



2023

# Integriertes Klimaschutzkonzept

– Energie- und Treibhausgasbilanz –

GEMEINDE KARLSFELD

## FÖRDERUNG

Das Klimaschutzkonzept der Gemeinde Karlsfeld wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.

Projektbezeichnung: „KSI: Integriertes Klimaschutzkonzept und Klimaschutzmanagement in der Gemeinde Karlsfeld (Erstvorhaben)“

Laufzeit: 01.09.2021 – 31.08.2023

Projektträger: bis 31.12.2021: Projektträger Jülich (PtJ)  
ab 01.01.2022: Zukunft-Umwelt-Gesellschaft gGmbH (ZUG)

Förderkennzeichen: bis 31.12.2021: 03K16765  
ab 01.01.2022: 67K16765



- Energie- und Treibhausgasbilanz -

# Integriertes Klimaschutzkonzept

Februar 2023

Herausgeber

Gemeinde Karlsfeld  
Gartenstraße 7  
85757 Karlsfeld

Gemeinde  
**Karlsfeld** 

Erstellt von

Franziska Reitzenstein,  
Klimaschutzmanagerin der Gemeinde Karlsfeld

In Zusammenarbeit mit

Institut für nachhaltige Energieversorgung GmbH  
Eduard-Rüber-Str. 7  
83022 Rosenheim  
[www.inev.de](http://www.inev.de)

**INEV**   
ENERGIE. INNOVATION. EFFIZIENZ.

## Liebe Leserinnen und Leser,

Längst ist der Klimawandel in unserem Alltag spür- und sichtbar. Das veränderte Klima und die damit einhergehenden Auswirkungen stellen für uns als Gesellschaft eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts dar.

Neben Industrie, Politik und Privatpersonen sind Kommunen wichtige Schlüsselfiguren im Kampf gegen den Klimawandel und können einen maßgeblichen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Auch die Gemeinde Karlsfeld stellt sich diesen Herausforderungen und setzt sich aktiv für den Klimaschutz vor Ort ein, um für ihre Bürger\*innen auch in Zukunft eine lebenswerte Gemeinde zu bleiben und gleichzeitig einen Beitrag zum nationalen Klimaschutz zu leisten.

Mit dem Beschluss des Gemeinderats im Jahr 2021 fiel der Startschuss für den Klimaschutz in Karlsfeld. Der Weg für ein Klimaschutzmanagement und die Erstellung eines integrierten Klimaschutzkonzeptes (IKSK) wurde freigegeben.

<b>September 2021</b>	Beginn des Klimaschutzmanagements
<b>Juni bis Oktober 2022</b>	Durchführung der Akteursbeteiligung in Form von digitaler Beteiligung und Workshops vor Ort
<b>Februar 2023</b>	Einreichung des erarbeiteten Klimaschutzkonzeptes beim Projektträger
<b>April 2023</b>	Abschließende Vorstellung und Beschluss des Klimaschutzkonzeptes im Gemeinderat
<b>September 2023</b>	Veröffentlichung des Klimaschutzkonzeptes auf der Internetseite der Gemeinde

Im Folgenden finden Sie die Energie- und Treibhausgasbilanz, Potenzialanalyse sowie Szenarientwicklungen des integrierten Klimaschutzkonzeptes der Gemeinde Karlsfeld.

Das gesamte Konzept steht auf der Internetseite der Gemeinde zum Download zur Verfügung.

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	6
1. Energie- und Treibhausgasbilanz.....	7
1.1 Methodik und Datenbasis .....	7
1.2 Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanz .....	9
1.2.1 Endenergie.....	9
1.2.1.1 Endenergieverbrauch Strom .....	12
1.2.1.2 Endenergieverbrauch Wärme .....	14
1.2.1.3 Endenergieverbrauch Verkehr .....	17
1.2.2 Treibhausgasemissionen .....	19
1.2.2.1 Treibhausgasemissionen nach Sektor .....	20
1.2.2.2 Treibhausgasemissionen des Verkehrs .....	21
1.2.3 Indikatoren der Bilanz und Vergleiche .....	23
2. Potenziale und Szenarien .....	26
2.1 Potenzialanalyse relevanter Handlungsfelder.....	26
2.1.1 Wärmenetz.....	27
2.1.2 Photovoltaik auf Freiflächen .....	33
2.1.3 PV – Anlagen auf Dächern des gesamten Gemeindegebiets .....	38
2.1.4 PV – Anlagen auf Dächern privater Haushalte .....	44
2.1.5 PV – Anlagen auf Dächern kommunaler Liegenschaften .....	46
2.1.6 Straßenbeleuchtung .....	49
2.1.7 Windkraft.....	51
2.2 Zusammenfassung der betrachteten Potenziale.....	54
2.3 Szenarienentwicklung.....	56
2.3.1 Referenz- und Klimaschutzszenarien .....	56
2.3.2 Ergebnisse der Szenarienentwicklung.....	59
3. Quellenverzeichnis .....	60
4. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	62

## Abkürzungsverzeichnis

a	-	Jahr
bzw.	-	beziehungsweise
CO <sub>2</sub>	-	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2</sub> -eq	-	CO <sub>2</sub> -Äquivalente
d.h.	-	das heißt
EW	-	Einwohner*in
g	-	Gramm
ggf.	-	gegebenenfalls
GHD	-	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
GM	-	Gebäudemanagement
GWK	-	Gemeindewerke Karlsfeld
ha	-	Hektar
IKSK	-	integriertes Klimaschutzkonzept
KSG	-	Bundes Klimaschutz-Gesetz
KSM	-	Klimaschutzmanagement
kW	-	Kilowatt
kWh	-	Kilowattstunde
kWp	-	Kilowatt Peak
KWP	-	kommunale Wärmeplanung
LfU	-	Bayerisches Landesamt für Umwelt
m	-	Meter
MW	-	Megawatt
MWh	-	Megawattstunde
NKI	-	Nationale Klimaschutzinitiative
n. z.	-	nicht zutreffend
ÖPNV	-	Öffentlicher Personennahverkehr
PV	-	Photovoltaik
sog.	-	sogenannt
t	-	Tonnen
THG	-	Treibhausgas(e)
u.a.	-	unter anderem
vgl.	-	vergleiche
z.B.	-	zum Beispiel

# 1. Energie- und Treibhausgasbilanz

Anknüpfend an die qualitative Bestandsaufnahme im vorherigen Abschnitt (siehe Kap. 2.7 des integrierten Klimaschutzkonzeptes) erfolgte ebenfalls eine quantitative Ist-Analyse, in Form einer Energie- und Treibhausgasbilanz, um die aktuelle Situation in der Gemeinde Karlsfeld allumfängliche abzubilden.

## 1.1 Methodik und Datenbasis

Die Energie- und Treibhausgasbilanz für Karlsfeld wurde nach der **Bilanzierungs-Systematik Kommunal (BISKO)** erstellt. Der „Klimaschutz-Planer“ des Klima-Bündnisses fasst die BISKO-Methodik in eine webbasierte Software. Der BISKO-Ansatz verfolgt dabei die Bilanzierung nach dem sog. **Territorialprinzip**. Diese Systematik, auch endenergiebasierte Territorialbilanz bezeichnet, betrachtet alle anfallenden Endenergieverbräuche auf dem Gemeindegebiet nach den folgenden Faktoren:

- Kommunale Einrichtungen
- Private Haushalte
- Gewerbe, Handel und Dienstleistung
- Industrie
- Verkehr

Land- und Forstwirtschaft sowie Abfallwirtschaft werden nach BISKO nicht bilanziert, können jedoch nachrichtlich erfasst werden. Durch die Verrechnung der Endenergieverbräuche mit den entsprechenden Emissionsfaktoren der Energieträger werden die Treibhausgasemissionen pro Jahr in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>-eq) ausgewiesen. Dabei werden auch die Vorketten der Energieträger berücksichtigt [\[26\]](#).

Abhängig von der Herkunft der Daten wird diesen im Klimaschutzplaner eine Datengüte zugewiesen. Die wesentlichen Quellen für die Bereitstellung der benötigten Daten sind nachfolgend genannt:

- Kommune
- Stromnetzbetreiber
- Erdgasnetzbetreiber
- Wärmenetzbetreiber
- Abfrage der BAFA (erneuerbare Energie)
- Kaminkehrer
- Verkehrsunternehmen des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV)

Die Emissionen des Straßen- und regionalen Schienenverkehrs werden aus statistischen Daten im Klimaschutz-Planer errechnet. Diesen Daten liegt das **Emissionsberechnungsmodell TREMOD** (Transport Emission Model) des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) zugrunde [\[26\]](#).

Das Institut für nachhaltige Energieversorgung hat auf Basis der Systematik des Klimaschutzplaners passgenaue Datenerhebungsbögen entwickelt. Zu Beginn des Projektes wurden über die Klimaschutzmanagerin der Gemeinde die aktuellen Ansprechpartner\*innen für die notwendigen Datenquellen erfragt, welche anschließend bezüglich der Unterstützung der Gemeinde um Übermittlung der relevanten Daten angesprochen wurden.

Mit Ausnahme der Daten seitens der Kaminkehrer konnten in Karlsfeld alle wesentlichen Daten in der gewünschten Datengenauigkeit erhoben werden. Im Falle eines kompletten Fehlens an Kaminkehrerdaten müsste ausschließlich auf Daten aus Fördermittelportalen und auf statistische Erhebungen (Zensus-Daten) zur Abbildung der Struktur der nicht-leitungsgebunden Energieträger zurückgegriffen werden, die im Klimaschutz-Planer hinterlegt sind. Dies konnte für die Gemeinde Karlsfeld entsprechend umgangen werden.

Das aktuellste Jahr, für welches statistischen Werte zum Zeitpunkt der Erstellung der Energie- und Treibhausgasbilanz der Gemeinde Karlsfeld vollständig vorlagen, ist das **Kalenderjahr 2019**, welches folglich als Betrachtungsjahr für die Bilanz definiert wurde.

Die Daten der kommunalen Einrichtungen und der Flotte konnten durch die Zusammenarbeit mit der Klimaschutzmanagerin gemeindeintern erhoben werden. Der Strom- und Erdgasverbrauch der Sektoren wurde über die zuständigen Netzbetreiber Bayernwerk AG sowie die Stadtwerke Dachau erhoben. Die beiden bekannten Wärmenetze von Bayernwerk Natur und der Gemeindewerke Karlsfeld sind ebenfalls in die Bilanz eingeflossen. Der regionale Busverkehr wurde über den Münchener Verkehrsverbund erhoben.

Primärdaten, die durch eine direkte Erhebung zur Verfügung stehen, haben eine hohe Datengüte (1,00) und verstärken dadurch die Aussagekraft der Bilanz. Sekundärdaten, die auf statistischen Berechnungen basieren, haben eine geringere Datengüte (kleiner 0,50 bis 0,00). Die Datengüte der jeweiligen Werte wird im Klimaschutz-Planer gewichtet berücksichtigt. Durch die direkte Erhebung der Daten kann die Aussagekraft der Energie- und Treibhausgasbilanz verstärkt werden, da weniger statistische Unsicherheiten das Ergebnis beeinflussen.

Insgesamt weist die Bilanz der Gemeinde Karlsfeld eine **Datengüte von 0,76** auf. Wichtigster Ansatzpunkt für eine zukünftige Verbesserung der Datengüte ist nach aktuellem Stand die Verfügbarmachung von detaillierten Kaminkehrerdaten.

## 1.2 Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanz

### 1.2.1 Endenergie

Gemäß den Auswertungen des Klimaschutz-Planers beträgt der **Endenergieverbrauch der Gemeinde Karlsfeld im Betrachtungsjahr 2019 insgesamt 338.194 MWh/a.**

Abbildung 14 zeigt die Verteilung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern. Mit 26,2 % stellt das Erdgas den größten Einzelanteil an der Endenergie dar.

Mit Diesel (18,5 %), Heizöl (11,7 %) und Benzin (11,0 %) folgen weitere große Verbrauchsanteile von rein konventionellen Energieträgern unter den ersten fünf Plätzen. Es zeigt sich mit in Summe 67,4 % eine klare Dominanz der fossil geprägten Energieträger am Endenergieverbrauch. Wenngleich die Bundesstraßen B304 und B471 einen starken Verkehr aufweisen, liegen die Ursachen der Dominanz nicht allein am Verkehrssektors, der mit diesel- und benzinbetriebenen Fahrzeugen auf in Summe 29,5 % kommt. Viel mehr basiert die Bereitstellung von Heizenergie ganz überwiegend auf Erdgas und Heizöl, welche gemeinsam 33,9 % an der gesamten Endenergie ausmachen.

Der Strom bildet mit 16,7 % den drittgrößten Anteil und ist im Jahr 2019 noch mehrheitlich dem nicht erneuerbaren Anteil zuzuweisen.

Die Fernwärme stellt mit 8,7 % einen vergleichsweise hohen Anteil. Die von Wärmepumpen genutzte Umweltwärme und die Biomasse spielen mit 2,5 % bzw. 1,5 % dagegen eine sehr untergeordnete Rolle spielen.

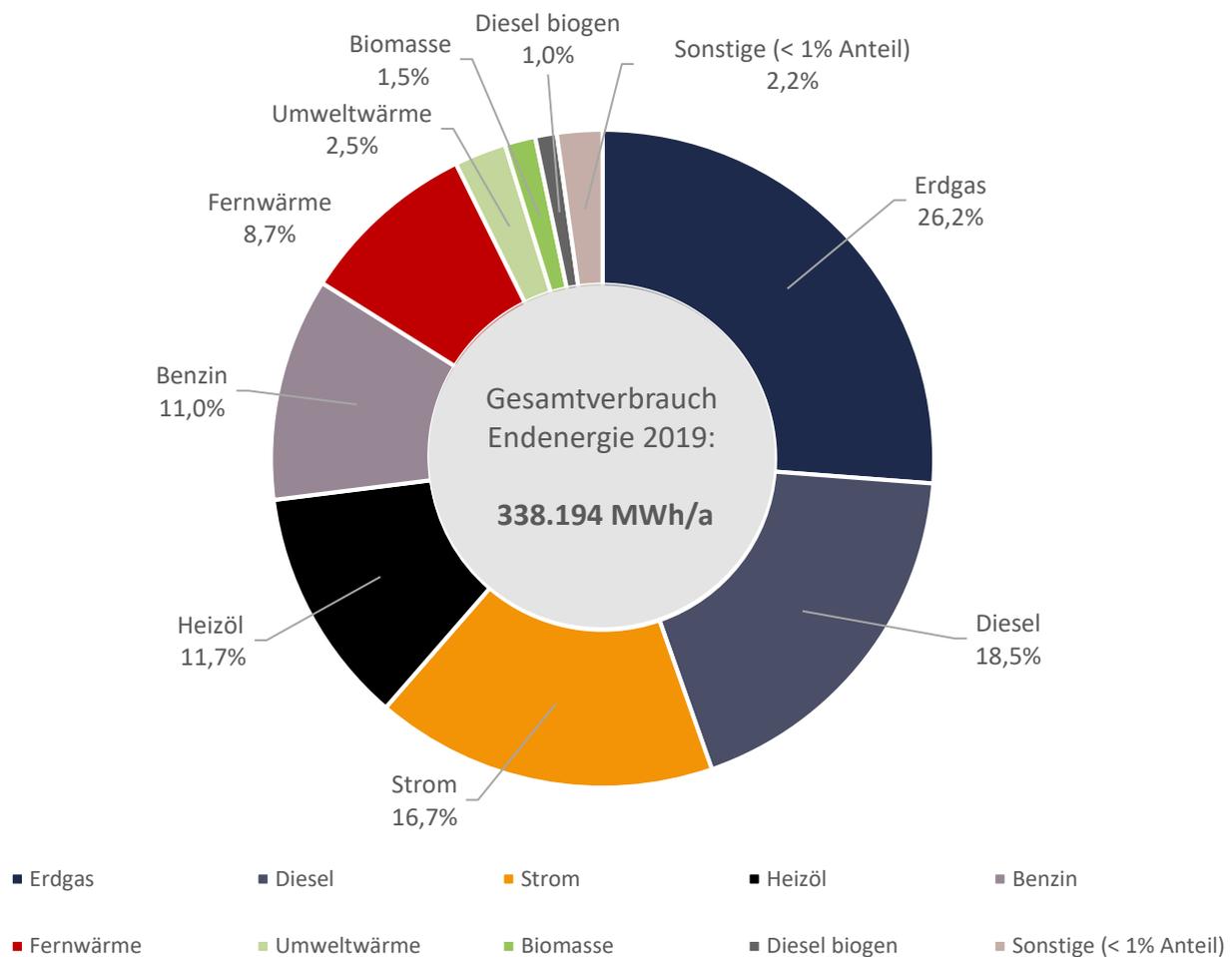


Abbildung 1: Endenergieverbrauch je Energieträger in der Gemeinde Karlsfeld im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

Abbildung 15 zeigt die Verteilung des Endenergieverbrauchs nach den betrachteten Sektoren. Der größte Endenergieverbrauch ist mit 41,1 % den privaten Haushalten (HH) zuzuschreiben. Danach folgt der Verkehrssektor (VK) mit 32,6 %. Die Anteile von Industrie (IND) und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) belaufen sich auf 11,3 % bzw. 11,0 %. Der Wirtschaftssektor insgesamt, bestehend aus Industrie und GHD, spielt mit 22,3 % eine untergeordnete Rolle, was einen Hinweis darauf gibt, dass auf dem Gemeindegebiet nur wenig energieintensive Industrie angesiedelt ist.

Der geringste Anteil entfällt mit 3,9 % auf die kommunalen Einrichtungen (KE) der Gemeinde Karlsfeld.

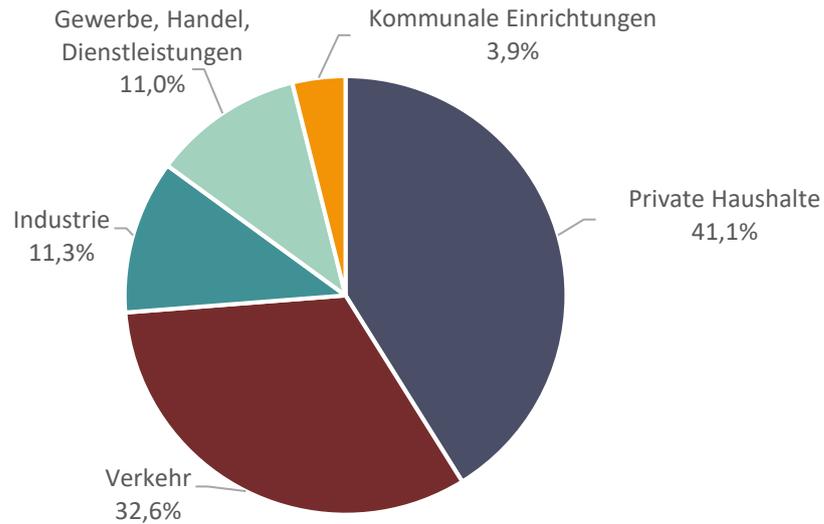


Abbildung 2: Anteile der Sektoren am gesamten Endenergieverbrauch im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

Abbildung 16 beinhaltet die absoluten Endenergieverbräuche nach Sektoren und spiegelt die eben erläuterten ähnlichen Verbrauchsanteile mit 38.312 MWh/a bzw. 37.314 MWh/a für die Sektoren Industrie und GHD wider.

Der Sektor der privaten Haushalte liegt mit 139.140 MWh/a deutlich vor dem Verkehrssektor, der im Jahr 2019 mit einem Verbrauch in Höhe von 110.202 MWh/a angegeben wird. Ausschlaggebend für den Verbrauch des Verkehrssektors sind im Wesentlichen die beiden Bundesstraßen B304 und B471. Die kommunalen Einrichtungen kommen im Jahr 2019 auf 13.125 MWh/a an Endenergieverbrauch.

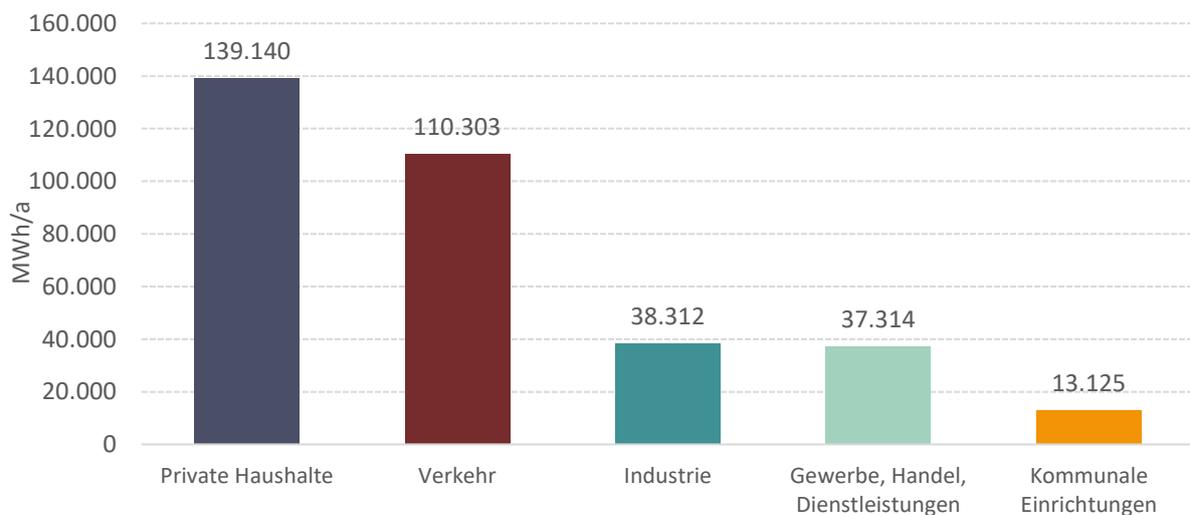


Abbildung 3: Absoluter Endenergieverbrauch nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

### 1.2.1.1 Endenergieverbrauch Strom

In den nachfolgenden Abbildung 17 und Abbildung 18 sind die prozentualen und absoluten Anteile der Sektoren am Stromverbrauch der Kommune dargestellt.

