, dass nur 20% des Durchflusses für den Wärmeentzug genommen werden, errechnen sich die folgenden Werte.

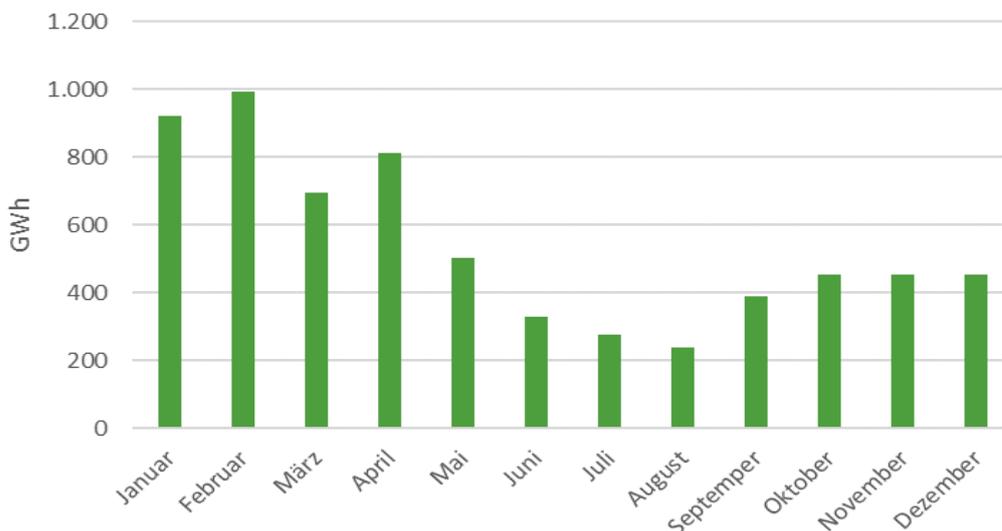


Abbildung 22: Darstellung der potenziellen Wärmeerträge im Jahresverlauf (Messpunkt Raunheim/Main). Eigene Darstellung der EnergyEffizienz GmbH.

Zusammengerechnet sind im Jahresverlauf theoretisch ca. 6.500 GWh Wärmeenergie zu gewinnen. Wird der geringste Durchfluss (August) als Richtwert genommen, lässt sich die folgende Einschätzung der Wärmepotenziale abbilden.

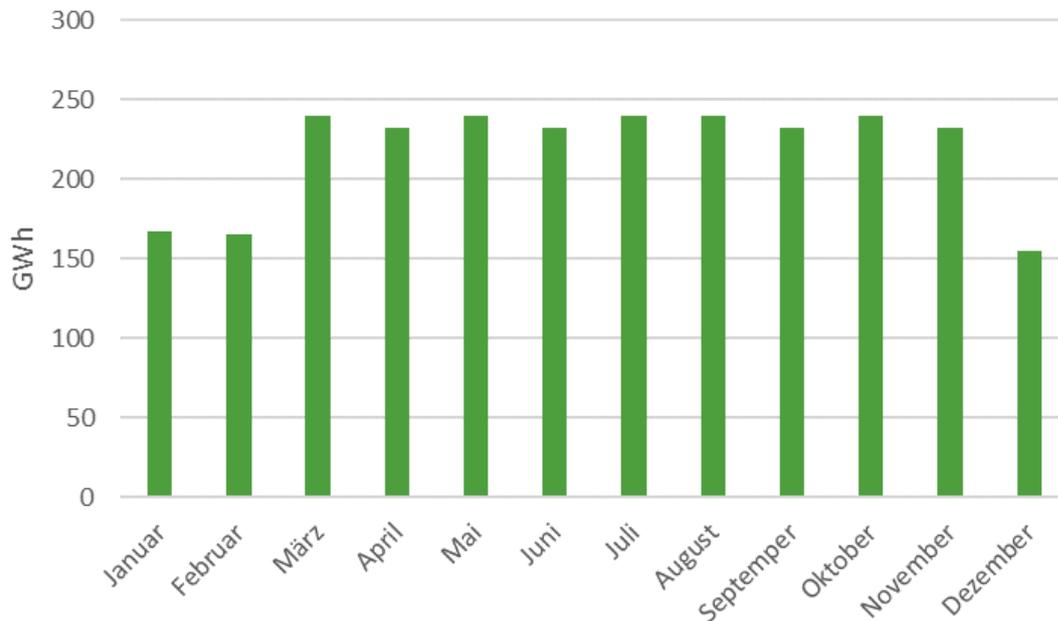


Abbildung 23: Darstellung der potenziellen Wärmeerträge im Jahresverlauf (Messpunkt Raunheim/Main; Richtwert: August). Eigene Darstellung der EnergyEffizienz GmbH.

Unter diesen Annahmen sind ca. 2.600 GWh Wärmeenergie erhältlich. Die Daten der durchgeführten Bilanzanalyse spiegeln den Wert i.H.v. ca. 283 GWh für die Abdeckung des lokalen Wärmebedarfs wider. Dies führt zur Schlussfolgerung, dass auch eine anteilige Nutzung der Wärmepotenziale von Main mittels der Flusswärmepumpe einen signifikanten Anteil an der Wärmenachfrage abdecken würde.

Weitere Möglichkeiten der Wärmegewinnung mit Hilfe der lokal vorhandenen Wasserressourcen sind auf das Erdwärmbrunnensystem zurückzuführen. Im Vergleich zu den schwankenden Wassertemperaturen im Fluss sind die Erdwärmbrunnensysteme auf relativ konstante Temperaturwerte der Grundgewässer angewiesen, was die Voraussagekraft bzgl. der energetischen Potenziale dieser Wärmeenergiequellen nur erhöht. In der Literatur werden allerdings solche Systeme hauptsächlich als Quellen der individuellen dezentralen Wärmeversorgung gesehen, während größere Anlagen sich eher auf dem Feld der klassischen Erdwärmesonden oder tiefen Geothermie finden lassen. Rein theoretisch eignen sich die Erdwärmbrunnensysteme auch für kleinmaßstäbige Gebäudekomplexe, ihre Effizienz und benötigte Anzahl ist allerdings nach einer genauen Vor-Ort-Analyse festzustellen.

#### a) Aquiferspeicher

Laut dem Fraunhofer-Institut werden in Deutschland 55 % der Endenergie für die Wärme- und Kälteerzeugung verwendet. Dabei fehlen Möglichkeiten, die überschüssige Wärme für den späteren Gebrauch zu speichern, sodass diese verloren geht.<sup>126</sup> In diesem Kapitel wird sich damit

<sup>126</sup> Es ist eine ungünstige Quelle angegeben.

auseinandergesetzt, ob in der Stadt Hattersheim sogenannte Aquiferspeicher (ATES) eine Option für nachhaltige Wärmespeicherung sind.

Bei dieser Form der Wärmespeicherung werden die Aquifere – Gesteinsformationen, die in bis zu mehreren 100 Metern Tiefe Grundwasser führen – genutzt, um Wärme zu speichern. Die Nutzung der Aquifere hat den Vorteil, dass keine externe Wärmedämmung benötigt wird, da das Gestein als Isolierung fungiert. Die Anwendungsmöglichkeiten von diesen Speichersystemen wurden in Deutschland bereits untersucht.<sup>127</sup> Eine Studie stellte außerdem fest, dass 54% der untersuchten Regionen in Deutschland für NT-ATES geeignet sind und sich die geeigneten Regionen aufgrund veränderter klimatischer Voraussetzungen um 13% erhöhen wird.<sup>128</sup> Eine Anwendung von ATES-Systemen in Deutschland ist also möglich, jedoch muss bei der Umsetzung einiges beachtet werden, worauf im nächsten Abschnitt eingegangen wird.

Ein ATES-System kann sowohl für die Wärmespeicherung als auch für die Kältespeicherung genutzt werden. Dabei wird in einem ersten Schritt Grundwasser aus einem Brunnen entnommen, welches nun z. B. solarthermisch erwärmt wird. Nun wird eine zweite Bohrung vorgenommen, die das erwärmte Wasser wieder in den gleichen Aquifer zurückführt. An dieser Injektionsbohrung entsteht ein Bereich mit höherer Temperatur, welcher im Winter wieder abgebaut wird, wenn die Förderrichtung umgekehrt wird. Im Sommer kann durch eine Umkehr der Fließrichtung kaltes Wasser aus dem Speicher entnommen werden.<sup>129</sup> Da der Wasserkreislauf mit Pumpen an beiden Bohrlöchern betrieben wird, ist es möglich die Anlage von beiden Richtungen zu Durchströmen (bidirektionales System).<sup>130</sup> Gleichzeitig sollte hierbei beachtet werden, dass mit größeren eingespeicherten Wärmemengen auch die Wärmeverluste ansteigen, weshalb sich besonders eine Einspeicherung auf einem niedrigen Temperaturniveau empfiehlt. Ein ATES-System mit einer niedrigen Speichertemperatur (bis zu 25 Grad) wird als Niedrigtemperatur-Aquiferspeicher (NT-ATES) bezeichnet. Aquiferspeicher mit einer Speichertemperatur ab 50 Grad wird als Hochtemperatur-Aquiferspeicher (HT-ATES) bezeichnet.<sup>131</sup> In so einem System ist es wichtig einen thermischen Kurzschluss (gegenseitige Beeinflussung) der Anlagen zu vermeiden. Dies erreicht man dadurch, wenn man den Umfang der Wärmespeicherung, die Grundwasserströmungsrichtung und die Fließgeschwindigkeit miteinbezieht und die Anlagen mit genügend Abstand zueinander einbringt.<sup>132</sup> Da diese Punkte für die Implementierung eines ATES-System erfüllt sein müssen, gibt es mehrere Voraussetzungen für den Betrieb eines ATES-Systems. Auf diese werden im nächsten Abschnitt genauer eingegangen.

Eine erste Recherche über die eigenen geothermischen Potenziale kann über das geothermische Informationssystem (GeotIS) erfolgen. Die weiteren hydrogeologischen Voraussetzungen sollten im Rahmen einer Machbarkeitsstudie/seismischen Untersuchungen überprüft werden. Eine solche Analyse beinhaltet laut dem Bundesverband für Geothermie (2020) zum Beispiel solche Untersuchungen:

---

<sup>127</sup> (Bundesverband Geothermie e. V., 2020)

<sup>128</sup> **Es ist eine ungültige Quelle angegeben.**

<sup>129</sup> (Bundesverband Geothermie e. V., 2020)

<sup>130</sup> **Es ist eine ungültige Quelle angegeben.**

<sup>131</sup> (Stemmler et al. 2022)

<sup>132</sup> (Bundesverband Geothermie e. V., 2020)

- Eine geringe Grundwasserströmung im Ruhezustand (für ein bidirektionalen Betrieb)<sup>133</sup>
- Schichtenabfolge des Bodens
- Lage und Neigung des Grundwasserspiegels
- Hydraulische Durchlässigkeit des Untergrunds
- Die Strömungsgeschwindigkeit und -richtung des Grundwassers

Weiterhin ist zu beachten, dass wenn Temperaturen von über 50 Grad erreicht werden, es je nach Beschaffenheit des Grundwassers zu chemischen und physikalischen Veränderungen kommen kann. Im schlimmsten Fall kann dies zum Erliegen der Förderung führen, sollten keine Maßnahmen ergriffen werden. Rechtlich ist hier auch zu beachten, dass Einleitungen von Wasser wasserrechtlich genehmigt werden müssen, vor allem in Trinkwassergebieten ist es normalerweise nur innerhalb der erweiterten Schutzzone mögliche Aquiferspeicher zu errichten.<sup>134</sup> Eine hydrogeologische Prüfung kann auch aufzeigen, ob es nicht nur möglich ist dort Wärme zu speichern, sondern ob es sich auch lohnt, dort ein ATEs-System zu bauen.<sup>135</sup> Gebiete die nachgewiesen ein hohes hydrothermisches Potenzial besitzen, sind das Norddeutsche Becken, der Oberrheingraben und das Süddeutsche Molassebecken.<sup>136</sup> Die Stadt Hattersheim liegt am Rand des Oberrheingrabens. Hier müssen seismische Untersuchungen über den Boden und die hydrologischen Voraussetzungen gemacht werden, um zu überprüfen, ob es Gebiete in Hattersheim gibt, die für den Betrieb eines ATEs-Systems geeignet sind. Selbst wenn die Analyse keine nutzbaren Aquifere aufweisen, können andere Geothermie-Techniken wie Erdwärmesonden eine Option für die Gemeinde sein.<sup>137</sup>

Ort	Einsatz	Allgemeine Informationen
Rostock (HT-ATES)	Heizen eines Mehrfamiliengebäudes	Kollektorfläche: 980 m <sup>2</sup> , Speichervolumen: 20.000 m <sup>3</sup> Investitionskosten: 1,02 Mio. <sup>138</sup>
Bonn (NT-ATES)	Heizen und Kühlen eines Hotels	80 Prozent der Wärme- und Kälteversorgung der Gebäude mit einer Gesamtfläche von rund 60.000 Quadratmetern, Ersparnis: 1.700 Megawattstunden Energie sowie 400 Tonnen CO <sub>2</sub> <sup>139</sup>
Berlin	Heizen und Kühlen eines Regierungsgebäudes	Fördervolumen: 100 m <sup>3</sup> /h (warm), 5 mal 60 m <sup>3</sup> /h (kalt) <sup>140</sup>

Tabelle 112: Aquifer-Wärmespeicher in Deutschland

Obwohl es ein großes Nutzungspotential für Aquiferspeicher gibt, sind diese aufgrund fehlender Anreizprogramme, mangelnder Kenntnisse und nicht vorhandener Pilot-Anlagen in Deutschland nicht weit verbreitet.<sup>141</sup> Deshalb sind für die derzeit in Deutschland existierenden ATEs-Systeme techno-ökonomische Analysen nicht vorhanden.<sup>142</sup> Ein Projekt, das zukünftig Beachtung erhalten sollte, ist: Speichercity. Dieses forscht seit 2022 an Modellen, die die Systemintegration von Aquiferspeichern an

<sup>133</sup> (Platzhalter11)

<sup>134</sup> (Bundesverband Geothermie e. V., 2020)

<sup>135</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>136</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>137</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>138</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>139</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>140</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>141</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>142</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

verschiedenen Standorten erlauben sollen (<https://speichercity.geo.uni-halle.de/>). Selbst wenn es für Deutschland noch keine Analysen der Wirtschaftlichkeit der Aquiferspeichern gibt, kann auf Studienergebnisse aus dem Ausland zurückgegriffen werden, um abzuschätzen, ob sich der Einsatz für eine Region lohnt. Wenn man sich die Verteilung von ATES-Systemen anschaut, kann gesehen werden, dass 85 % dieser in den Niederlanden und 10 % in Schweden, Belgien und Dänemark lokalisiert sind.<sup>143</sup> Gleichzeitig muss auch bedacht werden, dass jeder Aquifer vom Aufbau variiert<sup>144</sup> und deshalb ein Abschätzen der Investitionskosten aufgrund der maximalen Kapazität des Speichers erfolgen sollte.<sup>145</sup> Kleine System mit unter 100 kW Leistung können Kosten von 10.000 Euro plus 525 Euro pro Kilowattstunde erwartet werden. Für große Systeme über 100 kW Leistung können die Kosten folgendermaßen abgeschätzt werden:  $\text{€}69,860 \cdot \ln(\text{kW}/6.69) - \text{€}109,000$ .<sup>146</sup>

Dabei stellte eine Studie über die Nutzungsmöglichkeiten von Aquiferspeichern in spanischen Territorien fest, dass durch ein tertiäre ATES-System jährlich 78 Tonnen CO<sub>2</sub> (Reduzierung der Emissionen um 63%) eingespart werden könnten. Für den Wohnsektor können jährliche Emissionen von 0,61 Tonnen CO<sub>2</sub> vermieden werden. Insgesamt wurden bis zu 68 % Einsparungen von Treibhausgasemissionen durch die Nutzung von Aquiferen im Vergleich zu Referenzsystemen prognostiziert.<sup>147</sup> Weiterhin stellte die Studie fest, dass 91 % der Energie für das Heizen und Kühlen in tertiären Gebäuden und 70% in Privathaushalten, welche in der Nähe eines geeigneten Aquifers liegen, eingespart werden können. Gleichzeitig muss beachtet werden, dass ATES-Systeme hohe Investitions- sowie Instandhaltungskosten haben, weshalb sich Amortisationszeit für den tertiären und den privaten Sektor auf 10-18 Jahre beläuft.

### 3.2.11.7 Exkurs: kalte Nahwärme

Eine moderne Form der Nahwärmenetze stellen kalte Nahwärmenetze dar. Sie werden aktuell ausschließlich in Neubaugebieten eingesetzt, da dafür ein hoher energetischer Standard der Gebäude Voraussetzung ist. Hierbei wird im Nahwärmenetz Wasser mit einer Temperatur von ca. 10 – 12 °C zirkuliert<sup>148</sup>. Die Temperaturerhöhung erfolgt dezentral in jedem Gebäude einzeln mit auf den Bedarf angepassten Wärmepumpen-Größen. Auch hier empfiehlt sich jeweils der Betrieb mithilfe einer eigenen Photovoltaik-Anlage. Folgende Vorteile ergeben sich:

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

In Bestandsgebieten wurden kalte Nahwärmenetze bisher noch nicht verbaut.

<sup>143</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>144</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>145</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>146</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>147</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>148</sup> (Bundesverband Geothermie e.V., 2023)

### 3.2.11.8 Szenarien

Für die Szenarien werden folgende Annahmen getroffen:

#### 3.2.11.9 Referenzszenario

Im Referenzszenario wird kein weiterer Ausbau von Nahwärme angenommen.

#### 3.2.11.10 Klimaschutzszenario

Bis 2030 werden 3 weitere Nahwärmenetze á 50 Wohngebäuden sowie bis 2045 insgesamt 10 Nahwärmenetze für den Anschluss privater Wohngebäude gebaut. Im gewerblichen Sektor werden bis 2045 insgesamt 22 Nahwärmenetze a 50 gewerbliche Gebäude (je 36 MWh Wärmeverbrauch) installiert; inwiefern kleinere oder größere sowie gemischte Nahwärmnetze aus Haushalten und dem Gewerbe gebaut werden, hängt von den lokalen Gegebenheiten ab. Die komplette Nahwärmeversorgung beruht auf regenerativen Wärmequellen (Biomasse, Wärmepumpen, Solarthermie, industrielle Abwärme etc.). Die prozentualen Anteile des jeweiligen Energieträgers sind den deutschlandweiten Studien (Agora, UBA, Prognos) zu entnehmen. Bis 2045 werden so ca. 53.000 MWh/a über Nahwärme bereitgestellt, was fast einem Drittel der gesamtstädtischen Wärmeversorgung entspricht. Die Emissionseinsparung hängt direkt von der Konstellation der Energieträger ab.

### 3.2.12 Wasserstoff

Zur Nutzung von Wasserstoff gibt es bundesweit verschiedene Pilotprojekte und die Thematik wurde mit der Wasserstoffstrategie auch auf die politische Agenda gesetzt. Der Einsatz wird vorwiegend für den industriellen Sektor vorgesehen, um dort bisherige Gasverbräuche auf eine klimafreundliche Alternative umzustellen, sofern es sich um grünen Wasserstoff handelt. Bezüglich der Nutzung von Wasserstoff über die bestehenden Gasnetze sind die weiteren technologischen und politischen Entwicklungen abzuwarten. Verbunden mit erheblichen Unsicherheiten bezüglich der Verfügbarkeit und der Wirtschaftlichkeit wird dennoch für das Klimaschutzszenario für die Stadt Hattersheim angenommen, dass rund 10 % des industriellen Wärmebedarfs über Wasserstoff gedeckt wird.

### 3.2.13 Fazit zum Wärmesektor

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

#### 3.2.13.1 Wohngebäude

Durch Sanierungsmaßnahmen sowie eine Umstellung auf regenerative Energieträger kann unter den getroffenen Annahmen im Wohngebäudebereich bis **2045** eine **Emissionsreduktion von 36 % im Referenzszenario** und **98 % im Klimaschutzszenario** erreicht werden. Für 2030 wird **im Referenzszenario** eine Emissionsreduktion um 29 % und **im Klimaschutzszenario** um 66 % erwartet. Relevant für die sehr hohe Emissionsreduktionsrate im Klimaschutzszenario sind insbesondere Sanierungsmaßnahmen sowie eine Umstellung der Energieträger auf einen Mix aus Wärmepumpen, Biomasse und Nahwärme. Auch bei der Nahwärme selbst ist die Nutzung regenerativer Energiequellen (Abwärme, Umweltwärme, Biomasse etc.) entscheidend.

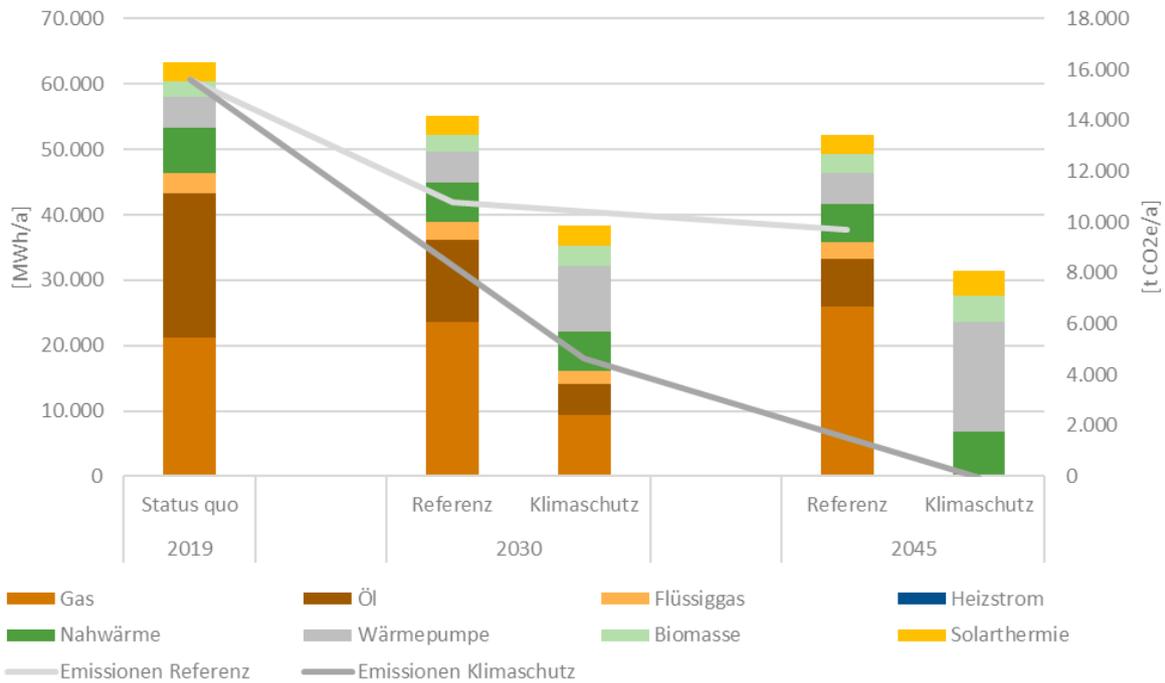


Abbildung 24: Entwicklung der Energieversorgung und Emissionen für Wärme im Wohngebäudesektor nach Szenarien

### 3.2.13.2 Gewerbe, Handel & Dienstleistungen

Im gewerblichen Sektor wird bis **2045** eine **Emissionsreduktion von 39 % im Referenzszenario** und eine **Emissionsreduktion von 97 % im Klimaschutzszenario** erreicht. Für 2030 wird **im Referenzszenario** eine Emissionsenkung um **21 %** und **im Klimaschutzszenario** um **59 %** erwartet. Für die höhere Emissionsreduktion im Klimaschutzszenario relevant sind insbesondere Effizienz- und Einsparmaßnahmen sowie eine Umstellung der Energieträger auf Wärmepumpen, Biomasse und Nahwärme. Auch bei der Nahwärme selbst ist die Nutzung regenerativer Energiequellen (Abwärme, Umweltwärme, Biomasse etc.) entscheidend.