Der **Stromverbrauch beläuft sich dabei insgesamt auf 56.452 MWh/a** und teilt sich insbesondere auf die Sektoren private Haushalte und Wirtschaft auf. Auffallend ist der mit 4,4 % geringe Anteil des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Die kommunalen Einrichtungen liegen mit 13,0 % und 7.313 MWh/a an dritter Stelle.

Im Verkehrssektor spielt der Strom im Betrachtungsjahr 2019 mit 8,2 % Anteil und 4.634 MWh/a schon eine merkbare Rolle. In diesem Bereich sind in den nächsten Jahren im Rahmen der Verkehrswende jedoch signifikante Änderungen, im Sinne von steigenden Zahlen, zu erwarten, welche sich auch über Veränderungen des Verkehrsmixes auf Bundesebene in der Fortschreibung der Bilanz der Gemeinde Karlsfeld wiederfinden werden.

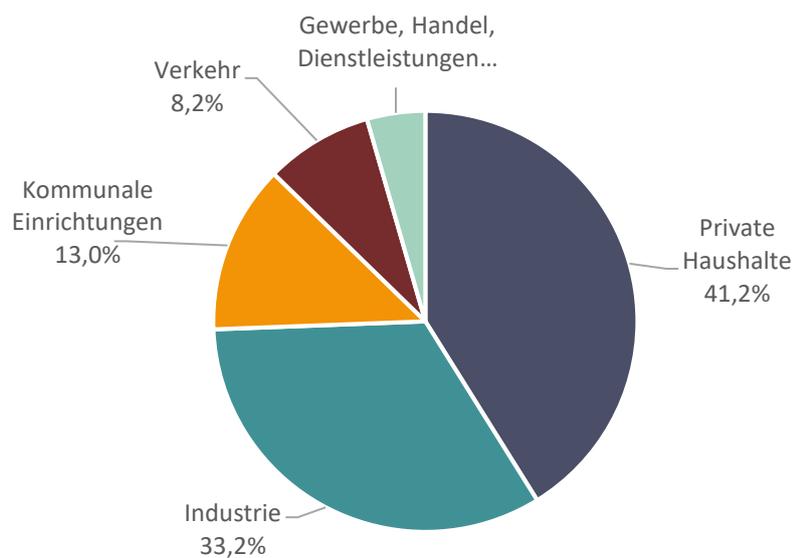


Abbildung 4: Anteiliger Stromverbrauch nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

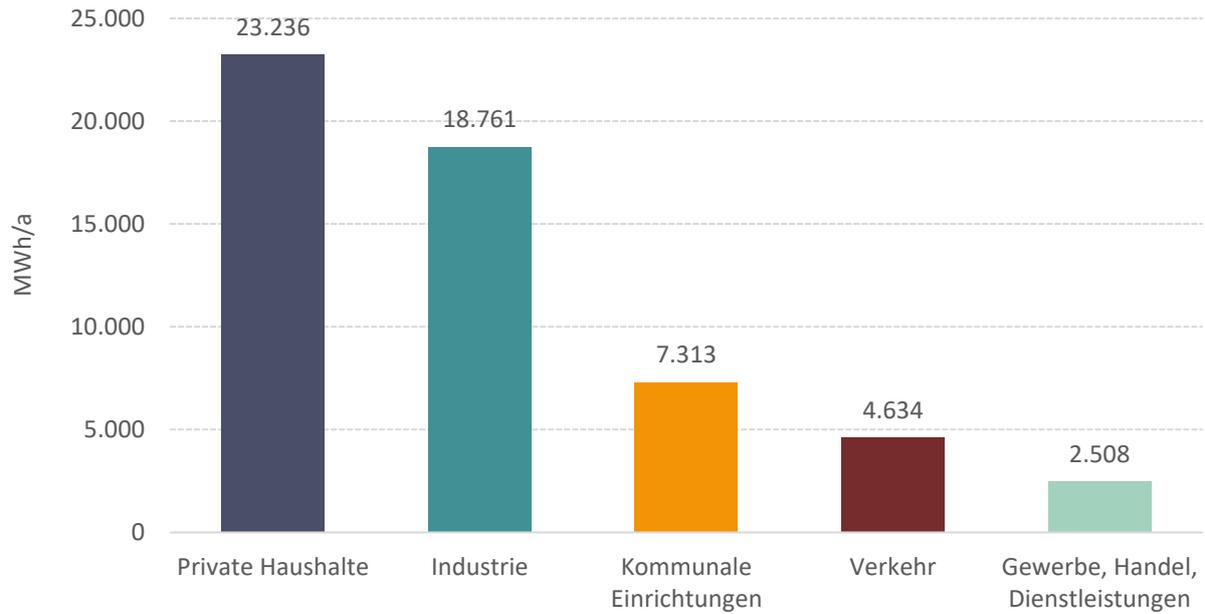


Abbildung 5: Absoluter Stromverbrauch nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

Der in Abbildung 19 dargestellte Anteil erneuerbar erzeugter Strom stellt den bilanziellen Anteil des aus regenerativen Energieträgern in Anlagen auf dem Gemeindegebiet erzeugten Stroms am Gesamtstromverbrauch im Gemeindegebiet dar.

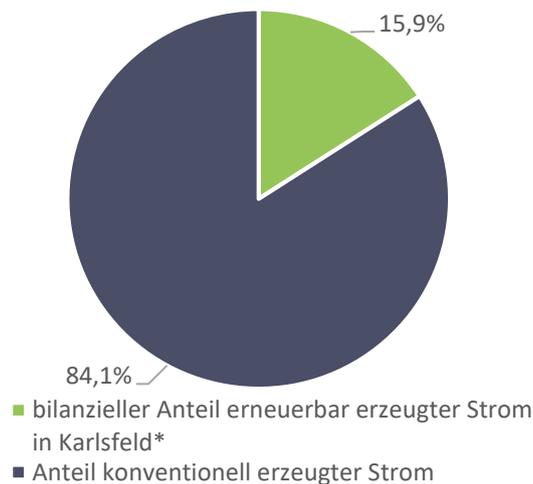


Abbildung 6: Bilanzieller Deckungsbeitrag des lokal und erneuerbar erzeugten Stroms (8.529 MWh/a) am gesamten Stromverbrauch (53.630 MWh/a) im Jahr 2019, ohne Verkehr (Quelle: INEV)

In Karlsfeld handelt es sich dabei, wie in Tabelle 1 ersichtlich wird, um Photovoltaik-, Biogas- und Biomasseanlagen, die hier mit einer Gesamteinspeisung von ca. 8.529 MWh/a einen Anteil von 15,9 % erreichen, siehe nachfolgende Abbildung 19.

Erneuerbare Energieträger im Jahr 2019	MWh/a
Abfall	-
Biogas	2.872,41
Biomasse	1.615,21
Biomasse (flüssig)	-
Deponie-, Klär- & Grubengas	-
Geothermie	-
Photovoltaik	3.552,97
Sonstige Erneuerbare	488,59
Wasserkraft	-
Windkraft	-
<b>Summe Erneuerbare</b>	<b>8.529,18</b>
<b>Gesamter Stromverbrauch (ohne Verkehr)</b>	<b>53.630,36</b>

Tabelle 1: Erzeugter erneuerbarer Strom in Karlsfeld im Jahr 2019 in Abhängigkeit der eingesetzten Endenergie (Quelle: INEV)

Damit ist der bilanzielle Deckungsgrad durch lokal erzeugten Strom aus regenerativen Energieträgern sehr gering und liegt bislang weit unter dem Bundesdurchschnitt, welcher für das Jahr 2019 mit 42,0 % ausgewiesen wurde, siehe auch Tabelle 3 weiter unten.

Gerade dieser Anteil kann künftig durch die in der Potenzialanalyse (vgl. Kapitel 4) diskutierten Maßnahmen deutlich ausgebaut werden.

### 1.2.1.2 Endenergieverbrauch Wärme

Der **Heizwärmeverbrauch im Gemeindegebiet beträgt 176.072 MWh/a** und zeigt eine andere Verteilung auf die Sektoren als der Strom.

Mit 65,8 % und 115.904 MWh/a entfällt der größte Anteil des Wärmeverbrauchs auf die privaten Haushalte. Die zweitgrößte Verbrauchergruppe ist der Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung mit 19,8 % und 34.806 MWh/a noch vor der Industrie mit 11,1 % und 19.551 MWh/a. Es zeigt sich

somit eine gänzlich andere Verbrauchsaufteilung des Wirtschaftssektors, bestehend aus Industrie und GHD, als im Bereich des Stromverbrauchs. Den geringsten Anteil stellen die kommunalen Liegenschaften mit ca. 3,3 % und ca. 5.812 MWh/a zuzuschreiben, was in erster Linie an der vergleichsweise geringen absoluten Anzahl an eigenen Liegenschaften im Vergleich zu Gebäuden der übrigen stationären Sektoren liegt (vgl. Abbildung 20 und 21).

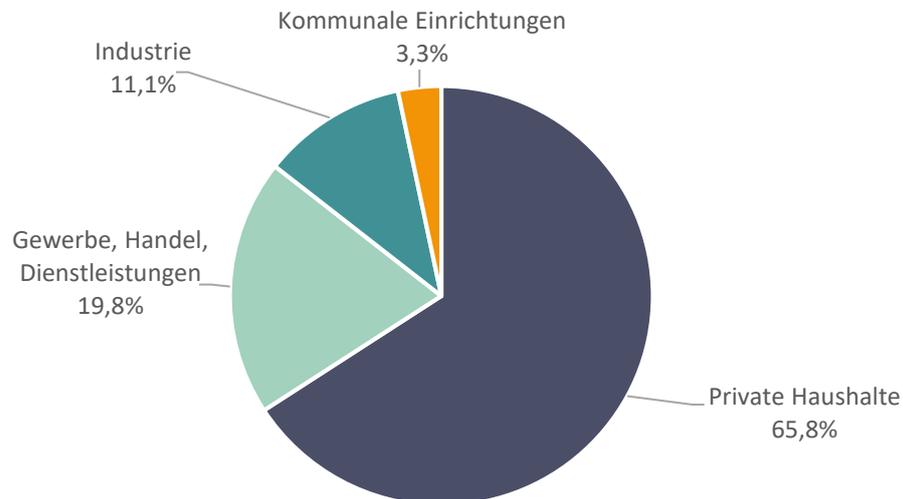


Abbildung 7: Anteiliger Heizwärmeverbrauch nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

Auch beim Heizwärmeverbrauch zeigt sich mit einem summierten Anteil der Wirtschaftsbetriebe in Höhe von ca. 30,9 % somit die bereits in der Analyse des Gesamtenergieverbrauchs aufgefallene, wenig industrielle Struktur im Gemeindegebiet. Der Anteil der kommunalen Liegenschaften ist deutlich sichtbar, was einen Hinweis auf eines der wesentlichen Handlungsfelder auf Seiten der Kommune gibt.

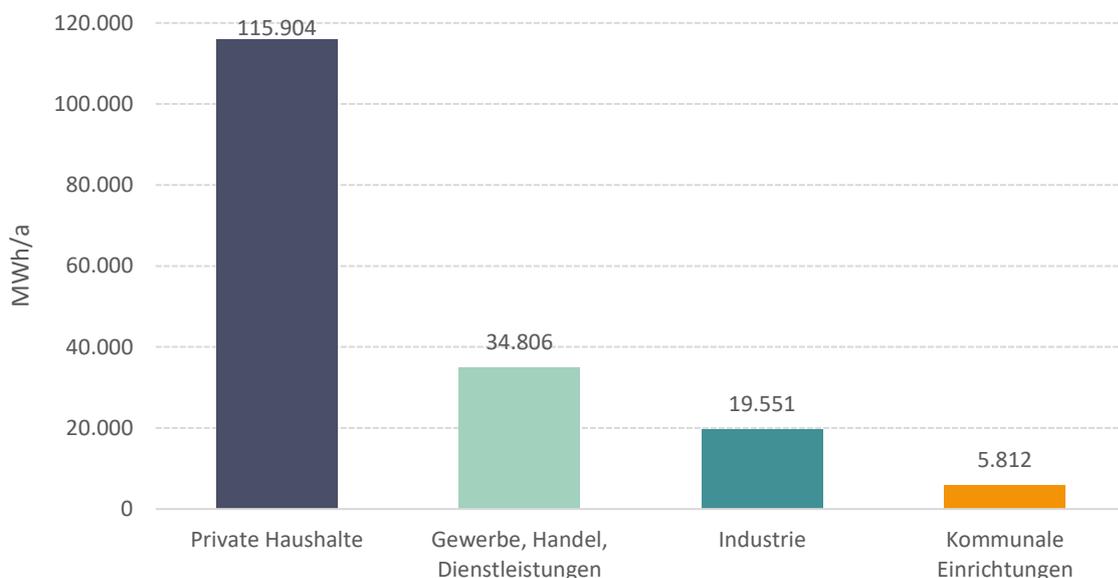


Abbildung 8: Absoluter Energieverbrauch für Heizwärme nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

Wie bereits bei der Betrachtung des gesamten Endenergieverbrauchs erkennbar ist, wird auch der in Abbildung 22 dargestellte Heizwärmebedarf hauptsächlich durch fossile Energieträger gedeckt. Mit den 88.611 MWh/a an Erdgas und 39.412 MWh/a Heizöl zeigt sich bei 72,7 % der für die Wärmeerzeugung eingesetzten Energieträger die hohe Abhängigkeit dieser beiden endlichen und klimaschädlichen Ressourcen. Die Fernwärme bildet mit 29.575 MWh/a und einem Anteil von 16,8 % die drittgrößte Wärmequelle.

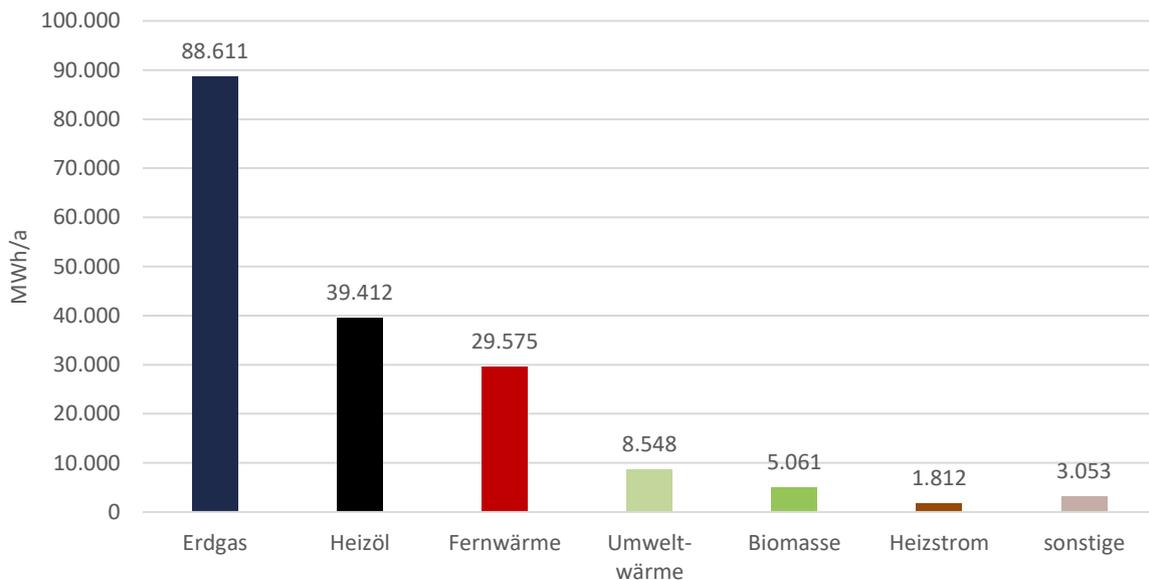


Abbildung 9: Energieverbrauch für Heizwärme nach Energieträgern im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

Die Fernwärmenetze der Gemeindewerke Karlsfeld und der Bayernwerk Natur liefern Wärme, die zu 75,1 % aus erneuerbaren Energieträgern stammt und steuern somit insgesamt 22.205 MWh/a Wärme aus erneuerbaren Energien bei.

Die weiteren erneuerbaren Energieträger zur Wärmeerzeugung sind in Tabelle 2 dargestellt. Hier wird ersichtlich, dass die über Wärmepumpen genutzte Umweltwärme mit 8.548 MWh/a den zweitgrößten Anteil erneuerbarer Wärme im Betrachtungsjahr 2019 bildet, noch vor Biomasse mit 5.061 MWh/a und Solarthermie mit 1.442 MWh/a. Weitere erneuerbare Wärmequellen wurden nicht gemeldet.

Aus Abbildung 23 geht zudem hervor, dass alle erneuerbaren Energieträger zusammen einen Anteil von 21,4 % an der Deckung des gesamten Heizenergiebedarfs bilden. Der Anteil erneuerbarer Wärme in der Gemeinde Karlsfeld im Betrachtungsjahr 2019 liegt somit über dem Bundesdurchschnitt (15,0 %).

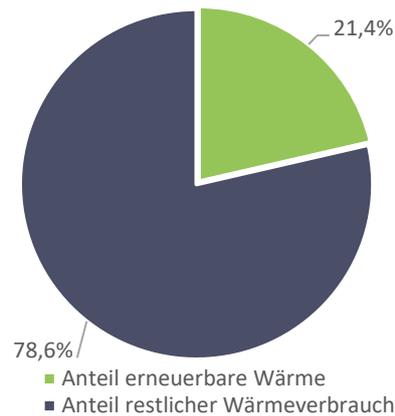


Abbildung 10: Anteil aus erneuerbaren Energieträgern bereitgestellter Heizwärme am gesamten Heizwärmeverbrauch im Jahr 2019, ohne Heizstrom (Quelle: INEV)

Erneuerbare Energieträger im Jahr 2019	MWh/a
Biogas	-
Biomasse	5.061,23
Fernwärme (Anteil Erneuerbar)	22.205,00
Nahwärme (Anteil Erneuerbar)	-
Solarthermie	1.441,58
Sonstige Erneuerbare	-
<b>Summe Erneuerbare</b>	<b>39.274,84</b>
<b>Gesamter Stromverbrauch (ohne Verkehr)</b>	<b>174.260,71</b>

Tabelle 2: Erzeugte erneuerbare Wärme in Karlsfeld im Jahr 2019 in Abhängigkeit der eingesetzten Endenergie (Quelle: INEV)

### 1.2.1.3 Endenergieverbrauch Verkehr

Die **110.303 MWh/a Endenergieverbrauch im Verkehrssektor** verteilen sich fast ausschließlich auf den Straßenverkehr. Die unter „sonstige“ geführten Verkehrsmittel, wie beispielsweise Schienenpersonennahverkehr, Schienenpersonenfernverkehr oder Schienengüterverkehr machen jeweils weniger als 1 % aus und spielen auch in Summe eine deutlich untergeordnete Rolle. Dies spiegelt sich auch in Abbildung 25 wider, die den Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) am gesamten verkehrsbedingten Energieverbrauch mit 67,3 % angibt.

Innerhalb des Straßenverkehrs entfällt der größte Anteil mit 66,1 % auf den individuellen PKW-Verkehr, gefolgt von den LKWs mit 18,0 % und den leichten Nutzfahrzeugen mit 7,6 % (vgl. Abbildung 24).

Insgesamt ist der Verbrauch im Verkehrssektor geprägt durch den starken Verkehr auf den Teilstücken der beiden Bundesstraßen B304 und B471, die auf dem Gemeindegebiet verlaufen.

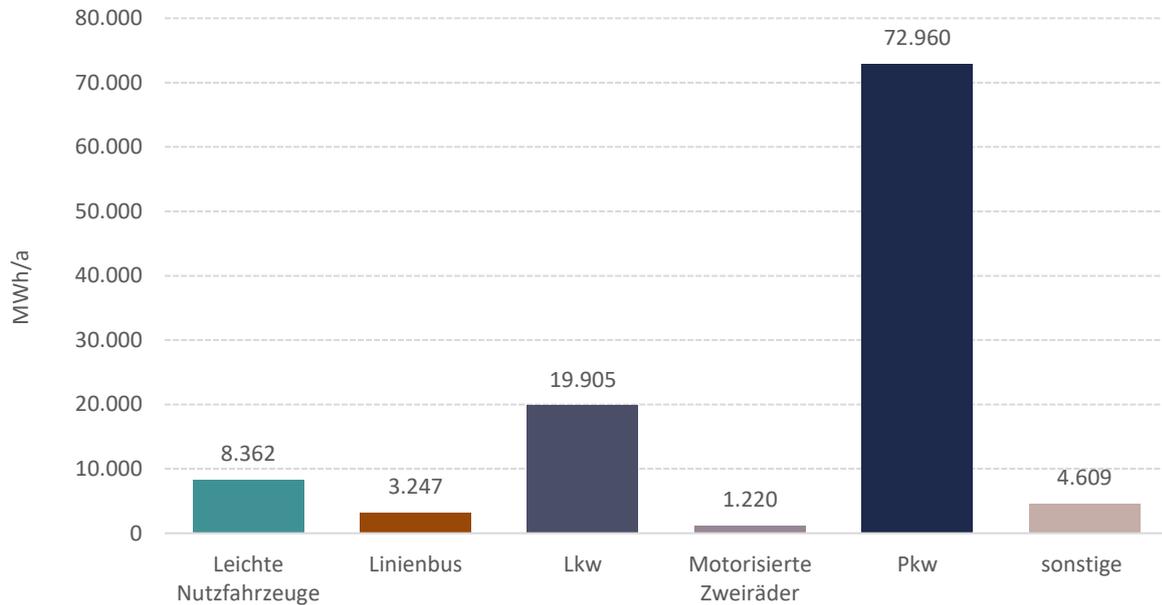


Abbildung 11: Absoluter Endenergieverbrauch nach Verkehrsmittel im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

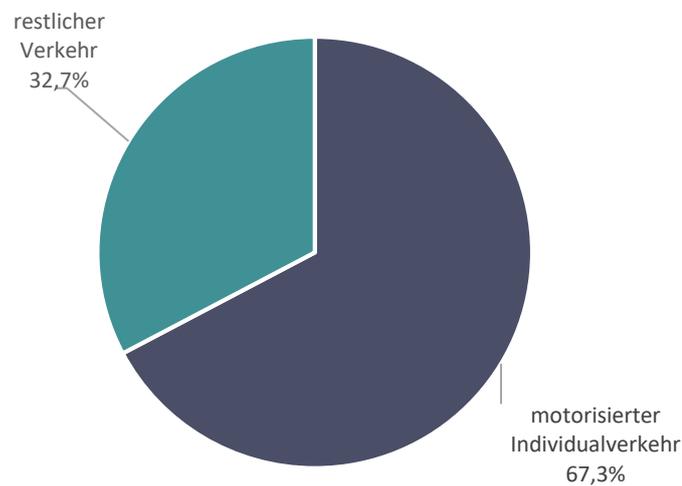


Abbildung 12: Anteil des motorisierten Individualverkehrs (PKW und Krafträder) am gesamten verkehrsbedingten Endenergieverbrauch im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

## 1.2.2 Treibhausgasemissionen

Die **gesamten Treibhausgasemissionen im Gemeindegebiet** von Karlsfeld betragen nach BSKO-Systematik **100.965 t CO<sub>2</sub>-eq /a** und verteilen sich entsprechend Abbildung 26 auf die einzelnen Energieträger.