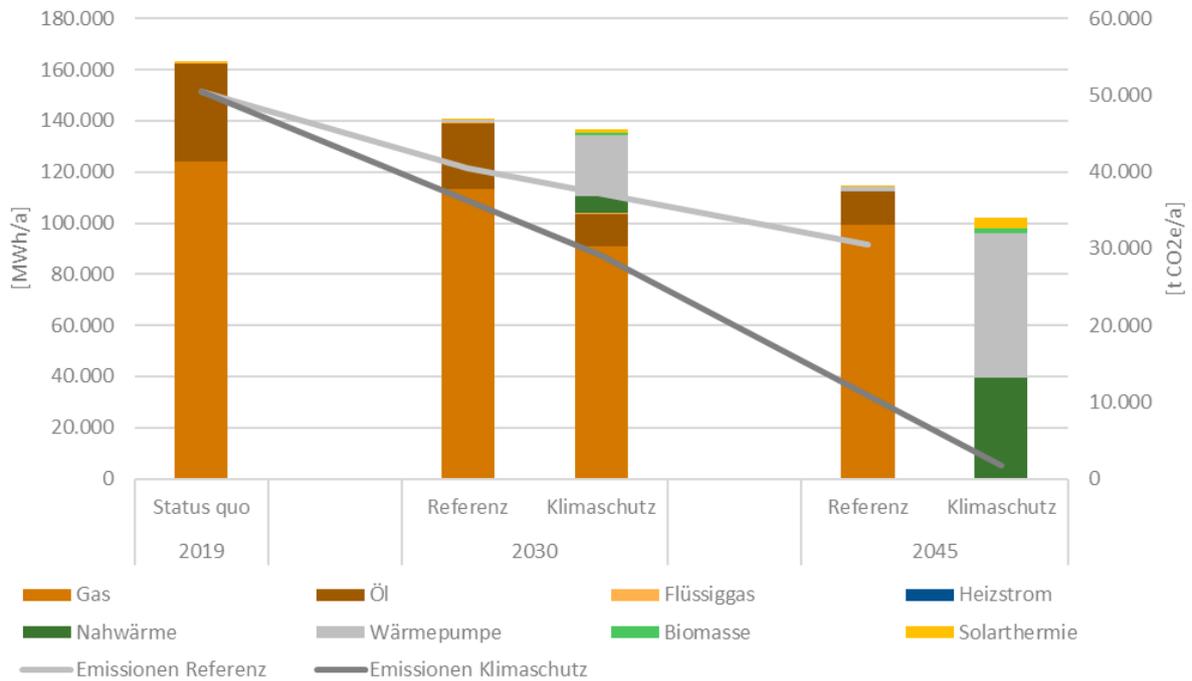


Abbildung 25: Entwicklung der Energieversorgung und Emissionen für Wärme im GHD-Sektor nach Szenarien

### 3.2.13.3 Industrie

Im industriellen Sektor wird bis **2045** eine **Emissionsreduktion um ca. 13 % im Referenzszenario** und **um rund 90 % im Klimaschutzszenario** erreicht. Für 2030 wird **im Referenzszenario** eine Emissionsreduktion um **ca. 3 %** und **im Klimaschutzszenario um rund 33 %** erwartet. Relevant sind dafür insbesondere Effizienz- und Einsparmaßnahmen sowie eine Umstellung der Energieträger. Hierbei kommt sowohl die verstärkte Nutzung von Strom für prozessbedingte Energieverbräuche sowie Wasserstoff (vgl. 3.2.12) zum Tragen. Daneben sind sowohl Wärmepumpen als auch Nahwärmelösungen notwendig.

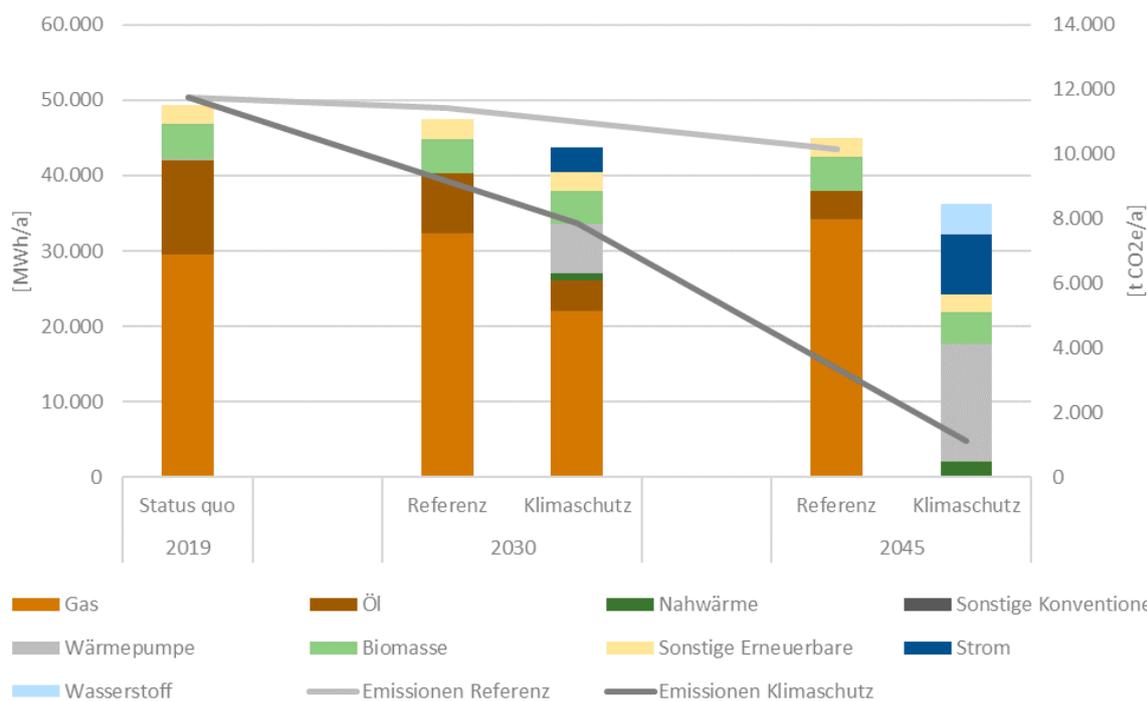


Abbildung 26: Entwicklung der Energieversorgung und Emissionen für Wärme im industriellen Sektor nach Szenarien

Um die dargestellten Veränderungen in der Stadt Hattersheim zu realisieren, sind massive Umstrukturierungen in den kommenden Jahren erforderlich. Die weitere Sanierung der kommunalen Liegenschaften als Vorbildfunktion liegt innerhalb der direkten kommunalen Einflussmöglichkeiten und sollte zielgerichtet angegangen werden. Im Bereich der privaten Wohngebäude sind intensive Bewerbungs-, Informations- und Beratungsmaßnahmen notwendig. Auch die klimagerechte Bauleitplanung und Empfehlungen seitens der Stadt können wichtige Schritte beim Neubau darstellen. Insbesondere wird ein quartiersspezifisches Vorgehen empfohlen. Im gewerblichen und industriellen Bereich sollte ebenso auf Öffentlichkeitsarbeit und Kooperation gesetzt werden. Es gibt verschiedene Handlungsmöglichkeiten, darunter kommunale Förderungen in Bezug auf energetische Standards in Gewerbegebieten. Darüber hinaus spielen bundesweite Entwicklungen in Bezug auf Fördermittel und weitere Rahmenbedingungen eine relevante Rolle.

## 3.3 Verkehrssektor

### 3.3.1 Fuhrpark

Wie in der Bilanz beschrieben, ist der Fuhrpark der Stadt Hattersheim für einen Kraftstoffverbrauch von < 1 % des gesamten Verkehrsverbrauchs der Stadt verantwortlich. Das entspricht einem Anteil an den gesamten kommunalen Energieverbräuchen von ebenfalls < 1 %. Im Betrachtungsjahr 2019 wurde kein E-Auto genutzt. 65 % des Kraftstoffverbrauchs wurde über Benzin, der Rest über Diesel gedeckt. Die Möglichkeiten zur klimafreundlichen Gestaltung kommunaler Dienstfahrten sind vielfältig. Durch die verstärkte Nutzung von Online-Meetings und der konsequenten Umsetzung wird die Anzahl der Dienstfahrten verringert. Der ÖPNV kann durch Anreize oder Vorgaben als das bevorzugte Fortbewegungsmittel für Dienstfahrten etabliert werden. Wo die Nutzung eines eigenen Fahrzeugs weiter erforderlich bleibt, ist die Nutzung alternativer klimafreundlicher Antriebe zu prüfen. Dies wird vielerorts bereits vorangetrieben. Während für Dienst-Pkws elektrische Alternativen eine gute Möglichkeit darstellen, bietet sich für leichte und schwere Nutzfahrzeuge auch der Umstieg auf wasserstoffbetriebene Fahrzeuge an. Es bestehen hierzu Fördermittel auf Bundesebene über den Umweltbonus von 4.500 € für die Preiskategorie bis 40.000 € Anschaffungspreis und 3.000 € für die Preiskategorie ab 40.000 €<sup>149</sup>. Ab 2024 werden die Förderungen weiter reduziert. Ein interessantes Pilotprojekt zur Umrüstung des kommunalen Fuhrparks ist z.B. die Strategie der Aachener Stadtverwaltung, welche Stand 2021 bereits 50 % des eigenen Pkw-Fuhrparks auf Elektrofahrzeuge umgerüstet hat, sowie mehrere Sonderfahrzeuge mit Elektro- oder Wasserstoffantrieb unterhalten. Gleichzeitig wird für Dienstfahrten ein multimodales Konzept umgesetzt, welches eine Rangfolge zu nutzender Fortbewegungsmittel für Dienstfahrten vorsieht. Die Nutzung des eigenen Pkws ist dabei ausgeschlossen, nach den Alternativen ÖPNV oder elektrifizierter Fuhrpark ist die Nutzung der Fahrzeuge des lokalen Car-Sharing-Anbieters vorgesehen.<sup>150</sup>

Auch wenn die Hin- und Rückfahrten zum Arbeitsort der Beschäftigten der Stadt an dieser Stelle nicht miterfasst wurden, bietet die Erlaubnis von mobilem Arbeiten ein deutliches Potenzial zur Reduktion der täglich mit dem Pkw zurückgelegten Fahrten. Betriebliche Angebote wie Jobtickets für den ÖPNV, Bahnkarten für die Beschäftigten, die auch privat genutzt werden können, sind weitere Optionen, um Anreize zur Nutzung klimafreundlicher Fortbewegungsmittel zu schaffen.

Die Dominanz der fossilen Kraftstoffe neben verschiedenen Handlungsoptionen zeigt, dass beim kommunalen Fuhrpark ein großes Potenzial zur Emissionsreduktion besteht. Gleichzeitig bietet der Fuhrpark die Möglichkeit, als Vorbild für Bürger und Unternehmen zu agieren und so andere Akteure ebenfalls zum Handeln zu motivieren.

<sup>149</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

<sup>150</sup> Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

### 3.3.2 Gesamtverkehr

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

Darüber hinaus befindet sich auch die Fahrzeugtechnologie in einem Wandel – insbesondere bei Elektrofahrzeugen ist die Nachfrage seit Mitte 2020 deutlich angestiegen. Dazu gehören rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge, Plug-In-Hybride sowie Brennstoffzellenfahrzeuge. Der Hauptgrund für die erhöhte Nachfrage ist wohl vor allem die Einführung der Innovationsprämie am 08. Juli 2020. Damit wurde die Förderung beim Kauf von Elektrofahrzeugen von der Bundesregierung verdoppelt. Zusätzlich werden Forschungsvorhaben im Bereich der Elektromobilität sowie der Ausbau der Ladeinfrastruktur im öffentlichen und privaten Bereich gefördert. Um die Klimaziele des Bundes für 2030 zu erreichen, wird davon ausgegangen, dass der derzeitige Wert von einer Millionen Elektrofahrzeugen in Deutschland bis 2030 auf 14 Millionen erhöht werden muss.<sup>151</sup> In Zukunft wird der Elektromotor deutlich an Bedeutung gewinnen. Ab 2035 dürfen keine Verbrennungsmotoren, sondern ausschließlich emissionsfreie Pkws zugelassen werden. Sollte dieser Wandel mit den dazugehörigen Maßnahmen (Ausbau der Ladeinfrastruktur, Ausbau der Fahrradwege, Entwicklung des ÖPNV-Sektors) stattfinden, ist mit einer erheblichen Emissionseinsparung im Verkehrssektor in der Stadt zu rechnen.

In den einzelnen Szenarien werden Annahmen für die zukünftige Entwicklung des motorisierten Individualverkehrs (MIV), des gewerblichen Verkehrs und des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) getroffen. Diese werden aus der Studie „Renewability III – Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors“, welche durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit in Auftrag gegeben wurde, abgeleitet<sup>152</sup>. Ergänzt werden die Annahmen insbesondere im „Klimaschutzszenario“ durch Ergebnisse der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“<sup>153</sup>. Für die Analyse der Einsparpotenziale werden die Änderungen der Fahrleistungen von Pkw, ÖPNV, Lkw und LNF und die Anteile von E-Antrieben betrachtet. Es ergeben sich folgende Prognosen bis 2045.

---

<sup>151</sup> (BMW, 2021)

<sup>152</sup> (Öko-Institut e.V, 2016)

<sup>153</sup> (Prognos, 2021)

	2030		2045	
	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz
<b>MIV: Änderung der Fahrleistung</b>	+ 8 %	- 5 %	+ 8 %	- 20 %
<b>ÖPNV: Änderung der Fahrleistung</b>	+ 3 %	+ 18 %	- 2 %	+ 27 %
<b>LKW: Änderung der Fahrleistung</b>	+ 22 %	+ 8 %	+ 47 %	+ 10 %
<b>LNF: Änderung der Fahrleistung</b>	+ 22 %	+ 18 %	+ 47 %	+ 37 %

Tabelle 12: Prognosen für die Fahrleistung im Verkehrssektor 2019-2030/2045

	2030			2045	
	Status quo	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz
<b>Benzin</b>	49 %	42 %	15 %	35 %	0 %
<b>Diesel</b>	45 %	41 %	27 %	38 %	0 %
<b>Strom</b>	0 %	11 %	52 %	21 %	97 %

Tabelle 13: Prognose für die Fahrzeugantriebe PKW im Verkehrssektor 2030/2045

	2030			2045	
	Status quo	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz
<b>Diesel</b>	94 %	86 %	32 %	69 %	0 %
<b>Strom</b>	0 %	7 %	47 %	19 %	68 %
<b>Wasserstoff</b>	0 %	1 %	16 %	6 %	30 %

Tabelle 14: Prognosen für die Fahrzeugantriebe LKW im Verkehrssektor 2030/2045

	2030			2045	
	Status quo	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz
<b>Benzin</b>	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %
<b>Diesel</b>	90 %	82 %	45 %	72 %	1 %
<b>Strom</b>	0 %	8 %	46 %	19 %	80 %
<b>Wasserstoff</b>	0 %	0 %	0 %	0 %	9 %

Tabelle 15: Prognosen für die Fahrzeugantriebe LNF im Verkehrssektor 2030/2045

Durch die getroffenen Annahmen verändern sich die Emissionen, wie in der folgenden Grafik dargestellt. Insgesamt ergibt sich im Referenzszenario bis 2030 eine Zunahme der Emissionen (ca. 12.500 t CO<sub>2</sub>/a, d.h. 35 %). Bis 2045 ist eine Zunahme der Emissionen (im Vergleich zum Status quo) ebenso festzustellen, allerdings um ca. 25 % (9.000 t CO<sub>2</sub>/a). Im Klimaschutzszenario würde unter den getroffenen Annahmen eine Reduktion bis 2030 um 26 % (9.300 t CO<sub>2</sub>/a) und bis 2045 eine Senkung um 84 % (30.400 t CO<sub>2</sub>/a) erreicht werden.

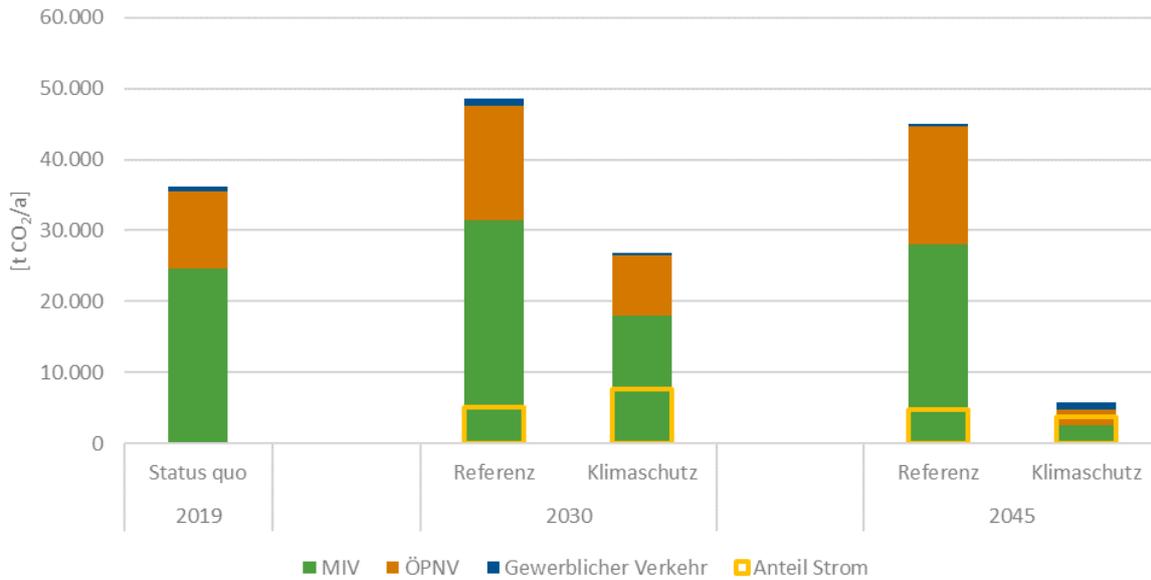


Abbildung 27: Entwicklung der Emissionen im Verkehrssektor (Status quo und Zukunftsszenarien in 2030/2040)

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

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

Nicht zu vergessen ist jedoch auch der Einfluss der Verhaltensänderungen der Bevölkerung. In der Summe tragen Einwohner\*innen auch durch kurze Wege, wie die tägliche Fahrt zur Arbeit oder die regelmäßig zurückgelegte Strecke zum Supermarkt, zu einem großen Anteil an CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stadt bei. Dabei können einige Strecken mittels des Umweltverbunds, d.h. mit dem ÖPNV, per Fahrrad oder zu Fuß, zurückgelegt werden, um Emissionen zu vermeiden. Hier können Verbesserungen der Rad- und Fußwege sowie des ÖPNV und gezielte Bewerbung einen positiven Effekt erzielen.

### 3.3.3 STADTRADELN

STADTRADELN ist eine nach Nürnberger Vorbild weiterentwickelte Kampagne des Klima-Bündnis, das größte Netzwerk von Städten, Gemeinden und Landkreise zum Weltklimaschutz und Radverkehrsförderung. Ziele sind, Bürgern zur Benutzung des Fahrrads im Alltag zu sensibilisieren und die Themen Fahrradnutzung und Radverkehrsplanung verstärkt in die kommunalen Parlamente einzubringen. Kommunalpolitiker als die lokalen Entscheider in Sachen Radverkehr sollen im wahrsten Sinne des Wortes verstärkt „erfahren“, was es bedeutet, in der eigenen Kommune mit dem Rad unterwegs zu sein und Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssituation für Radfahrer anstoßen, umzusetzen, ihre Vorbildfunktion wahrnehmen und nutzen, um durch positive Beispiele andere zum Radfahren zu ermuntern. Darüber hinaus sollen auch Bürger, Schüler, Vereine und Pendler dazu animiert werden, das Auto stehen zu lassen und für die regelmäßigen Wege das Fahrrad zu nutzen.

Beim Wettbewerb geht es um Spaß am und beim Fahrradfahren, tolle Preise und darum, möglichst viele für das Umsteigen auf das Fahrrad im Alltag zu gewinnen und dadurch einen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion und zum Klimaschutz zu leisten. Die Stadt Hattersheim am Main hat bereits 2015 am STADTRADELN teilgenommen und plant, dieses Projekt in den nächsten Jahren kontinuierlich fortzuführen und auszubauen.

### 3.3.4 Zusammenfassung der Potenziale

In diesem Abschnitt wird untersucht, wie sich die Potenziale der einzelnen Sektoren Strom, Wärme und Verkehr auf die Treibhausgasbilanz in der Stadt auswirken. Abb. 28 stellt die Treibhausgasbilanz des Status quo und der einzelnen Szenarien dar. **Bis 2030** kann im **Referenzszenario** eine **Emissionsreduktion von 10 %** und im **Klimaschutzszenario von 48 %** erreicht werden. **Bis 2045** kann im **Referenzszenario** ein Anteil der Emissionen von **29 %** und im **Klimaschutzszenario von 93 %** eingespart werden. Dabei ist zu beachten, dass der Stromverbrauch für E-Mobilität dem Sektor Verkehr zugeordnet ist.

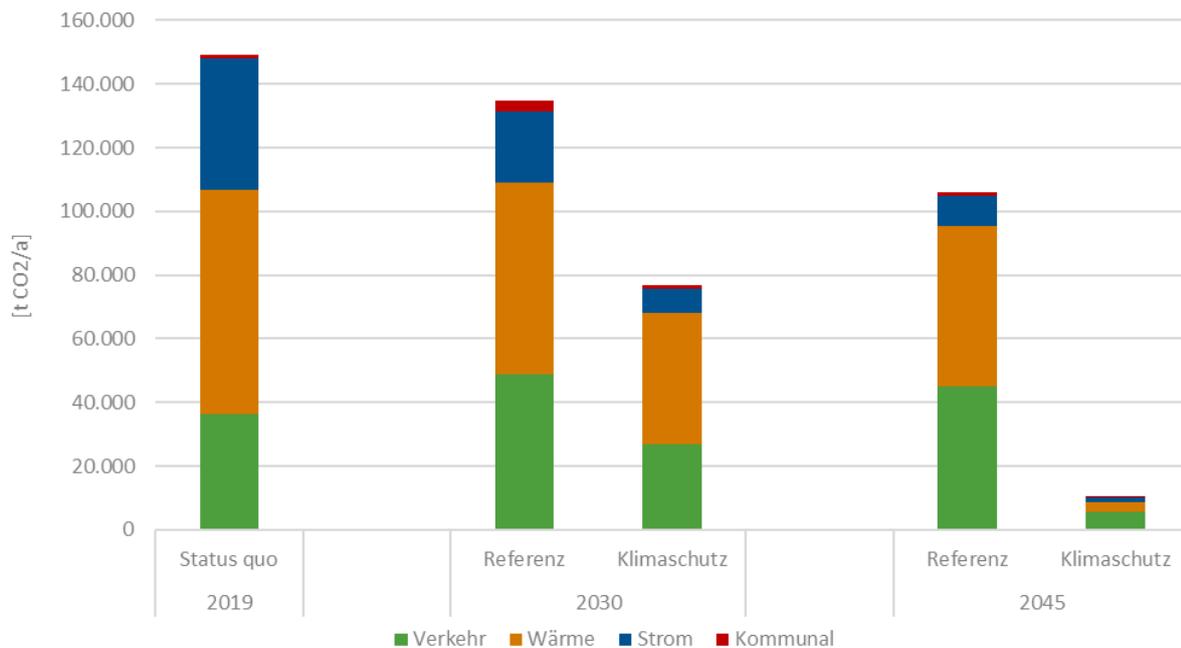


Abbildung 28: Gesamtemissionen nach Sektoren und Szenarien

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

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

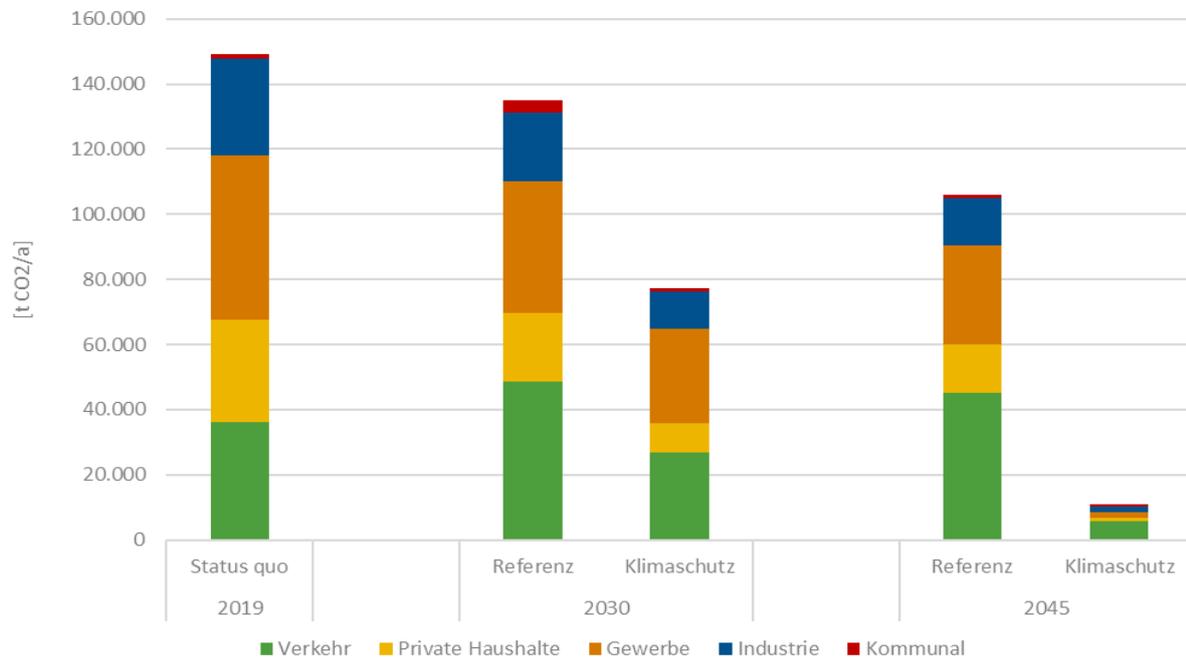


Abbildung 29: Gesamtemissionen nach Verbrauchergruppen und Szenarien

Die dargestellten Szenarien zeigen, dass für eine Treibhausgasneutralität überaus ambitionierte Maßnahmen und das Engagement aller Akteure notwendig sind. Wird der Klimaschutz aktiv angegangen, sind deutliche Emissionsminderungen möglich. Hierzu sind folgende Punkte zu beachten: Zum einen können nach BSKO-Standard, welcher zur Erstellung von kommunalen Energie- und Treibhausgasbilanzen anzuwenden ist, Ökostrom und Emissionssenkungen derzeit nicht angerechnet werden - der Standard befindet sich jedoch in Überarbeitung. Zum anderen beruhen die getroffenen Annahmen auf den derzeit bestehenden Rahmenbedingungen. Gesetzliche Regelungen und Pflichten sowie technologische Verbesserungen und die Entwicklung neuer technischer Möglichkeiten können wichtige Parameter zur Zielerreichung grundlegend verbessern.

### 3.3.4 Reduktionspfad hin zur Klimaneutralität

Um den zeitlichen Rahmen für das beschlossene Ziel der Klimaneutralität für die Stadt Hattersheim bis 2045 zu betrachten, wird im Folgenden ein möglicher Emissionsreduktionspfad dargestellt. Er basiert auf dem erstellten Klimaneutralitätsszenario. Die untenstehende Abbildung stellt die als linear angenommene Reduktion bis zum Zieljahr 2045 nach Sektoren aufgeschlüsselt dar. Laut dem linearen Reduktionspfad muss die Stadt ca. 5.700 t CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr (2019 - 2045) reduzieren. Werden die einzelnen Sektoren bezüglich der Reduktionsziele betrachtet, ist im Stromsektor die Reduktion von ca. 1.600 t, im Wärmesektor – ca. 2.700 t und im Verkehrsbereich – rund 1.400 t zu erwarten. Wird in Betracht genommen, dass die Kosten der Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen jährlich steigen, ist eine intensive Aktivität der Stadt in den entsprechenden Feldern bis zum Zwischenjahr 2030 zu erwarten. Außerdem erscheint es möglich zu sein, die größten Emissionsquellen mit nachhaltigen Alternativen zu ersetzen (bspw. Umtausch von maßgeblichen Kapazitäten der Strom- und/oder Wärmeerzeugungsanlagen). Daraus resultiert für 2030 das Zwischenziel einer Emissionsreduktion um 57 %, ausgehend von 2019.

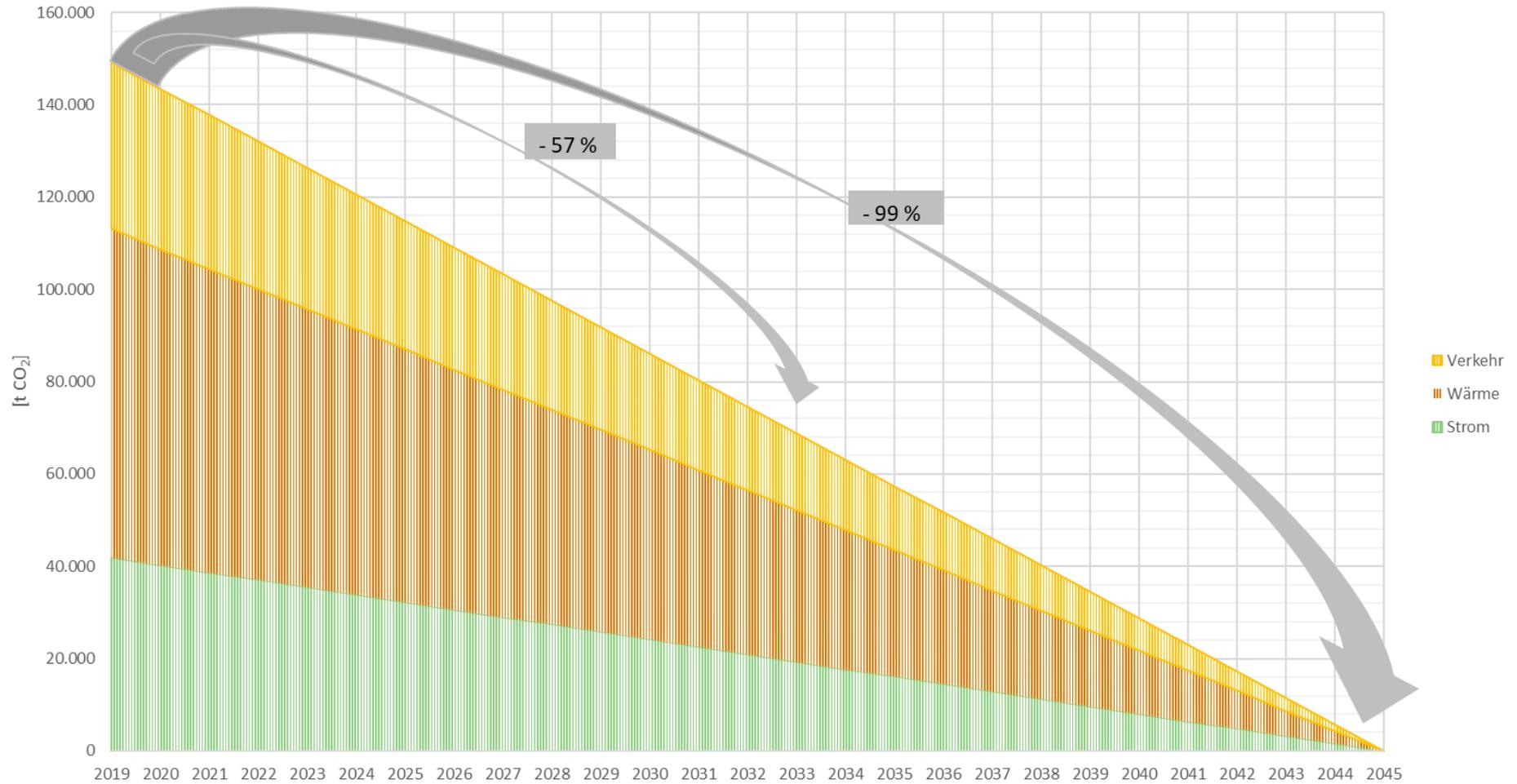


Abbildung 30: Linearer Emissionsreduktionspfad bis 2045 für die Stadt Hattersheim

Der lineare Reduktionspfad dient als Orientierungshilfe für das zukünftige Controlling der Klimaschutzmaßnahmen. Andere Reduktionspfade sind möglich. Je stärker die Reduktionen zu Beginn sind, desto weniger muss in den Folgejahren an zusätzlichen Maßnahmen erfolgen. Gleichzeitig reduziert sich die Gesamtsumme der Emissionen bis 2045 deutlich. Hier ist auf das theoretische „Restbudget“ an Emissionen zu verweisen.

Das Konzept des "Restbudgets" an Emissionen hat eine realistischere Herangehensweise. Jeder Staat, der den Pariser Klimavertrag unterzeichnet und ratifiziert hat, berechnet eine obere Grenze für die Emissionen, die im Einklang mit den globalen klimapolitischen Zielen steht. Das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) hat Zahlen zum weltweiten Restbudget an Emissionen veröffentlicht, die zur Erreichung der Klimaziele notwendig sind. Danach bleiben global ab 2018 noch 800 Mrd. t CO<sub>2</sub> (für einen Temperaturanstieg von maximal 1,75°C und einer Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung von 67 %), die maximal emittiert werden dürfen, um das Klimaschutzziel nicht zu verfehlen. Für Deutschland entspricht dies, gemessen am Anteil der Weltbevölkerung, einer Restmenge von 6,1 Mrd. t ab 2022.

Für die Stadt Hattersheim ergibt sich daraus – ermittelt über pro Kopf-Werte und die Zahl von ca. 28.500 Einwohnerinnen und Einwohnern – ein Restbudget von rund 2,15 Mio. t CO<sub>2</sub>. Das entspricht einem Durchschnittswert pro Jahr von rund 82.500 t bis 2045. Im Vergleich dazu liegen die derzeitigen Emissionen bei rund 150.000 t CO<sub>2</sub> (Stand 2019). Wie die Abbildung 53 darstellt, ist das Restbudget für die Stadt Hattersheim bei Fortführung des aktuellen Emissionsniveaus somit bereits 2033 aufgebraucht.

Die Grundannahme für die Berechnungen betrifft die resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf. Vom derzeitigen Stand 5,2 t pro Kopf wird eine Reduktion bis auf 2,9 t pro Kopf angestrebt. Demnach würde die Stadt jährlich ca. 2.500 t CO<sub>2</sub> reduzieren müssen, um sich innerhalb der erlaubten Emissionsgrenzen zu befinden. Dies kann durch eine Emissionsreduktion von jährlich 1.200 t CO<sub>2</sub> im Wärmesektor, 700 t CO<sub>2</sub> im Stromsektor und 600 t CO<sub>2</sub> im Verkehrssektor erreicht werden.

Die Angaben zu den benötigten Reduktionen je Verbrauchergruppe lassen sich wie folgt abbilden:

Verbrauchergruppe	Tonnen CO <sub>2</sub> pro Jahr
Private Haushalte	540
Gewerbe	867
Industrie	514
Verkehr	622

Tabelle 16: Übersicht der jährlichen Emissionsreduktionen angesichts des angestrebten Ziels Klimaneutralität 2040 je Verbrauchergruppe

Aufbauend auf vorhandenen Daten zu den Emissionen im Verkehrssektor zeigt sich, dass der motorisierte Individualverkehr (MIV) für einen Großteil der Verkehrsemissionen verantwortlich ist. Wird die obengenannte jährliche Emissionsreduktion des Verkehrs auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien heruntergebrochen, müssten die Emissionen des MIVs jährlich um rund 420 t CO<sub>2</sub>, die Emissionen des gewerblichen Verkehrs um rund 190 t CO<sub>2</sub> und die Emissionen des ÖPNVs um rund 10 t CO<sub>2</sub> reduziert werden.

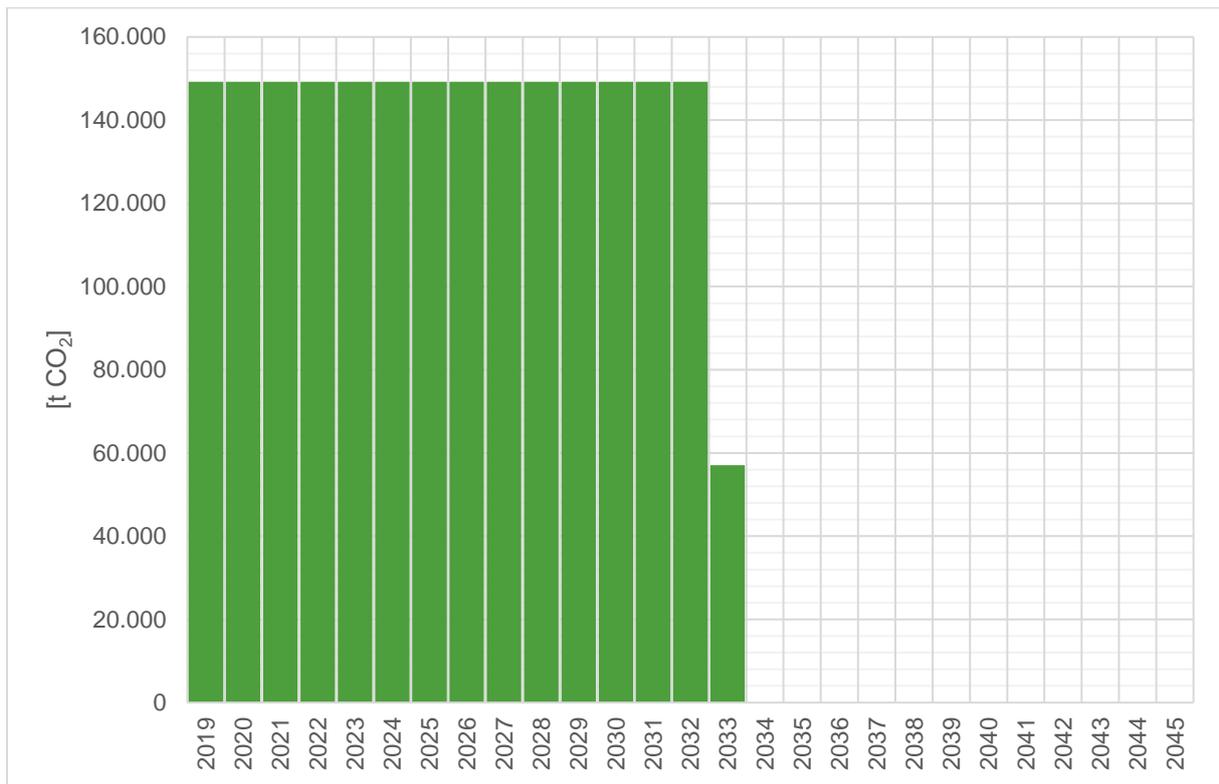


Abbildung 31: Darstellung des CO<sub>2</sub>-Restbudgets für die Stadt Hattersheim

### 3.4 Leitlinien als Ergebnis der Potenzialanalyse

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

- 1. Leitlinie:** Die Anforderungen für die Erreichung von Klimaneutralität bis 2045 gehen über leichte Anpassungen des lokalen Handelns deutlich hinaus. Klimaneutralität erfordert (neben verbesserten Rahmenbedingungen auf überörtlicher Ebene) eine große organisatorische Leistung vor Ort.
- 2. Leitlinie:** Für den Wärmesektor erscheinen ein massiver Ausbau von Wärmepumpen, der Ausbau und ökologische Umbau der Nahwärme sowie die energetische Sanierung des Gebäudebestands als zentrale technische Hebel. Die ökologischen Aspekte der großflächigen Nutzung von Biomasse lassen sich hinterfragen. Solarthermie und Kraft-Wärme-Kopplung spielen demgegenüber eine untergeordnete, allerdings weiterhin wichtige Rolle.
- 3. Leitlinie:** Im Verkehrssektor dienen die verstärkte Nutzung von Elektrofahrzeugen (Batterie) und synthetische Kraftstoffe, eine Verringerung des Verkehrsaufkommens durch den motorisierten Individualverkehr und den gewerblichen Verkehr sowie ein Ausbau des ÖPNV zur Erreichung der Klimaneutralität.
- 4. Leitlinie:** Für den Stromsektor ergibt sich durch die Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrssektors ein deutlich erhöhter Bedarf. Um auf der Gemarkung von Hattersheim zumindest annähernd die Hälfte des künftigen Strombedarfs bilanziell selbst zu produzieren, bedarf es eines starken Ausbaus von Dach-Photovoltaik und Freiflächen-Photovoltaik.
- 5. Leitlinie:** Die Stadt Hattersheim am Main kann zur Erreichung des Klimaneutralitätsziels sowohl in Bezug auf die eigenen Liegenschaften und den Fuhrpark als auch mit Maßnahmen zur Planung, Information und Beratung sowie als Energieanbieterin aktiv werden.

## 4 Akteursbeteiligung

Der Fokus bei den Beteiligungsformaten lag und liegt insbesondere auf der Zivilgesellschaft und den vielen Initiativen, Vereinen und Ehrenamtlichen Bürgerinnen und Bürgern, die sich bereits für den Hattersheimer Klimaschutz einsetzen, und ebenfalls auf den Kommunalpolitikern, die maßgeblich die Entwicklung der Stadt mitbestimmen. Eine Zusammenarbeit mit Gewerbetreibenden und der Industrie ist meistens komplexer und langfristiger. Dennoch ist diese Gruppe äußerst wichtig für ein klimaneutrales Hattersheim und soll so schnell wie möglich in die Klimaschutzpläne der Kommune eingebunden werden. Aufgrund ihrer besonderen Bedeutung für die Umsetzung des Konzeptes wurde die Stadtverwaltung auf mehreren Wegen eingebunden. Zur Analyse der Ist-Situation und Identifikation bisheriger Klimaschutzmaßnahmen sowie zur Initiierung der Maßnahmen auf Verwaltungsebene wurden im Januar 2024 im Rahmen einer Klausurtagung alle Referatsleiter informiert und eingestimmt. Zur fortlaufenden Identifikation von verwaltungsinternen Maßnahmen und von solchen, die durch die Verwaltung initiiert werden können, wurde ein referatsübergreifendes Gremium gebildet, das Klima-Aktions-Team (KAT). In regelmäßigen Sitzungen wurden und werden hier auch weiterhin einzelne Maßnahmen aus den jeweiligen Referaten vorgeschlagen, diskutiert und verschriftlicht, die dann Eingang in den Maßnahmenkatalog finden.

### 4.1 Bürgerbeteiligung und Öffentlichkeitsveranstaltungen

Um Bürgerinnen und Bürgern bereits bei der Erstellung des Klimaschutzkonzeptes Einflussmöglichkeiten einzuräumen, wurde im Frühjahr 2024 eine Online-Umfrage durchgeführt: Der Klimaschutzmanager war Teil des Organisationsteams und erstellte den Fragenkatalog. Die Ergebnisse dienen dem Klimaschutzmanagement als Plattform, um Vorschläge zum Klimaschutz in der Stadt seitens der Bürgerschaft zu erhalten.

Die breit beworbene **Online-Umfrage** konnte über 450 Hattersheimer Stimmen zum Klimaschutz einfangen. Die gesammelten Informationen dienen zum einen, um weitere Maßnahmen zu identifizieren und zum anderen, um deren Umsetzung zu priorisieren. Die Auswertung der Umfrage befindet sich im Anhang des Klimaschutzkonzeptes. (s. Anhang 2)

## 4.2 Klimaaktionsteam (KAT) und Klimakommission

Das Klimaaktionsteam (KAT) ist eine Arbeitsgruppe, die aus Vertretern der städtischen Referate und dem Klimaschutzmanagement besteht. Die ersten Sitzungen des KAT dienen der Vorbesprechung des Maßnahmenkatalogs aus dem Klimaschutzkonzept. Dadurch sollte die Mitbestimmung innerhalb der Verwaltung und in der Folge die Akzeptanz der Kommunalpolitiker für das Klimaschutzkonzept erhöht werden, um einen positiven Beschluss zu gewährleisten.

In der ersten Teamsitzung wurde die Energie- und Treibhausgasbilanz von Hattersheim vorgestellt und die städtischen Potenziale zur erneuerbaren Energieerzeugung und zum Energiesparen diskutiert. Außerdem wurde über die Teile des Maßnahmenkatalogs diskutiert, die den verwaltungsinternen Klimaschutz betreffen, wie z.B. das Einführen eines Energiemanagementsystems, die Ausstattung kommunaler Dachflächen mit Photovoltaik oder die nachhaltige Beschaffung in der Verwaltung. Die zweite und dritte Sitzung des Klimaaktionsteams beschäftigte sich mit dem zentralen Thema „Maßnahmenentwicklung“. Es wurden mögliche Ansatzpunkte aus der Potenzialstudie, dem vorangegangenen Stakeholder-Workshop und der Referatsleitungs-Klausurtagung vorgestellt und sinnvolle Maßnahmen daraus abgeleitet.

Nachdem das Klimaschutzkonzept beschlossen wurde, soll das Klimaaktionsteam weitergeführt und zu einem offiziellen Gremium werden. Das Klimaaktionsteam wird in regelmäßigen Abständen die Umsetzung der Maßnahmen aus dem Klimaschutzkonzept besprechen, ggf. Anpassungen bei der Vorgehensweise bestimmen oder auch die Aufgaben ggf. neu priorisieren.

Darüber hinaus ist die Gründung einer Klimakommission vorgesehen.

Die Klimakommission, deren Vorsitz der Bürgermeister innehat, setzt sich zusammen aus Mitgliedern der Bereiche Landwirtschaft, Gewerbe/Handel/Dienstleistung/Industrie, Vereine, Schulen und Zivilgesellschaft.

Ergänzt wird die Kommission mit beratenden, nicht stimmberechtigten Mitgliedern aus der Politik (je 1 pro Fraktion) und der Verwaltung (z.B. aus den Reihen des Klimaaktionsteams).

Die Mitglieder der Klimakommission werden eingeladen, bekleiden das Amt für 2 Jahre und tagen regelmäßig (z.B. 4x jährlich).

Ziel ist der Austausch zwischen Öffentlichkeit, Wissenschaft, Politik und Verwaltung hinsichtlich klimarelevanter Themen.

Zur besseren Effektivität dieses Gremiums übernimmt das Klimaschutzmanagement die Festlegung der thematischen Inhalte jeder Sitzung und die Moderation sowie die Erfassung der Ergebnisse.

## 5 Maßnahmenkatalog

Der Maßnahmenkatalog hat auf Grund der volatilen Situation rund um das Thema Klimaschutz eine eher kurz- bis mittelfristige Ausrichtung. Die geringe Zukunftssicherheit kommt auf der einen Seite durch den Ukrainekrieg und den in der Folge angespannten Energiemarkt zustande, auf der anderen Seite durch die intensivierete Klimaschutzarbeit auf Bundesebene, wodurch die rechtlichen Grundlagen und Fördermöglichkeiten ebenfalls recht kurzfristig angepasst werden.

Der Maßnahmenkatalog soll daher immer wieder aktualisiert und vor allem ergänzt werden - gemeinsam durch das Klimaschutzmanagement, das KAT-Gremium und im Rahmen der Klimakommission.

Im Klimaschutzmanagement laufen die Rahmenbedingungen (Gesetze und Förderungen), die Datengrundlagen und die Diskussionsrunden ohnehin zusammen.

Es gibt neben dem Maßnahmenkatalog noch einen Ideenspeicher, der potenzielle kurzfristige, mittel- und langfristige Klimaschutzprojekte beinhaltet.

Zur besseren Unterscheidung wurden die Maßnahmen in folgende Kategorien eingeteilt:

- Bildung (B)
- Energie und Wohnen (E)
- Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie (G)
- Klimaanpassung (K)
- Mobilität und Verkehr (M)
- Private Haushalte und Konsum (P)
- Verwaltung (V)

Der nachgelagerte Maßnahmenkatalog bildet die mittel- bis langfristige Ausrichtung des Klimaschutzkonzeptes und stellt den groben Umsetzungsplan für die nächsten 5 Jahre dar.

B-1	Bildungskampagne Klimaschutz und Nachhaltigkeit	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Erarbeitung Themenbereiche</li> <li>2. Verantwortliche ernennen</li> <li>3. Umsetzung</li> </ol>
E-1	„Solarkampagne“ Photovoltaikausbau Haushalte	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kampagnenübernahme Klima-Kommunen</li> <li>2. Kommunikation, Partnerfirmen</li> <li>3. Umsetzung</li> </ol>
E-2	PV-Anlagen auf kommunalen Gebäuden	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Projektierung von PV-Anlagen Liegenschaften</li> <li>2. Beauftragung Dienstleister</li> </ol>
E-3	Nutzung der Abwärme von Rechenzentren, Ausbau Wärmenetz	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Machbarkeitsstudie, Trafoplan</li> <li>2. Planung, Berechnung</li> <li>3. Umsetzung</li> </ol>
G-1	Energienetzwerk für Gewerbe und Handel	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fördermittel beantragen, Teilnehmer einladen</li> <li>2. Regelmäßige NW-Treffen</li> </ol>

K-1	Trinkwasser aus Trinkbrunnen	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planung und Konzeption</li> <li>2. Umsetzung</li> </ol>
M-1	Installation E-Car-Sharing	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wirtschaftlichkeitsberechnung, Partner erm.</li> <li>2. Planung/Umsetzung</li> </ol>
M-2	Installation E-Bike-Sharing	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Standortanalysen für geeignete Gebiete</li> <li>2. Fördermittelantrag</li> <li>3. Umsetzung</li> </ol>
M-3	Verkehrsberuhigung und Straßenraumgestaltung	
P-1	Klimakiosk	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Standortanalysen für geeignete Gebiete</li> <li>2. Fördermittelantrag</li> </ol>
P-2	Müllvermeidung in Haushalten	
P-3	Einführung eines Sammelsystems für Rauchreste	
V-1	Nachhaltige Beschaffung und Vergabe	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Schulung der Mitarbeiter</li> <li>2. Umsetzung</li> </ol>
V-2	Kommunales Energiemanagement	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Einrichtung einer Personalstelle</li> <li>2. Einrichtung Hardware und Nutzung</li> </ol>
V-3	Einrichtung einer Klimakommission	
V-4	Einrichtung Fahrrad-Infrastruktur	

Weitergehende Erläuterung der Maßnahmen der Verwaltung (V-1 bis V-4)

### **Nachhaltige Beschaffung**

Noch häufig gehen Vergabeverfahren im öffentlichen Sektor zugunsten des günstigsten Angebots aus. Klimaschutz und Nachhaltigkeit werden bislang höchstens als Nebenaspekte berücksichtigt, erhalten aber keine entscheidende Bedeutung. Der günstigste Beschaffungspreis heute kann womöglich sehr hohe Folgekosten in der weiteren Nutzungsphase in Bezug auf die Klimawirkung mit sich bringen und zu teuren Umweltfolgen führen. Deshalb ist es unabdingbar, vorausschauend einzukaufen und zu investieren, Folgekosten und Lebenszyklen zu berücksichtigen und Klimaaspekte fest in Entscheidungen zu integrieren. Klimaschutz und Nachhaltigkeit spielen entlang der gesamten Wertschöpfungskette bei der öffentlichen Beschaffung eine entscheidende Rolle. Eine explizite Berücksichtigung von Umweltfaktoren bei der Bewertung von Angeboten ist durch verschiedene Richtlinien auf Landes- und Bundesebene entsprechend möglich und teilweise auch verbindlich verankert. Eine Anpassung des Vergabe- und Beschaffungswesens zugunsten von mehr Klimaschutz und Nachhaltigkeit kann nur dann funktionieren, wenn alle Akteur/-innen – Politik und Verwaltung – in die Transformation mit einbezogen und sensibilisiert werden. Im Rahmen der verwaltungsübergreifenden Klimastrategie muss dem Thema Beschaffung eine entscheidende Bedeutung zugeschrieben werden. Klimaschonende Wertschöpfungsketten auf lokaler, regionaler und globaler Ebene sind wesentliche Grundlage für nachhaltige und faire Produkte und damit auch für eine zukunftsfähige Transformation des Beschaffungswesens. Nach und nach sollen die Beschaffungsgrundsätze für alle Produkte und Dienstleistungen im Verwaltungsumfeld an Klima- und Nachhaltigkeitskriterien angepasst werden – von Büromaterial, über Lebensmittel für das Catering bis hin zu Fahrzeugen und Bauleistungen. Die Treibhausgasbilanzierung nach dem BSKO-Standard soll dabei helfen, klimaschonende Vergaberichtlinien für die Stadtverwaltung zu entwickeln. Es erfolgt die Prüfung, welche Produkte und Dienstleistungen, aber auch welche Wertschöpfungsketten besonders klimawirksam sind, um entsprechend spezifische Leitlinien und Vorgaben entwickeln zu können.