Der Stromverbrauch, welcher in der BSKO-Systematik mit dem Emissionsfaktor des Bundesstrommixes zu bewerten ist, hat mit 26.984 t CO<sub>2</sub>-eq /a einen Anteil von 26,7 % und ist somit der größte energieträgerspezifische Treibhausgasemittent.

Die Anteile von Diesel und Benzin liefern mit 20.378 t CO<sub>2</sub>-eq/a (20,2 %) bzw. 11.943 t CO<sub>2</sub>-eq /a (11,8 %) den wesentlichen Beitrag aus dem Verkehrssektor. Hier zeigt sich der dominierende Anteil an herkömmlichen Kraftstoffen, deren Substitution eine der großen Herausforderungen auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität darstellt.

Ähnliches gilt auch für den Bereich Wärmeerzeugung aus herkömmlichen Energieträgern. Mit 21.887 t CO<sub>2</sub>-eq /a (21,7 %) bzw. 12.533 t CO<sub>2</sub>-eq /a (12,4 %) dominieren hier die zwei CO<sub>2</sub>-intensiven Energieträger Erdgas und Heizöl.

Die großen Potenziale zur Senkung der Treibhausgasemissionen liegen folglich in der Dekarbonisierung des Straßenverkehrs und der Stromerzeugung sowie im Wechsel der Heizenergieträger weg von fossilen hin zu erneuerbaren Energieträgern.

Auch eine Senkung des Heizenergiebedarfs durch energetische Sanierung von Gebäuden und eine Steigerung der Energieeffizienz beim Stromverbrauch können wichtige Beiträge liefern. In diesem Bereich kommt der Kommune selbst eine Vorbildrolle zu.

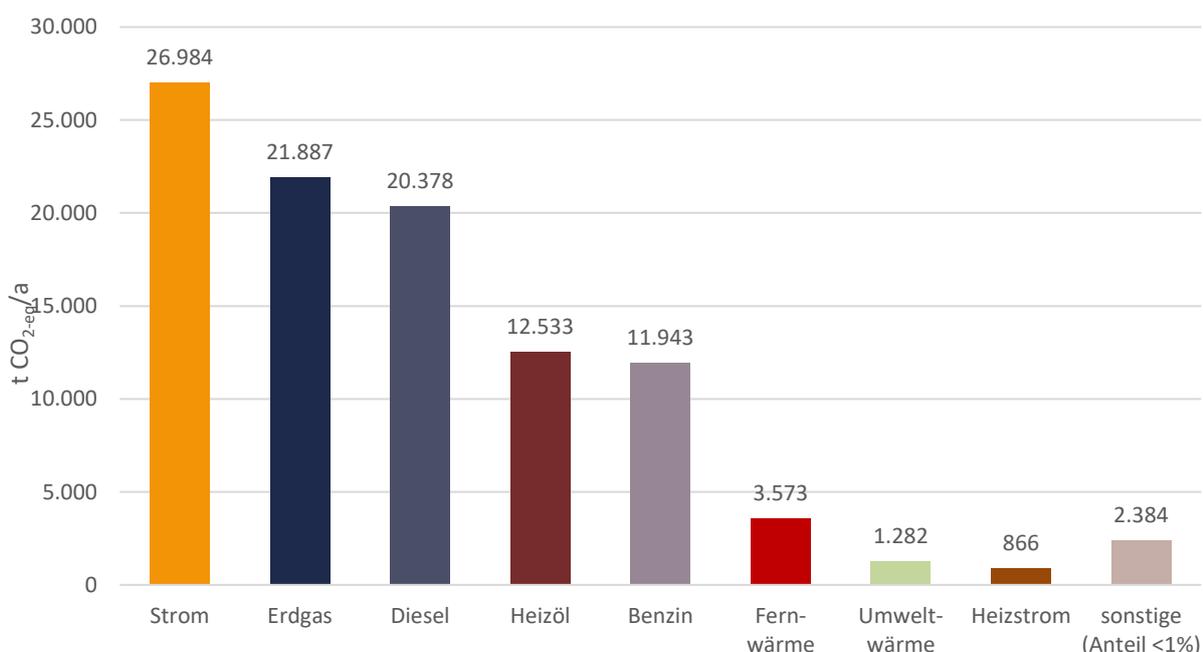


Abbildung 13: Treibhausgasemissionen in tCO<sub>2</sub>-eq in Karlsfeld nach Energieträger im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

### 1.2.2.1 Treibhausgasemissionen nach Sektor

Die gleichmäßige Aufteilung auf die großen Sektoren private Haushalte, Verkehr und Wirtschaft, bestehend aus Industrie und GHD, wird in der weiteren Betrachtung deutlich. Abbildung 27 zeigt die Treibhausgasemissionen anteilig nach Sektor, bezogen auf die Einwohnerzahl der Gemeinde Karlsfeld.

**Insgesamt entfallen auf jede\*n Einwohner\*in von Karlsfeld rechnerisch 4,62 t CO<sub>2</sub>-eq im Jahr 2019.**

Die Gemeinde Karlsfeld liegt somit 43 % unter dem Bundesdurchschnitt, der wie in Tabelle 3 weiter unten ersichtlich mit 8,1 t CO<sub>2</sub>-eq/EW ausgewiesen wird. Dies ist unter anderem darin begründet, dass Verkehr und Industrie in Karlsfeld nur untergeordnete Anteile haben.

Auf Bewertungen verschiedener aussagekräftiger Indikatoren sowie die Einordnung der gemeindespezifischen Werte wird weiter unten eingegangen.

In den beiden folgenden Abbildung 27 und Abbildung 28 wird deutlich, dass die pro-Kopf-Emissionen der Wirtschaft (Industrie und GHD) lediglich mit einem Anteil kleiner ein Drittel zu Buche schlagen. Größter Emittent an Treibhausgasen ist, wie auch schon bei der Endenergie ersichtlich wird, der Sektor der privaten Haushalte mit 37,9 %, gefolgt vom Verkehr mit 35,1 %. Der Wert des Verkehrssektors hat im Vergleich zur Endenergieaufteilung einen etwas höheren Anteil, was auf die höheren Emissionsfaktoren von Diesel und Benzin verglichen zum eingesetzten Energieträgermix im Gemeindegebiet zurückzuführen ist.

Der Anteil kommunaler Einrichtungen ist mit 4,1 % ebenfalls deutlich sichtbar. Die Reduzierung dieses Anteils liegt im direkten Einflussbereich der Gemeinde und kann ein wesentlicher Faktor sein, der Vorbildwirkung der Kommune gerecht zu werden.

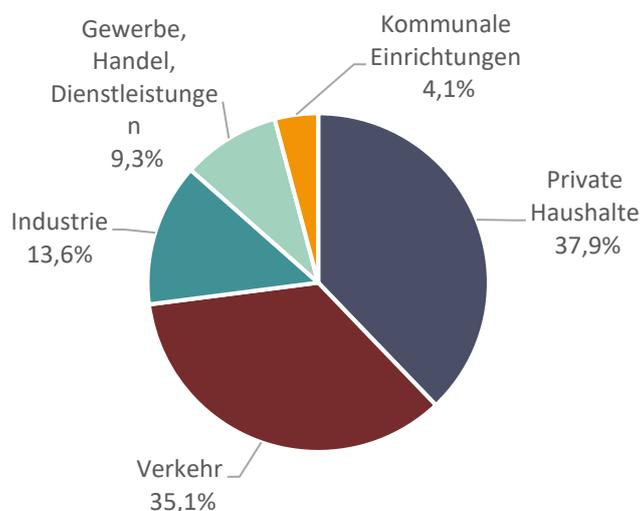


Abbildung 14: Anteilige Treibhausgasemissionen pro Einwohner\*in nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

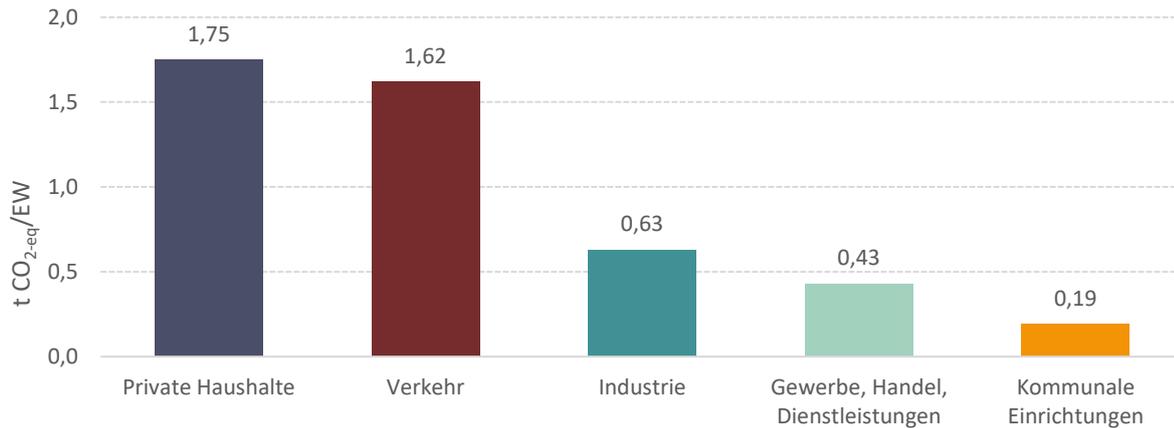


Abbildung 15: Treibhausgasemissionen pro Einwohner\*in nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

### 1.2.2.2 Treibhausgasemissionen des Verkehrs

Die Verteilung der verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen in Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigt ganz analog zu dem weiter oben dargestellten Endenergieverbrauch, dass in diesem Sektor der Straßenverkehr gegenüber dem Schienenverkehr dominiert. Andere Verkehrsmittel spielen kaum eine Rolle.

Da eine strukturelle Änderung der Verteilung des Verkehrs auf die verschiedenen Verkehrsmittel (der sogenannte Modal Split) nicht zu erwarten und der Einfluss der Gemeinde auf den Verkehr auf den Bundesstraßen B304 und B471 gering ist, liegen die Potenziale zur Emissionsminderung in diesem Sektor im Wesentlichen in der Dekarbonisierung des Straßenverkehrs auf Bundesebene.

Insgesamt zeigt sich eine starke Dominanz von PKW gegenüber LKW. Dies kann darin begründet liegen, dass auf dem Gemeindegebiet kein Autobahnabschnitt verortet ist und die Frequenz von LKW-Transitverkehr auf Bundesstraßen als etwas geringer angenommen werden kann als dies auf Autobahnen der Fall ist.

Für den Verkehrssektor ohne Berücksichtigung der Bundesstraßen lassen sich gegebenenfalls weitere Handlungsoptionen entwickeln. Hierzu wäre eine detailliertere Untersuchung zur Mobilität im Gemeindegebiet notwendig. Auf dieser Basis kann dann auch die Hebung von Einsparpotenzialen durch verkehrsberuhigte Bereiche innerhalb des Gemeindegebietes untersucht werden.

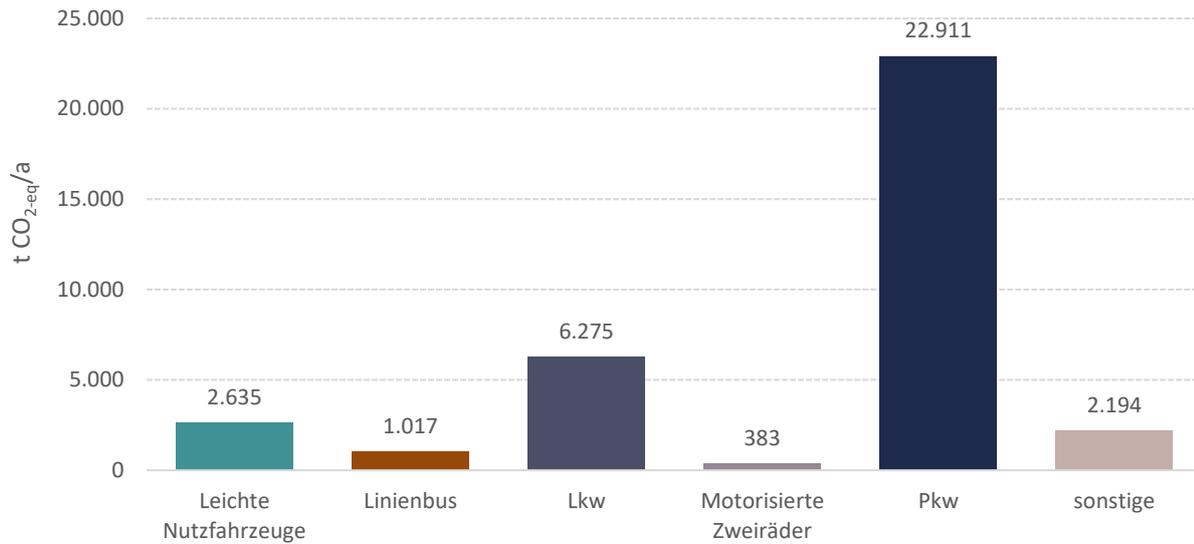


Abbildung 16: Treibhausgasausstoß in t CO<sub>2-eq</sub> je Verkehrsmittel im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

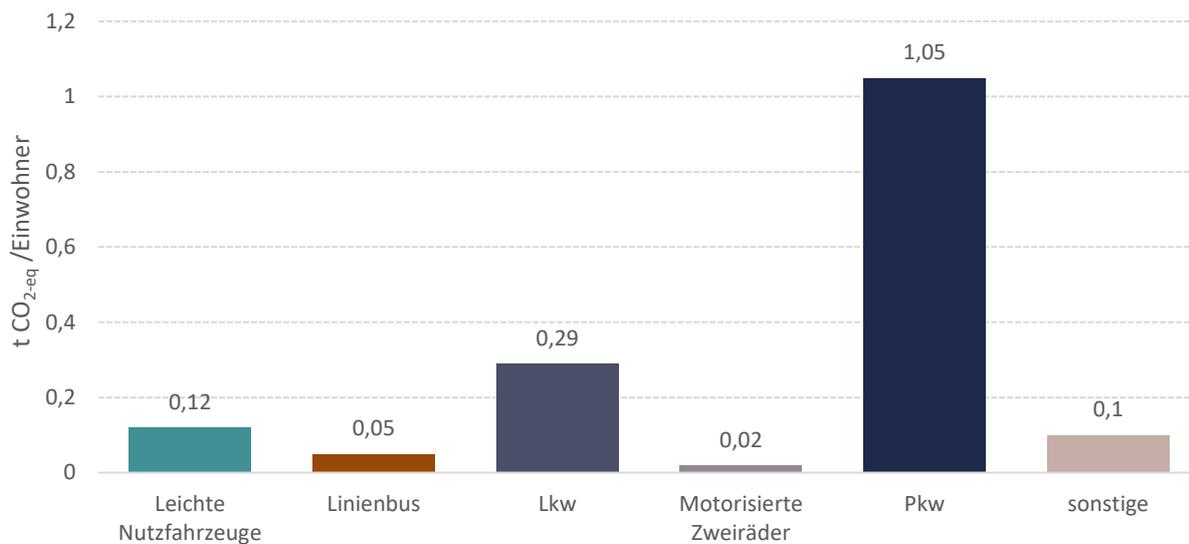


Abbildung 17: Treibhausgasausstoß pro Einwohner\*in und Verkehrsmittel im Jahr 2019 (Quelle: INEV)

### 1.2.3 Indikatoren der Bilanz und Vergleiche

Abschließend werden aus den Daten der Energie- und Treibhausgasbilanz aussagekräftige Indikatoren gebildet. Durch eine geeignete Auswahl solcher Indikatoren und eine regelmäßige Fortschreibung der Bilanz lassen sich Stand und Entwicklung der Klimaschutzbemühungen der Gemeinde bewerten und nötigenfalls nachsteuern. In Tabelle 3 sind neben den Indikatorwerten der Gemeinde Karlsfeld auch die vom Klimaschutzplaner ausgewiesenen Durchschnittswerte der nach gleicher Methodik bilanzierten Kommunen in Deutschland dargestellt. Dieser Vergleich gibt einen ersten Anhaltspunkt, wie sich die eigene Kommune einordnen lässt.

Der erste Indikator gibt die gesamten CO<sub>2-eq</sub>-Emissionen in 2019 pro Einwohner (EW) nach BSKO-Systematik an. Der Wert liegt mit 4,62 tCO<sub>2-eq</sub> /EW deutlich unter dem Bundesdurchschnitt (8,10 tCO<sub>2-eq</sub> /EW). Hier wirkt sich neben der fehlenden energieintensiven Industrie sowie der Autobahn, welche nicht auf dem Territorium der Gemeinde verläuft, die mit 21.832 Personen vergleichsweise hohe Bevölkerungszahl positiv aus.

Die CO<sub>2-eq</sub>-Emissionen aus dem Sektor private Haushalte (HH) liegen mit ca. 1,75 tCO<sub>2-eq</sub> /EW ebenfalls unter dem Bundesdurchschnitt (2,20 tCO<sub>2-eq</sub> /EW). Dennoch hat der Sektor Private Haushalte den größten Anteil an Endenergieverbrauch und Treibhausgasausstoß in Karlsfeld.

Der Indikator „Erneuerbare Energien Strom“ gibt den Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch wieder. Hierbei handelt es sich um den bilanziellen Deckungsbeitrag des lokal und erneuerbar erzeugten Stroms (8.529 MWh/a) am gesamten Stromverbrauch (53.630 MWh/a) im Gemeindegebiet, wobei der Stromverbrauch des Sektors Verkehr nicht mitgezählt wird. Mit lediglich 15,9 % liegt dieser in der Gemeinde Karlsfeld aktuell deutlich unter dem Bundesdurchschnitt (42,0 %) und zeigt den enormen Nachholbedarf der Kommune in diesem Bereich.

Mit dem Indikator „Erneuerbare Energien Wärme“ wird angegeben, welcher Anteil am gesamten Heizwärmeverbrauch im Betrachtungsjahr aus erneuerbaren Energieträgern bereitgestellt wurde, ohne Miteinbezug des bilanzierten Anteils an Heizstrom. Der Wert liegt für Karlsfeld mit ca. 21,4 % höher als der Bundesdurchschnitt (15 %). Einen wesentlichen Beitrag liefern hier die beiden Wärmenetze mit ihrem hohen Anteil Wärme aus erneuerbaren Energieträgern.

Auch der Anteil der Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) am Wärmeverbrauch ist mit ca. 12,3 % höher als der Bundesdurchschnitt (8,0 %). Auch hier spielt die in den Wärmenetzen bilanzierte KWK-Wärme eine entscheidende Rolle. Im Gemeindegebiet gibt es noch weitere KWK-Anlagen, deren Wärmeerzeugung für künftige Fortschreibungen der Bilanzen erfasst werden sollten. Dadurch kann der Indikatorwert für Karlsfeld womöglich noch gesteigert werden.

	Karlsfeld	Durchschnitt Deutschlands
Gesamttreibhausgasemissionen in t CO <sub>2</sub> -eq/EW	4,62	8,10
Treibhausgasemissionen der Haushalte in t CO <sub>2</sub> -eq/EW	1,75	2,20
Anteil erneuerbare Energien Strom in %	15,90	42,00
Anteil erneuerbare Energien Wärme in %	21,38	15,00
Anteil KWK-Produktion am gesamten Wärmeverbrauch in %	12,33	8,00
Endenergieverbrauch Haushalte in kWh/EW	6.373,20	8.043,00
Endenergieverbrauch GHD in kWh/Beschäftigten	6.809,11	14.113,00
Modal Split in %	23,85	12,60
Endenergiebedarf MIV in kWh/EW	3.397,78	5.012,00

Tabelle 3: Auszug der wesentlichen Indikatoren der Gemeinde Karlsfeld des Jahres 2019 aus dem Klimaschutzplaner (Quelle: INEV)

Die Abbildung 31 ordnet die Werte der Indikatoren noch einmal grafisch ein. Der Energieverbrauch im Sektor private Haushalte wird pro Einwohner ausgewiesen und liegt für Karlsfeld mit ca. 6.272 kWh/EW ca. 21 % unter dem Bundesdurchschnitt (8.373 kWh/EW). Hierin spiegelt sich wider, dass ein Großteil der installierten PV-Anlagen durch Privatpersonen betrieben werden, wodurch der Fremdstrombezug des Sektors deutlich sinkt.