### **Kommunales Energiemanagement-System**

Hauptziel des Energiemanagements ist der rationale Umgang mit Energie und Wasser in städtischen Gebäuden, um den kommunalen Haushalt zu entlasten. Damit gehen die Schonung von Ressourcen sowie der Klimaschutz einher. Im Detail ist das Energiemanagement als referatsübergreifende Fachstelle in folgenden Bereichen tätig: Energieverbrauchserfassung, Betriebsoptimierung, Störungsbeseitigung und Instandsetzung, Beeinflussung des Nutzerverhaltens, energetische Analyse im Gebäudebestand, Mitwirkung bei Planung von Neubauten, Betrieb von Energieerzeugungsanlagen, Energiebeschaffung, Prüfung von Energieabrechnungen, Aufbereitung und Bereitstellung von Daten sowie Abstimmung mit dem Klimaschutzmanagement. Das Energiemanagement möchte verstärkt auf den Einsatz von erneuerbaren Energien setzen. Durch den weiteren schnellen Ausbau von Photovoltaik-Anlagen sowohl im Gebäudebestand als auch bei Neubauprojekten wird vor Ort Strom produziert und direkt selbst verbraucht. Überschüssiger Strom wird in das Städtetz eingespeist und vergütet. Die verstärkte Nutzung mit städtischer Nahwärme anstelle von Erdgas reduziert den CO<sub>2</sub>-Ausstoß um rund 90 %. Weitere mögliche Umstellungen von Erdgas auf Abwärme werden derzeit geprüft und sollen so schnell wie möglich umgesetzt werden. Durch monatliche Ablesungen wird der Wasser- und Energieverbrauch der städtischen Liegenschaften zeitnah im Blick gehalten. Hier soll zukünftig die Smart Meter Technologie weiter ausgebaut werden.

### **Einrichtung einer Klima-Kommission**

Die Klimakommission der Stadt Hattersheim berät das Klimaschutzmanagement und die Verwaltung bei der Umsetzung der städtischen Klimaschutzziele. Sie unterstützt den Austausch zwischen Öffentlichkeit, Wissenschaft, Politik und Verwaltung. Dadurch fördert sie auch die öffentlich fachliche Diskussion über Ziele und Kriterien städtischer Klimaschutzpolitik.

Die Klimakommission setzt sich zusammen aus Mitgliedern der Bereiche Landwirtschaft, Gewerbe/Handel/Dienstleistung/Industrie, Vereine, Schulen und Zivilgesellschaft.

Ergänzt wird die Kommission mit beratenden, nicht stimmberechtigten Mitgliedern aus der Politik (je 1 Person pro Fraktion), Vertretern der Verwaltung und dem Klimaschutzmanagement.

Die Mitglieder der Klimakommission werden eingeladen, bekleiden das Amt für 2 Jahre und tagen regelmäßig (z.B. 4x jährlich).

Ziel ist der Austausch zwischen Öffentlichkeit, Wissenschaft, Politik und Verwaltung hinsichtlich klimarelevanter Themen.

### **Einrichtung Fahrrad-Infrastruktur**

Nach der Installation des Fahrradleasings für Beschäftigte der Stadtverwaltung sollen mittels Verbesserungen der Infrastruktur und der Unterstellmöglichkeiten weitere Anreize für die Nutzung des Fahrrads als Alternative zum Auto geschaffen werden.

Insbesondere an städtischen Arbeitsstellen mit größerer Personalanzahl wie z.B. Rathaus/Nassauer Hof, Posthof, Untertorstraße und in den Kindertagesstätten sollen strukturelle bauliche Änderungen vorgenommen werden, um Mitarbeitern, die mit dem Fahrrad statt mit dem Auto zum Arbeitsplatz kommen, bessere Möglichkeiten und Anreize für die Fahrradnutzung zu bieten.

Der Maßnahmenkatalog priorisiert so drei der größten Potenziale, die 2023 vom Umweltbundesamt festgestellt wurden:

- PV-Offensive
- Radwegenetz, Carsharing
- (Fern)wärmenetze basierend auf kommunaler Wärmeplanung

An dieser Darstellung wird deutlich, dass der Maßnahmenkatalog aus dem Konzept versucht, die größten Potenziale zu nutzen, um möglichst schnell messbare Erfolge zu erreichen und um die Klimaschutzwirkung für die gegebenen Mittel (Personal und Finanzen) zu optimieren.

Die Priorisierung der Verwaltung ergibt sich aus dem Einsparpotenzial, den Kosten, der Umsetzbarkeit und den sonstigen positiven Effekten der Maßnahmen. Grundsätzlich wird angestrebt, alle Maßnahmen umzusetzen. Wenn die Umsetzung mehrerer Maßnahmen jedoch hinsichtlich verfügbarer Arbeitszeit oder sonstiger Ressourcen kollidiert, ist eine Maßnahme mit höherer Priorisierung vorzuziehen.

## 6 Verstetigungsstrategie

Klimaschutz ist eine Querschnittsaufgabe, daher ist eine Anbindung des Klimaschutzmanagements an alle weiteren relevanten Ämter und städtische Gesellschaften wichtig. Ziel ist es, dass die Arbeits- und Kommunikationsstrukturen innerhalb der Verwaltung mit der Zeit so angepasst werden, dass Klimaschutz an den relevanten Stellen Beachtung findet, verbindlicher wird und auch entsprechend Mittel für die Umsetzung zur Verfügung stehen. Um das Ziel zu erreichen, gibt es mehrere Ansatzpunkte, die erst gleichzeitig ihre volle Wirkung entfalten:

Personal für Klimaschutzanliegen in den Abteilungen, Ansprechpartner bei den relevanten kommunalen Gesellschaften, die Klimakommission als festes Gremium, eine Mittelbindung für Klimaschutzmaßnahmen und gutes Wissensmanagement sind die zentralen Punkte aus dem Maßnahmenkatalog, mit deren Hilfe der Klimaschutz in Hattersheim verstetigt werden soll. Ein wichtiger Grundstein zur Verstetigung wurde im Sommer 2023 mit dem Beitritt zu den *Klimakommunen Hessen* gelegt. Mit der von der Stadtverordnetenversammlung abgesegneten Beitrittserklärung stimmt die Stadt Hattersheim den Klimaschutzzielen des Landes Hessen zu. Damit wurde das Ziel des Klimaschutzkonzeptes vordefiniert und gleichzeitig die Verbindlichkeit hin zu klimafreundlichen Entscheidungen erhöht. Die Handlungsempfehlungen und Richtlinien des Klimaschutzkonzeptes und des Leitbildes sollen in den nächsten Jahren durch den zentralen, referatsübergreifenden Charakter des Klimaaktionsteams in sämtliche Verwaltungstätigkeiten integriert werden.

### 6.1 Bereitstellung personeller und finanzieller Ressourcen

Für die Umsetzung der Maßnahmen dieses Konzeptes sowie zukünftiger Maßnahmen sind zusätzliche personelle Ressourcen unverzichtbar. Allen voran steht das Klimaschutzmanagement, das den gesamten Umsetzungsprozess initiiert, koordiniert, begleitet und kontrolliert. Doch der Klimaschutzmanager kann die Klimaschutzmaßnahmen nicht alleine umsetzen, sondern ist in hohem Maße auf die enge Zusammenarbeit mit anderen Referaten sowie den städtischen Gesellschaften angewiesen. Der Klimaschutzmanager fungiert als zentraler Kümmerer sowie als Vermittler und Ansprechpartner für verwaltungsinterne wie externe Akteure in Sachen Klimaschutz. Das Klimaschutzmanagement trägt die Verantwortung für die planmäßige Umsetzung des Konzeptes. Hierzu koordiniert der Klimaschutzmanager relevante Aufgaben innerhalb der Verwaltung, mit verwaltungsexternen Akteuren sowie externen Dienstleistern. Er initiiert Prozesse und Projekte für die übergreifende Zusammenarbeit und Vernetzung wichtiger Akteure. Darüber hinaus unterstützt und initiiert das Klimaschutzmanagement mithilfe von Information und Öffentlichkeitsarbeit sowie Management die Umsetzung des Konzeptes und einzelner Klimaschutzmaßnahmen. Im Sinne der Haushaltsplanung und des Projektmanagements erstellt das Klimaschutzmanagement mit Unterstützung der beteiligten Referate zudem ein jährliches Arbeitsprogramm, das die notwendigen Ressourcen für die Umsetzung der geplanten Maßnahmen ausweist. Die Aufgaben des Klimaschutzmanagements werden in der folgenden Grafik zusammengefasst:

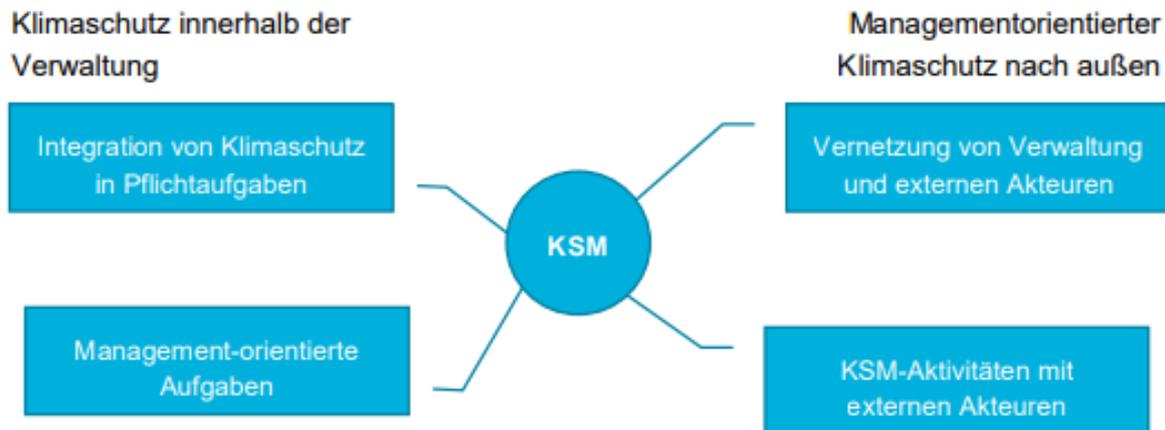


Abbildung 32: Arbeitsschwerpunkte des Klimaschutzmanagements. Quelle: ifeu-Institut (2020)

Für die Stelle des Klimaschutzmanagers wird eine Anschlussförderung vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit beantragt. Die aktuelle Förderquote (Kommunalrichtlinie 2022) beläuft sich für Hattersheim am Main auf 40 % für die befristete Beschäftigung des Klimaschutzmanagers für weitere drei Jahre sowie die Unterstützung durch externe Dienstleister, Dienstreisen und Öffentlichkeitsarbeit. Die dauerhafte Implementierung der Stelle über den Förderzeitraum hinaus wird angestrebt.

Neben der Fortführung des Klimaschutzmanagements und diesbezüglich evtl. weiter zu schaffenden Stellen wie z.B. Energiemanagement, Mobilitätsmanagement (Stellenausschreibung bereits erfolgt) oder Klimaanpassungsmanagement ist die Bereitschaft der anderen beteiligten Referate zur Maßnahmenumsetzung zentral. Die Umsetzung dieses Konzeptes bindet auch innerhalb der bestehenden Verwaltung personelle Ressourcen. Die Notwendigkeit der Umsetzung der Konzeptmaßnahmen inklusive der entsprechenden Zuständigkeiten müssen intern von der Verwaltungsspitze entsprechend kommuniziert werden.

Ziel ist es, dass jede Einheit der Verwaltung Klimaschutz in ihrem Aufgabenbereich berücksichtigt und integriert. Für die Umsetzung der Maßnahmen sind zudem mittel- und langfristig gesicherte Finanzmittel bereitzustellen.

## 6.2 Schaffung geeigneter Organisationsstrukturen

Um die Realisierung der Maßnahmen voranzutreiben und zu kontrollieren, sollten entsprechende Strukturen entwickelt werden, die die verstärkte Vernetzung und stetige Kommunikation zum Thema Klimaschutz innerhalb und außerhalb der Verwaltung sicherstellen. Gleichzeitig ist es sinnvoll, bestehende Strukturen zu nutzen, um zeitliche und finanzielle Ressourcen zu sparen.

Zur Verbesserung der internen Kommunikation zum Klimaschutz nimmt der Klimaschutzmanager an dem wöchentlich stattfindenden Meeting Gebäudemanagement teil. Die darüber hinaus gehende interne Kommunikation zum Klimaschutz wird initiiert oder begleitet durch das Klimaschutzmanagement, bilateral oder in thematisch fokussierten Arbeitsgruppen bearbeitet. (z.B. Klimaaktionsteam KAT)

Die Verankerung von Klimaschutz in der alltäglichen Verwaltungsarbeit wird zudem durch die Maßnahmen V-1 und V-2 unterstützt.

Die Klimaschutzarbeit der Verwaltung wird durch den Ausschuss für Umwelt, Bauen und Verkehr begleitet. Dieses Gremium überwacht die Tätigkeiten der Verwaltung im Klimaschutz, dient dem

Austausch zu bereits umgesetzten sowie laufenden Projekten und greift Klimaschutzideen aus der Bürgerschaft auf. Das Klimaschutzmanagement erstattet diesem Gremium jährlich Bericht zum Umsetzungsstand der Maßnahmen (siehe Kapitel 7).

### **6.3 Vernetzung**

Zusätzlich zur verstärkten internen Kommunikation ist auch die externe Vernetzung von großer Bedeutung für die Umsetzung der Maßnahmen und die Verankerung des Klimaschutzes vor Ort, denn umfassender kommunaler Klimaschutz reicht weit über den direkten Einflussbereich und die Kapazitäten der Stadtverwaltung hinaus. Mit ihren Maßnahmen kann die Verwaltung häufig Veränderungen nur anstoßen, die jedoch von anderen Akteuren umgesetzt werden müssen. Hierzu baut das Klimaschutzmanagement ein Netzwerk externer Akteure auf. Dies geschieht in erster Linie durch die direkte Ansprache von Akteuren, beispielweise im Rahmen bestehender Formate wie dem Unternehmerfrühstück oder dem Businessstark der Wirtschaftsförderung Hattersheim. Darauf aufbauend können themen- und branchenspezifische Netzwerke etabliert werden. So ist mit der Maßnahme G-1 bereits die Gründung eines Energie-Netzwerks für das Gewerbe im Maßnahmenplan verankert. Nach Bedarf und Möglichkeit werden die Akteure auch in die Umsetzung von Maßnahmen eingebunden.

Darüber hinaus schafft das Klimaschutzmanagement weiterhin Beteiligungsmöglichkeiten für Bürger. Vor allem niedrigschwellige Online-Beteiligungsmöglichkeiten sind anzustreben. Das Klimaschutzmanagement hat bereits während der Konzepterstellung von der Vernetzung mit anderen Klimaschutzmanagern der Region, des Kreises sowie landesweit profitiert. Diese Vernetzung dient dem Erfahrungsaustausch sowie der Inspiration und Kooperation zwischen den Kommunen. Hier erfolgt weiterhin regelmäßiger Austausch. Im Rahmen der beantragten Anschlussförderung muss der Klimaschutzmanager zudem Mentoring-Aufgaben übernehmen. Er nimmt außerdem ausgewählte Angebote zur Vernetzung und Weiterbildung von Akteuren wie der LEA Hessen, dem Regionalverband Frankfurt Rhein Main und anderen Institutionen wahr.

## 6.4 Positive Effekte des Konzeptes

Durch die Reduktion seiner THG-Emissionen trägt Hattersheim zur Eindämmung des Klimawandels bei und wirkt damit der Gefährdung der lokalen wie globalen Ernährungssicherheit, der Häufung von Naturkatastrophen und der Verschlechterung der Lebensqualität im Allgemeinen entgegen. Viele Maßnahmen dieses Konzeptes reduzieren zudem andere negative Effekte auf die Gesellschaft sowie den Naturhaushalt. Beispielsweise kann klimafreundlichere Mobilität neben THG-Emissionen auch Luftverschmutzung, Lärm und Unfälle reduzieren. Besonders hervorzuheben sind zudem die positiven Effekte für die regionale Wertschöpfung. Ein direkter Wertschöpfungseffekt wird erzielt, wenn die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen über lokale beziehungsweise regionale Betriebe erfolgt. Um diese Entwicklung zu unterstützen, erstellt das Klimaschutzmanagement eine Liste, die lokal und regional verortete Unternehmen und ihre Leistungen bezüglich Klimaschutz für interessierte Bürger aufzeigt. Indirekte Wertschöpfungseffekte entstehen durch Investitionen in Energieeinspar- sowie Energieerzeugungsmaßnahmen, durch die nach Amortisation Finanzmittel für andere Investitionen frei werden. Dies kommt den Bürgern, Unternehmen sowie der Stadtverwaltung zugute, die die Investition tätigen. Die Selbstversorger sparen auf diese Weise langfristig Kosten ein und Verlagern die Wertschöpfung somit auf die lokale Ebene. In der Folge profitiert auch die Kommune durch erhöhte Steuereinnahmen. Die gesteigerte Nachfrage nach Leistungen im Bereich Klimaschutz (Installation einer Photovoltaik-Anlage, Austausch einer Heizung, Dämmung einer Hauswand etc.) erhöht die Attraktivität des Standorts für vorhandene und neu zu gründende Handwerksbetriebe. Dies hat positive Beschäftigungseffekte im Handwerk, das als „Umsetzer“ des Klimaschutzes vor Ort eine zentrale Rolle spielt. Zudem erhöht sich durch ein höheres Klimabewusstsein in der Kommune die Attraktivität für auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Firmen. Dies schafft wiederum zukunftsfähige Arbeitsplätze.

## 6.5 Öffentlichkeitsarbeit

Neben der Umsetzung der Konzeptmaßnahmen ist auch die regelmäßige Berichterstattung gegenüber der Öffentlichkeit ein wichtiger Bestandteil der Verankerung des Klimaschutzes vor Ort.

Zum einen soll so die Umsetzung von Maßnahmen durch Bürger vorangetrieben werden, beispielsweise, indem über geplante Aktionen berichtet wird. Hierbei kann auch auf direkte Information und Motivation relevanter Zielgruppen zurückgegriffen werden, worauf z.B. die Maßnahme P-1 abzielt. Zum anderen soll regelmäßig über die Klimaschutzaktivitäten der Stadt informiert werden, um ihre Vorbildfunktion zu nutzen. Näheres zur Kommunikationsstrategie erläutert Kapitel 8.

## 7 Klimaschutzcontrolling

Controlling ist ein Steuerungs- und Koordinierungsinstrument des Projektmanagements. Es dient der Überwachung der Wirksamkeit und Effizienz von Maßnahmen, der Ermöglichung einer Nachsteuerung und der Sicherstellung von Transparenz. Konkret soll der Umsetzungsstand der Konzeptmaßnahmen und die Zielerreichung mithilfe eines mehrschichtigen Controllings regelmäßig überprüft werden. Auf diese Weise sollen Erfolge und Herausforderungen erkannt werden und bei Bedarf eine Anpassung erfolgen. Dieses Controlling-Konzept legt hierzu zum einen die Rahmenbedingungen für die kontinuierliche Erfassung/Auswertung der Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen für den gesamten Untersuchungsraum fest (Controlling top-down). Zum anderen werden Regelungen für die Überprüfung der Wirksamkeit der Maßnahmen im Hinblick auf die Erreichung der Klimaschutzziele (Controlling bottom-up) getroffen.

### 7.1 Fortschreibung der Energie- und Treibhausgas-Bilanz (Controlling top-down)

Zur Überprüfung der Zielerreichung wird die Energie- und THG-Bilanz mindestens alle fünf Jahre fortgeschrieben. Wie bereits im Rahmen dieses Konzeptes erfasst die Bilanz quantitativ die Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen in allen klimarelevanten Bereichen und gliedert sie nach Verursachern und Energieträgern. Die Bilanzierung wird mithilfe des kostenfrei durch die Landesenergieagentur Hessen bereitgestellten Online-Tools „ECOSPEED Region“ nach der BSKO-Methode durchgeführt. Die Bearbeitung liegt in der Verantwortung des Klimaschutzmanagements, das hierzu gegebenenfalls auf externe Prozessunterstützung zurückgreifen kann. Der Fünf-Jahres-Rhythmus ergibt sich aus dem Umstand, dass mit einer Zeitverzögerung der Datenverfügbarkeit zu rechnen ist. Die Bilanz dieses Konzeptes stützt sich auf Daten von 2019, da die erforderlichen Daten üblicherweise erst 1-3 Jahre später bereitstehen. Um den Zeitraum der Konzeptumsetzung zumindest teilweise darstellen zu können, wird ein größerer Abstand zwischen den Bilanzen gewählt. Nichtsdestotrotz können die Einspareffekte des Klimaschutzkonzeptes bei der nächsten Bilanzierung (im Jahr 2028) voraussichtlich nicht vollständig dargestellt werden, da bis dahin lediglich Daten bis 2026 berücksichtigt werden können. Grundsätzlich sollten zudem die Grenzen der Aussagekraft der Bilanz berücksichtigt werden: „Die Wirkungen der Klimaschutzmaßnahmen vor Ort [werden] von anderen Einflussgrößen überlagert, etwa durch wirtschaftliche oder demographische Entwicklungen. Damit ist die Aussagekraft einer Bilanz für die Wirksamkeit des Klimaschutzkonzeptes und dessen Maßnahmen sehr begrenzt. In vielen Kommunen aber besteht der Wunsch, für die politische Beschlussfähigkeit, die Kommunikation und „Rechtfertigung“ einzelner Maßnahmen, den Erfolg der jeweiligen Maßnahme im Hinblick auf die Emissionsminderung und Wertschöpfungseffekte anhand konkreter Zahlen darstellen zu können. Hierfür ist die CO<sub>2</sub>-Bilanz allein nicht geeignet, es bedarf ergänzender maßnahmen-spezifischer Evaluationen, was aus wissenschaftlicher Sicht nicht bei allen Maßnahmen möglich ist.“ (Bierwirth und Schüle 2012) Entsprechend ergibt sich die Wichtigkeit des Maßnahmen-basierten Controllings.

### 7.2 Maßnahmen-Controlling (Controlling bottom-up)

Ziel des Maßnahmen-Controllings ist die Überprüfung der Wirksamkeit der Maßnahmen sowie ihre Optimierung über den Umsetzungszeitraum. Dieses Controlling umfasst die regelmäßige Dokumentation der Maßnahmenumsetzung und die Überprüfung des Maßnahmenerfolgs anhand der

jeweiligen Erfolgsindikatoren und Handlungsschritte. Auf Basis dieser quantitativen und qualitativen Erfolgsindikatoren werden Soll- und Ist-Zustand gegenübergestellt. Zudem wird die Einhaltung des Zeit- und Kostenplans überwacht. Die Beobachtung der Umsetzung über längere Zeiträume ermöglicht außerdem die frühzeitige Begegnung von Fehlentwicklungen. Wird ein Bedarf festgestellt, nimmt das Klimaschutzmanagement Nachbesserungen vor. Schließlich wird, sobald das Erfordernis besteht, die Überarbeitung beziehungsweise die Neuauflage des Konzeptes durch das Klimaschutzmanagement initiiert und umgesetzt. Die Evaluation der Klimaschutzaktivitäten ist ein zentrales Element des Klimaschutzmanagements und daher Aufgabe des Klimaschutzmanagers. Allerdings ist er dabei auf die Zuarbeit der beteiligten Referate angewiesen, die die entsprechenden Daten bereitstellen müssen.

### **7.3 Klimaschutzbericht**

Die interne Kontrolle des Projektfortschritts erfolgt regelmäßig durch das Klimaschutzmanagement. Zudem erstattet das Klimaschutzmanagement dem Ausschuss für Umwelt, Bauen und Verkehr jährlich Bericht.

Der Jahresklimaschutzbericht legt die Klimaschutzaktivitäten des Klimaschutzmanagers und der Verwaltung dar, stellt die Ergebnisse des Controllings sowie (sofern diese erstellt wurde) die Ergebnisse der THG-Bilanz vor, weist auf mögliche Herausforderungen hin und gibt einen Ausblick auf anstehende Projekte. Zudem wird in dem Bericht auf notwendige Anpassungen der Ziele, Maßnahmen und Strategien hingewiesen, sollten sich diese ergeben haben. Die Berichterstattung zum Umsetzungsfortschritt jeder Maßnahme umfassen folgende Angaben:

- Stand der Umsetzung mit Bezug auf die Erfolgsindikatoren
- Voraussichtlicher Abschluss der Maßnahme
- Bereits eingesetztes und verbliebenes Budget (mit Aufschlüsselung in Förder-, Eigen- und Drittmittel)
- Hinweis zu Herausforderungen und möglichen Nachbesserungen
- Ergebnis und Bewertung abgeschlossener Maßnahmen

Der Jahresklimaschutzbericht wird sowohl in der STVV vorgestellt als auch auf der städtischen Internetseite veröffentlicht. Die STVV ist das maßgebliche Gremium für das Klimaschutzcontrolling und berät über alle relevanten Belange im städtischen Klimaschutz.

### **7.4 Personalbedarf und Kosten**

Für die Durchführung des Controllings sind entsprechende Ressourcen einzuplanen.

Das Klimaschutzmanagement verwendet circa 10 Arbeitstage pro Jahr für das Sammeln der Daten, die Analyse des Maßnahmenenerfolgs und für das Schreiben der Berichte. Der zeitliche Aufwand steigt jedoch jährlich, da immer mehr Maßnahmen hinzukommen und parallel umgesetzt werden.