Der Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) gibt an, wie viel Strom und Wärme pro sozialversicherungspflichtig Beschäftigtem im Betrachtungsjahr verbraucht wurde. Der Wert liegt mit ca. 6.809 kWh pro Beschäftigten und Jahr ca. 52 % unter dem Bundesdurchschnitt (14.113 kWh pro Beschäftigten und Jahr) und gibt somit einen Hinweis darauf, dass der Sektor durch weniger energieintensive Handels- und Dienstleistungsbetriebe geprägt ist und energieintensives Gewerbe im Gemeindegebiet eine untergeordnete Rolle spielt.

Der Indikator Modal Split gibt den Anteil der mit dem Fahrrad, zu Fuß, Linienbus, Schienen-, Straßen-, U-Bahnen und Schienenpersonennahverkehr an den gesamt zurückgelegten Verkehrskilometern im Betrachtungsjahr wieder. Mit 23,9 % liegt der Wert für Karlsfeld deutlich höher als der Bundesdurchschnitt (12,6 %). Dieser Wert kann beispielsweise durch den Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs im Gemeindegebiet erhöht und somit verbessert werden.

Der abschließend hier betrachtete Indikator gibt den Energieverbrauch durch motorisierten Individualverkehr (MIV) pro Einwohner wieder. Dieser Wert wird aus dem TREMOD-Model [\[26\]](#) ermittelt und wird für die Gemeinde Karlsfeld mit 3.398 kWh/EW angegeben. Der Wert liegt deutlich niedriger als der Bundesdurchschnitt (5.012 kWh/EW). Hierbei spielt das Fehlen einer Autobahn auf dem Gemeindegebiet bei einer gleichzeitig relativ großen Einwohnerzahl eine wichtige Rolle. Der Wert kann beispielsweise verbessert werden durch Verlagerung auf alternative Verkehrsmittel (ÖPNV, Rad, etc.).



Abbildung 18: Wesentliche Indikatoren der Gemeinde Karlsfeld aus dem Klimaschutzplaner (Quelle: INEV)

## 2. Potenziale und Szenarien

### 2.1 Potenzialanalyse relevanter Handlungsfelder

Um eine nachhaltige Reduktion von Treibhausgasen zu erzielen, ist es zunächst notwendig Potenziale zur Einsparung von Energieverbräuchen und Treibhausgasemissionen zu identifizieren. Hierfür sollen kurz- und mittelfristige Einsparpotenziale betrachtet werden, welche aus aktueller Sicht technisch und wirtschaftlich gehoben werden können. In Absprache mit der Gemeinde Karlsfeld wurden in der Potenzialanalyse die folgenden Bereiche betrachtet:

- **Wärmenetze (vgl. Kapitel 4.1.1)**
- **Photovoltaik auf Freiflächen (vgl. Kapitel 4.1.2)**
- **Photovoltaik auf Dachflächen des Gemeindegebiets (vgl. Kapitel 4.1.3)**
- **Photovoltaik auf kommunalen Liegenschaften (vgl. Kapitel 4.1.4)**
- **Photovoltaik auf Dächern privater Haushalte (vgl. Kapitel 4.1.5)**
- **Windkraftanlagen (vgl. Kapitel 4.1.6)**
- **Straßenbeleuchtung (vgl. Kapitel 4.1.7)**

Die Potenziale für PV-Freiflächen-Anlagen, PV-Anlagen auf Dachflächen des Gemeindegebiets, Windkraft und Wärmenetze basieren auf 3D-Gebäudemodelldaten des Bayerischen Landesamtes für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, sogenannten LoD2-Daten (Level of Detail), die durch die Kommune für den Bearbeitungszeitraum zur Verfügung gestellt wurden (basierend auf Geobasisdaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung).

Im Einklang mit der BSKO-Systematik werden die Potenziale im Bereich elektrische Energie mit dem Treibhausgasemissionsfaktor für den Bundesstrommix inklusive Vorkette bewertet. Dieser liegt für das Jahr 2019 bei 470 g/kWh [\[27\]](#).

Aufgrund der anzustrebenden Vorbildwirkung der Kommune liegt der Fokus der Potenzialanalyse auf denjenigen Bereichen, die direkt durch die kommunale Leitung und Verwaltung beeinflusst werden können. Die betrachteten Bereiche werden entsprechend mit einem Verweis auf die zutreffenden Handlungsfelder versehen.

Im Rahmen des integrierten Klimaschutzkonzeptes der Gemeinde Karlsfeld werden Potenziale in allen wesentlichen Handlungsfeldern ausgewiesen. Die Gesamtheit der Potenziale bildet den Werkzeugkasten, welcher für das Verlassen des Referenzszenarios (Trendentwicklung ohne Klimaschutzanstrengungen) hin zur Einschlagung des Pfades im Klimaschutzszenario, zur Verfügung steht. Voraussetzung hierfür ist eine konsequente Umsetzung der Klimaschutzpolitik.

## 2.1.1 Wärmenetz

Die Ermittlung von Potenzialflächen für Wärmenetze basiert auf den LoD2-Daten. Relevant sind vor allem die Wärmebedarfe der Gebäude auf dem betrachteten Gebiet, da hohe Wärmebedarfe in dicht besiedelten Gebieten die Errichtung eines Wärmenetzes begünstigen. Einen hohen Einfluss auf den Wärmebedarf eines Gebäudes hat das Baujahr bzw. die Baualtersklasse. Die Einteilung in Baualtersklassen beruht auf baugeschichtlichen Entwicklungen, wie das Inkrafttreten von Verordnungen (z.B. Wärmeschutzverordnung und Energieeinsparverordnung) [\[28\]](#). Um dies zu berücksichtigen, wurden den LoD2-Daten die Baualtersklassen der Zensus 2011-Daten zu Wohnungen und Gebäuden zugewiesen. Die Daten liegen in einem 100x100m-Raster deutschlandweit vor [\[29\]](#).

Für den Fall, dass ein Gebiet nicht von einem Raster der Zensus-Daten abgedeckt wird, wurde die nächste Rasterzelle verwendet. Diese Annahme begründet sich auf der Argumentation, dass es sehr wahrscheinlich ist, dass Siedlungsgebiete in einem ähnlichen zeitlichen Verlauf errichtet wurden.

Über Heizbedarfskennwerte für Wohngebäude und das Volumen der betrachteten Gebäude werden diesen spezifische Heizbedarfe zugeordnet. Die Heizbedarfskennwerte wurden dem *Leitfaden Energieausweis* [\[30\]](#) entnommen und berücksichtigen den Heizwärmebedarf von Wohngebäuden in kWh/m<sup>2</sup>\*a.

Daraus ergibt sich die in Abbildung 32 dargestellte Wärmedichtekarte. Diese bietet die Möglichkeit, Gebiete mit hoher Wärmedichte zu erkennen, die sich damit potenziell für den Auf- oder Ausbau eines Wärmenetzes eignen. Gebiete mit besonders hohem Wärmebedarf sind stark gelb eingefärbt.

Nach Absprache mit der Klimaschutzmanagerin wurden sowohl der Ausbau bestehender Netze am Beispiel des Netzes der Gemeindewerke Karlsfeld sowie ein potenzieller Neuaufbau eines Netzes im Bereich der sogenannten Handwerkersiedlung genauer betrachtet. Die Potenzialabschätzung stellt selbstverständlich keine Planungsleistung dar, noch ersetzt sie diese. Vielmehr soll ein Gefühl für das in diesem Bereich vorhandene Potenzial gegeben werden.

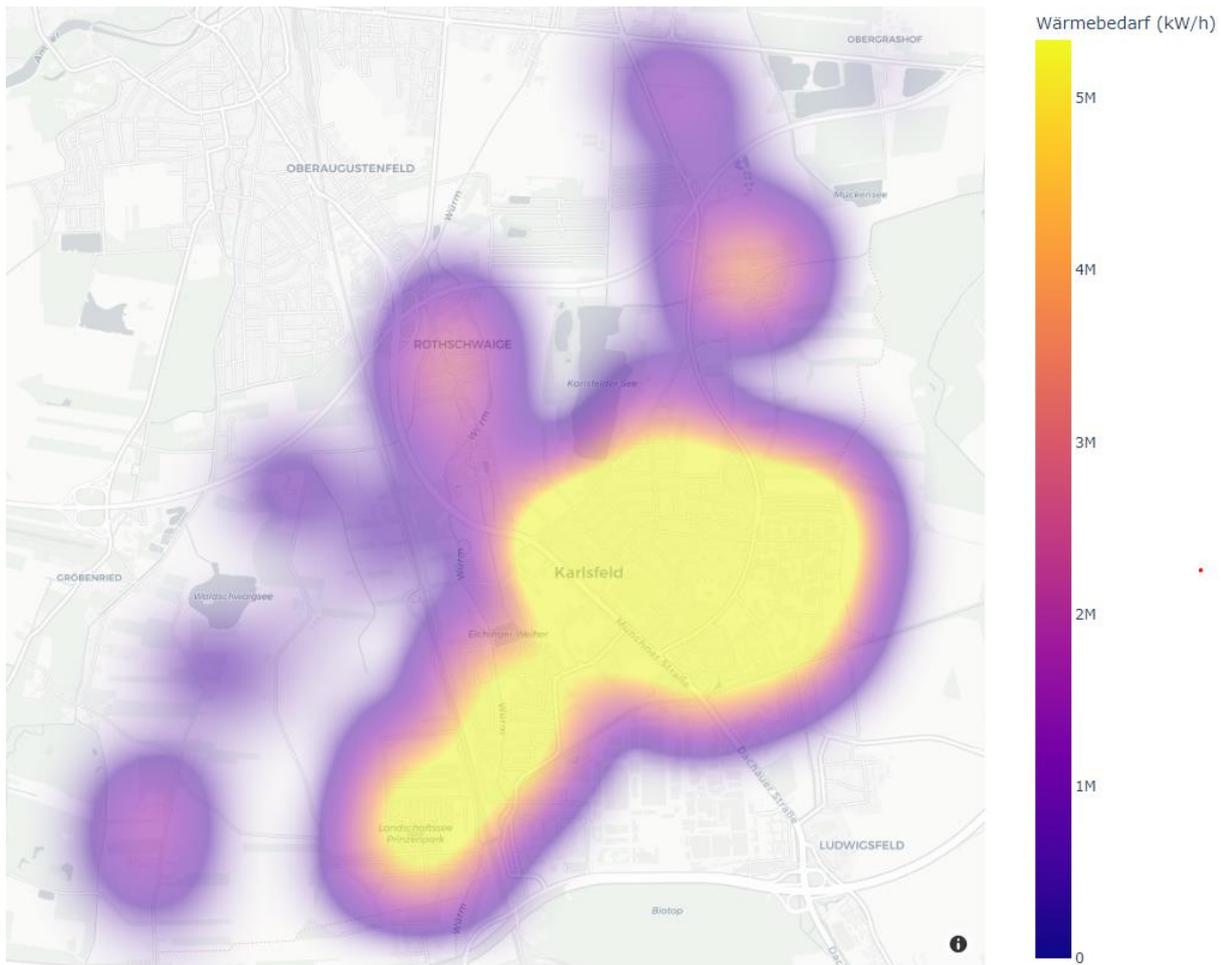


Abbildung 19: Wärmedichtekarte der Gemeinde Karlsfeld (Quelle: INEV)

## Detailbetrachtung Handwerkersiedlung

Die „Handwerkersiedlung“ wurde als Beispiel für den Aufbau eines neuen Wärmenetzes ausgewählt, weil es sich um einen räumlich abgeschlossenen Bereich handelt in dem aufgrund des Baualters eine hohe Wärmebelegungsichte zu erwarten ist. Die Art der aktuell dort vorherrschenden Wärmebereitstellung ist für die reine Potenzialbetrachtung nicht allein ausschlaggebend. Entscheidend für das Beschreiten eines Klimaschutzpfades ist die nachhaltige und ressourcenschonende Erzeugung der Wärme, welche auch in Zukunft im Netz gewährleistet sein muss. Ein vorausschauend geplanter Aufbau eines Wärmenetzes sollte dabei auch für die Einbindung multipler nachhaltiger Wärmeerzeuger ausgelegt sein. Hier können unter anderem Wärmequellen wie Biomasseheizwerke, Solarthermieanlagen und auch industrielle Großwärmepumpen z.B. im Zusammenhang mit dem Bau großer Freiflächen PV-Anlagen (Sektorenkopplung) zum Einsatz kommen.

Die nachfolgende Beispielrechnung für den Aufbau des Wärmenetzes im Bereich der Handwerkersiedlung soll eine Abschätzung eines Treibhausgasreduzierungspotenzials unter den

getroffenen Annahmen geben. Diese sind nachfolgend dargestellt und auf Basis der Erkenntnisse der möglichen Heizungsarten in der Gemeinde Karlsfeld in Kombination mit empirischen Werten getroffen:

- Anzahl Häuser bzw. Wohneinheiten: 480 WE
- ca. 76 % werden noch mit konventionellen, klimaschädlichen Energieträgern beheizt, was sich, auf ca. 1/3 Öl und ca. 2/3 Erdgas aufteilt
- Durchschnittlicher Verbrauch je WE: ca. 20.000 kWh/a
- mögliche mittelfristige Substitutionsrate der fossilen Heizungserzeuger durch ein klimaneutrales Wärmenetz: ca. 80 %

Für die Berechnung wird zudem vereinfacht angenommen, dass durch den Austausch des bisherigen Wärmeerzeugers je Wohneinheit bilanziell kein Effizienzpotenzial auf Seiten der Endenergie gehoben wird.

Die Einsparung bezieht sich rein auf den Ausstoß an Treibhausgasen. In der Abschätzung hierfür wird zunächst der Verbrauch der fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas auf Basis der getroffenen Annahmen errechnet. Über die spezifischen Emissionsfaktoren der beiden konventionellen Energieträger können die ausgestoßenen Emissionen berechnet werden. Bei einem Eins-zu-Eins-Austausch der fossilen Energieträger durch den Anschluss an das Wärmenetz, das durch erneuerbare Energien betrieben wird, können die Emissionen folglich als Einsparung angesehen werden.

Austausch- und Einsparpotenzial der Beispielrechnung:

- **Austausch Endenergie: ca. 7.286 MWh/a**
- **Einsparung Treibhausgase: ca. 1.650 t CO<sub>2</sub>-eq/a**

Eine weitere Ausarbeitung der tatsächlichen Wärmebedarfe, wie in Abbildung 33 dargestellt sowie die wirtschaftliche Betrachtung dieser Potenziale sollte nach Definition von Fokusgebieten für den Aufbau von Wärmenetzen seitens der Gemeinde Karlsfeld in dezidierten Planungen analysiert werden.



Abbildung 20: Visualisierung vorhandener Wärmeabnehmer und beispielhafter Trassenverlauf (Quelle: INEV)

## Detailbetrachtung – Ausbau bestehender Netze

Auf dem Gemeindegebiet existieren bereits zwei Wärmenetze, wobei das in Abbildung 34 dargestellte im Zentrum über die Gemeindewerke Karlsfeld betrieben wird und direkt im Einflussbereich der Gemeinde liegt.

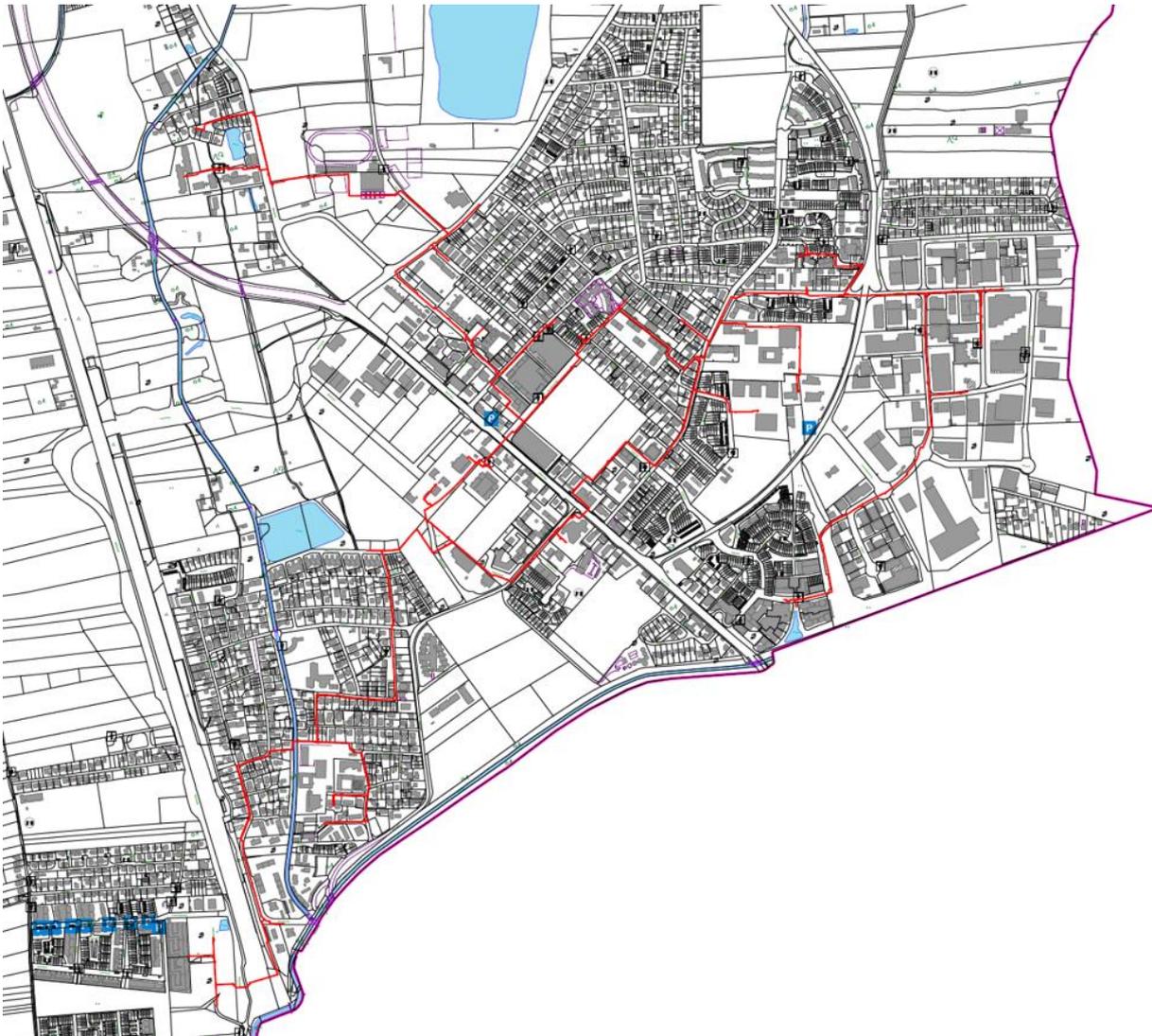


Abbildung 21: Wärmenetz der Gemeindewerke Karlsfeld (Quelle: Gemeinde Karlsfeld)

Insbesondere das Zentrum Karlsfelds ist aufgrund der Besiedlungsdichte und der dadurch zu erwartenden hohen Wärmebelegungsdichte vielversprechend für den Ausbau des Wärmenetzes bzw. die Erhöhung der Anschlussrate in eben jenem Gebiet. Wie schon oben definiert, ist die Art der Wärmebereitstellung für die reine Potenzialbetrachtung nicht ausschlaggebend.

Entscheidend für das Beschreiten eines Klimaschutzpfades ist die nachhaltige und ressourcenschonende Erzeugung der Wärme, welche auch in Zukunft im Netz der Gemeindewerke ausgebaut und gewährleistet sein muss. Ein vorausschauend geplanter Ausbau des Wärmenetzes

sollte dabei auch für die Einbindung multipler nachhaltiger Wärmeerzeuger ausgelegt sein. Hier können unter anderem Wärmequellen wie Biomasseheizwerke, Solarthermieanlagen und auch industrielle Großwärmepumpen z.B. im Zusammenspiel mit dem Bau großer Freiflächen PV-Anlagen (Sektorenkopplung) zum Einsatz kommen.

Die nachfolgende Beispielrechnung für den Ausbau des Wärmenetzes im Zentrum soll eine Abschätzung eines Treibhausgasreduzierungspotenzials unter den getroffenen Annahmen geben. Die dargestellten Annahmen sind auf Basis der Erkenntnisse der möglichen Heizungsarten in Kombination mit empirischen Werten getroffen, können eine dezidierte Planung der Wärmebelegung jedoch nicht ersetzen:

- **Anzahl Wohneinheiten: 500 WE**
- **ca. 76 % werden noch mit konventionellen, klimaschädlichen Energieträgern beheizt, was sich auf ca. 1/3 Öl und ca. 2/3 Erdgas aufteilt**
- **Durchschnittlicher Verbrauch je WE: ca. 15.000 kWh/a**
- **Mögliche mittelfristige Substitutionsrate der fossilen Heizungserzeuger durch ein perspektivisch klimaneutrales Wärmenetz: ca. 80 %**

Wie schon oben erläutert, bezieht sich die Einsparung rein auf den Ausstoß an Treibhausgasen und nicht auf mögliche zu hebende Effizienzpotenziale auf Seiten der Endenergie durch die Heizungssanierung.

Mit den getroffenen Annahmen stellt sich das Austausch- und Einsparpotenzial der Beispielrechnung wie folgt dar:

- **Austausch Endenergie: ca. 11.385 MWh/a**
- **Einsparung Treibhausgase: ca. 2.600 t CO<sub>2</sub>-eq/a**

Eine weitere Ausarbeitung sowie die wirtschaftliche Betrachtung dieser Potenziale ist seitens der Kommune bzw. der Gemeindewerke angedacht und soll kurz-bis mittelfristig durchgeführt werden.

In diesem Zusammenhang sollten auch die Möglichkeiten der deutlichen Erhöhung des erneuerbaren Wärmeanteils im Wärmenetz beziehungsweise die vollständige Dekarbonisierung dieses im Fokus stehen.

**Die hier ausgewiesenen Potenziale können unter anderem den folgenden Handlungsfeldern (vgl. Kapitel 1.4) zugewiesen werden:**

- **erneuerbare Energie**
- **kommunale Liegenschaften**

## 2.1.2 Photovoltaik auf Freiflächen

Die Installation von PV-Anlagen auf Freiflächen innerhalb des Gemeindegebietes ist eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen. Durch die Installation von PV-Freiflächenanlagen werden bislang brachliegende oder anderweitig genutzte Flächen für die Energieerzeugung beansprucht. Daher ist eine durchdachte Standortwahl nötig, um ökologische, Landschafts- und Umweltbelange zu berücksichtigen. Ziel soll es sein, die Energieerzeugung mit dem Natur- und Landschaftsschutz vereinbar zu gestalten.

Für die Potenzialanalyse wurde der Praxisleitfaden des Landesamtes für Umwelt für die ökologische Gestaltung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen herangezogen. Durch die richtige Standortwahl sollen Eingriffe in die Umwelt vermieden bzw. minimiert werden. Daher werden für die Potenzialanalyse zunächst Flächen ermittelt, die potenziell für PV-Freiflächenanlagen genutzt werden können. Hierfür werden zunächst bebaute Gebiete sowie Ausschlussflächen in der Fläche des Kommunegebietes identifiziert, die im Leitfaden als „nicht geeignete Standorte“ geführt werden [\[31\]](#).

Berücksichtigte Ausschlussflächen:

- Nationalparke, Naturschutzgebiete, Naturparke, Naturdenkmäler
- Besondere Schutzgebiete
- Biosphärenreservate
- Landschaftsschutzgebiete
- Siedlungsgebiete
- Freizeiteinrichtungen
- Bewaldete Gebiete und Gewässer
- Verkehrs- und Schienenwege

Der Fokus liegt folglich auf den folgenden Flächen, die gemäß Leitfaden aufgrund geringen Konfliktpotenzials als „geeignete Standorte“ kategorisiert werden [\[31\]](#):

- Pufferzonen entlang von Schienenwegen und Autobahnen
- Versiegelte Flächen, Konversionsflächen

In Karlsfeld sind keine brachliegenden Kieswerke bzw. anderweitige große Konversionsflächen bekannt. Für die Potenzialermittlung liegt der Fokus somit auf Flächen entlang der Autobahn und Schienenwegen.

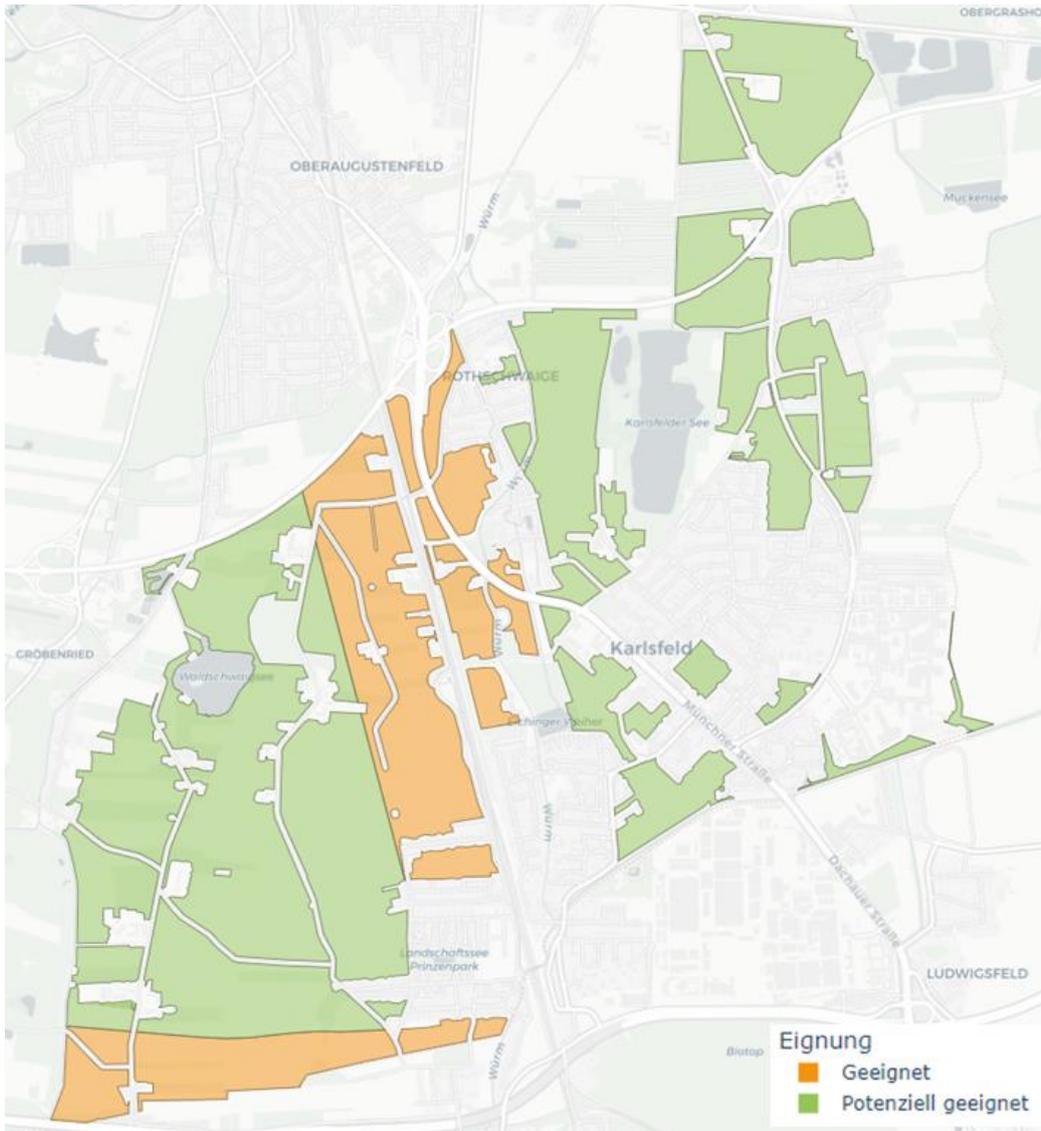


Abbildung 22: Potenzielle PV-Freiflächen in Karlsfeld (Quelle: INEV)

Diese eben genannten Flächen können nach dem Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG) gefördert werden und sind in oben dargestellter Abbildung 35 als „geeignet“ markiert. Durch die Novelle des EEG von Ende Juli 2022 wird ein 500 m Korridor entlang von Schienenwegen und Autobahnen als förderfähig definiert [\[32\]](#).

Alle Flächen, die weder unter Ausschlussflächen fallen noch unter die Kategorie „geeignet“, werden als „potenziell geeignet“ kategorisiert. In diesem Bericht wird auf diese Flächen, wie auch Agri-PV-Anlagen nicht explizit eingegangen, da die gemäß EEG Novelle als „geeignet“ kategorisierten Flächen bereits große Potenziale bieten.

Für die Ausweisung eines Potenzials werden die installierbare Leistung und der erwartbare Jahresertrag anhand der verfügbaren Fläche beispielhaft ausgewiesen.

Um das Potenzial zur Emissionsminderung zu ermitteln, wird der in den Anlagen erzeugte Strom mit einem BSKO-konformen Treibhausgas-Emissionsfaktor inklusive Vorkette bewertet. Dieser beträgt für das Bezugsjahr 2019 470 g CO<sub>2-eq</sub> /kWh [\[27\]](#).

### Freiflächen-PV-Anlagen an der Autobahn A99

In Abbildung 36 sind geeignete Freiflächen entlang der Autobahn A99 im südwestlichen Gemeindebereich identifiziert worden. Es wurden nur zusammenhängende Flächen größer ein Hektar in die Betrachtung mit aufgenommen und lediglich 70 % der Fläche belegt. Um eine Abschätzung des möglichen Zubau Potenzials in diesem Korridor, unabhängig der aktuellen Besitzverhältnisse, zu geben, wurden die folgenden weiterführenden Annahmen getroffen:

- **Installierbare PV-Leistung je Hektar (ha): ca. 1.000 kWp**
- **Möglicher Ertrag je kWp installierter Leistung in Südausrichtung und 25° Aufständigung: ca. 1.100 kWh/a**
- **Verfügbare Flächen: ca. 36 ha**

Mit den getroffenen Annahmen können auf einer Fläche von ca. 36 ha PV-Freiflächenanlagen mit einer installierbaren Leistung von ca. 36.000 kWp realisiert werden. Der daraus resultierende erwartbare Stromertrag beläuft sich auf ca. 39.600 MWh/a, wodurch bilanziell ca. 70 % des Stromverbrauchs im Jahr 2019 auf dem gesamten Gemeindegebiet gedeckt werden können.

Das daraus resultierende Treibhausgasreduzierungs-potenzial beläuft sich auf ca. 18.612 t CO<sub>2-eq</sub> /a.

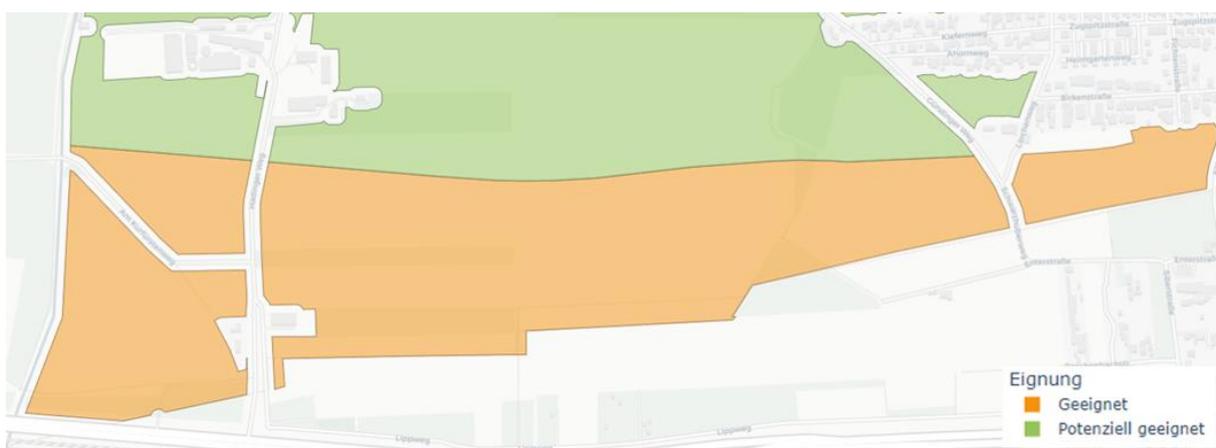


Abbildung 23: Ausschnitt geeigneter Potenzialflächen im 500 m Korridor der Autobahn (Quelle: INEV)

## Freiflächen-PV-Anlagen an der Bahnlinie

Entlang der von Süden nach Norden durch das Gemeindegebiet verlaufenden Bahnlinie ergeben sich weitere Potenzialflächen, welche sich technisch und gemäß EEG als geeignet ausweisen lassen.

In Abbildung 37 sind diese Flächen visualisiert. Um eine Abschätzung des möglichen Zubau Potenzials in diesem Korridor, unabhängig der aktuellen Besitzverhältnisse, zu geben, wurden wie schon oben beschrieben nur zusammenhängende Flächen größer ein Hektar zwischen der A99 und der B471 in die Betrachtung mit aufgenommen und aufgrund der höheren Bebauungsdichte sowie kleinteiliger Aufteilungen lediglich 50 % der Fläche belegt. Die Potenzialberechnung erfolgt auf Basis der folgenden weiteren Annahmen:

- **Installierbare PV-Leistung je Hektar (ha): ca. 1.000 kWp**
- **Möglicher Ertrag je kWp installierter Leistung in Südausrichtung und 25° Aufständigung: ca. 1.100 kWh/a**
- **Verfügbare Flächenbereiche:**
  - **Westlich der Bahnlinie: ca. 42 ha**
  - **Östlich der Bahnlinie: ca. 20 ha**

Mit den getroffenen Annahmen können auf einer Fläche von ca. 62 ha PV-Freiflächenanlagen mit einer installierbaren Leistung von ca. 62.000 kWp realisiert werden. Der daraus resultierende erwartbare Stromertrag beläuft sich auf ca. 68.200 MWh/a, wodurch allein ca. 104 % des Stromverbrauchs im Jahr 2019 auf dem gesamten Gemeindegebiet bilanziell gedeckt werden kann.

Diese Überdeckung des lokalen Strombedarfs ist insbesondere deshalb erstrebenswert, da hierin große Potenziale hinsichtlich einer möglichen Sektorenkopplung liegen, das heißt zum Beispiel zur Nutzung des Stroms für die Wärmeerzeugung in Wärmenetzen oder auch hinsichtlich der Elektrifizierung des Straßenverkehrs, auch des Fuhrparks der kommunalen Flotte.

Das daraus resultierende Treibhausgasreduzierungspotenzial beläuft sich auf ca. 32.054 t CO<sub>2-eq</sub>/a.

Im betrachteten Bereich gibt es südlich und östlich viele kleinere Verbraucher, wie private Haushalte, Gewerbe und auch öffentliche Einrichtungen, wo neben reinen Volleinspeiseanlagen auch der Direktverbrauch z.B. innerhalb von Quartieren oder die Nutzung zur Erweiterung des zentralen Wärmenetzes in weiterführenden Untersuchungen analysiert werden sollte.

In Summe können die hier ausgewiesenen technisch und wirtschaftlich sinnvollen Potenziale für PV-Freiflächenanlagen den gesamten Strombedarf des Jahres 2019 im Gemeindegebiet Karlsfeld bilanziell zu ca. 174 % decken.



Abbildung 24: Ausschnitt geeigneter Potenzialflächen im 500 m Korridor der Bahnlinie (Quelle: INEV)

Die hier ausgewiesenen Potenziale können unter anderem den folgenden Handlungsfeldern (vgl. Kapitel 1.4) zugewiesen werden:

- erneuerbare Energie

### 2.1.3 PV – Anlagen auf Dächern des gesamten Gemeindegebiets

Das Potenzial auf Dachflächen wurde auf Basis der durch die Bayerische Vermessungsverwaltung bereitgestellten 3D-Gebäudemodelle in der Detaillierungsstufe LoD2 (im Folgenden „LoD2-Daten“) ermittelt. Aus den Angaben zur Dachfläche, deren, Orientierung und Neigung konnte das PV-Potenzial für jede Dachfläche, die in den LoD2-Daten hinterlegt ist, errechnet werden.

Für die Berechnung wurde zwischen geneigten Dächern und Flachdächern unterschieden. Die LoD2-Daten enthalten unter anderem Informationen zur Dachfläche; aus diesen Daten kann für geneigte Dachflächen eine spezifische Leistung errechnet werden. Bei Flachdächern (Neigung = 0°) sind keine Informationen zur Ausrichtung vorhanden. Für die Potenzialberechnung wird bei Flachdächern von einer Ost-West-Aufständigung der Module um 10° ausgegangen. Ausgehend von der verfügbaren Dachfläche wird eine installierbare Leistung ermittelt und unter Berücksichtigung des Mittelwerts der jährlichen globalen Strahlungssumme [\[33\]](#) in Karlsfeld sowie der spezifischen Dachausrichtung und -neigung der erwartbare Jahresertrag je Dachfläche ermittelt.

Für die Berechnung wurden einige Annahmen getroffen, sodass nur relevanten Dachflächen ein Potenzial zugeordnet wird.

- **Nördlich ausgerichtete Dachflächen werden nicht betrachtet**
- **Belegbare Dachfläche 70 %**
- **Belegbare Dachfläche Flachdächer 50 %**
- **Wirkungsgrad der Module 18 %**
- **Globalstrahlung Jahressumme: 1.172 kWh/m<sup>2</sup>**
- **Berücksichtigung von Dachneigung und -ausrichtung bei der Ermittlung des erwartbaren jährlichen Ertrags**

Die Größe der Dachflächen wurde begrenzt, um keine Anlagen kleiner 5 kWp zu erhalten. Außerdem wurden nördlich ausgerichtete Dachflächen ausgeschlossen, um keine voraussichtlich unwirtschaftlichen Anlagen auszuweisen.

Für die mit PV-Anlagen nutzbaren Dachflächen wurden 70 % der gesamten geeigneten Dachflächen bei Satteldächern angesetzt. Für Flachdächer erfolgt eine Reduktion auf 50 % der ausgewiesenen Dachfläche, wodurch beispielsweise Abstände zu den Rändern oder der Attika sowie mögliche Störkonturen wie Kamine oder Lüftungsauslässe in der Potenzialabschätzung Berücksichtigung finden.

Nicht berücksichtigt werden die folgenden Gebäudetypen:

- Kirchen
- Synagogen

- Moscheen
- Kapellen
- Klöster
- Schlösser
- Parkhäuser

Zudem wurden Turm-, Kegel- und Kuppeldächer ausgeschlossen.

Nachfolgend ist in Abbildung 38 bis Abbildung 40 die installierbare Leistung auf den Dächern des Gemeindegebiets dargestellt. Der Farbverlauf verändert sich mit den Kategorien, orange eingefärbte Dächer bilden sehr kleine Anlagen ab. Über Grün zu Rot und Blau steigt die installierbare Leistung an.

Die Berechnungen wurden mit den oben genannten Annahmen durchgeführt. Individuelle Einzelbetrachtungen von Gebäuden können weitere relevante Aspekte wie beispielsweise Verschattung oder eine genauere Betrachtung der belegbaren Flächen enthalten und können somit abweichende Ergebnisse liefern.

Die Abbildung 41 bis Abbildung 43 zeigen den erwartbaren Jahresertrag der möglichen PV-Anlagen. Der Farbverlauf verändert sich mit zunehmendem Ertrag von Gelb über Grün und Rot zu Dunkelblau.

Unter den getroffenen Annahmen lässt sich folgendes Ergebnis zusammenfassen:

- **Mögliches Zubaupotenzial\*:** ca. 58.329 kWp
- **Möglicher erwartbarer Jahresertrag\*\*:** ca. 56.024 MWh/a
- **Mögliche Einsparung Treibhausgase bei 40 % Eigenverbrauchsquote:** ca. 10.533 t CO<sub>2</sub>-eq/a

\* Das Zubaupotenzial ergibt sich aus dem gesamten ermittelten Potenzial abzüglich der bereits installierten Leistung

\*\* Jahresertrag aus dem Zubaupotenzial.

Fazit: Allein die Nutzung des vollständigen PV-Potenzials für Aufdachanlagen im Gemeindegebiet bietet demnach die Möglichkeit, mit dem dadurch erzeugten Strom ca. 100 % des Gesamtstrombedarfs des Jahres 2019 zu decken.

Der Vollständigkeit ist zu erwähnen, dass nur ein Bruchteil der hier betrachteten Dächer im direkten Einflussbereich der Gemeinde liegt. Der Großteil der Dächer sind den privaten Haushalten zuzuordnen, welche aus diesem Grund als nächstes in die Betrachtung dieser Potenzialabschätzung kommen.