In den Jahren, in denen eine Bilanz erstellt wird, ist mit einem Aufwand von 15 zusätzlichen Arbeitstagen zu rechnen. Die Kosten für die Unterstützung bei der THG-Bilanzierung durch einen externen Dienstleister werden auf 7.500 € geschätzt.

Ein Klimaschutzcontrolling ist für die Erfolgsüberwachung von Klimaschutzmaßnahmen in der Umsetzung unabdingbar. Es macht Erfolge sichtbar und hilft, etwaig auftretende Probleme frühzeitig zu erkennen und zu korrigieren. Mit folgendem System soll die Umsetzung des Hattersheimer Klimaschutzkonzeptes quantifiziert und kontrolliert werden:

Die Projekt- bzw. Maßnahmenverantwortlichen dokumentieren halbjährlich den aktuellen Stand der Maßnahmen und melden diesen dem Klimaschutzmanagement - insbesondere bei Planabweichungen. Dabei werden neben der Umsetzung der Handlungsschritte und Erreichung der Meilensteine auch die tatsächlichen Kosten und Arbeitsaufwände abgefragt. Die Steckbriefe der einzelnen Maßnahmen beinhalten Informationen zu maßnahmenspezifischen Erfolgsindikatoren, welche während des Umsetzungsprozesses evaluiert und gegebenenfalls nachjustiert werden sollen.

Eine besondere Maßnahme bildet das Energiemanagementsystem, welches das zentrale verwaltungsinterne Controllingwerkzeug (für die kommunalen Liegenschaften) darstellt. Das System soll die städtischen Verbräuche für Strom und Gas erfassen und verarbeiten. Es könnte mittelfristig um die Energieverbräuche des kommunalen Fuhrparks erweitert werden, um den Energiebedarf der Verwaltung ganzheitlich darzustellen. Anhand der Daten lassen sich durch den Vergleich mit Richtwerten Optimierungspotenziale erkennen, quantifizieren und gegeneinander abwägen.

Der Klimaschutzmanager ist natürlich selbst auch ein Verantwortungsträger. Besonders am Anfang des Umsetzungszeitraums werden die meisten Maßnahmen aus dem Klimaschutzkonzept vom Klimaschutzmanager betreut, das kann und soll sich aber mittel- bis langfristig ändern.

Die Fortschritte, Kennzahlen und Probleme der einzelnen Maßnahmen werden innerhalb der quartalsmäßigen Klimakommissionssitzungen vom Klimaschutzmanagement aufbereitet, vorgestellt und die Wirksamkeit<sup>154</sup> kann von allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern diskutiert werden. An dieser Stelle sind Anpassungen möglich. Die Zusammenarbeit und insbesondere die Kommunikation zwischen Klimaschutzmanagement und Klimakommission bildet den Kern des Controllingkonzeptes: Die Kommissionssitzungen werden auf ein Fokusthema ausgerichtet sein, denn nicht alle Maßnahmen aus dem Konzept können innerhalb einer einzigen Kommissionssitzung besprochen werden. Jede Maßnahme wird aber mindestens einmal pro Jahr thematisiert. Für aufwändige Projekte mit viel Koordinationsaufwand soll ggf. eine Projektgruppe oder Arbeitsgemeinschaft gegründet werden, die auch die Aufgabe des Berichterstatters erfüllt. Die Klimakommission ist den Projekt- und Arbeitsgruppen gegenüber nicht weisungsbefugt und kann nur an grundlegenden Stellen Einfluss nehmen, z.B. bei der Gründung. Mitglieder der Klimakommission können aber direkt als Beteiligte in den Arbeitsgruppen Einfluss nehmen.

Einmal pro Jahr wird der Stadtverordnetenversammlung (STVV) in einem Bericht der Zwischenstand zum Integrierten Klimaschutzkonzept präsentiert.

Die Planung, Koordination und Kontrolle erfolgt gemeinsam durch Verwaltung und Politik, mit Hilfe der regelmäßigen Berichterstattung innerhalb der Klimakommission und der STVV.

Über das Controllingkonzept werden die Klimaschutzerfolge (meistens THG-Einsparungen) sowie die finanziellen Einsparungen und Ausgaben nachverfolgt. Neben dem maßnahmenspezifischen Controlling (Bottom-up) ist eine mittel- bis langfristige Erfolgskontrolle über die Fortschreibung der Energie- und Treibhausgasbilanz vorgesehen, um im Fünfjahresrhythmus Klimaschutzerfolge auf gesamtstädtischer Ebene sichtbar zu machen und die Erreichung der Klimaschutzziele nachzuverfolgen (Top-down).

---

<sup>154</sup> Die Wirkungskontrolle bezieht sich beim Klimaschutz meistens auf die Einsparung von Treibhausgasen, ansonsten ist die alternative Zielperspektive aus dem Maßnahmensteckbrief geeignet, um die Wirksamkeit festzustellen.

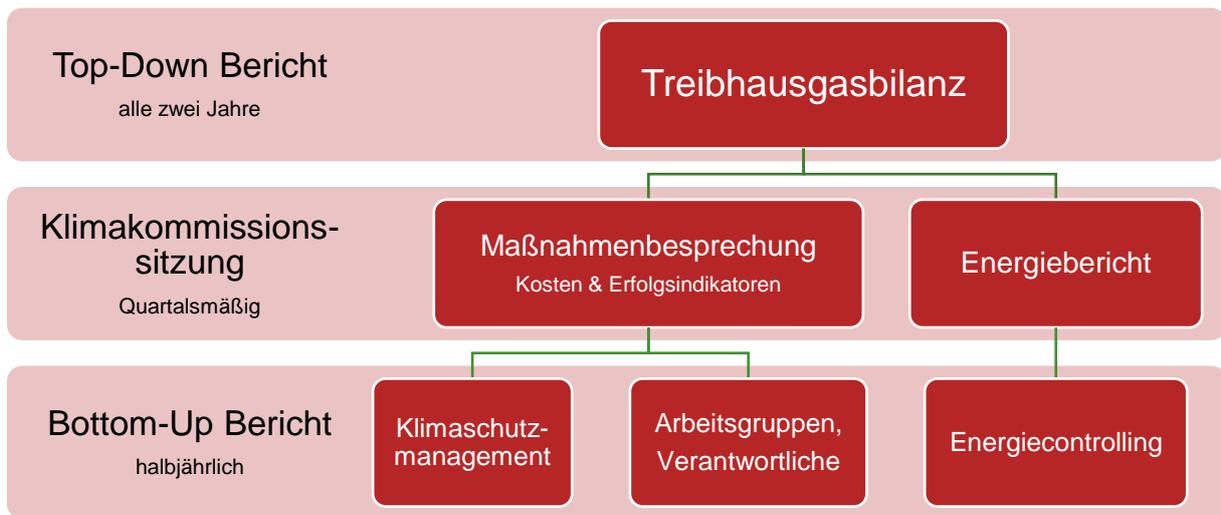


Abbildung 33: Schema des Controllingkonzepts

## 8 Kommunikationsstrategie

Eine umfassende Kommunikation ist für den kommunalen Klimaschutz unerlässlich. Da Klimaschutz eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe ist, ist es zentral für die Erreichung der Klimaschutzziele, dass Akzeptanz, Zuspruch und Mitwirkung aller relevanten Akteure erreicht werden. Diese Kommunikationsstrategie legt dar, wie die Inhalte des Klimaschutzkonzepts in der Bevölkerung verbreitet und aktive Mitarbeit in der Umsetzung der Maßnahmen erreicht werden können.

### 8.1 Klimastadt Hattersheim

Klimastadt Hattersheim

Die Marke *Klimastadt Hattersheim* ist Teil der Kommunikationsstrategie und steht für Beratung, Unterstützung, Vernetzung und für die administrativen Prozesse beim Klimaschutz innerhalb der Verwaltung. Die Marke *Klimastadt Hattersheim* soll anfangs durch ein *Büro für Klimaberatung* ergänzt werden, welche(s) auf die Entwicklung von Klimaschutzprojekten gemeinsam mit anderen Akteuren ausgerichtet sein soll. Das Büro ist eine zentrale und durch den Namen deutlich erkennbare Anlaufstelle für alle Fragen und Anregungen rund um das Thema Klimaschutz, insbesondere für interessierte Bürgerinnen und Bürger. Es schafft so mit einfachen Mitteln eine klare Zuständigkeit für Außenstehende. Das Klimabüro soll als Bindeglied zwischen der Kernverwaltung und den Anliegen von außen fungieren und diesen Kommunikationsweg zunächst ermöglichen und anschließend - wenn sich mehrere Personen mit Themen rund um den Klimaschutz beschäftigen - verbessern und festigen.



Abbildung 34: Klimastadt Hattersheim (Layout)

### 8.2 Instrumente zur Information und Beratung

Die Nähe der Kommune zu ihren Bürgern erleichtert die Klimaschutzkommunikation. Um erfolgreich zu sein, muss sie jedoch zielgruppenspezifisch, lösungsorientiert, authentisch, regelmäßig und in Verbindung mit konkreten Maßnahmen gestaltet werden. Neben den Beteiligten, die direkt angesprochen werden sollen, ist auch die Einbeziehung von Multiplikatoren (Presse, Politik, Wirtschaft, Vereine oder Kultureinrichtungen) sinnvoll, um möglichst viele Menschen zu erreichen. (Difu 2018) Klimaschutzkommunikation ist zudem erfolgreicher, wenn sie lösungsorientiert ist (Schrader 2020). Daher sollte der Fokus auf der Vermittlung von Handlungsfähigkeit, auf Motivation und auf den Chancen einer starken Gemeinschaft liegen. Dazu ist es wichtig, konkrete Handlungsoptionen zu liefern und die positiven Seiten des Wandels herauszustellen, beispielsweise indem im Rahmen der Maßnahme B-1 auf die vielseitigen Beschäftigungsmöglichkeiten in einer klimafreundlichen Gesellschaft hingewiesen wird. Um glaubhafte Klimaschutzkommunikation zu betreiben, ist jedoch auch Authentizität wichtig. Die Stadt muss entsprechend ihre Klimaaktivitäten weiter vorantreiben und diese in die Öffentlichkeit kommunizieren. Dies stärkt die Vorbildfunktion der Stadtverwaltung und motiviert idealerweise andere zum Handeln. (Difu 2018) Um das Thema in der

öffentlichen Wahrnehmung präsent zu halten, wird eine regelmäßige, qualitativ hochwertige Kommunikation angestrebt. Hierzu wird auf die gesamte Bandbreite an Kommunikationsinstrumenten zurückgegriffen. Durch regelmäßige Veröffentlichungen in der Presse, auf der Internetseite und in Facebook sowie über das Instrument des Klimakiosks informiert das Klimaschutzmanagement Interessierte über Aktuelles im Klimaschutz vor Ort. Hier sollen Veranstaltungen beworben und über aktuelle Projekte und Ergebnisse berichtet werden. Zudem überarbeitet der Klimaschutzmanager die Unterseite zum Klimaschutz, sodass der Fokus von der Konzepterstellung hin zur Umsetzung verschoben wird. Aufgabe der Klimaschutzseite soll es sein, über den Klimaschutz vor Ort zu informieren. Dazu zählen Aktivitäten der Stadt und anderer Beteiligter, Ankündigungen und nachträgliche Berichterstattung über Aktionen und Veranstaltungen. Um einen Wiedererkennungswert bei allen Maßnahmen und Kommunikationsmedien zu schaffen, wird die Dachmarke „Klimastadt Hattersheim“ veröffentlicht und etabliert. Öffentlichkeitsarbeit muss zudem in Verbindung mit konkreten Maßnahmen gestaltet werden, um ihre volle Wirksamkeit zu entfalten und Handlungsanreize zu schaffen. Daher ist für nahezu jede Maßnahme im Katalog eine entsprechende Öffentlichkeitsarbeit eingeplant. Die Kommunikation verleiht der Maßnahme mehr Reichweite, während die Maßnahme der Kommunikation mehr Tiefe gibt. In der Umsetzung ihrer Klimaschutzkommunikation kann die Stadt Hattersheim von Synergieeffekten mit umliegenden Kommunen, dem Main-Taunus-Kreis und weiteren Partnern profitieren, die ähnliche Ziele verfolgen. Dies sorgt für effizientere Ressourcennutzung und ein abgestimmtes Auftreten. Die Zusammenarbeit in der Region in Sachen Klimaschutzkommunikation soll daher noch weiter verstärkt werden. Wegen der häufigen Überschneidung der Themen ist es sinnvoll, die kommunale Kommunikation als Ergänzung zu bestehenden Angeboten zu sehen und bei Bedarf auf diese Angebote zu verweisen.

Zu Schwerpunktthemen wie der PV-Offensive, soll es hybride Informationsveranstaltungen und gegebenenfalls Expertenvorträge geben. Interessierte können so vor Ort aber auch online an der Veranstaltung teilnehmen. Mit den Informationsveranstaltungen sollen die Teilnehmer ermächtigt und motiviert werden, selbst Klimaschutz zu betreiben und beispielsweise eine PV-Anlage auf Ihrem Dach zu installieren. Häufig ist die Untätigkeit der Bürgerinnen und Bürger durch eine schlechte Informationslage zu erklären. Eine Informationsveranstaltung verspricht einen komfortablen Zugang zu den zentralen und wichtigen Informationen und ist somit – verglichen mit einer eigenen Recherche im Internet – vertrauenswürdiger, genauer und gleichzeitig schneller. Außerdem können bei Unklarheiten direkt Fragen gestellt werden, die andernfalls im Internet mühsam recherchiert werden müssten. Informationsveranstaltungen können demnach einen wichtigen Impuls für motivierte aber nicht ausreichend informierte Menschen geben.

Eine Kombination der Ansätze ist sinnvoll, um möglichst viele Zielgruppen möglichst umfassend zu erreichen.

Ein weiteres Instrument im Rahmen der Informationsarbeit stellt das Thema Nachbarschaftsberatungen dar. Bürgerinnen und Bürger, die erfolgreiche Klimaschutzprojekte umgesetzt haben, berichten über das Projekt und stellen Kosten, Nutzen, Hindernisse und Vorgehensweise vor. Im Bereich des PV-Ausbau gibt es hierzu so genannte Solarpartys. Die privat initiierten Veranstaltungen sollen durch die Stadt unterstützt werden. Der große Vorzug dieser Beratungsangebote ist die Unabhängigkeit der Beratenden, da sie selbst nichts verkaufen wollen und gleichzeitig in den meisten Fällen Bekannte, Nachbarn oder wenigsten Einwohner der gleichen Stadt sind. Das erhöht die Vertrauenswürdigkeit der Informationen enorm.

Informationen zu immer wiederkehrenden Themen sollen in Form von ästhetisch ansprechenden und gut strukturierten Flyern festgehalten werden. Vorbild kann hier das gut ausgearbeitete Material der

Verbraucherzentralen zum Energiesparen sein, welches ebenfalls über das Klimaschutzmanagement der Stadt den Bürgerinnen und Bürgern bereitgestellt werden soll. Muss bei Anfragen aus der Bevölkerung momentan noch auf die externen Anlaufstellen hingewiesen werden, soll auch das Klimaschutzmanagement der Stadt zu Schwerpunktthemen ein Informations- und Beratungsangebot auf- und ausbauen.

Wie in den beiden Jahren der Konzepterstellung wird das Klimaschutzmanagement auch weiterhin Veranstaltungen im Rahmen des Klimaschutzes unterstützen. Die Veranstaltungen sind nicht nur ein Informationswerkzeug, sondern dienen viel mehr der Beteiligung.

Weitere Möglichkeiten zur Beteiligung werden im nächsten Abschnitt erläutert:

### **8.3 Instrumente zur Beteiligung**

Beratung und Beteiligung sind Kommunikationsinstrumente, die zugleich andere Kommunikationsinstrumente als konkrete Maßnahmen unterstützen können. Bürgerberatung erfolgt in Hattersheim im Rahmen von themenbezogenen Beratungsangeboten aus dem Maßnahmenkatalog (beispielsweise P-2) aber auch in allgemeiner Form (B-1, P-1). Sie soll Privatpersonen und Unternehmen informieren und zu eigenständigem Handeln befähigen. Jedoch ist diese Beratung in der Regel als Erstberatung zu verstehen. Hierbei liegt der Fokus auf der Motivation der Zielgruppe, indem Vorteile und Handlungsoptionen dargelegt werden. Zum Bereich Beratung sind beispielsweise Bildungsveranstaltungen zu zählen, zu denen die Stadt auf die Expertise externer Fachleute zurückgreift. Die Kommunikation solcher Veranstaltungen wird mit den Partnern koordiniert. Beteiligungsprozesse fördern die Zusammenarbeit zwischen Stadtverwaltung und externen Beteiligten, fördern Akzeptanz und ermöglichen bessere Handlungsfähigkeit. Daher werden im Rahmen von Arbeitsgruppen und Workshops auch externe Beteiligte in den Entstehungsprozess bestimmter Projekte eingebunden. Fördermittel hierfür werden im Rahmen des Fördermittelantrags für ein Anschlussvorhaben beantragt.

### **8.4 Ausgangssituation und Zuständigkeiten**

In der Erstellungsphase dieses Klimaschutzkonzepts hat die Stadt Hattersheim bereits begleitende Öffentlichkeitsarbeit durch verschiedene Kommunikationskanäle geleistet. Zu nennen sind hier neben der klassischen Pressearbeit unter anderem die Erstellung einer Unterseite der städtischen Internetseite zum Thema Klimaschutz, Veröffentlichungen in Facebook, die Durchführung von Workshops zur Beteiligung am Konzept, Online-Bürgerbefragung und die Vernetzung mit Multiplikatoren. Diese Ansätze gilt es im Rahmen der Umsetzungsphase weiter zu diversifizieren und zu vertiefen. Die Pressestelle der Stadt Hattersheim pflegt bereits einen Presseverteiler und arbeitet häufiger mit den lokalen Medien zusammen. Zudem besitzt die Stadt eine Internetseite sowie einen Kanal auf Facebook. Diese Kanäle können indirekt auch vom Klimaschutzmanagement genutzt werden. Zuständig für die Kommunikation von und das Netzwerken zu Klimaschutzthemen ist das Klimaschutzmanagement. Es steht dabei im engen Austausch mit der Pressestelle und wird bei Bedarf von dieser unterstützt. Je nach Themenfeld werden auch verantwortliche Referate mit einbezogen.

## 9 Fazit

Das vorliegende integrierte Klimaschutzkonzept für die Stadt Hattersheim am Main wurde im Zeitraum von Januar 2023 bis Juni 2024 gemäß der Kommunalrichtlinie 2020 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit erarbeitet. Das Konzept umfasst alle vom Fördergeber vorgegebenen Bausteine. Zunächst wurde der Ist-Zustand der Energieverbräuche, Treibhausgasemissionen und Klimaschutzmaßnahmen in Hattersheim ermittelt. Hierzu wurden anhand einer Datenrecherche eine Energie- und Treibhausgasbilanz erstellt und bisherige Klimaschutzmaßnahmen gesammelt. Die Analyse ergab, dass Stand 2019 insgesamt 150 Tsd. Tonnen CO<sub>2</sub>e pro Jahr auf dem Stadtgebiet ausgestoßen wurden. Pro Einwohner liegt Hattersheim entsprechend bei 5,2 Tonnen CO<sub>2</sub>e im Jahr 2019. Die Gesamtemissionen auf dem Stadtgebiet entfallen zu 24 % auf den Mobilitätssektor, zu 53 % auf den Wirtschaftssektor und zu 22 % auf den Sektor der privaten Haushalte. Mit einem Anteil von 1 % an den gesamtstädtischen Emissionen haben kommunale Einrichtungen geringe direkte Relevanz für die Erreichung der Einsparziele. Sie dienen jedoch als wichtiges Vorbild, sodass Maßnahmen hierzu einen motivierenden Charakter haben.

Aufbauend auf der Energie- und Treibhausgasbilanz wurden Potenziale zur Treibhausgasreduktion in Hattersheim berechnet. Neben Einsparungen durch Effizienzsteigerungen und Verhaltensänderung kann auch der Ausbau der erneuerbaren Energien Treibhausgasemissionen vermeiden. Das weitaus größte Potenzial zur Erzeugung erneuerbarer Energien in Hattersheim liegt bei der Photovoltaik, deren Ausbau bis 2045 bis zu 59 Tsd. Tonnen CO<sub>2</sub>e pro Jahr vermeiden kann.

Im Anschluss an die Datenanalyse wurden im Rahmen eines umfassenden Partizipationsprozesses zahlreiche Akteure in die Erstellung des vorliegenden Konzeptes einbezogen. Bürger hatten unter anderem durch die Online-Befragung die Möglichkeit, ihre Erfahrungen und Ideen einzubringen. Begleitet wurde der Erstellungsprozess durch den Fachausschuss Umwelt, Bauen und Verkehr sowie durch den eigens für diesen Zweck einberufenen Arbeitskreis KlimaAktionsTeam (KAT). Der Fokus dieser Gremien lag in der Beratung der Ziele und Leitsätze sowie des Maßnahmenkatalogs. Die Klimaschutzziele der Stadt Hattersheim sehen Klimaneutralität bis spätestens 2045 vor. Bis 2033 sollen im Vergleich zu 2019 57 % der gesamtstädtischen Treibhausgasemissionen eingespart werden. Um diese Ziele zu erreichen, wurden 16 Maßnahmen ausgearbeitet, die den folgenden Handlungsfeldern zugeordnet sind:

- Bildung
- Energie und Wohnen
- Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie
- Klimaanpassung
- Mobilität und Verkehr
- Private Haushalte und Konsum
- Verwaltung

Die in diesem Konzept beschriebenen Maßnahmen können einen wichtigen Beitrag zu den Klimazielen der Stadt Hattersheim leisten. Zuletzt wurden im Rahmen dieses Konzeptes eine Verstetigungs- und eine Kommunikationsstrategie sowie ein Controlling-Konzept entwickelt. Diese legen die Rahmenbedingungen für die Umsetzung der Maßnahmen und die Verankerung von Klimaschutz in der Kommune fest. Die Verstetigungsstrategie sieht die Bereitstellung personeller und finanzieller

Ressourcen, die Schaffung geeigneter Organisationsstrukturen, intra- und interkommunale Vernetzung sowie Öffentlichkeitsarbeit vor. Das Controlling-Konzept skizziert die Vorgehensweise zur Überwachung der Wirksamkeit und Effizienz der Maßnahmen. Es sieht die fünfjährige Fortschreibung der Energie- und Treibhausgasbilanz, ein Maßnahmen-Controlling und die Erstellung eines jährlichen Klimaschutzberichts vor. Die Kommunikationsstrategie legt schließlich die Vorgehensweise bei der Aufklärung und Einbeziehung der Öffentlichkeit dar.

Mit dem vorliegenden integrierten Klimaschutzkonzept hat die Stadt Hattersheim die Grundlage für ihre weitere Klimaschutzarbeit gelegt. Mithilfe des Konzeptes wird die Stadt Hattersheim gemeinsam mit allen relevanten Akteuren daran arbeiten, die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen auf dem Stadtgebiet zu beschleunigen und die Zukunft ihrer Bürger zu sichern.

## 10 Anhang Nr. 1: Weitere Ausführungen zum Reduktionspfad

Die Inhalte und Werte der vorherigen Abschnitte der vorliegenden Potenzialanalyse basieren auf den grundlegenden Annahmen, die im Laufe der engen Kooperation zwischen dem Auftraggeber (Klimaschutzmanagement der Stadt Hattersheim am Main) und dem Auftragnehmer (EnergyEffizienz GmbH) entstanden sind. Im Prozess der internen Abstimmungen wurde durch das lokale Klimaschutzmanagement die Vision der zukünftigen Beheizungsstruktur, der Entwicklung der E-Mobilität sowie der Ausbau von weiteren EE-Anlagen mitgeteilt. Diese Visionen und Perspektiven der vor Ort agierenden Akteure bilden ein solides Fundament für die objektive Einschätzung der vorherrschenden Ausgangsbedingungen sowie für die Formulierung von realitätsnahen Zielen, die sich in dem bestehenden lokalen Kontext zumindest theoretisch erreichen lassen. Im Folgenden wird der Überblick der einzelnen Annahmen und der dadurch kalkulierten Entwicklungen der einzelnen Sektoren dargestellt. Das Ziel dieser Erläuterungen besteht in der Benennung der konkreten quantifizierbaren Handlungsbedarfe, die ohne weiteres Verzögern umzusetzen sind, wenn das gesetzlich verpflichtende Ziel der Klimaneutralität 2045 tatsächlich erreicht werden soll.

### Zukünftige Beheizungsstruktur

Angesichts der Wichtigkeit der individuellen Handlungen für die Erreichung des Zieles der Klimaneutralität im Wärmesektor wurde entschieden, eine genauere Analyse der potenziellen Entwicklungen der Beheizungsstruktur der privaten Haushalte durchzuführen. Die bestehenden deutschlandweiten Studien bieten zwar Orientierungswerte (bspw. Anteile der jeweiligen Energieträger (Wärmepumpen / Biomasse / Solarthermie etc. an der Wärmebereitstellung), allerdings muss in diesem Fall der lokale Kontext berücksichtigt werden. Die mitgeteilten Annahmen der Beheizungsstruktur der privaten Haushalte in der Stadt Hattersheim bilden die Grundlage der Berechnungen vom Klimaschutzszenario und sehen wie folgt aus:

Energieträger	Prozentualer Anteil an Beheizungsstruktur 2045
Wärmepumpe	40
Biomasse	25
Solarthermie	5
Nahwärme	30
Sonstige Quellen	0

Tabelle 17: Annahmen bezüglich der zukünftigen Beheizungsstruktur der privaten Haushalte

Eine genaue Berechnung der Anzahl von entsprechenden Anlagen ist wegen der prozentualen Aufteilung über den gesamten Betrachtungszeitraum nicht möglich, weswegen mit Abweichungen von +/- 3 % zu rechnen ist. Allerdings erfüllen diese Annahmen die Rolle der Orientierungswerte, die während der weiteren Planungen zu beachten sind. Auf Basis dieser Annahmen ist mit der folgenden Entwicklung der einzelnen nachhaltigen Wärmeerzeugungsanlagen zu rechnen.

Das untenstehende Bild stellt die benötigten Zubauraten der einzelnen Anlagen im linearen Verlauf (50%ige Erreichung des Zieles bis zum Zwischenjahr 2030) dar.

Es ist zu erwähnen, dass die angenommene bestehende Anzahl der Wärmepumpen (279 Anlagen im Jahr 2019), die Anzahl der angenommenen biomassebetriebenen (87) und solarthermischen (705) Anlagen über die durchschnittlichen Wärmeertragswerte je Anlage bestimmt wurde.

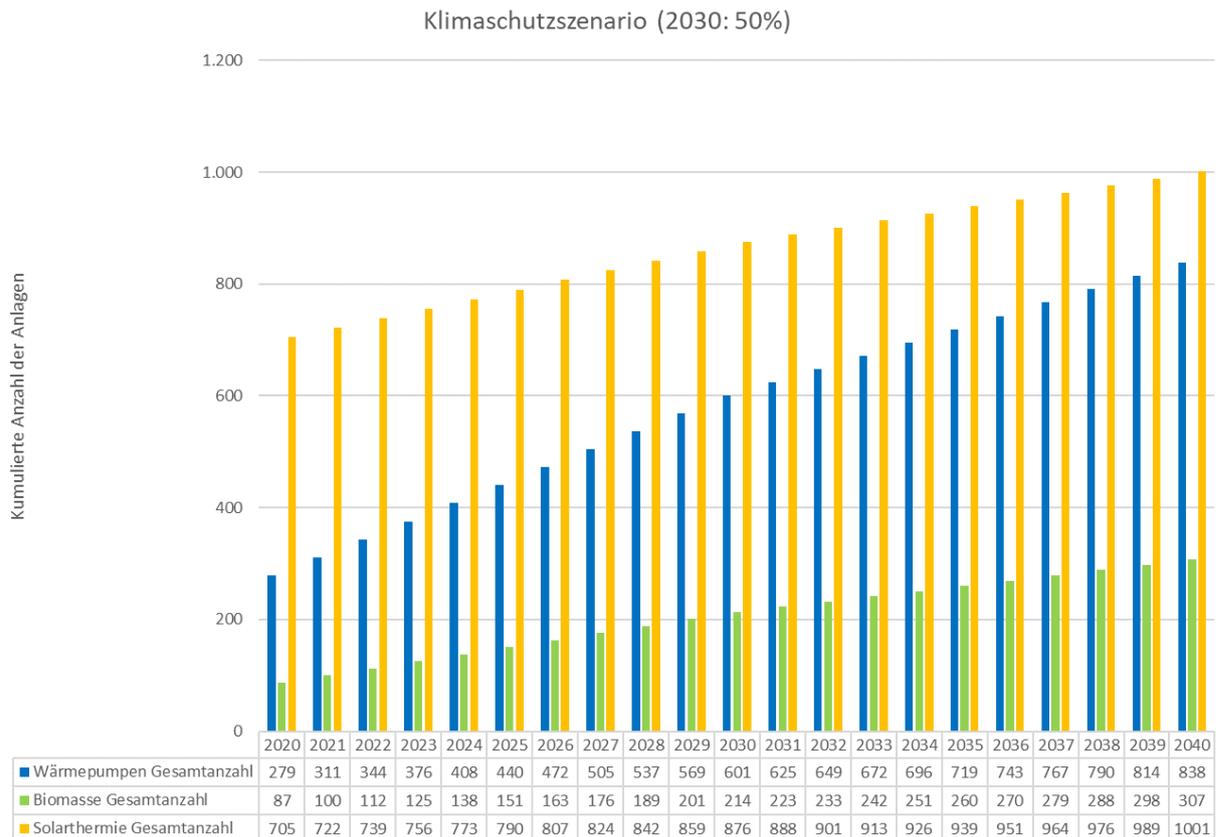


Abbildung 35: Voraussichtliche Anzahl der nachhaltigen Wärmezeugungsanlagen unter Annahme der Erreichung der Klimaneutralität im Wärmesektor 2040 (linearer Ausbaurythmus). Eigene Visualisierung der EnergyEffizienz GmbH

Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass sowohl die institutionelle Basis als auch die regulatorischen Einzelheiten an die Sensibilität der lokalen Bevölkerung in Bezug auf diese Themen angepasst werden müssen. Basierend auf diesen realitätsnahen Annahmen wurde beschlossen, einen gewissen Zeitpuffer bis zum Zwischenjahr 2030 für die Vorbereitung der entsprechenden Hintergründe einzuräumen. Erst danach erfolgt der erforderliche Ausbau der Anlagen. Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Zubauraten, wenn bis zum Zwischenjahr 2030 nur 25 % des Ziels der Klimaneutralität erreicht werden.

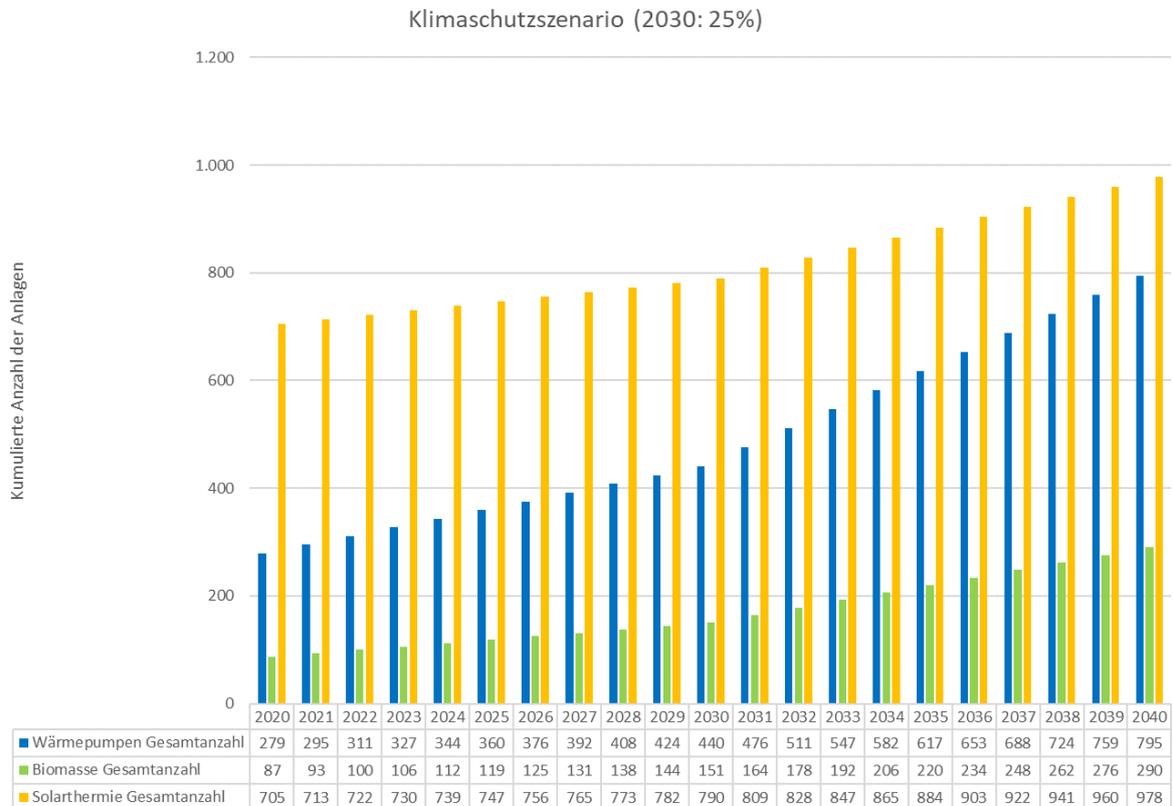


Abbildung 36: Voraussichtliche Anzahl der nachhaltigen Wärmeerzeugungsanlagen unter Annahme der Erreichung der Klimaneutralität im Wärmesektor 2040 (Erreichung des Ziels im Jahr 2030: 25%). Eigene Visualisierung der EnergyEffizienz GmbH

Sollten sich die lokalen Bedingungen für die Erreichung des Klimaneutralitätszieles nicht als fördernd erweisen und wären nur 10 % des gesamten Ziels zum Zwischenjahr 2030 zu erreichen, würde es die Notwendigkeit des zusätzlichen Handlungsbedarfs im Laufe der restlichen 10 Jahre (2030 - 2040) weiter erhöhen.

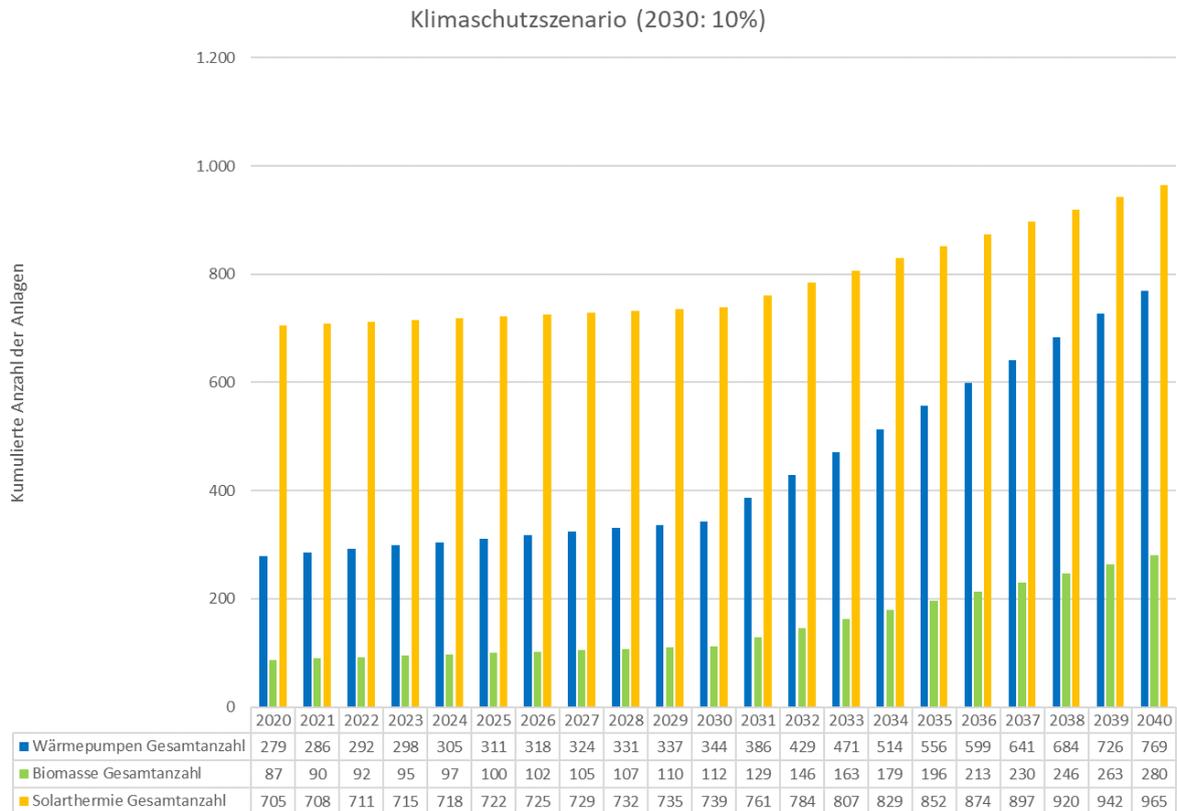


Abbildung 37: Voraussichtliche Anzahl der nachhaltigen Wärmeerzeugungsanlagen unter Annahme der Erreichung der Klimaneutralität im Wärmesektor 2040 (Erreichung des Ziels im Jahr 2030: 10%). Eigene Visualisierung der EnergyEffizienz GmbH

Außerdem wäre in diesem Fall ein Vergleich zwischen dem Klimaschutzszenario (Zielerreichung 2030: 10%) und dem Trendszenario je Energieträger aussagekräftig. Dies ermöglicht die Abschätzung der notwendigen Intensivierung der Dynamiken im jeweiligen Sektor der Wärmebereitstellung.

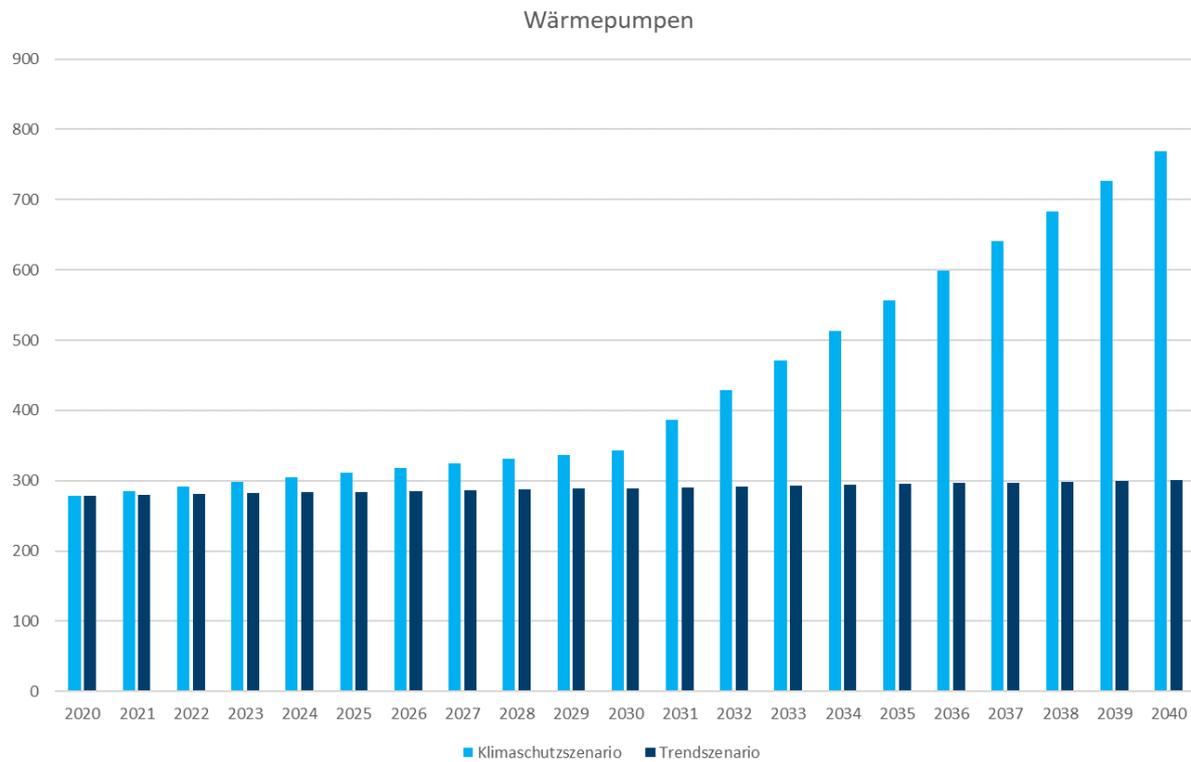


Abbildung 38: Vergleich der Anzahl von Wärmepumpen laut Trendszenario und Klimaschutzszenario (Annahme: Erreichung des Zieles der Klimaneutralität zu 10% im Jahr 2030)

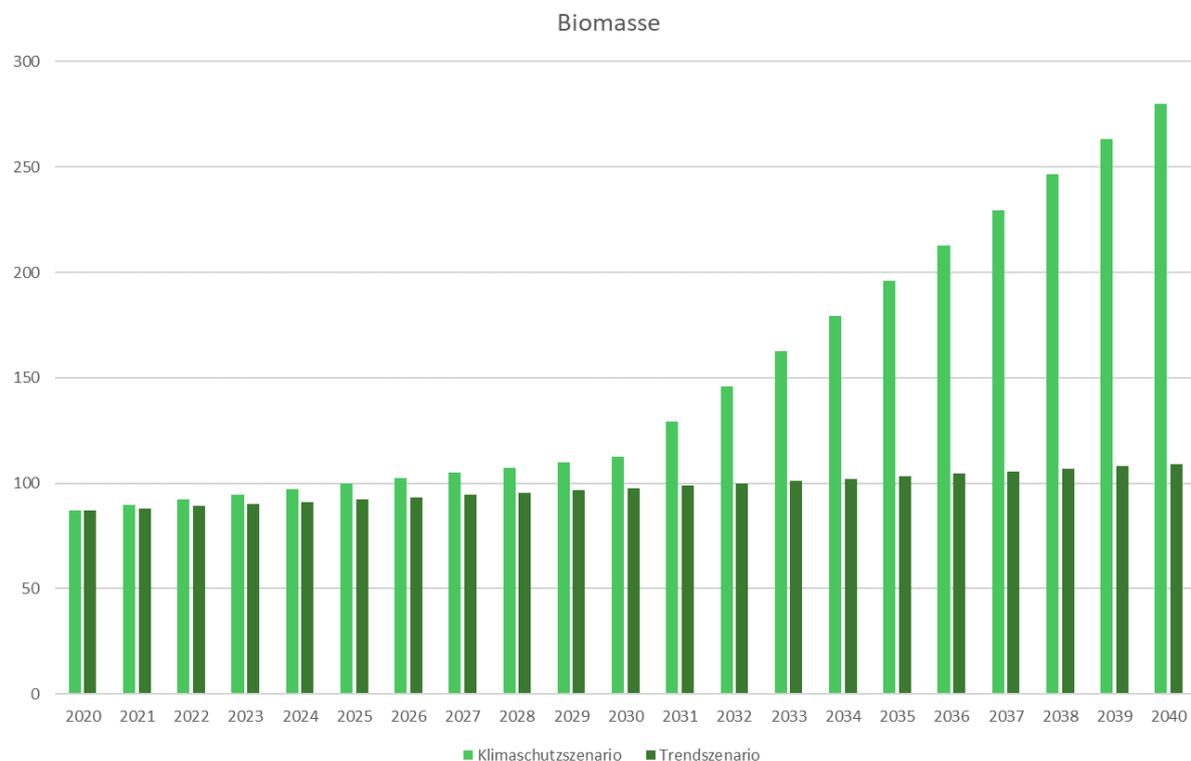


Abbildung 39: Vergleich der Anzahl von biomassebetriebenen Anlagen laut Trendszenario und Klimaschutzszenario (Annahme: Erreichung des Zieles der Klimaneutralität zu 10% im Jahr 2030)

Die Anzahl von solarthermischen Anlagen ist davon gekennzeichnet, dass die anvisierten Annahmen nur 2 % der Wärmebedarfsabdeckung durch die entsprechenden Anlagen mitteilen.

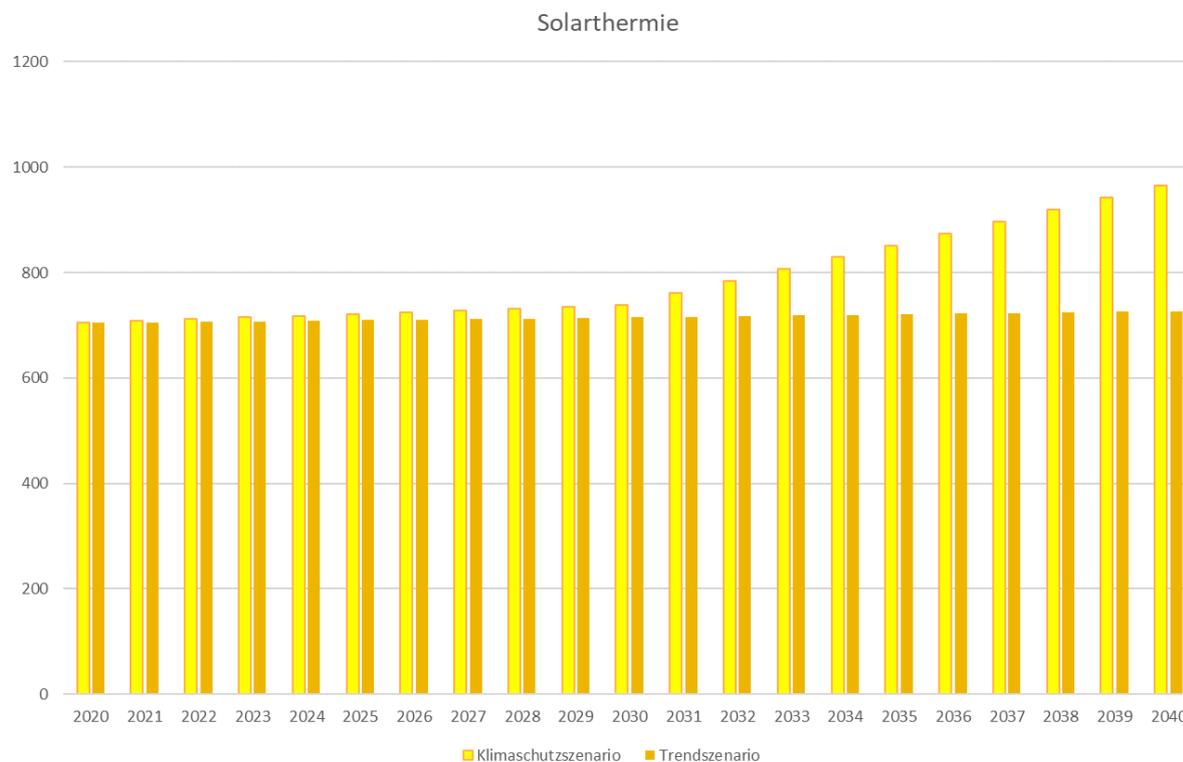


Abbildung 40: Vergleich der Anzahl von solarthermischen Anlagen laut Trendszenario und Klimaschutzszenario (Annahme: Erreichung des Zieles der Klimaneutralität zu 10% im Jahr 2030)

Die restlichen 30 % des lokalen Wärmebedarfs könnten durch die kombinierten Wärmeerzeugungsquellen abgedeckt werden – hier kommen nicht nur die quartiersbezogenen Konzepte der Nahwärme infrage, sondern auch moderne Wärmeerzeugungsanlagen wie die großen Fluss- und Luftwärmepumpen, Wärmespeicher, Nutzung der industriellen Abwärme etc.

## 10.1 E-Mobilität, der resultierende Strombedarf und EE-Anlagen

Eine nahezu vollständige Klimaneutralität des Verkehrssektors im Zieljahr 2045 wird durch die Bundesregierung beabsichtigt. Dadurch, dass die Elektromobilität als Hauptbaustein der verkehrsbezogenen Klimaneutralität derzeit angesehen wird, wurde in den ursprünglichen Analysen von einem 95-99%igen Anteil der E-Mobilität am gesamten Verkehrssektor ausgegangen. Berücksichtigt man aber die lokalen Bedingungen, die fehlende Ladesäuleninfrastruktur und die Hindernisse im Förderbereich, erscheint dieser Wert unrealistisch. Infolge des derzeitigen Status quo vor Ort wurde entschieden, den entsprechenden Wert auf **70 %** zu setzen. Dieser Wert stellt nur einen Orientierungswert dar. Seine Hauptrolle besteht allerdings in der Möglichkeit, davon ausgehend den zukünftigen Strombedarf und damit den Ausbaubedarf an regenerativen Stromerzeugungskapazitäten zu ermitteln.

Die Abbildung am Ende des Kapitels „Strom“ spiegelt den Wert von 100 % E-Mobilität wider, um den BSKO-konformen Grundlagen der durchgeführten Bilanzanalyse zu entsprechen. Die untenstehende Abbildung bezieht sich auf den angepassten Wert (70 %) bei der Beibehaltung der EE-Ausbauraten.