Abbildung 25: Installierbare Leistung Aufdach im Zentrum Karlsfelds (Quelle: INEV)



Abbildung 26: Installierbare Leistung Aufdach im Bereich der „Handwerkersiedlung“, Karlsfeld (Quelle: INEV)

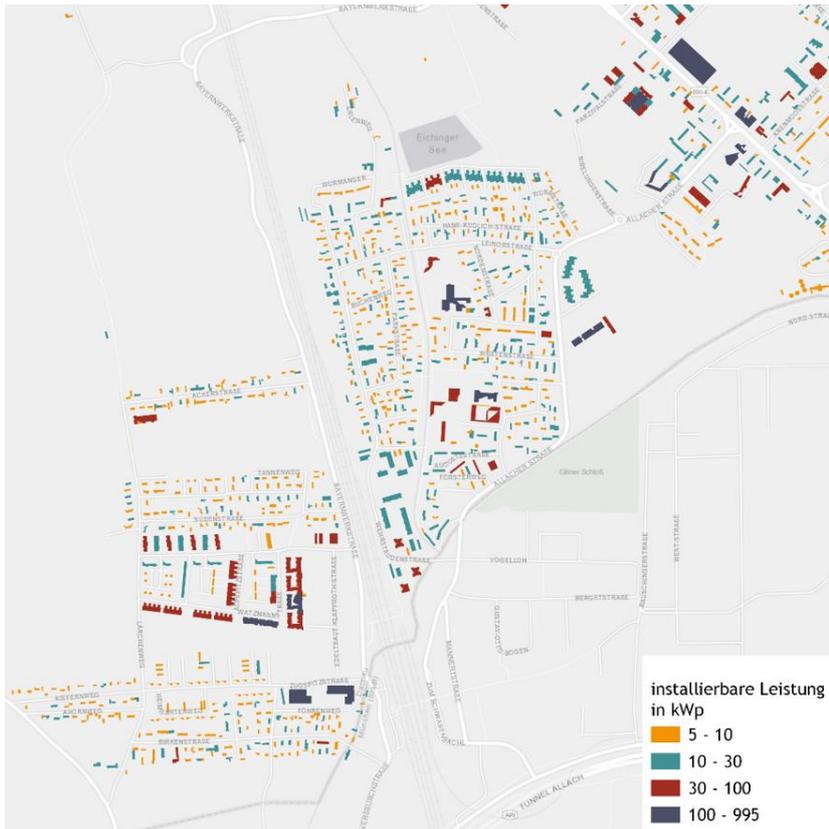


Abbildung 27: Installierbare Leistung Aufdach im Bereich westlich der Bahn, Karlsfeld (Quelle: INEV)

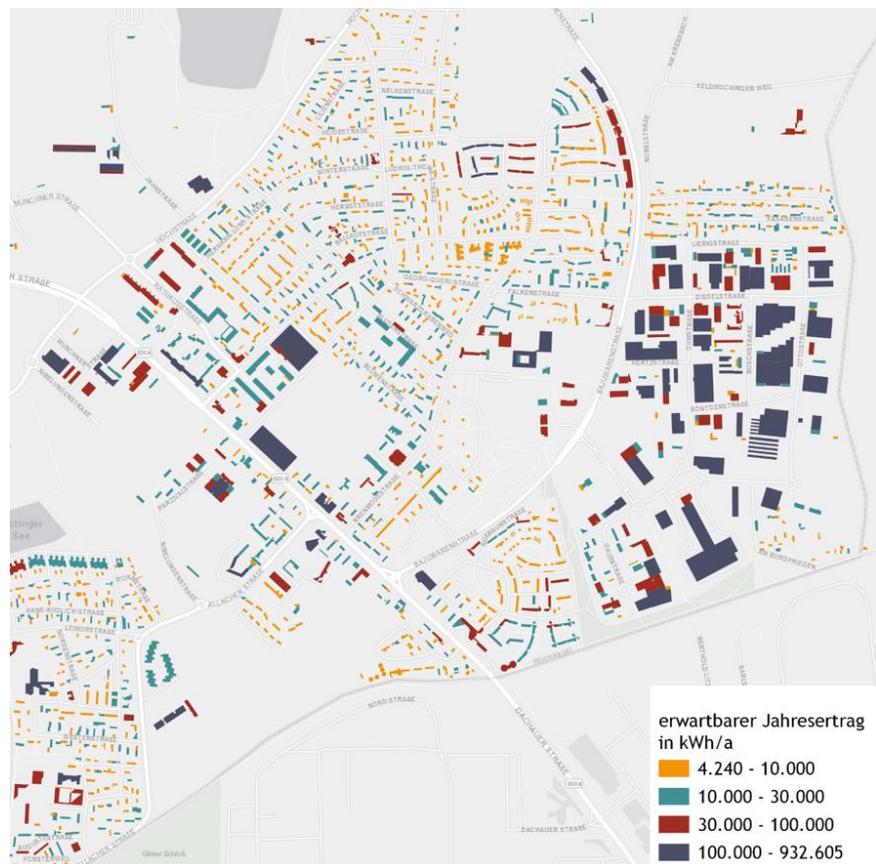


Abbildung 28: Erwartbarer Jahresertrag im Zentrum Karlsfelds (Quelle: INEV)

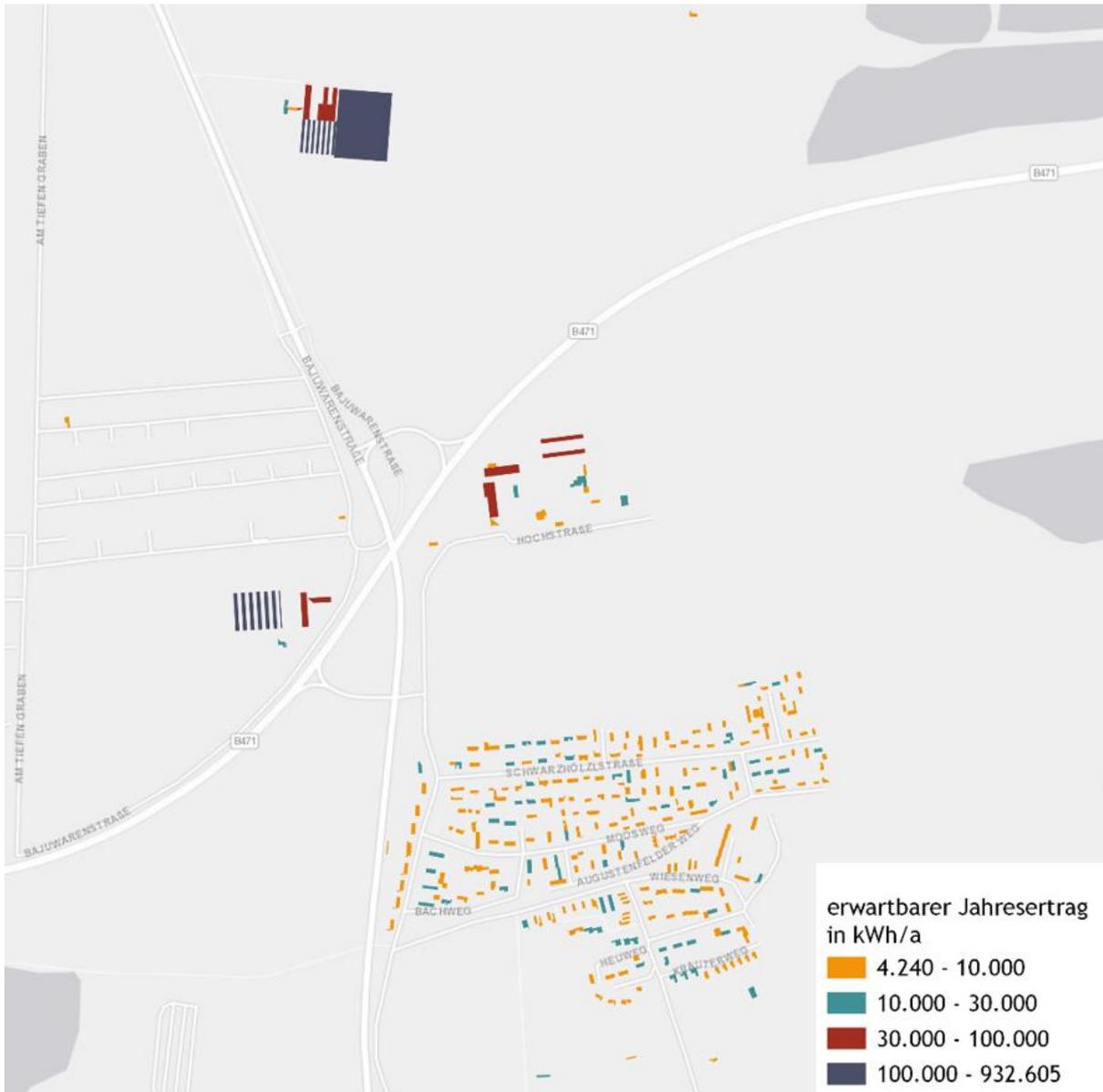


Abbildung 29: Erwartbarer Jahresertrag im Bereich der „Handwerkersiedlung“, Karlsfeld (Quelle: INEV)

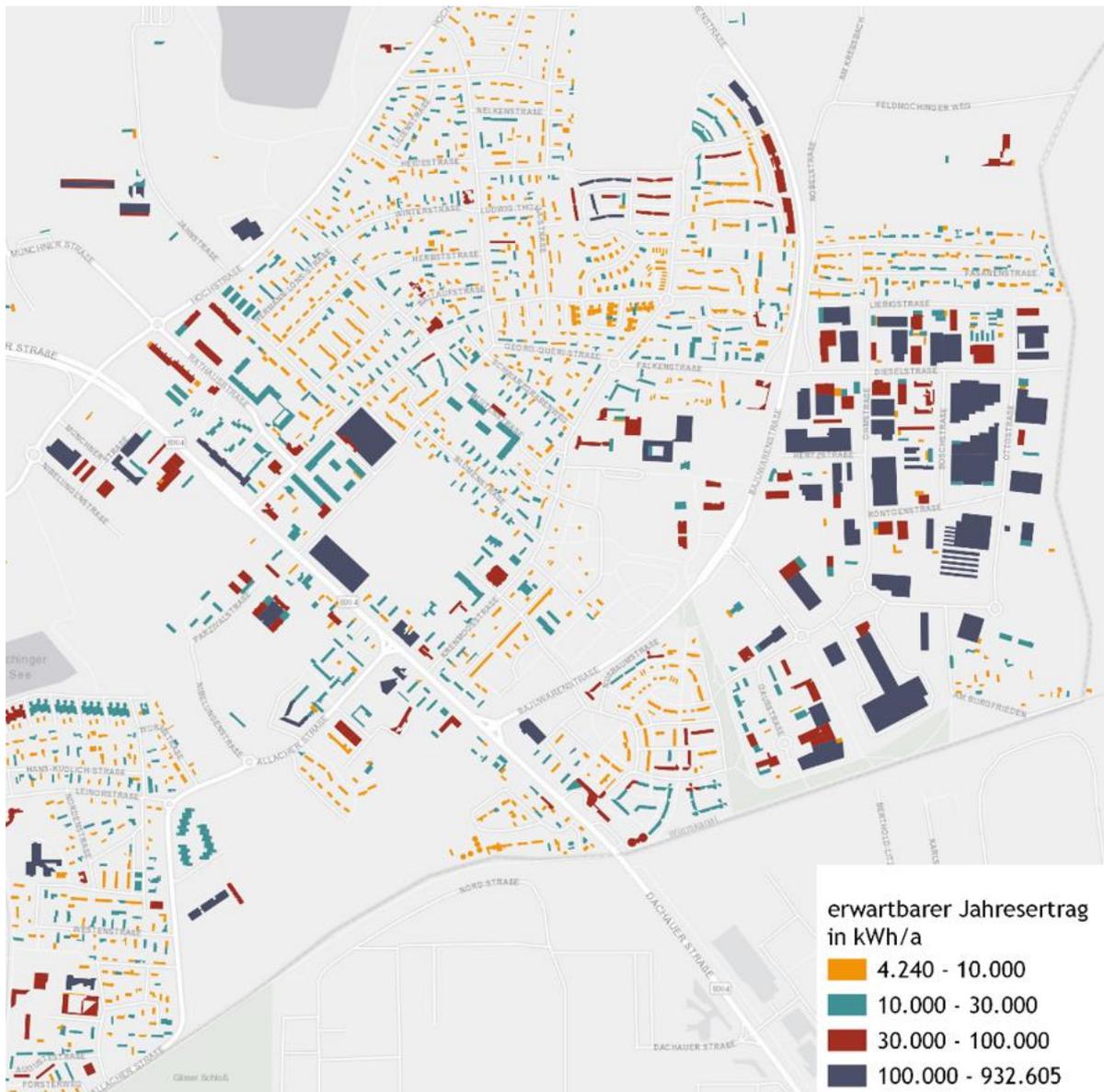


Abbildung 30: Erwartbarer Jahresertrag im Bereich westlich der Bahn, Karlsfeld (Quelle: INEV)

Die hier ausgewiesenen Potenziale können unter anderem den folgenden Handlungsfeldern (vgl. Kapitel 1.4) zugewiesen werden:

- erneuerbare Energie
- kommunale Liegenschaften
  - Private Haushalte
- Gewerbe, Dienstleistung und Handel

## 2.1.4 PV – Anlagen auf Dächern privater Haushalte

Mit der oben beschriebenen Methodik wurden nun lediglich diejenigen Gebäude aus den LoD2 – Daten in der Betrachtung belassen, die dem Sektor private Haushalte zugeordnet werden können.

Nachfolgend in Abbildung 44 dargestellt ist ein beispielhafter Ausschnitt des Zentrums der Gemeinde Karlsfeld. In der Visualisierung ist nicht berücksichtigt, welches der Gebäude bereits PV-Anlage installiert haben. Diese Korrektur erfolgt über die Berechnung des Zubaupotenzials.

- **Mögliches Zubaupotenzial\*:** ca. **32.074 kWp**
- **Möglicher erwartbarer Jahresertrag\*\*:** ca. **30.860 MWh/a**
- **Mögliche Einsparung Treibhausgase bei 35 % Eigenverbrauchsquote:** ca. **5.076 t CO<sub>2</sub>-eq/a**

In Summe können durch PV-Anlagen auf den Dächern der hier betrachteten privaten Liegenschaften ca. 30.860 MWh/a nachhaltiger Strom erzeugt werden, was bilanziell ca. 55 % des Gesamtstrombedarfs in der Gemeinde entspricht.

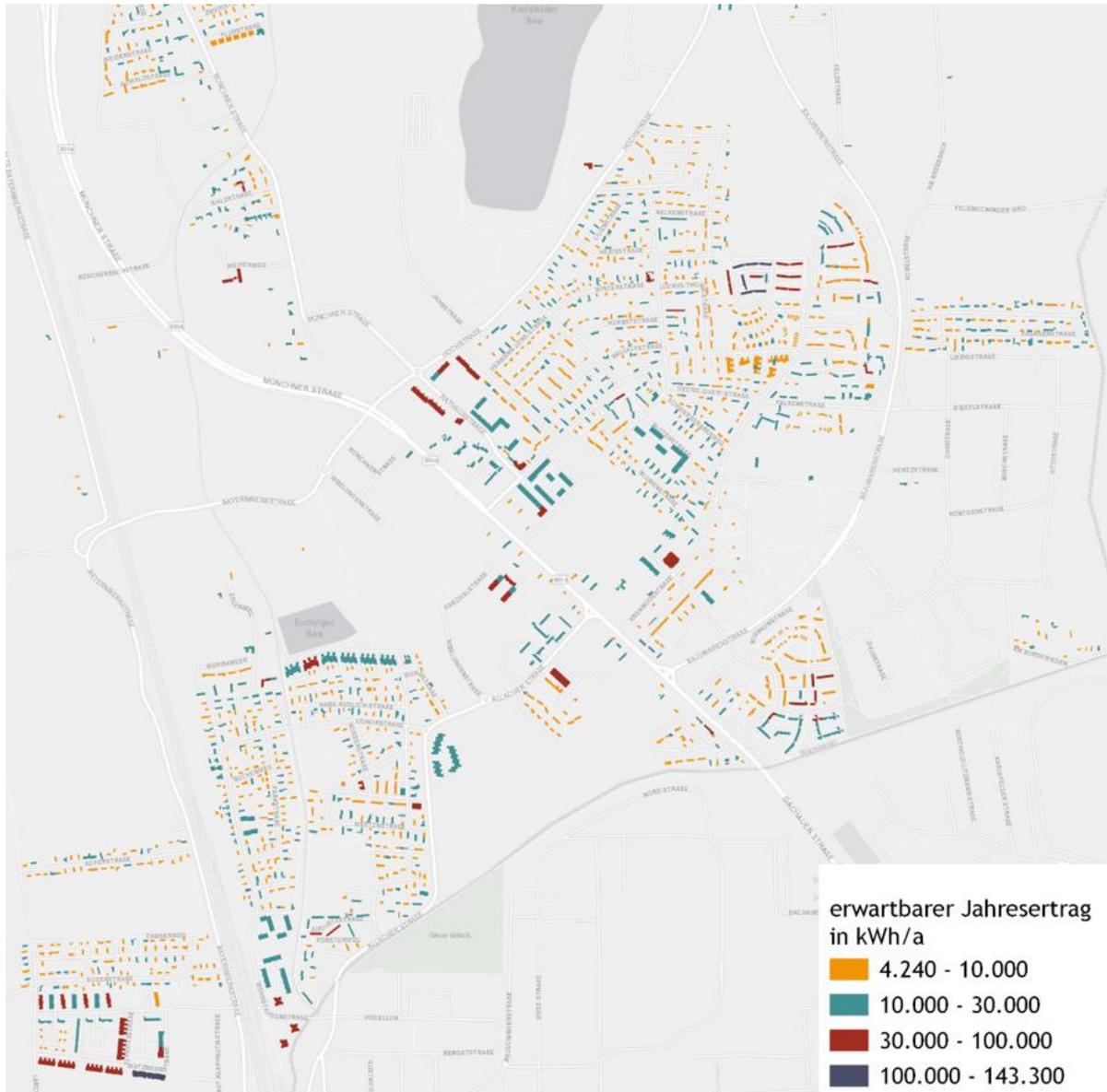


Abbildung 31: Ausschnitt des PV-Potenzials von PV-Aufdachanlagen für den Sektor private Haushalte (Quelle: INEV)

Die hier ausgewiesenen Potenziale können unter anderem den folgenden Handlungsfeldern (vgl. Kapitel 1.4) zugewiesen werden:

- erneuerbare Energie
- Private Haushalte
- Gewerbe, Dienstleistung und Handel

## 2.1.5 PV – Anlagen auf Dächern kommunaler Liegenschaften

Aktuell sind bereits auf fünf Liegenschaften der Gemeinde Karlsfeld PV-Anlagen installiert. Lediglich zwei der fünf werden tatsächlich zur Eigenbedarfsdeckung, als sogenannte Überschuss-einspeiseanlagen, genutzt, die anderen drei sind Bürger-PV-Anlagen zur Volleinspeisung des erzeugten Stroms. Die nachfolgende Tabelle 4 gibt einen Überblick über die fünf Liegenschaften:

Liegenschaft	Installierte Leistung
Grundschule Karlsfeld	50,25 kWp
Kindertagesstätte Röntgenstraße 14	25,97 kWp
Bauhof, Hochstraße 188*	62,10 kWp
Wasserwerk, Feldmochinger Weg 1*	118,73 kWp
Sportpark an der Jahnstraße*	111,75 kWp

Tabelle 4: Übersicht bestehender PV-Anlagen auf kommunalen Dächern (Quelle: Gemeinde Karlsfeld)

\* auf den markierten Liegenschaften sind Bürger-PV-Anlagen installiert

Den beiden Anlagen auf der Grundschulde und in der Kindertagesstätte Röntgenstraße kann mit einer konservativ angesetzten spezifischen Stromerzeugung in Höhe von ca. 1.000 kWh/kWp eine jährliche Erzeugung von ca. 76 MWh PV-Strom zugeschrieben werden.

Der Stromverbrauch des Sektors kommunale Einrichtungen beläuft sich im Betrachtungsjahr auf ca. 7.313 MWh/a. Die beiden eben beschriebenen Anlagen können aktuell lediglich ca. 1 % des kommunalen Strombedarfs decken.

Seitens der Klimaschutzmanagerin wurde eine Liste mit kommunalen Liegenschaften zur Betrachtung des möglichen PV-Potenzials übermittelt.

Bislang existiert kein Solarpotenzialkataster für den Landkreis Dachau über welche auf die generelle Eignung der Dachflächen geschlossen werden kann.

Die zu betrachtenden Gebäude wurden mit Hilfe der LoD2-Daten auf die Möglichkeit der Installation von PV-Anlagen untersucht und anschließend auf Basis der Stromverbräuche der jeweiligen Liegenschaften in Kombination mit empirischen Werten technisch und wirtschaftlich sinnvolle PV-Anlagen analysiert.

Hier wurden folgende Rahmenbedingungen angesetzt:

- Es werden nur Anlagen mit einer installierbaren Leistung größer 5 kWp analysiert.
- Bei ausreichend großen Dachflächen wird mindestens die bilanzielle Stromautarkie im Kalenderjahr als Ziel gesetzt.
- In der Größe begrenzte Anlagen, wo die bilanzielle Stromautarkie nicht erreicht werden kann, wird eine möglichst maximale Belegung der Dachfläche angestrebt.

Die Potenzialabschätzung gibt aus technisch - wirtschaftlicher Sicht sinnvolle Erzeugungspotenziale aus, kann jedoch eine dezidierte Planung der Anlagen inklusive Bestätigung der statischen Eignung der Dächer nicht ersetzen.

Die Ergebnisse der Potenzialabschätzung für PV-Anlagen auf kommunalen Dächern sind in Tabelle 5 dargestellt.

Liegenschaft	Anschrift	Stromverbrauch in kWh/a	Mögliche Anlagengröße in kWp	Mögliche Modulausrichtung	Möglicher Ertrag in kWh/a
Rathaus	Gartenstr. 7	36.249	41,25	35.063	35.063
Schule	Krenmoosstr. 50	32.221	34,50	36.225	36.225
Kinderkrippe Ev. Kirche	Falkenstr. 9	10.370	13,50	12.150	12.150
Kindergarten Sonnenschein	Lärchenweg 1	7.862	8,25	8.663	8.663
Kindergarten Flohzirkus	Jahnstr. 13	7.471	<i>stark verschattet durch hohe Bäume im Südwesten</i>		
Kinderkrippe + Hort Pfiffikus und Nesthäkchen	Sesamstr. 3	43.610	30,00	Ost-West	27.000
Kindergarten Spatzennest	Am Spatzenwinkel 14	6.401	6,75	Südwest, Südost	6.750
Kinderhort Mooshüpferl	Sesamstr. 4	26.074	30,00	Süd	31.500
Kinderhort Pfiffikus	Sesamstr. 2	2.935	21,00	Süd	22.050
Kinderhort Zwergerlstube	Sesamstr. 2	19.062			
Kindergarten Arche Noah	Leinorstr. 17	13.066	14,25	Süd, Südwest	14.250
Kindertagesstätte BRK	Röntgenstr. 14	11.669	13,50	Ost-West	12.150
Feuerwehrgerätehaus	Falkenstr. 32	55.829	30,00	Süd	31.500
Bürgerhaus	Allacher Str. 1	155.806	30,00	Süd, Südwest	30.000
Jugendhaus	Jahnstr. 10	19.831	21,00	Süd, Ost	19.950
Wachgebäude DLRG, Waldschwaigsee	Hadinger Weg	740	<i>sehr stark verschattet durch hohe Bäume im Süden</i>		

Tabelle 5: Analysierte PV-Potenziale auf den kommunalen Liegenschaften der Gemeinde Karlsfeld (Quelle: INEV)

## Ergebnis PV auf kommunalen Liegenschaften

Die Dachflächen der betrachteten Einrichtungen zeigen ein sehr hohes Potenzial der Eigenerzeugung durch PV-Anlagen. Mit dem Rathaus, der Schule und dem Jugendhaus sind beispielhaft drei Anlagen mit mindestens 96 kWp installierbarer Leistung ausgewiesen, die mit mindestens 91.000 kWh/a Erzeugung bilanziell die Stromverbräuche der jeweiligen Gebäude

decken. Dazu gibt es weitere große Dachflächen, die PV-Anlagen mit einer Größe um die 30 kWp möglich erscheinen lassen.