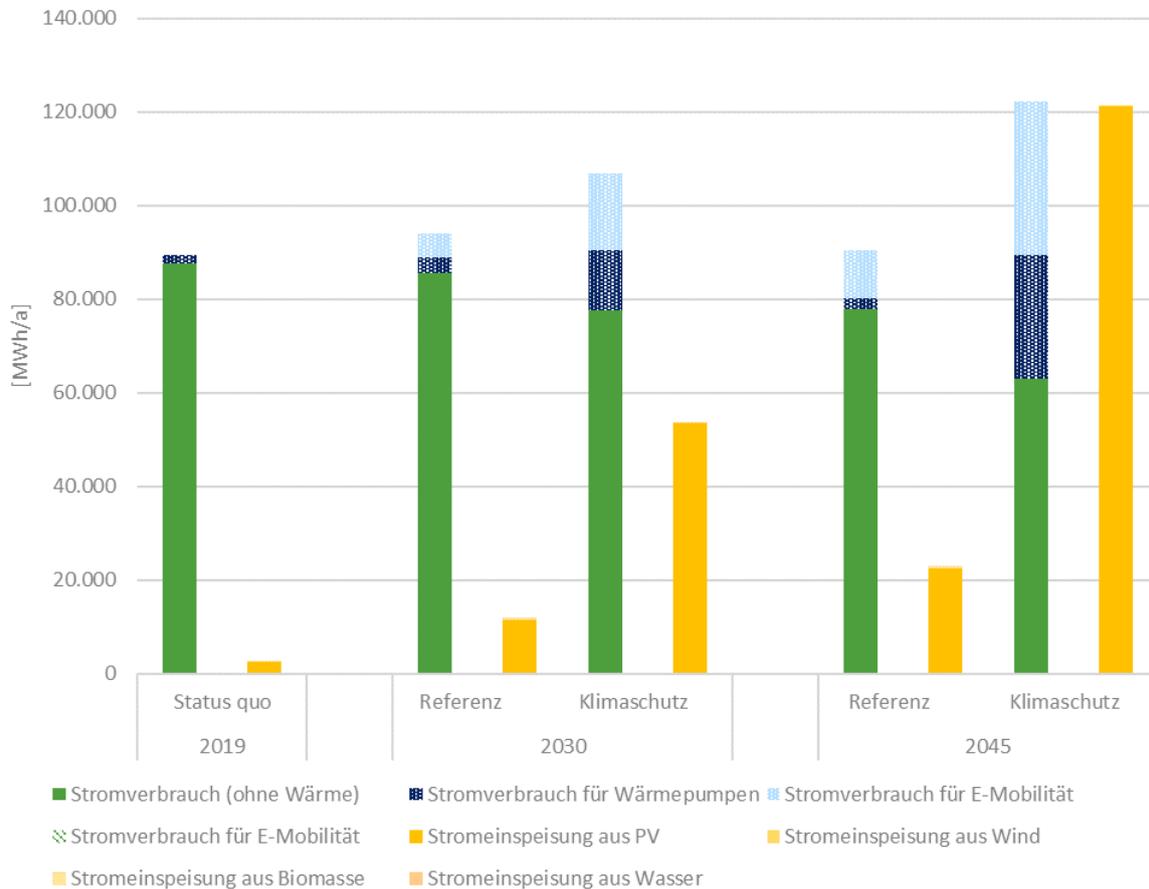


Abbildung 41: Vergleich der Stromverbräuche und Stromeinspeisungen unter der angepassten E-Mobilitätsannahme (70 %). Eigene Modellierung der EnergyEffizienz GmbH

Für die Abdeckung des durch die E-Mobilität und zugebauten Wärmepumpen entstandenen zusätzlichen Strombedarfs ist von den neuen EE-Anlagen nicht abzusehen. Im Prozess der Kommunikation mit dem lokalen Klimaschutzmanagement wurden die folgenden theoretischen Orientierungswerte beschlossen:

EE-Anlagen	Status quo	Annahme
<b>PV-Dachanlagen</b>	67 St. im Haushaltssektor, 3 St. im GHD-Sektor	Jährlich: 230 St. im Haushaltssektor, 60 St. im GHD-Sektor
<b>PV-Freiflächenanlagen</b>	0,2 MWp	Gesamt: 15 Anlagen (1 ha = 1 MWp)
<b>Windkraftanlagen</b>	0 MWp	Keine Anlagen

Tabelle 186: Status quo und Annahmen bezüglich der EE-Ausbau

Berechnet man den erwarteten Stromertrag der PV-Dachanlagen mit Hilfe der jeweiligen Durchschnittswerte, könnte man mit ca. **100.600 MWh/a** der Stromerzeugung aus diesen Anlagen rechnen. Der restliche Strombedarf müsste von PV-Freiflächenanlagen abgedeckt werden. Das

angestrebte Verhältnis zwischen Dach- und Freiflächen-Photovoltaik wurde in Kooperation mit dem lokalen Klimaschutzmanagement bestimmt. Es ermöglicht genaue Aussagen zu der benötigten Anzahl der Anlagen und zum Flächenbedarf für die Installation der PV-Freiflächenanlagen, welche in dem vorherigen Kapitel „Photovoltaik“ dargestellt wurden. Es wurde festgestellt, dass von neuen Windkraftanlagen auf der Stadtgemarkung abzusehen ist, weswegen ausschließlich PV-Anlagen betrachtet werden. Eine jahresgenaue Darstellung im linearen gleichmäßigen Verlauf sowie die Darstellung mit der Annahme der 35%igen Zielerreichung zum Zwischenjahr 2030 ist den folgenden Abbildungen zu entnehmen.

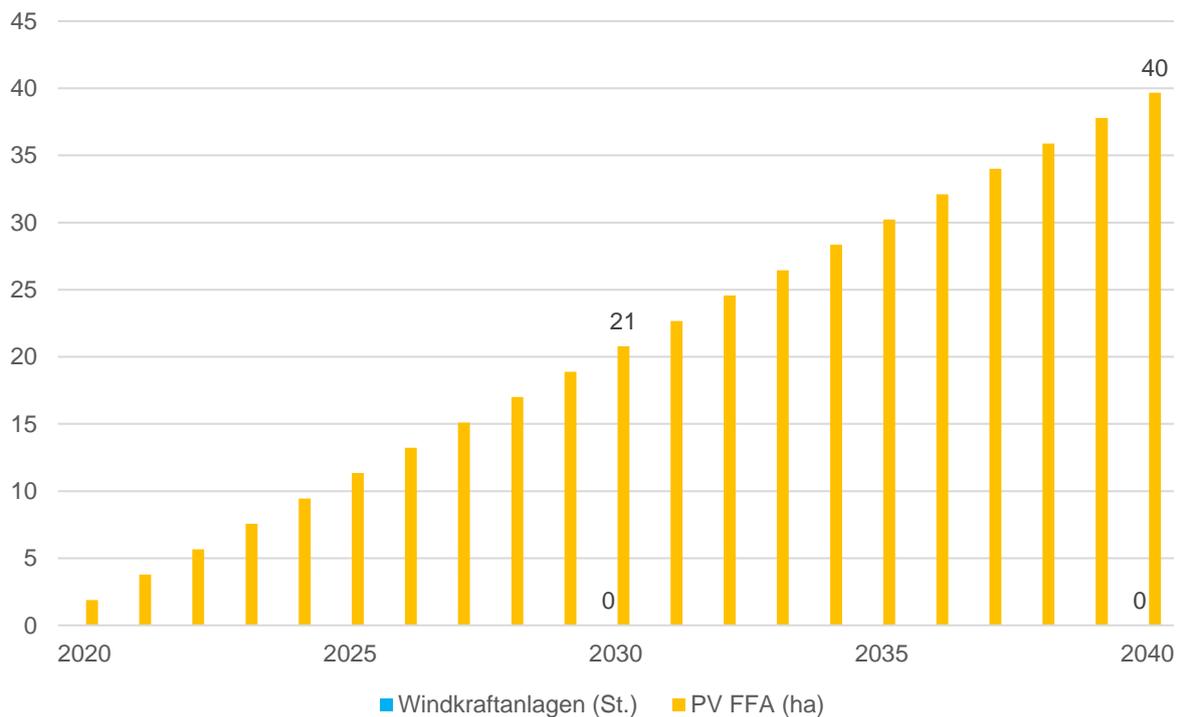


Abbildung 42: Übersicht der benötigten Fläche für die PV-Freiflächenanlagen für die Abdeckung des lokalen Strombedarfs (linearer Verlauf der Zubauraten). Eigene Modellierung der EnergyEffizienz GmbH

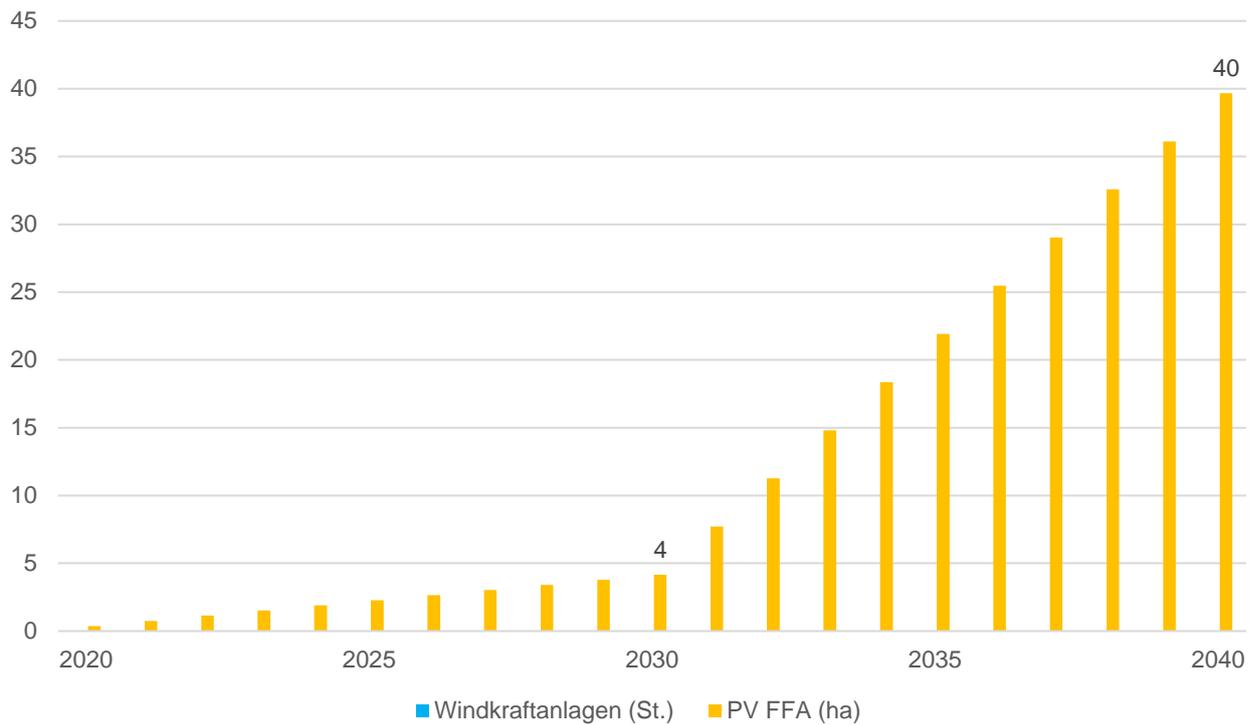


Abbildung 43: Übersicht der benötigten Fläche für die PV-Freiflächenanlagen für die Abdeckung des lokalen Strombedarfs (Zielerreichung 2030: 35%). Eigene Modellierung der EnergyEffizienz GmbH

## 11 Anhang Nr. 2: Auswertung der Umfrage zum IKK

Im Rahmen der Erstellung des Integrierten Klimaschutzkonzeptes (IKK) für die Stadt Hattersheim wurde vom 11. März bis 15. April 2024 eine Online-Bürgerbefragung durchgeführt. 459 Teilnehmer haben den Fragenkatalog vollständig beantwortet.

Befragt wurden die Bürger zu den folgenden Themen:

Klimaschutz generell, Mobilität, private Gebäude und Energie, erneuerbare Energien, Umweltbildung und eigene Vorschläge zum Klimaschutz in der Stadt.

Grundsätzlich wird das Thema Klimaschutz als durchweg als „wichtig“ angesehen, in den Bereichen Mobilität, Bauen und Wohnen, Energieversorgung, Gewerbe und Bildung sogar als „sehr wichtig“. Die drei Bereiche mit dem größten Interesse sind Mobilität (44%), private Gebäude und Energie (38%) und erneuerbare Energien (37%).

Im Bereich Mobilität werden insbesondere der wünschenswerte Ausbau des ÖPNV und Verbesserung der Radfahrfreundlichkeit, insbesondere durch Ausbau der Radwege mehrfach genannt.

Im ÖPNV sind besonders günstigere Tickets sowie eine höhere Taktfrequenz gewünscht. Umstellung auf Elektrobusse sowie AST-Konzepte und On-Demand-Taxis sind häufige Wünsche.

Etwa 50% der Teilnehmer würden ein Fahrrad-Verleihsystem nutzen, wenn E-Bikes und Lastenräder angeboten werden.

Ein eindeutiges „Ja“ zu E-Car-Sharing-Angeboten geben ca. 17%, weitere 38 % machen es abhängig von Verfügbarkeit und Abgabe.

Die E-Ladeinfrastruktur sollte weiter ausgebaut werden, als bevorzugte Platzierung für Ladestationen wurden Supermärkte, öffentliche Parkplätze und Wohngebiete mit Mietwohnungen deutlich präferiert.

Im Bereich private Gebäude stehen der Sanierung sowie der Installation von PV-Anlagen vor allem hohe Investitionskosten als Hinderungsgrund im Wege, weshalb hier Fördermittel wünschenswert sind. Der Ausbau von PV findet eine außerordentlich hohe Zustimmung und ist (auch für städtische Liegenschaften) absolut geboten, sogar eine PV-Pflicht im Neubau und für das Gewerbe wird oft genannt. Mehr Dachbegrünung und das Verbot von Schottergärten wünschen sich die Bürger zudem. Über 40% der Bürger haben Interesse daran, an ein Nahwärmenetz angeschlossen zu werden. Hier wird insbesondere auf die unbedingte Nutzung der Abwärme Wert gelegt.

Im Bereich der Klimabildung wünschen sich die Bürger insbesondere mehr Informationen über digitale Wege aber auch in Form von Präsenzveranstaltungen. Von besonderem Interesse ist hier der kommunale Wärmeplan und die Einbindung von Jugendlichen in die Bildungsmaßnahmen.

Als eigene Ideen werden neben den vorangegangenen Themen vor allem Baumpflanzungen und Entsiegelung, sowie Klimaanpassungsmaßnahmen und Tempolimits genannt.

## 12 Anhang Nr.3: Ergänzende Information zu den Rechenzentren

Grundsätzlich ist die THG-Bilanz der Rechenzentren ist nicht nur abhängig vom jeweiligen Strombedarf, sondern auch von anderen Faktoren, wie z.B. der CO<sub>2</sub>-Bilanz des Gebäudes selbst (Beton, Stahl, ...)

Um den reinen Strombedarf eines Rechenzentrums grob abzuschätzen, gibt es eine relativ einfache Formel:

**Leistungsbedarf eines RZ =**

**Installierte IT-Leistung \* durchschnittliche Auslastung \* durchschnittlicher PUE**

Die installierte IT-Leistung entspricht der max. nutzbaren Leistung für die IT-Systeme (Server, Massenspeicher, Netzwerkkomponenten) im Rechenzentrum. Sie wird begrenzt durch die max. Leistung der USV-Systeme und die max. thermische Kälteleistung der Kühlsysteme.

Die durchschnittliche Auslastung entspricht dem Nutzungsgrad der IT-Leistung durch die im Rechenzentrum betriebenen IT-Systeme. Wenn beispielsweise ein Rechenzentrum eine maximale IT-Leistung von 10 MW bereitstellen kann, die IT-Systeme aber nur 6 MW benötigen, liegt die Auslastung bei 60%.

Die PUE (Power Usage Effectiveness) zeigt das Verhältnis des gesamten vom Rechenzentrum benötigten Stroms (Leistung) zur real genutzten IT-Leistung. Je kleiner die PUE, desto weniger Strom wird für die restliche Infrastruktur (z.B. Kühlung) benötigt. Der theoretisch kleinste (also beste) Wert für die PUE beträgt 1,0, ist aber in der Praxis nicht erreichbar. Bei modernen Rechenzentren bewegt sich der PUE-Wert meist zwischen 1,2 und 1,4. Der PUE-Wert ist u.a. auch von der Auslastung abhängig. Dabei gilt: je geringer die Auslastung, desto größer ist auch der PUE.

Derzeit liegen keine belastbaren Zahlen hinsichtlich des realistischen Leistungsbedarfs der Rechenzentren vor. Schätzungen gehen beispielsweise für die bestehenden NTT-Rechenzentren (FRA 4) von einem Leistungsbedarf von ca. 50-80 MW aus.

Der Neubau der beiden neuen Rechenzentren soll –entsprechende Genehmigungen vorausgesetzt- bis Ende 2028 in erster Stufe abgeschlossen sein. Aufgrund der gesetzlichen Klimaneutralitätspflicht für Rechenzentren mit Inbetriebnahme ab 2027 sowie aufgrund der Nutzung der Abwärme ist jedoch bilanziell ein besseres Ergebnis bezüglich der THG-Emissionen der Stadt zu erwarten.

Die Abwärmenutzung und deren Verteilung über ein Nahwärmenetz stellt gemäß der Potenzialanalyse (vgl. Tabelle 16) eine der Säulen der zukünftigen Beheizungsstruktur dar. Im Rahmen der Bundesförderung Effiziente Wärmenetze (BEW) wurde bereits eine Transformationsstudie in Auftrag gegeben, die die Versorgung umliegender Gebiete betrachtet.

Der Wärmebedarf des gesamten Versorgungsgebietes (s. Abb. 44) soll zu 100 % durch die Abwärme der beiden neu errichteten Rechenzentren gedeckt werden. Mit der Bereitstellung der Abwärme können, neben dem Gesamtbedarf des Versorgungsgebietes, perspektivisch auch weitere Teilgebiete außerhalb des Versorgungsgebietes mit Wärme versorgt werden.

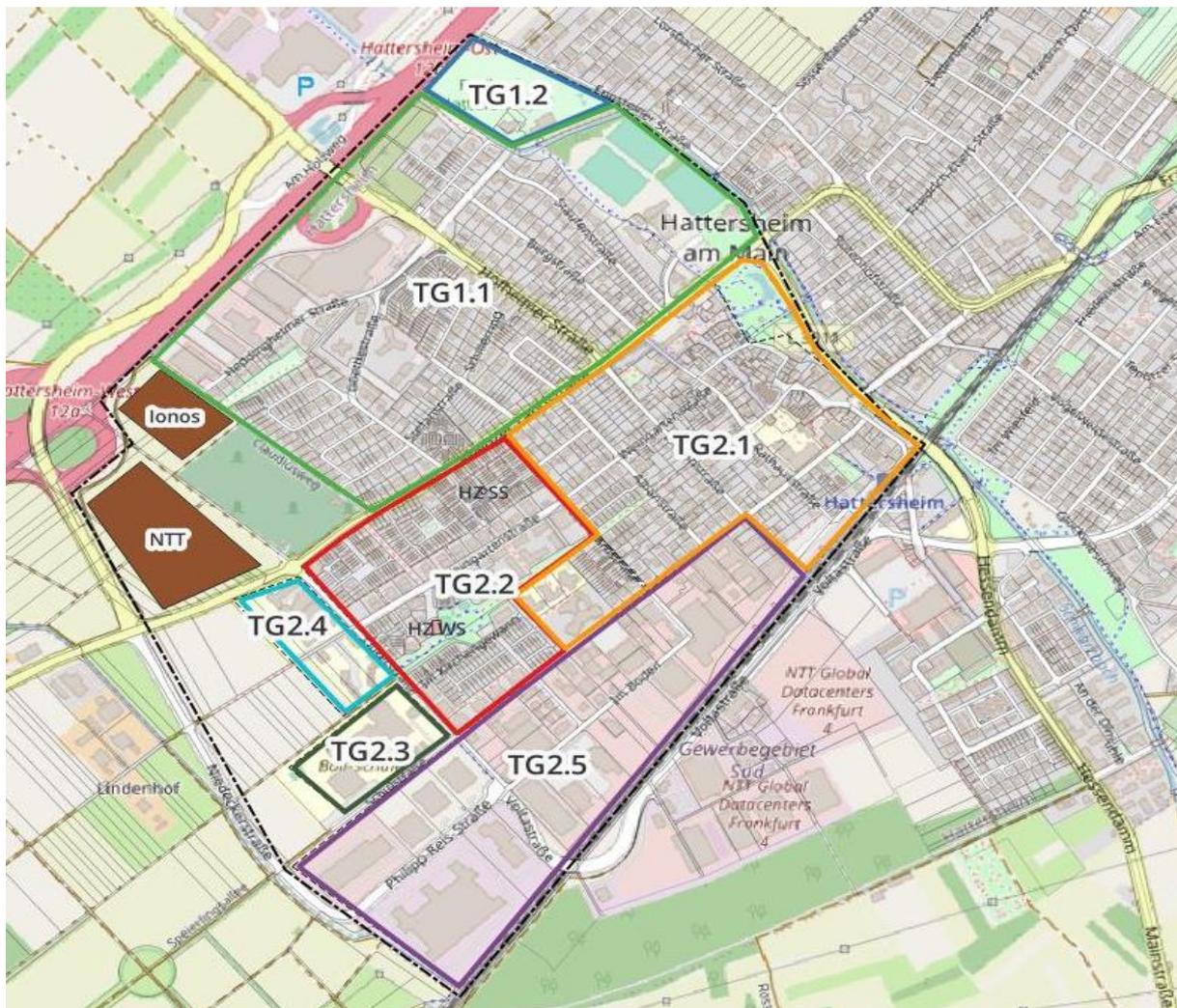


Abb.44: Einteilung der Versorgungsgebiete

Mit der Digitalisierung wird auch der Energiebedarf von Rechenzentren weiter steigen. Aber der Nutzen der Digitalisierung beim Einsparen von CO<sub>2</sub> überwiegt laut der Wissenschaft am Ende eindeutig.

Ergänzende Information bezüglich der Ökobilanzierung und künftiger Klassifizierung von Rechenzentren in Deutschland:

Bisher wurde in der Regel das Verhältnis des Energiebedarfs von Versorgungstechnik und der Informationstechnik ermittelt. Um die bisherigen Ansätze zur Bestimmung der Energieeffizienz von IT-Systemen zu verbessern, entwickelte das Forschungsvorhaben „Key Performance Indicators for Data Center Efficiency (KPI4DCE)“ ein Kennzahlensystem zur Beurteilung der Ressourceneffizienz und der Umweltwirkungen von Rechenzentren bzw. IT-Systemkomponenten über ihre gesamte Lebenszeit. Anhand der Kennzahlen der IT-Unternehmen berechneten die Experten die Energieeffizienz für verschiedene Szenarien von Rechenzentren. Aus dem Forschungsvorhaben ergeben sich dann auch Empfehlungen für die Weiterentwicklung des Umweltzeichens „Blauer Engel“ für einen energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (RAL-UZ 161) und für die Normung von Kennzahlen für Rechenzentren. Die Entwicklung des Systems ist derzeit noch nicht abgeschlossen.

## 13 Literaturverzeichnis

- (kein Datum). Abgerufen am 03. November 2022 von <https://www.topagrar.com/energie/news/mehr-biogas-ohne-flaechenkonkurrenz-neue-vorschlaege-auf-dem-tisch-13204930.html>
- Aalborg CSP A/S. (2022). *linked.in*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6999005547102404608/>
- Agentur für Erneuerbare Energien. (05. 04 2022). *Erneuerbare Wärme in den Bundesländern*. Von [https://www.unendlichvielenenergie.de/media/file/4621.AEE\\_RenewsKompakt\\_Erneuerbare\\_Waerme\\_apr22.pdf](https://www.unendlichvielenenergie.de/media/file/4621.AEE_RenewsKompakt_Erneuerbare_Waerme_apr22.pdf) abgerufen
- Agentur für Erneuerbare Energien. (05. 04 2022). *Erneuerbare Wärme in den Bundesländern*. Abgerufen am 20. März 2023 von [https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/4621.AEE\\_RenewsKompakt\\_Erneuerbare\\_Waerme\\_apr22.pdf](https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/4621.AEE_RenewsKompakt_Erneuerbare_Waerme_apr22.pdf)
- AGFW-Projekt-GmbH. (2022). *grüne-fernwärme.de*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.gruene-fernwaerme.de/praxisbeispiele/lemgo/ikwk-blog>
- Agro Energie Schwyz AG. (2020). *Agro Energie*. Von <https://www.agroenergie-schwyz.ch/energiezentrum/waermespeicher/> abgerufen
- Arbeitsgemeinschaft der Regionalverbände Baden-Württemberg. (01. 08 2022). *Regionale Planhinweiskarte - Windenergie*. Von [https://regionen-bw.de/karten/Wind\\_Planhinweiskarte\\_BW\\_A0.png](https://regionen-bw.de/karten/Wind_Planhinweiskarte_BW_A0.png) abgerufen
- Ariadne-Projekt. (11. 10 2021). *Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 – Szenarien und Pfade im Modellvergleich*. Von <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitat-2045-szenarienreport/> abgerufen
- Ariadne-Projekt. (11. 10 2021). *Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 – Szenarien und Pfade im Modellvergleich*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitat-2045-szenarienreport/>
- Aydemir, D. A., Doderer, H., Hoppe, F., & Braungardt, D. S. (2019). *Studie für das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. ABWÄRMENUTZUNG IN UNTERNEHMEN*. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Barmalgas. (25. 02 2021). *CO2 Steuer in Deutschland ab 2021*. Von <https://barmalgas.de/blog/co2-steuer-in-deutschland-ab-2021/> abgerufen
- Barmalgas. (25. 02 2021). *CO2 Steuer in Deutschland ab 2021*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://barmalgas.de/blog/co2-steuer-in-deutschland-ab-2021/>
- Bayerische Staatsregierung. (28. 06 2022). *Ministerratsberichte der Bayerischen Staatsregierung* Von Bericht aus der Kabinettsitzung vom 28. Juni 2022: <https://www.bayern.de/bericht-aus-der-kabinettsitzung-vom-28-juni-2022/?seite=5062> abgerufen
- Bayerischer Bauernverband. (22. 05 2020). *PV-Freiflächenanlagen mit Maß und Rahmenbedingungen ausbauen*. Von <https://www.bayerischerbauernverband.de/sites/default/files/2020-05/2020-05-26-stellungnahme-pk-pv-freiflaechenanlagen.pdf> abgerufen
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2022). *Kommunale Kläranlagen*. Von [https://www.lfu.bayern.de/wasser/kommunale\\_klaeranlagen/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/wasser/kommunale_klaeranlagen/index.htm) abgerufen
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2022). *Wasserkraft in Bayern*. Von <https://www.lfu.bayern.de/wasser/wasserkraft/index.htm> abgerufen
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. (2022). *Holz*. Von <https://www.aelf-rg.bayern.de/forstwirtschaft/holz/index.php> abgerufen

- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. (2022). *Unser Wald*. Von <https://www.aelf-rg.bayern.de/forstwirtschaft/wald/index.php> abgerufen
- Bayrische Staatsregierung. (2016). *stmwi.bayern*. Abgerufen am 20. März 2023 von Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen: [https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user\\_upload/stmwi/publikationen/pdf/Windenergie-Erlass\\_2016.pdf](https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/publikationen/pdf/Windenergie-Erlass_2016.pdf)
- BayWEE: *Windenergie-Erlass*. (2016). Von Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen: [https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user\\_upload/stmwi/publikationen/pdf/Windenergie-Erlass\\_2016.pdf](https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/publikationen/pdf/Windenergie-Erlass_2016.pdf) abgerufen
- BBSR. (Dezember 2016). *Datenbasis zum Gebäudestand*. Abgerufen am 04. April 2019 von Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2016/ak-09-2016-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2016/ak-09-2016-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- BMEL. (2016). *Waldstrategie 2020, Nachhaltige Waldbewirtschaftung - eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
- BMWi. (2014). *Sanierungsbedarf im Gebäudebestand*. Abgerufen am 08. April 2019 von Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/sanierungsbedarf-im-gebäudebestand.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/sanierungsbedarf-im-gebäudebestand.pdf?__blob=publicationFile&v=3)
- BMWi. (2019). *Energieeffizienz in Zahlen*. Abgerufen am 12. August 2021 von Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-2019.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=72](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=72)
- BMWi. (2021). *Erstmals rollen eine Millionen Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen*. Abgerufen am 16. 08 2021 von Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/08/20210802-erstmals-rollen-eine-million-elektrofahrzeuge-auf-deutschen-strassen.html>
- BMWK. (1. April 2021). *Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand*. Von Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. abgerufen
- Bundesamt, S. (2020). *Statistische Ämter des Bundes und der Länder*. Von <https://www.statistikportal.de/de/ugrdl/ergebnisse/energie/swe> abgerufen
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (05 2022). *Daten und Fakten. Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft mit Fischerei und Wein- und Gartenbau*. Von [https://www.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents\\_E-510136410/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung\\_3/Agrarstruktur/Statistik/C\\_Strukturdaten/BMEL\\_daten-fakten-2022.pdf](https://www.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents_E-510136410/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung_3/Agrarstruktur/Statistik/C_Strukturdaten/BMEL_daten-fakten-2022.pdf) abgerufen
- Bundesregierung. (2022). Von Portal Windenergie: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/wind-an-land-gesetz-2052764> abgerufen
- Bundesregierung. (2022). *bundesregierung.de*. Abgerufen am 20. März 2023 von Portal Windenergie: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/wind-an-land-gesetz-2052764>

- Bundesverband Geothermie e. V. (2020). *Erdwärmespeicher, Aquiferspeicher*. Abgerufen am 24. Oktober 2023 von geothermie.de: <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/e/erdwaermespeicher-aquiferspeicher.html>
- Bundesverband Geothermie e.V. (2021). *geothermie.de*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/w/waermespeicher.html>
- Bundesverband Geothermie e.V. (2023). *geothermie.de*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/n/nahwaerme-kalte.html>
- Deutsche Energie-Agentur GmbH. (2015). *Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen. Energieeffizienzpotenziale erkennen und erschließen*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH.
- Difu. (2018). *Klimaschutz in Kommunen - Praxisleitfaden, 3., aktualisierte und erweiterte Auflage*. Berlin.
- Dötsch, C., Taschenberger, J., & Schönberg, I. (1998). *Leitfaden Nahwärme*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/kompetenz/energie/leitfaden-nahwaerme.pdf>
- enbw. (2021). Aus alt mach neu: Was bringt Repowering?
- Energie Atlas Bayern. (04. 10 2022). *energieatlas.bayern.de*. Von [https://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_wind/genuehmigung.html](https://www.energieatlas.bayern.de/thema_wind/genuehmigung.html) abgerufen
- Energieagentur Rheinland-Pfalz. (o.J.). *Energieatlas Rheinland-Pfalz*. Abgerufen am 21. Juli 2021 von <https://www.energieatlas.rlp.de/earp/energiesteckbriefe/energiesteckbrief/0700000000/>
- Energieagentur RLP. (2021). *KomBiReK*. Abgerufen am 11. August 2021 von Energieagentur Rheinland-Pfalz: <https://www.energieagentur.rlp.de/projekte/kommune/kombirek>
- Energieagentur RLP. (2022). *Zukunftsscheck Biogasanlagen*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.energieagentur.rlp.de/zukunftsscheck-biogasanlagen/>
- Energieagentur RLP. (2023). *Solarenergie*. Abgerufen am 17. März 2030 von Energieagentur Rheinland-Pfalz: <https://www.energieagentur.rlp.de/themen/erneuerbare-energien/solarenergie/>
- Energieagentur RLP. (o.J.). *Energieatlas Rheinland-Pfalz*. Abgerufen am 21. Juli 2021 von <https://www.energieatlas.rlp.de/earp/energiesteckbriefe/energiesteckbrief/0700000000/>
- Energieagentur RLP, Praxis-Leitfaden Nahwärme. (Oktober 2016). *Energieagentur RLP, Praxis-Leitfaden Nahwärme*. Abgerufen am 17. März 2023 von [https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user\\_upload/Praxisleitfaeden/NWaeerme\\_Gesamt.pdf](https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user_upload/Praxisleitfaeden/NWaeerme_Gesamt.pdf)
- Energieatlas Bayern*. (04. 10 2022). Von [https://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_wind/genuehmigung.html](https://www.energieatlas.bayern.de/thema_wind/genuehmigung.html) abgerufen
- Energieatlas Bayern*. (2022). *Portal Biomasse*. Von [https://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_biomasse/daten.html](https://www.energieatlas.bayern.de/thema_biomasse/daten.html) abgerufen
- Energie-Fachberater. (01. 07 2021). *Austauschpflicht: Diese Heizungen müssen 2021 raus*. Von <https://www.energie-fachberater.de/news/austauschpflicht-diese-heizungen-muessen-2021-raus.php> abgerufen
- Energie-Fachberater. (01. 07 2021). *Austauschpflicht: Diese Heizungen müssen 2021 raus*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.energie-fachberater.de/news/austauschpflicht-diese-heizungen-muessen-2021-raus.php>
- ENERGIEWENDE BAUEN. (05. Juli 2022). *Rhine Supplies Thermal Energy via New Large-Scale Heat Pump*. Abgerufen am 25. Oktober 2023 von ENERGIEWENDE BAUEN Forschung für energieoptimierte Gebäude und Quartiere: [https://www.energiewendebauen.de/en/news/rhine\\_supplies\\_thermal\\_energy](https://www.energiewendebauen.de/en/news/rhine_supplies_thermal_energy)

- Enkhardt, S. (12. 07 2022). *pv magazine*. Von Bayerns Kabinett beschließt Solarpflicht für Gewerbe und Industrie ab 2023: <https://www.pv-magazine.de/2022/07/12/bayerns-kabinett-beschliesst-solarpflicht-fuer-gewerbe-und-industrie-ab-2023/> abgerufen
- Enovos. (30. 03 2022). *Photovoltaik: Enovos plant 214 MW Solarpark in der Südeifel*. Von Solarserver: <https://www.solarserver.de/2022/03/30/photovoltaik-enovos-plant-214-mw-solarpark-in-der-suedeifel/> abgerufen
- Episcope Tabula. (2022). *DE Germany - Country Page. Residential Building Typology*. Von <https://episcope.eu/building-typology/country/de/> abgerufen
- Episcope Tabula. (2022). *DE Germany - Country Page. Residential Building Typology*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://episcope.eu/building-typology/country/de/>
- EVN AG. (2012). Von dewiki: [https://dewiki.de/Lexikon/Kraftwerk\\_Thei%c3%9f](https://dewiki.de/Lexikon/Kraftwerk_Thei%c3%9f) abgerufen
- Frey, W. (2012). *Möglichkeiten der Faulgasverwertung auf Kläranlagen*. Von [http://www.aabfrey.com/wp-content/uploads/2011/09/Text\\_KAN\\_2011.pdf](http://www.aabfrey.com/wp-content/uploads/2011/09/Text_KAN_2011.pdf) abgerufen
- Fritsche, U., & Greß, H.-W. (2019). *Kurzstudie: Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2018 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050*. Abgerufen am 16. August 2021 von [http://iinas.org/tl\\_files/iinas/downloads/GEMIS/2019\\_KEV\\_THG\\_Strom-2018\\_2020-2050.pdf](http://iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2019_KEV_THG_Strom-2018_2020-2050.pdf)
- GEG. (2020). *Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG)*.
- Handelsblatt. (15. 03 2022). Von Söder will „500 plus X“ neue Windräder in Bayern – aber an Abstandsregel festhalten: <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/energiepolitik-soeder-will-500-plus-x-neue-windraeder-in-bayern-aber-an-abstandsregel-festhalten/28165566.html> abgerufen
- Handelsblatt. (15. 03 2022). *handelsblatt.de*. Abgerufen am 20. März 2023 von Söder will „500 plus X“ neue Windräder in Bayern – aber an Abstandsregel festhalten: <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/energiepolitik-soeder-will-500-plus-x-neue-windraeder-in-bayern-aber-an-abstandsregel-festhalten/28165566.html>
- HBEFA. (2021). *Handbook Emission Factors for Road Transport*. Abgerufen am 08. August 2021 von <https://www.hbefa.net/e/index.html>
- Hirzel, S., Sontag, Benjamin, & Rohde, D.-I. C. (2013). *Industrielle Abwärmenutzung*. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Huenges, P., Sperber, E., Egger, J.-B., Noll, F., Kallert, A., & Reuß, M. (2014). *Regenerative Wärmequellen für Wärmenetze*. Abgerufen am 17. März 2023 von [https://www.fvee.de/wp-content/uploads/2022/01/th2014\\_07\\_03.pdf](https://www.fvee.de/wp-content/uploads/2022/01/th2014_07_03.pdf)
- Institut Wohnen und Umwelt . (01. 11 2022). „TABULA“ – *Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern*. Von <https://www.iwu.de/forschung/gebaeudebestand/tabula/> abgerufen
- Institut Wohnen und Umwelt. (01. 11 2022). „TABULA“ – *Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.iwu.de/forschung/gebaeudebestand/tabula/>
- Kommunale Klima-Offensive RLP. (2022). *Anlage 3, Faktenpapier Kommunale Klima-Offensive: KIPKI und KKP*. Abgerufen am 17. März 2023 von [https://www.rlp.de/fileadmin/rlp-stk/pdf-Dateien/Anlagen\\_fuer\\_Pressemitteilungen/Anlage\\_3\\_Faktenpapier\\_Kommunale\\_Klimaoffensive.pdf](https://www.rlp.de/fileadmin/rlp-stk/pdf-Dateien/Anlagen_fuer_Pressemitteilungen/Anlage_3_Faktenpapier_Kommunale_Klimaoffensive.pdf)
- Kommunaler Klimapakt RLP. (2022). *Anlage 4, Gemeinsame Erklärung*. Abgerufen am 17. März 2023 von <https://www.rlp.de/fileadmin/rlp-stk/pdf->

- Dateien/Anlagen\_fuer\_Pressemitteilungen/Anlage\_4\_Gemeinsame\_Erklaerung\_Kommunale\_r\_Klimapakt.pdf
- Kopernikus-Projekt Ariadne. (11. Oktober 2021). *Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 – Szenarien und Pfade im Modellvergleich*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitaet-2045-szenarienreport/>
- Landesregierung Baden-Württemberg. (12. 09 2022). *Neue Planhinweiskarten für Windkraft und Freiflächen-Photovoltaik*. Von <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/neue-planhinweiskarten-fuer-windkraft-und-freiflaechen-photovoltaik/> abgerufen
- Landesregierung Baden-Württemberg. (03. 31 2022). *Photovoltaik-Pflicht für alle neuen Wohngebäude ab 1. Mai*. Von <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/photovoltaik-pflicht-fuer-alle-neuen-wohngebaeude-ab-1-mai-1/> abgerufen
- Landesregierung Baden-Württemberg. (31. 10 2022). *Planungshilfe für naturverträglichen Ausbau der Windkraft*. Von <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/planungshilfe-fuer-naturvertraeglichen-ausbau-der-windkraft/> abgerufen
- Landesregierung Baden-Württemberg. (31. 10 2022). *Planungshilfe für naturverträglichen Ausbau der Windkraft*. Von <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/planungshilfe-fuer-naturvertraeglichen-ausbau-der-windkraft/> abgerufen
- LGB-RLP. (o.J.). *Online-Karten Geothermie*. Abgerufen am 10. August 2021 von Landesamt für Geologie und Bergbau: <https://www.lgb-rlp.de/karten-und-produkte/online-karten/online-karten-geothermie.html>
- Linz AG. (2022). *LINZ AG für Energie, Telekommunikation, Verkehr und Kommunale Dienste*. Von [https://www.linzag.at/portal/de/ueber\\_die\\_linzag/konzern/gesellschaften/linz\\_strom\\_gas\\_waerme\\_gmbh/energieerzeugung/fernheizkraftwerk\\_linz\\_mitte#](https://www.linzag.at/portal/de/ueber_die_linzag/konzern/gesellschaften/linz_strom_gas_waerme_gmbh/energieerzeugung/fernheizkraftwerk_linz_mitte#) abgerufen
- Mein Eigenheim. (01. 09 2022). *Austauschpflicht für alte Öl- und Gasheizungen – im Überblick*. Von <https://www.mein-eigenheim.de/heizen/austauschpflicht-fuer-oelheizungen.html> abgerufen
- Ministerin für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg. (01. 07 2022). *Abfallbilanz 2021. Ressourcen aus unserer kommunalen Kreislaufwirtschaft*. Von [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2\\_Presse\\_und\\_Service/Publikationen/Umwelt/Abfallbilanz-2021-barrierefrei.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/Abfallbilanz-2021-barrierefrei.pdf) abgerufen
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT Baden-Württemberg. (01. 09 2019). *Freiflächensolaranlagen. Handlungsleitfaden*. Von [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2\\_Presse\\_und\\_Service/Publikationen/Energie/Handlungsleitfaden\\_Freiflaechensolaranlagen.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Handlungsleitfaden_Freiflaechensolaranlagen.pdf) abgerufen
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg. (01. 07 2022). *Abfallbilanz 2021. Ressourcen aus unserer kommunalen Kreislaufwirtschaft*. Abgerufen am 20. März 2023 von [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2\\_Presse\\_und\\_Service/Publikationen/Umwelt/Abfallbilanz-2021-barrierefrei.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/Abfallbilanz-2021-barrierefrei.pdf)

- Mündliche Nachfrage beim Betreiber. Nach dewiki.de. (2023). *dewiki.de*. Abgerufen am 20. März 2023 von [https://dewiki.de/Lexikon/Fernw%c3%a4rmespeicher#cite\\_note-24](https://dewiki.de/Lexikon/Fernw%c3%a4rmespeicher#cite_note-24)
- Netztransparenz. (2021). Abgerufen am 12. August 2021 von EEG-Anlagenstammdaten: <https://www.netztransparenz.de/EEG/Anlagenstammdaten>
- Netztransparenz. (2021). *netztransparenz.de*. Abgerufen am 12. August 2021 von EEG-Anlagenstammdaten: <https://www.netztransparenz.de/EEG/Anlagenstammdaten>
- Neumann. (2022). *Mehr Biogas ohne Flächenkonkurrenz: Neue Vorschläge auf dem Tisch*. Agrar-online. Abgerufen am 03. November 2022 von <https://www.topagrar.com/energie/news/mehr-biogas-ohne-flaechenkonkurrenz-neue-vorschlaege-auf-dem-tisch-13204930.html>
- Neumann, H. (2022). *topagrar online*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.topagrar.com/energie/news/mehr-biogas-ohne-flaechenkonkurrenz-neue-vorschlaege-auf-dem-tisch-13204930.html>
- Öko-Institut e.V. (2016). *Renewability III – Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors*. Öko-Institut e.V.
- Öko-Institut und Fraunhofer ISE . (2022). *Durchbruch ür die Wärmepumpe. Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand*. Freiburg: Agora Energiewende .
- Pehnt, D. M., Bödeke, J., Arens, M., Jochem, P. D., & Idrissova, F. (2010). *Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung*. Heidelberg, Karlsruhe : ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Fraunhofer Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung.
- PlanEnergi. (2018). *solarthermalworld.org*. Abgerufen am 03. März 2022 von <https://www.solarthermalworld.org/sites/default/files/news/file/2019-02-18/sdh-trends-and-possibilities-iea-shc-task52-planenergi-20180619.pdf>
- PNP Sales GmbH. (10 2020). *Der Landkreis*. Von [https://www.freyung-grafenau.de/fileadmin/content/verwaltung\\_politik/landkreis/Landkreisbroschuere\\_2020-22.pdf](https://www.freyung-grafenau.de/fileadmin/content/verwaltung_politik/landkreis/Landkreisbroschuere_2020-22.pdf) abgerufen
- Portal Region Donau-Wald. (2022). Von <https://www.region-donau-wald.de/region-donau-wald> abgerufen
- Prognos, Ö.-I. W.-I. (2021). *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann, Studie im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende*.
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut. (2021). *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele*. Berlin: Agora Energiewende und Agora Verkehrswende .
- Region Donau Wald. (2014). *region-donau-wald.de*. Von Ziele der Raumordnung: [https://www.region-donau-wald.de/fileadmin/user\\_upload/pdfs/Karten/R12\\_Windenergie.pdf](https://www.region-donau-wald.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Karten/R12_Windenergie.pdf) abgerufen
- Region Donau-Wald. (2014). Von Ziele der Raumordnung: [https://www.region-donau-wald.de/fileadmin/user\\_upload/pdfs/Karten/R12\\_Windenergie.pdf](https://www.region-donau-wald.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Karten/R12_Windenergie.pdf) abgerufen
- Regionaler Planungsverband Donau-Wald. (2016). *Planungsgrundlagen der Windenergie in der Region Donau-Wald*.
- Regionaler Planungsverband Donau-Wald. (2022). *region-donau-wald.de*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.region-donau-wald.de/region-donau-wald>
- Regionalverband Neckar-Alb. (19. 01 2021). *Raumnutzungskarten nach Kommunen*. Von <https://www.rvna.de/Startseite/Regionalplanung/Raumnutzungskarten+nach+Kommunen.html> abgerufen
- RitterXL. (kein Datum). *ritter-xl-solar.de*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.ritter-xl-solar.de/anwendungen/waermenetze/stadtwerke-senftenberg/>

- RLP, K. K.-O. (2022). *Anlage 3, Faktenpapier Kommunale Klima-Offensive: KIPKI und KKP*. Von [https://www.rlp.de/fileadmin/rlp-stk/pdf-Dateien/Anlagen\\_fuer\\_Pressemitteilungen/Anlage\\_3\\_Faktenpapier\\_Kommunale\\_Klimaoffensive.pdf](https://www.rlp.de/fileadmin/rlp-stk/pdf-Dateien/Anlagen_fuer_Pressemitteilungen/Anlage_3_Faktenpapier_Kommunale_Klimaoffensive.pdf) abgerufen
- Sebald, C. u. (22. 03 2022). *Süddeutsche Zeitung*. Von 3000 neue Windräder in Bayern möglich - doch Söder will nicht: <https://www.sueddeutsche.de/bayern/bayern-windkraft-windraeder-soeder-10h-studie-1.5553364> abgerufen
- SGD Nord. (2021). *Energieportal der SGD Nord erneuerbare Energien*. Abgerufen am 20. Juli 2021 von [http://map1.sgd nord.rlp.de/kartendienste\\_rok/index.php?service=energieportal](http://map1.sgd nord.rlp.de/kartendienste_rok/index.php?service=energieportal)
- SHIP Plants. (2023). *ship-plants.de*. Abgerufen am 20. März 2023 von <http://ship-plants.info/solar-thermal-plants-map>
- Solar.RED. (02. 09 2019). *Solaranlagen für Freiflächen*. Von <https://solar.red/solaranlagen-freiflaechen/> abgerufen
- Solarkataster. (2023). Abgerufen am 20. März 2023 von Stadt Ludwigshafen am Rhein und Rhein-Pfalz-Kreis: <https://www.gpm-webgis-10.de/geoapp/solarkataster/rpl/>
- Solarthemen Media GmbH. (2021). *solarserver.de*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.solarserver.de/2021/09/10/sonnenfeld-am-schadeberg-thueringens-groesste-solarthermie-anlage-in-betrieb/>
- Solarthemen Media GmbH. (2021). *solarserver.de*. Abgerufen am 17. März 2023 von <https://www.solarserver.de/2021/11/25/neuer-blog-bautagebuch-einer-solarwaerme-megawatt-anlage/>
- Solarthemen Media GmbH. (2021). *Solarthemen Media GmbH*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.solarserver.de/wissen/basiswissen/solarthermie-in-der-fernwaerme/>
- Solrico. (2022). *solarthermalworld.org*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://solarthermalworld.org/news/37-mw-solar-district-heating-plant-in-the-netherlands-with-outstanding-features/>
- Spiegel. (04. 08 2021). *Der Deutsche Wald schwindet immer schneller*. Von <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/trockenheit-bedroht-den-wald-borkenkaefer-zerstoeren-immer-mehr-holz-a-0a516394-f589-491c-9055-8fcbb2d20d63> abgerufen
- Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (Bayern). (2022). *Bau- und landesplanerische Behandlung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen*. Von [https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/buw/baurechtundtechnik/25\\_rundschreiben\\_freiflaechen-photovoltaik.pdf](https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/buw/baurechtundtechnik/25_rundschreiben_freiflaechen-photovoltaik.pdf) abgerufen
- Stadwerke Greifswald. (2023). Abgerufen am 20. März 2023 von [sw-greifswald.de: https://www.sw-greifswald.de/Energie/Erzeugung/Solarthermieanlage](https://www.sw-greifswald.de/Energie/Erzeugung/Solarthermieanlage)
- Stadwerke Kiel. (2022). *stadtwerke-kiel.de*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.stadtwerke-kiel.de/ueber-uns/kuestenkraftwerk/technik>
- Stadwerke Mühlhausen. (2021). *stadtwerke-muehlhausen.de*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.stadtwerke-muehlhausen.de/Waerme/Solarthermiepark-in-Muehlhausen/>
- Statista. (12. 07 2022). *Anzahl der Pelletheizungen in Deutschland in den Jahren 2012 bis 2022*. Von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/171886/umfrage/anzahl-der-pelletheizungen-in-deutschland/> abgerufen
- Statista. (12. 07 2022). *Anzahl der Pelletheizungen in Deutschland in den Jahren 2012 bis 2022*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/171886/umfrage/anzahl-der-pelletheizungen-in-deutschland/>

- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2021). *Landwirtschaftlich genutzte Fläche seit 1979 nach Hauptnutzungsarten*. Von <https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Bodennutzung/05025033.tab?R=GS417031> abgerufen
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2022). *Rinderbestand und -haltungen (HIT-Auswertung)*. Von <https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Viehwirtschaft/05035050.tab?R=GS417031> abgerufen
- Tagesschau. (03. 08 2022). *Wie Biogas die Gaskrise mildern könnte*. Von <https://www.tagesschau.de/wissen/technologie/gaskrise-biogas-biomethan-strom-101.html> abgerufen
- Tagesschau. (03. 08 2022). *Wie Biogas die Gaskrise mildern könnte*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.tagesschau.de/wissen/technologie/gaskrise-biogas-biomethan-strom-101.html>
- Tetraeder Solar. (2022). Von <https://www.solare-stadt.de/home/> abgerufen
- Tetraeder Solar GmbH. (2022). *tetraeder.solar*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://www.solare-stadt.de/home/>
- UBA. (2017). *Klimaschutz im Stromsektor 2030 – Vergleich von Instrumenten zur Emissionsminderung*. Abgerufen am 04. April 2019 von Umweltbundesamt: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/publikationen/2017-01-11\\_cc\\_02-2017\\_strommarkt\\_endbericht.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/publikationen/2017-01-11_cc_02-2017_strommarkt_endbericht.pdf)
- UBA. (2018). *Erneuerbare Energien in Deutschland*. (Umweltbundesamt, Hrsg.) Abgerufen am 04. April 2019 von Umweltbundesamt: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/180315\\_u\\_ba\\_hg\\_eeinzahlen\\_2018\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/180315_u_ba_hg_eeinzahlen_2018_bf.pdf)
- UBA. (2020). *Bioenergie*. Abgerufen am 10. August 2021 von Umweltbundesamt: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#bioenergie-ein-weites-und-komplexes-feld->
- UNFCCC. (2022). *Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)*. Von <https://unfccc.int/topics/land-use/workstreams/land-use--land-use-change-and-forestry-lulucf> abgerufen
- Waldwissen. (22. 01 2007). *Prognose regionaler Energieholzpotenziale*. Von <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/holz-und-markt/holzenergie/prognose-regionaler-energieholzpotenziale> abgerufen
- Wasserwirtschaftsamt Deggendorf. (2022). *Abwasserentsorgung im Landkreis Freyung-Grafenau*. Von [https://www.wwa-deg.bayern.de/abwasser/landkreis\\_frg/index.htm](https://www.wwa-deg.bayern.de/abwasser/landkreis_frg/index.htm) abgerufen
- Wolf, K. (22. 09 2020). Altanlagen: Repowering nur im Ausnahmefall möglich.
- Zensus Datenbank. (2011). *Gebäude: Baujahr*. Abgerufen am 04. April 2019 von Zensus2011: <https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank/online?operation=abruftabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1615562464674&auswahloperation=abruftabelleAuspraegungAuswahlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=3000G-1002&auswahl>
- zeozweifrei. (2023). *zeozweifrei, Wärmenetze*. Abgerufen am 20. März 2023 von <https://zeozweifrei.de/waermenetze/>
- Zweckverband Abfallwirtschaft Donau-Wald. (2021). *ZAW Kompakt 2020. Zahlen. Daten. Fakten*. Von [https://www.awg.de/media/zaw\\_geschb\\_2020\\_web.pdf](https://www.awg.de/media/zaw_geschb_2020_web.pdf) abgerufen