Daneben gibt es auch kleinere Verbraucher, die unter 10.000 kWh Jahresverbrauch aufweisen. Hier wird aus wirtschaftlichen Gründen ebenfalls mit Anlagen gerechnet, die bilanziell den Jahresstrombedarf decken können. Vereinzelt kann auch eine bilanzielle Überdeckung des aktuellen Strombedarfs sinnvoll werden, was vor allem hinsichtlich Sektorenkopplung Potenziale beinhaltet, welche im Zusammenhang mit der zunehmenden Elektrifizierung des Straßenverkehrs und der Wärmewende positive Auswirkungen haben kann.

Es gibt jedoch auch Liegenschaften in der Liste, die aufgrund der vorliegenden Verschattungen aktuell keine wirtschaftliche Installation einer PV-Anlage auf deren Dächern zulassen.

In Summe wird ein PV-Zubaupotenzial auf den Dächern der hier betrachteten kommunalen Liegenschaften in Höhe von mindestens 294 kWp ausgewiesen. Das Eigenerzeugungspotenzial regenerativ erzeugten Stroms beläuft sich dabei auf mindestens 287 MWh/a, was bilanziell ca. 4 % des Stromverbrauchs der kommunalen Einrichtungen (Stand 2019) decken könnte. Bei einer angesetzten Eigenverbrauchsquote von ca. 40% könnten dabei ca. 54 t CO<sub>2</sub>-eq /a an Treibhausgasen direkt eingespart werden.

*Fazit:* Allein durch die hier dargestellten Potenziale kann mit ca. 4 % nur ein sehr geringer Teil des aktuellen kommunalen Strombezugs durch Aufdach- PV-Anlagen substituiert werden.

Ein möglicher nächster Schritt für die Gemeinde Karlsfeld kann sein, eine kommunale Solarstrategie zu entwickeln, wo systematisch und allumfassend die PV-Eigenerzeugungspotenziale je Liegenschaft untersucht werden können.

Ein von der Kommune gestalteter Fahrplan für Photovoltaik auf kommunalen Liegenschaften kann den Weg für die nächsten Jahre im Einklang mit den gemeindlichen Zielen und Belangen definieren und zu einem wesentlichen Erfolgsfaktor hinsichtlich der Vorbildwirkung der Kommune werden.

**Die hier ausgewiesenen Potenziale können unter anderem den folgenden Handlungsfeldern (vgl. Kapitel 1.4) zugewiesen werden:**

- erneuerbare Energie
- kommunale Liegenschaften

## 2.1.6 Straßenbeleuchtung

Die Straßenbeleuchtung ist ein konstanter und wesentlicher Stromverbraucher auf Seiten der kommunalen Liegenschaften und Infrastruktur der Gemeinde Karlsfeld. Zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Konzeptes (Stand Jan. 2023) sind auf dem Gemeindegebiet 2.112 Leuchten mit insgesamt 2.303 Leuchtmittel im Einsatz. Die genaue Zusammensetzung der Leuchtmittel ergibt sich in Tabelle 6 wie folgt:

Leuchtmittel	Anzahl	Leuchtmittel	Anzahl
LED	264	T-Thermo X10	68
LED Retrofit TC S Dulux	35	LST	18
HSE-X5	478	HSE	171
HST-X5	251	T-U	208
TC-S X5	110	T26	40
T-Reflector X10	629	QPAR	1
T-R	22	HIT-CE	4
HAST	4		

Tabelle 6: Übersicht der vorhandenen Leuchtmittel (Stand Dez. 2022) (Quelle: Eigene Darstellung)

Die folgenden Berechnungen beziehen sich auf das Referenzjahr 2019, in dem insgesamt 2.215 Leuchten mit 2.306 Leuchtmitteln auf dem Gemeindegebiet vorhanden waren.

**Für das Jahr 2019 wird der Stromverbrauch der Straßenbeleuchtung mit 545.186 kWh/a angegeben.**

Aus der seitens der Gemeinde übermittelten Brennstellenliste des Netzbetreibers Bayernwerk geht hervor, dass im Jahr 2019 lediglich 275 der insgesamt 2.115 Leuchten (Stand 2019) bereits auf LED umgerüstet waren.

Für die Abschätzung eines Einsparpotenzials auf Seiten der Straßenbeleuchtung wurden folgende Annahmen getroffen:

- **Verlustleistung durch Vorschaltgeräte bei herkömmlichen Leuchtmitteln: ca. 20 %**
- **Durchschnittliche Brenndauer aller Leuchtmittel: ca. 4.070 h/a**
- **Relative Einsparung bei Umrüstung auf LED-Leuchtmittel: ca. 60 %**

Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt und zeigen, dass sich die installierte Leistung demnach um ca. 55 % bzw. 74 kW reduzieren lässt.

Die möglichen Einsparpotenziale betragen demnach jährlich ca. 302.108 kWh an Endenergie, was mit dem aktuell gültigen Faktor für CO<sub>2-eq</sub> des Strommixes in Deutschland zu ca. 142 t CO<sub>2-eq</sub>/a an Treibhausgaseinsparung führen kann.

Die Umsetzung ist seitens der Gemeinde Karlsfeld angestoßen. Bei konsequenter und kurzfristiger Umrüstung der Straßenbeleuchtung kann die Gemeinde weitere ca. 4 % des eigenen Strombedarfs reduzieren.

Zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme können aktuelle Förderprogramme in Anspruch genommen werden.

<b>Anzahl</b>		
Leuchten	2.115	
Leuchtmittel	2.306	
<b>Vergleich Energieverbrauch</b>	<b>Bestand</b>	<b>nach Umrüstung</b>
Leistung in kW	134	60
Verbrauch in kWh/a	545.186	243.078
CO <sub>2</sub> -Emissionen in t	256	114
<b>Einsparung</b>		
Einsparung Energieverbrauch gesamt in %	55 %	
Einsparung Energieverbrauch umzurüstender Leuchten	60 %	
Einsparung Energieverbrauch gesamt	302.108 kWh/a	
Einsparung CO <sub>2</sub> -Emissionen* gesamt	142 t CO <sub>2</sub> -eq/a	

*Tabelle 7: Ergebnisse der Potenzialabschätzung der Umrüstung der Straßenbeleuchtung (Stand der Straßenbeleuchtung 2019)  
 (Quelle: INEV)*

Die Gemeinde hat sich dem Thema angenommen und zur Vorbereitung der Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf LED im Dezember 2021 einen Förderantrag für 336 von insgesamt ca. 2.299 Leuchtmittel (Stand Dez. 2021) gestellt. Eine Straßenleuchte bzw. Brennstelle kann dabei mehrere Leuchtmittel haben.

**Die hier ausgewiesenen Potenziale können unter anderem den folgenden Handlungsfeldern (vgl. Kapitel 1.4) zugewiesen werden:**

- **Straßenbeleuchtung**

## 2.1.7 Windkraft

Die Potenzialberechnung der Windkraft basiert ebenfalls auf den LoD2 Daten der Kommune. Im ersten Schritt wird analysiert, ob im Gemeindegebiet Flächen ausgewiesen werden können auf denen Windkraftanlagen generell installiert werden können.

Flächen für Windkraftanlagen sind durch unterschiedliche Restriktionen begrenzt, wie beispielsweise Naturschutzgebiete. Die relevanten Beschränkungen wurden dem *allgemeinen Ministerialblatt* [\[34\]](#) (Abschnitt: *Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen*) entnommen. Die folgenden Ausschlussgebiete wurden zunächst berücksichtigt:

- Nationalparke
- Naturschutzgebiete
- Gesetzlich geschützte Biotope
- Alpenzone C

Die restliche Fläche wird verwendet, um die 10H- bzw. 3H- Regel anzuwenden. Dafür werden um alle Eckpunkte jeder Wohnbebauung Kreise mit einem Radius entsprechend der 10H- bzw. 3H Regelung geschnitten. Das Vorgehen ermöglicht es alle Flächen auszuweisen, die für Windkraftanlagen nicht oder nur bedingt geeignet sind. Um Potenzialflächen nach den unterschiedlichen Kategorien zu erhalten, werden von der Gemeindefläche alle anderen Flächen, die Restriktionen abbilden, abgezogen.

Innerhalb der Potenzialflächen können Windkraftanlagen installiert werden. Das Potenzial ergibt sich aus der Anzahl der möglichen Windkraftanlagen auf dem Gemeindegebiet und dem standort- und höhenabhängigen Standortertrag in MWh/a nach dem Windatlas Bayern des Landesamts für Umwelt [\[35\]](#). Der ausgewiesene Standortertrag errechnet sich auf Basis der örtlichen Windverhältnisse und einer fiktiven Windkraftanlage. Die fiktive Windkraftanlage steht für einen Mischtyp mehrerer Windkraftanlagen (Nordex N149, Enercon E147 und Vestas V150). Ein Mischtyp wird deshalb angewandt, da unterschiedliche Windkraftanlagen den vorherrschenden Wind unterschiedlich ausnutzen, dadurch kann ein durchschnittlicher Ertragswert ausgegeben werden, der sich an der tatsächlich gewählten Anlage orientiert.

Auf den Windatlas kann im Energieatlas Bayern [\[35\]](#) zugegriffen werden.

Für die Darstellung der relevanten Flächen in Abbildung 45 wurde eine Windkraftanlage mit ca. 250 m Gesamthöhe als Referenzobjekt herangezogen. Die eingefärbten Flächen spiegeln die Eignung für den Bau von Windkraftanlagen wider.

In einem Abstand von 3 H bis 10 H zu Wohngebäuden liegt die Planungshoheit bei der Kommune.

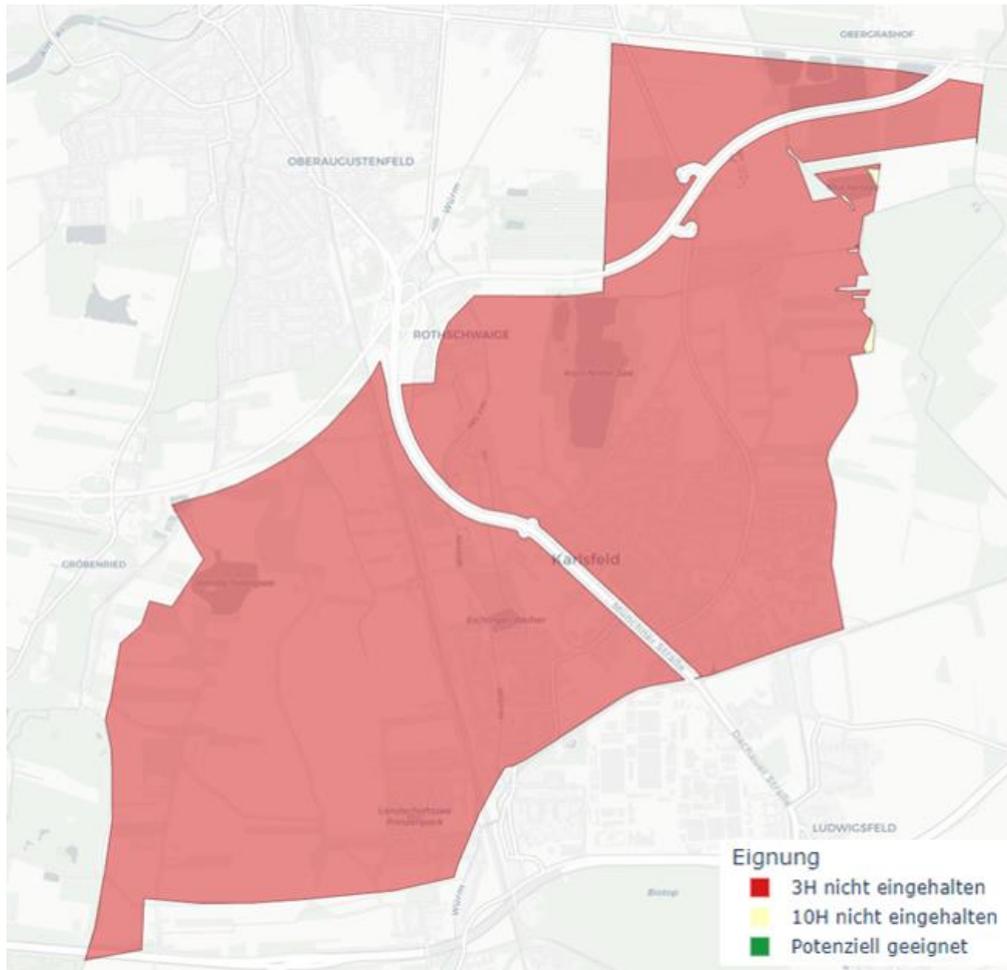


Abbildung 32: Potenzialflächen für Windkraftanlagen Karlsfeld (Quelle: INEV)

In dieser Potenzialanalyse wird beispielhaft der Ertrag einer fiktiven Windkraftanlage im nord-östlichen Gemeindegebiet ausgewiesen.

Technische Daten der generischen Windkraftanlage:

- Nennleistung 5 MW
- Nabenhöhe: 180 m
- Rotordurchmesser 148 m

Eine Potenzialabschätzung über den bayerischen Windatlas in dem beschriebenen Gebiet zeigt einen möglichen Ertrag in 180 m Höhe von ca. 11.500 MWh/a. Ein Windrad dieser Größe hat somit das theoretische Potenzial ca. 20 % des im Jahr 2019 angefallenen Strombezugs des gesamten Gemeindegebietes zu decken und dabei ca. 5.400 t CO<sub>2-eq</sub> /a einzusparen.

Wie schon in der Karte des gesamten Gemeindegebietes ersichtlich wurde, wird auch in der in Abbildung 46 dargestellten Detailbetrachtung des nordöstlichen Gemeindegebietes klar, dass es unter den aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen auf dem Gemeindegebiet keinen geeigneten Standort gibt, der sowohl die 3H - als auch die 10H - Regelung einhält. Sofern die

gesetzlichen Rahmenbedingungen sich ändern, empfiehlt es sich potenzielle Standorte weiter zu untersuchen und konkretere Aussagen zur technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit zu erarbeiten.

Die Windkraft bildet einen der wesentlichen Eckpfeiler der Energiewende und somit des Klimaschutzes in der gesamten Bundesrepublik und kann perspektivisch auch in Karlsfeld neben Photovoltaik und Biogasanlagen den Energiemix der Zukunft beeinflussen.

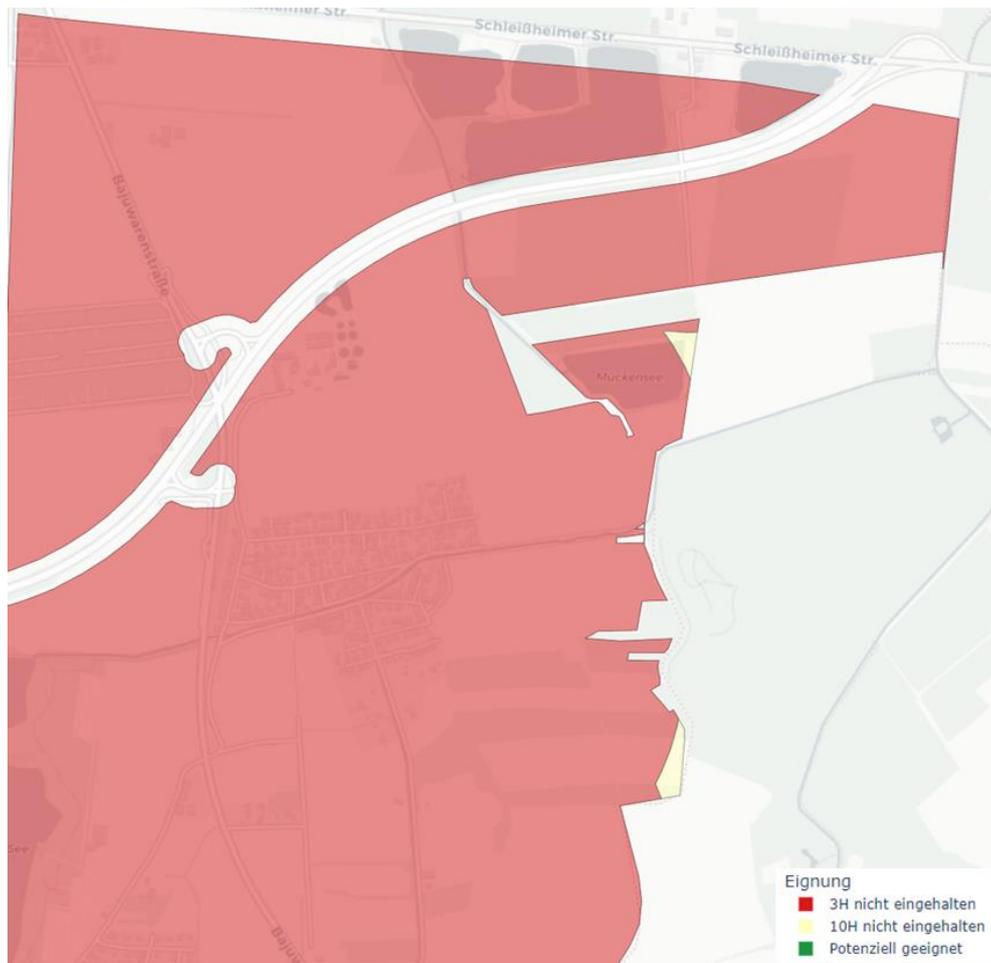


Abbildung 33: Ausschnitt Potenzialflächen für Windkraftanlagen im nordöstlichen Gemeindegebiet (Quelle: INEV)

**Die hier ausgewiesenen Potenziale können unter anderem den folgenden Handlungsfeldern (vgl. Kapitel 1.4) innerhalb des Klimaschutzkonzeptes zugewiesen werden:**

- erneuerbare Energie
- kommunale Liegenschaften

## 2.2 Zusammenfassung der betrachteten Potenziale

Tabelle 8 und Tabelle 9 fassen die in der vorstehenden Analyse ermittelten Potenziale zusammen.

Die größten Potenziale in den betrachteten Handlungsfeldern beziehen sich im Wesentlichen auf die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energieträgern. Hierbei ist wichtig, festzuhalten, dass auch künftige Fortschreibungen der Treibhausgasbilanz nach aktueller BSKO-Methodik mit dem Treibhausgas- Emissionsfaktor des Bundesstrommixes zu ermitteln. Die hier in Tabelle 8 ausgewiesenen Stromerzeugungspotenziale wirken sich dementsprechend nur sehr indirekt auf die Bilanz der Gemeinde Karlsfeld aus, zeigt jedoch die Größe des Potenzials, welches in der direkten Nutzung der Erzeugungspotenziale vor Ort, zum Beispiel im Bereich Sektorenkopplung, liegen.

Die Potenziale mit direkten Auswirkungen auf die Reduktion der Treibhausgasemissionen auf dem Gemeindegebiet sind in Tabelle 9 dargestellt. Die Potenziale der PV-Anlagen auf kommunalen Liegenschaften und auf Dächern der privaten Haushalte sind im Potenzial „Photovoltaik Aufdach gesamtes Gemeindegebiet“ enthalten und werden nicht extra aufgelistet.

Andere Bereiche mit direkten Auswirkungen auf die territoriale Treibhausgasbilanz der Gemeinde, wie beispielsweise die Dekarbonisierung des Straßenverkehrs oder die Einsparpotenziale privater Haushalte durch energieeffizienten Neubau oder Sanierung entziehen sich weitestgehend dem Einfluss der kommunalen Verwaltung und sind hier entsprechend der Auftragsstellung nicht berücksichtigt.

	Energieträger	Einsparung/ Substitution in MWh/a	Emissionsfaktor in g CO <sub>2</sub> -eq	THG- Minderung in t CO <sub>2</sub> -eq/a
PV- Freiflächenanlagen an der Autobahn A99	Strom	39.600	0,470	18.612
PV- Freiflächenanlagen an der Bahnstrecke	Strom	68.200	0,470	32.054
Eine Windkraftanlage mit ca. 5MW Leistung	Strom	11.500	0,470	5.400
<b>Summe</b>		<b>119.300</b>		<b>56.066</b>

Tabelle 8: Zusammenfassung erneuerbarer Stromerzeugungspotenziale mit theoretischer Einsparung und THG-Minderung bei Annahmen 100 Eigennutzung des erzeugten Stroms (Quelle: INEV)

	Energieträger	Einsparung/ Substitution in MWh/a	Emissionsfaktor in g CO <sub>2</sub> -eq	THG- Minderung in t CO <sub>2</sub> -eq/a
Aufbau Wärmenetz in der Handwerkersiedlung	Mix Erdgas/ Erdöl	7.286	0,211	1.650
Erweiterung Wärmenetz im Gemeindezentrum	Mix Erdgas/ Erdöl	11.385	0,211	2.600
PV-Aufdach gesamtes Gemeindegebiet	Strom	22.410	0,470	10.533
Umrüstung Straßenbeleuchtung	Strom	302	0,470	142
<b>Summe</b>		<b>41.383</b>		<b>14.925</b>

Tabelle 9: Zusammenfassung der betrachteten Energie- und Treibhausgasminderungspotenziale (Quelle: INEV)

## 2.3 Szenarienentwicklung

### 2.3.1 Referenz- und Klimaschutzszenarien

Ziel der Szenarienentwicklung ist es, mögliche Entwicklungen der zukünftigen Treibhausgasemissionen zu analysieren. Im Folgenden wird die Methodik der Szenarienentwicklung beschrieben.

#### Referenzszenario

Das Referenzszenario - auch Business-as-usual-Szenario - beschreibt die mögliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen bis 2045 für den Fall, dass keine wesentlichen Klimaschutzmaßnahmen ergriffen werden.

Als Ausgangswert des *Referenzszenarios* dienen die in der Treibhausgasbilanz ermittelten Treibhausgasemissionen der Kommune. Um den möglichen Verlauf der weiteren THG-Emissionen aufzuzeigen, sind Informationen zu den bisherigen entstandenen Treibhausgasemissionen (seit 1990) der Kommune erforderlich. Diese Informationen liegen nicht vor. Deswegen wird davon ausgegangen, dass die Entwicklung der spezifischen Treibhausgasemissionen auf dem Gebiet der Bundesrepublik [\[33\]](#) sich in der Zeit von 1990 bis zum Basisjahr 2019 auf Karlsfeld übertragen lassen.

Aus der Studie *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems* wird die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland aus dem dargestellten Referenzszenario übernommen und mit der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung verrechnet [\[36\]](#) [\[37\]](#). Die prozentuale Veränderung der Treibhausgasemissionen pro Kopf wird zur Entwicklung des Referenzszenarios für die Gemeinde Karlsfeld genutzt, um den weiteren Verlauf aufzuzeigen, wenn keine zusätzlichen Anstrengungen zur Verminderung der Treibhausgasemissionen unternommen werden.

Für die Berechnung der Treibhausgasemissionsminderungen wird das Basisjahr als Ausgangswert verwendet. Zur Erstellung des *Referenzszenarios* wird die Treibhausgasemissionsminderung der Kommune für jedes Jahr bis 2045 ermittelt. Dabei werden die Jahre 2020, 2030, 2040 und 2050 als Stützwerte verwendet und die Zwischenwerte linear interpoliert. Bei der Quantifizierung der Treibhausgasemissionen wird die Bevölkerungsentwicklung in Karlsfeld nicht berücksichtigt, alle Werte werden mit der Einwohneranzahl aus dem Basisjahr 2019 berechnet. Das Referenzszenario ist in Abbildung 47 Dunkelgrau eingefärbt.

## Zielszenarien

Die Zielszenarien orientieren sich an den Klimaschutzzielen der Bundesregierung und dem Freistaat Bayern und zeigen den Verlauf der Treibhausgasemissionen der Kommune auf, wenn die Klimaschutzziele eingehalten werden.

Die Bundesregierung möchte die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990, bis zum Jahr 2030 um 65 % und bis 2040 um 88 % verringern. Im Jahr 2045 soll Deutschland treibhausgasneutral sein [\[38\]](#). Der Freistaat Bayern strebt die Klimaneutralität bereits bis zum Jahr 2040 an, die Treibhausgasemissionen sollen bis 2030 ebenfalls um 65 % gegenüber 1990 sinken [\[16\]](#).

Um die Entwicklung der Zielszenarien der Kommune aufzuzeigen, ist die Kenntnis des Verlaufs der Treibhausgasemissionen ab 1990 erforderlich. Falls keine historischen Werte für das Betrachtungsgebiet vorliegen, mit denen der Verlauf aufgezeigt werden kann, wird davon ausgegangen, dass die Entwicklung der effektiven CO<sub>2</sub>-Emissionen auf dem Gebiet des Freistaats Bayern sich in der Zeit von 1990 bis zum Basisjahr grundsätzlich auf die Kommune übertragen lassen. Bei der Bilanzierung der kommunalen CO<sub>2</sub>-Emissionen wird die BSKO-Methodik angewendet. Hierbei handelt es sich um die Erstellung einer endenergiebasierten Territorialbilanz, bei der die Treibhausgasemissionen inklusive Vorkette ermittelt werden. Die in dem betrachtenden Territorium anfallenden Verbräuche der Endenergie werden berücksichtigt und den unterschiedlichen Verbrauchssektoren zugeordnet [\[26\]](#). Deswegen wird die Entwicklung der effektiven CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Primärenergieverbrauch [\[33\]](#) und nicht die der Treibhausgasemissionen des Freistaats Bayern verwendet. Diese Veränderung der effektiven CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Einwohner des Freistaats Bayern wird zur Entwicklung der Zielszenarien für die jeweilige Kommune genutzt, um den Verlauf der Treibhausgasemissionen von 1990 bis zum Basisjahr aufzuzeigen. Die Berechnung der gesamten Treibhausgasemissionen der Kommune erfolgt auf Basis der Pro-Kopf-Emissionen im Basisjahr, der Veränderung der effektiven CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf des Freistaats Bayern und den Einwohnerzahlen von 1990 bis zum Basisjahr der Kommune. Die Einwohnerzahlen der entsprechenden Kommune sind der Datenbank des *Bayerischen Landesamts für Statistik* entnommen [\[39\]](#).

### Angepasstes Klimaschutzszenario

Das *Angepasste Klimaschutzszenario* wird konstruiert, indem die Emissionswerte aus dem *Referenzszenario* um die realisierbaren Minderungspotenziale verringert werden. Hierzu wurden die ermittelten Minderungspotenziale mit individuellen Umsetzungshorizonten versehen.

Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

**Aufbau Wärmenetz Handwerkersiedlung:**

Umsetzung in zwei gleich großen Bauabschnitten, die im Jahr 2027 bzw. 2028 in Betrieb gehen.

**Erweiterung Wärmenetz Gemeindezentrum:**

Umsetzung in fünf gleich großen Bauabschnitten, die ab dem Jahr 2023 jährlich 20 % realisieren und somit bis 2027 vollständig umgesetzt sein könnte.

**PV auf den Dächern im gesamten Gemeindegebiet:**

Umsetzung zu 100 % bis zum Jahr 2039, bis dahin linear ansteigender Umsetzungsgrad ab 2020.

**Umrüstung Straßenbeleuchtung auf LED:**

Abschluss der vollständigen Umsetzung im Jahr 2024.

Wie auch beim *Referenzszenario* wird die Bevölkerungsentwicklung der Kommune nicht berücksichtigt.

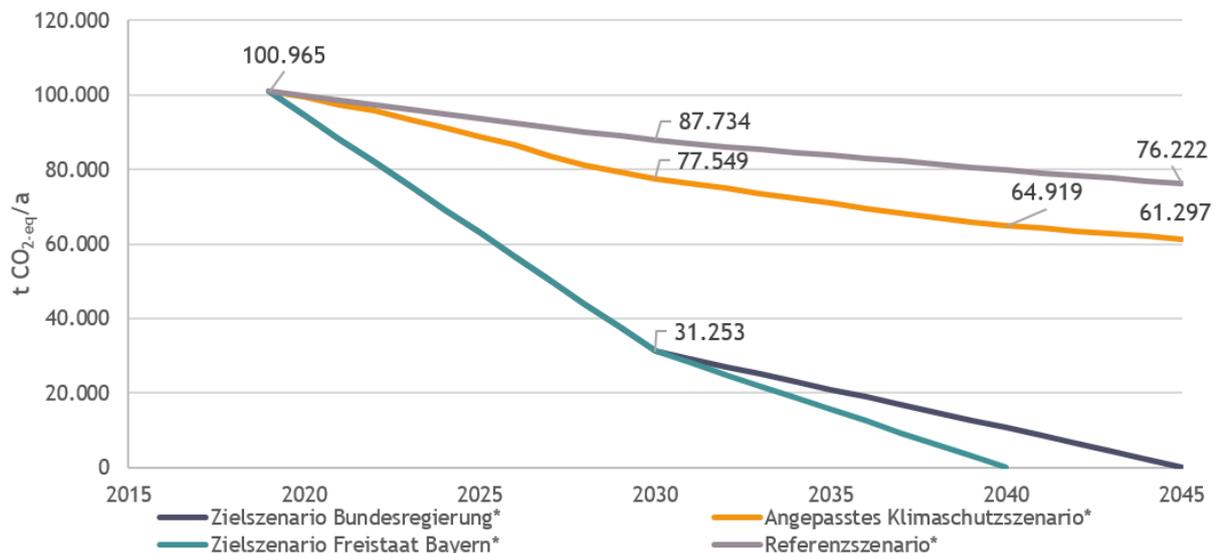


Abbildung 34: Ziel-, Referenz- und angepasstes Klimaschutzszenario für Karlsfeld; im Einklang mit der BSKO-Systematik sind im angepassten Klimaschutzszenario die THG-Minderungspotenziale der Windkraft- und PV-Freiflächenanlagen nicht berücksichtigt, die der PV-Aufdachanlagen lediglich mit dem Eigenverbrauchsanteil (Quelle: INEV)

## 2.3.2 Ergebnisse der Szenarienentwicklung

Abbildung 47 beinhaltet die Verläufe der folgenden Szenarien:

- Referenzszenario
- Zielszenario der Bundesregierung
- Zielszenario des Freistaats Bayern
- Angepasstes Klimaschutzszenario

Es ist wichtig, festzuhalten, dass das *Angepasste Klimaschutzszenario* keine Prognose darstellt, sondern auf den identifizierten kurz- und mittelfristig realisierbaren Potenzialen und möglichen Umsetzungshorizonten für diese Potenziale basiert.

Im Laufe der kommenden Jahre sind weitere Potenziale zu identifizieren und umzusetzen, um eine weitere Reduktion der Treibhausgasemissionen zu erzielen.

Die tatsächliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach BSKO-Methodik hängt ganz wesentlich von der Entwicklung in den nicht oder nur wenig von der kommunalen Verwaltung beeinflussbaren Sektoren ab.

Anhand der Verläufe der Szenarien und in Anbetracht der Ergebnisse der Treibhausgasbilanzierung wird deutlich, dass die Kommune alleine nicht in der Lage ist, den durch die Staats- bzw. Bundesregierung vorgegebenen Zielverläufen zu folgen. Vielmehr ist es so, dass sich die in Tabelle 8 dargestellten Potenziale bezüglich PV-Freiflächenanlagen und Windkraft gar nicht direkt auf die Treibhausgasbilanz nach BSKO-Systematik auswirken, sondern indirekt über ihren Beitrag zur Senkung der Emissionen der Stromerzeugung in Deutschland (sog. Bundesstrommix) wirken. Im oben dargestellten angepassten Klimaschutzszenario sind diese deshalb nicht erfasst.

Direkte Auswirkungen auf die territoriale Treibhausgasbilanz von Karlsfeld haben neben der Senkung der Treibhausgasemissionen aus der Stromerzeugung insbesondere die erwartete Verkehrswende mit einer Dekarbonisierung des Straßenverkehrs sowie Verbrauchsreduktion, Effizienzsteigerung und Dekarbonisierung in den Sektoren private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen.

### 3. Quellenverzeichnis

- [16] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (O.J.): Bayrische Klimaschutzoffensive. Online unter:  
<https://www.stmuv.bayern.de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz/index.htm>  
(Stand 17.02.2022).
- [26] HERTLE, H.; DÜNNEBEIL, F.; GUGEL, B.; RECHTSTEINER, E. & C. REINHARD (2019): BSKO-Bilanzierungs-Systematik Kommunal. IFEU INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG (Hrsg.). Online unter:  
[https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/BSKO\\_Methodenpapier\\_kurz\\_ifeu\\_Nov19.pdf](https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/BSKO_Methodenpapier_kurz_ifeu_Nov19.pdf)  
(Stand 13.10.2022).
- [27] ICHA, P.; DR. LAUF, T. & G. KUHS (2021): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990-2020. UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Climate Change 45/2021. Online unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-der-spezifischen-kohlendioxid-7> (Stand 13.10.2022).
- [28] HAUSLADEN UNIV.-PROF. DR.-ING., G. & T. UNIV.-PROF. DR.-ING. HAMACHER (2011): Leitfaden Energienutzungsplan,“ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), München.
- [29] STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER (2020): Zensus 2011. Online unter:  
<https://www.zensus2011.de/DE/Home/Aktuelles/DemografischeGrunddaten.html>  
(Stand 23.05.2022).
- [30] BALKOWSKI, M.; PROF. DR. HAUSLADEN, T. KWAPICH, G.; SAGER, C.; LOGA, T.; DR.-ING JAGNOW, K.; REICHENBERGER, R. UND P., PANNIER (2015): Leitfaden Energieausweis. Teil 1 – Energiebedarfsausweis: Datenaufnahme Wohngebäude. DENA (Hrsg.) Berlin.
- [31] NIEDERMEIR-STÜRZER; H. & S. KLETT (2014): Praxis-Leitfaden für die ökologische Gestaltung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.). Online unter:  
[https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop\\_app000005?SID=1719822345&ACTIONxSESSxSHOWPIC\(BILDxKEY:%27lfu\\_nat\\_00209%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27\)](https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000005?SID=1719822345&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27lfu_nat_00209%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27)) (Stand 17.10.2022).
- [32] BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT (2022): Stellungnahme zur EEG-Novelle. Online unter:  
<https://www.bundestag.de/resource/blob/894908/d58a1b665df5e173fa6de2205956bea7/Stellungnahme-SV-Kerstin-Andreae-BDEW-zur-EEG-Novelle-data.pdf> (Stand 14.10.2022).
- [33] BAYERISCHE STAATSREGIERUNG (o.J.): Energieatlas Bayern. Online unter:  
<https://www.energieatlas.bayern.de/> (Stand 17.10.2022).

- [34] BAYERISCHE STAATSREGIERUNG (2016): Allgemeines Ministerialblatt. Nr. 10. Online unter: <https://www.verkuendung-bayern.de/files/allmbl/2016/10/allmbl-2016-10.pdf> (Stand 17.10.2022).
- [35] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2021): Details zu WMS-Dienst Energie-Atlas Bayern: Bayerischer Windatlas 2021. Online unter: [https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/index\\_detail.htm?id=0cdaec03-b7ce-4333-8288-53663eb1da35&profil=WMS](https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/index_detail.htm?id=0cdaec03-b7ce-4333-8288-53663eb1da35&profil=WMS) (Stand 17.10.2022).
- [36] BERNATH, C.; TOBIAS, B.; DEAC, G.; ELSLAND, R.; FLEITER, T.; KÜHN, A.; PFLUGER, B.; RAGWITZ, M.; REHFELDT, M.; SENSFUß, F.; STEINBACH, J.; CRONENBERG, A.; LADERMANN, A.; LINKE, C.; MAURER, C.; TERSTEEGEN, B.; WILLEMSSEN, S.; FRANKE, B.; KAUERTZ, B.; PEHNT, M.; RETTENMAIER, N.; HARTNER, M.; KRANZL, L.; SCHADE, W.; CATENAZZI, G.; JAKOB, M. & U. REITER (2017): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland - Modul 3 Referenz und Basisszenario. Online unter: [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/B/berichtsmodul-3-referenzszenario-und-basisszenario.pdf%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile%26v%3D4](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/B/berichtsmodul-3-referenzszenario-und-basisszenario.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D4) (Stand 14.10.2022).
- [37] BAYERISCHEN STAATSMINISTERIUMS FÜR WOHNEN, BAU UND VERKEHR (2021): Bau- und landesplanerische Behandlung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen. Online unter: [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) (Stand 14.10.2022).
- [38] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMA (o.J.): Deutsche Klimaschutzpolitik. Online unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-deutsche-klimaschutzpolitik.html#:~:text=Mit%20dem%20novellierten%20Gesetz%20wird,2035%20Treibhausgasneutralit%C3%A4t%20verbindlich%20erreicht%20werden> (Stand 25.07.2022).
- [39] GLAUBER, S. (2017): Treibhausgasemissionen in Bayern. BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK (Hrsg.): Bayern in Zahlen. Fachzeitschrift für Statistik, Nr. 05/2017. Online unter: [https://www.statistik.bayern.de/mam/produkte/biz/z1000g\\_201705.pdf](https://www.statistik.bayern.de/mam/produkte/biz/z1000g_201705.pdf) (Stand 02.02.2023).

## 4. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 14: Endenergieverbrauch je Energieträger in der Gemeinde Karlsfeld im Jahr 2019 (Quelle: INEV).....	10
Abbildung 15: Anteile der Sektoren am gesamten Endenergieverbrauch im Jahr 2019 (Quelle: INEV).....	11
Abbildung 16: Absoluter Endenergieverbrauch nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV) .....	11
Abbildung 17: Anteiliger Stromverbrauch nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV).....	12
Abbildung 18: Absoluter Stromverbrauch nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV).....	13
Abbildung 19: Bilanzieller Deckungsbeitrag des lokal und erneuerbar erzeugten Stroms (8.529 MWh/a) am gesamten Stromverbrauch (53.630 MWh/a) im Jahr 2019, ohne Verkehr (Quelle: INEV).....	13
Abbildung 20: Anteiliger Heizwärmeverbrauch nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV) .....	15
Abbildung 21: Absoluter Energieverbrauch für Heizwärme nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV).....	15
Abbildung 22: Energieverbrauch für Heizwärme nach Energieträgern im Jahr 2019 (Quelle: INEV) .....	16
Abbildung 23: Anteil aus erneuerbaren Energieträgern bereitgestellter Heizwärme am gesamten Heizwärmeverbrauch im Jahr 2019, ohne Heizstrom (Quelle: INEV) .....	17
Abbildung 24: Absoluter Endenergieverbrauch nach Verkehrsmittel im Jahr 2019 (Quelle: INEV) .....	18
Abbildung 25: Anteil des motorisierten Individualverkehrs (PKW und Krafträder) am gesamten verkehrsbedingten Endenergieverbrauch im Jahr 2019 (Quelle: INEV) .....	18
Abbildung 26: Treibhausgasemissionen in tCO <sub>2-eq</sub> in Karlsfeld nach Energieträger im Jahr 2019 (Quelle: INEV).....	19
Abbildung 27: Anteilige Treibhausgasemissionen pro Einwohner*in nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV).....	20
Abbildung 28: Treibhausgasemissionen pro Einwohner*in nach Sektoren im Jahr 2019 (Quelle: INEV).....	21
Abbildung 29: Treibhausgasausstoß in t CO <sub>2-eq</sub> je Verkehrsmittel im Jahr 2019 (Quelle: INEV) ...	22
Abbildung 30: Treibhausgasausstoß pro Einwohner*in und Verkehrsmittel im Jahr 2019 (Quelle: INEV).....	22
Abbildung 31: Wesentliche Indikatoren der Gemeinde Karlsfeld aus dem Klimaschutzplaner (Quelle: INEV) .....	25
Abbildung 32: Wärmedichtekarte der Gemeinde Karlsfeld (Quelle: INEV).....	28
Abbildung 33: Visualisierung vorhandener Wärmeabnehmer und beispielhafter Trassenverlauf (Quelle: INEV) .....	30
Abbildung 34: Wärmenetz der Gemeindewerke Karlsfeld (Quelle: Gemeinde Karlsfeld) .....	31
Abbildung 35: Potenzielle PV-Freiflächen in Karlsfeld (Quelle: INEV) .....	34
Abbildung 36: Ausschnitt geeigneter Potenzialflächen im 500 m Korridor der Autobahn (Quelle: INEV).....	35

Abbildung 37: Ausschnitt geeigneter Potenzialflächen im 500 m Korridor der Bahnlinie (Quelle: INEV).....	37
Abbildung 38: Installierbare Leistung Aufdach im Zentrum Karlsfelds (Quelle: INEV).....	40
Abbildung 39: Installierbare Leistung Aufdach im Bereich der „Handwerkersiedlung“, Karlsfeld (Quelle: INEV).....	40
Abbildung 40: Installierbare Leistung Aufdach im Bereich westlich der Bahn, Karlsfeld (Quelle: INEV).....	41
Abbildung 41: Erwartbarer Jahresertrag im Zentrum Karlsfelds (Quelle: INEV) .....	41
Abbildung 42: Erwartbarer Jahresertrag im Bereich der „Handwerkersiedlung“, Karlsfeld (Quelle: INEV).....	42
Abbildung 43: Erwartbarer Jahresertrag im Bereich westlich der Bahn, Karlsfeld (Quelle: INEV) 43	
Abbildung 44: Ausschnitt des PV-Potenzials von PV-Aufdachanlagen für den Sektor private Haushalte (Quelle: INEV).....	45
Abbildung 45: Potenzialflächen für Windkraftanlagen Karlsfeld (Quelle: INEV) .....	52
Abbildung 46: Ausschnitt Potenzialflächen für Windkraftanlagen im nordöstlichen Gemeindegebiet (Quelle: INEV) .....	53
Abbildung 47: Ziel-, Referenz- und angepasstes Klimaschutzenszenario für Karlsfeld; im Einklang mit der BSKO-Systematik sind im angepassten Klimaschutzenszenario die THG-Minderungspotenziale der Windkraft- und PV-Freiflächenanlagen nicht berücksichtigt, die der PV-Aufdachanlagen lediglich mit dem Eigenverbrauchsanteil (Quelle: INEV) .....	58

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erzeugter erneuerbarer Strom in Karlsfeld im Jahr 2019 in Abhängigkeit der eingesetzten Endenergie (Quelle: INEV) .....	14
Tabelle 2: Erzeugte erneuerbare Wärme in Karlsfeld im Jahr 2019 in Abhängigkeit der eingesetzten Endenergie (Quelle: INEV) .....	17
Tabelle 3: Auszug der wesentlichen Indikatoren der Gemeinde Karlsfeld des Jahres 2019 aus dem Klimaschutzplaner (Quelle: INEV) .....	24
Tabelle 4: Übersicht bestehender PV-Anlagen auf kommunalen Dächern (Quelle: Gemeinde Karlsfeld) .....	46
Tabelle 5: Analyisierte PV-Potenziale auf den kommunalen Liegenschaften der Gemeinde Karlsfeld (Quelle: INEV) .....	47
Tabelle 6: Übersicht der vorhandenen Leuchtmittel (Stand Dez. 2022) (Quelle: Eigene Darstellung).....	49
Tabelle 7: Ergebnisse der Potenzialabschätzung der Umrüstung der Straßenbeleuchtung (Stand der Straßenbeleuchtung 2019) (Quelle: INEV) .....	50
Tabelle 8: Zusammenfassung erneuerbarer Stromerzeugungspotenziale mit theoretischer Einsparung und THG-Minderung bei Annahmen 100 Eigennutzung des erzeugten Stroms (Quelle: INEV).....	54
Tabelle 9: Zusammenfassung der betrachteten Energie- und Treibhausgas-minderungspotenziale (Quelle: INEV).....	55