



WIESBADEN



ESWE  
Versorgung



RAMBOLL

Bright ideas.  
Sustainable change.



Fraunhofer  
IFAM

# Kommunale Wärmeplanung Wiesbaden

Landeshauptstadt Wiesbaden & ESWE Versorgungs AG

Projektdokumentation Potenzialanalyse, 20.08.2025

# AP2

# Potenzialanalyse



- Ermittlung Erneuerbarer Potenziale
- Ermittlung des Energieeinsparungspotenzials

# Inhalt

# Potenziale

1. Wärme aus Umgebungsluft
2. Wärme aus Klarwasser
3. Wärme aus Flusswasser
4. Wärme aus Stillgewässer
5. Wärme aus Trinkwasser
6. Wärme aus Abwasser
7. Wärme aus Thermalwasser
8. Industrielle Abwärme
9. Abwärme aus Rechenzentren
10. Thermische Abfallbehandlung
11. Freiflächenanalyse
12. Wärme aus oberflächennaher Geothermie
13. Wärme aus Solarthermie (Freiflächen)
14. Wärme aus Solarthermie (Dachflächen)
15. Biomasse
16. Tiefengeothermie
17. Wärmespeicher
18. Wasserstoff



**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Wärme aus Umgebungsluft



# Wärme aus Umgebungsluft Technologie

## Funktionsprinzip:

- Nutzt die in der Umgebungsluft gespeicherte Umweltwärme zum Heizen.
- Über eine Wärmepumpe wird die niedrige Temperatur der Luft auf ein nutzbares Temperaturniveau angehoben.
- Funktioniert auch bei niedrigen Außentemperaturen, allerdings mit sinkendem Wirkungsgrad.
- Besonders geeignet für dezentrale Anwendungen in Gebäuden mit guter Dämmung oder im Neubau.

+

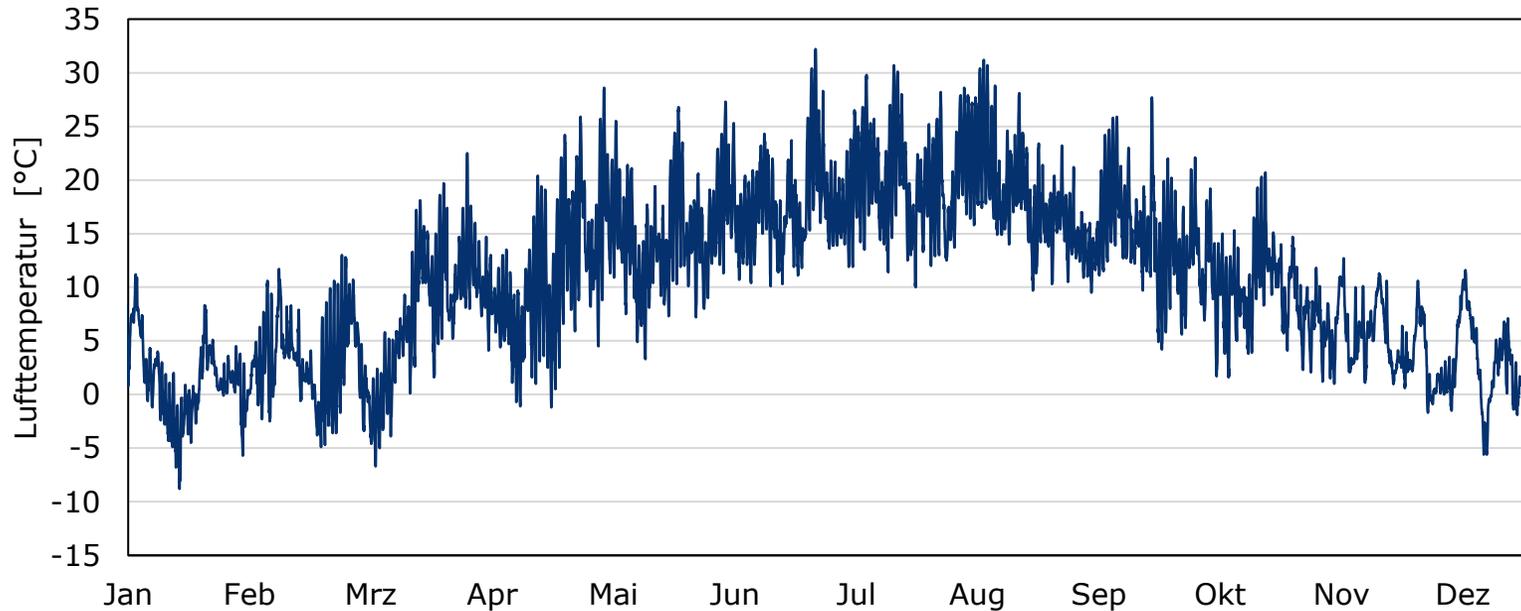
-

- **Breit verfügbar:** Luft als Energiequelle ist überall vorhanden.
- **Niedrige Betriebskosten:** Hohe Effizienz (COP 2–4) führt zu vergleichsweise günstiger Wärmeversorgung.
- **Geringe Investitionskosten:** Günstiger als Sole- oder Wasser-Wärmepumpen, da keine Bohrungen nötig sind.
- **Kombinierbar mit PV:** Ermöglicht CO<sub>2</sub>-freien Betrieb bei Eigenstromnutzung
- **Abhängigkeit von Außentemperatur:** Effizienz sinkt bei kaltem Wetter → höherer Stromverbrauch.
- **Geräuschentwicklung:** Außeneinheit erzeugt Geräusche, daher nicht überall einsetzbar.
- **Hoher Strombedarf:** Bei unsanierten Altbauten kann der Bedarf an elektrischer Energie hoch sein.



# Umgebungsluft Datenanalyse

Lufttemperatur (Landeshauptstadt Wiesbaden)



## Quellen

Deutscher  
Wetterdienst  
(DWD)

Testreferenzjahr für  
Wiesbaden  
(repräsentativer  
Jahresverlauf)

## Methodik und Hinweise

Die Außentemperatur im  
Testreferenzjahr schwankt im jährlichen  
Verlauf zwischen ca. - 9 °C und ca. 32 °C

Das Wärmeerzeugungspotenzial ist  
aufgrund der unbegrenzt vorhandenen  
Wärmequelle Luft theoretisch  
unbeschränkt



# Umgebungsluft Datengrundlage

| Randbedingungen                   |                  | Einheit |
|-----------------------------------|------------------|---------|
| Temperatur Umgebungsluft          | Testreferenzjahr | °C      |
| Grädigkeit Wärmeübertrager        | 3                | K       |
| Thermische Leistung WP bei 5°C*   | 10               | MW      |
| COP-Korrekturfaktor (Gütegrad)    | 0,45             | -       |
| Leistungsminderung bei -12°C      | 55               | %       |
| Vor-/Rücklauftemperatur Wärmenetz | 95/50            | °C      |

| Ergebnis                | Wert | Einheit |
|-------------------------|------|---------|
| JAZ                     | 2,36 | -       |
| Thermische Leistung     | 10   | MW      |
| Vollbenutzungsstunden** | 8250 | Vbh/a   |
| Jährliche Energiemenge  | 82,5 | GWh/a   |

## Quellen

Deutscher  
Wetterdienst  
(DWD)

Testreferenzjahr für  
Wiesbaden  
(repräsentativer  
Jahresverlauf)

## Methodik & Hinweise

COP-Berechnung nach Lorentz

\*die Leistung einer Luft-Wasser-WP ist  
unbegrenzt skalierbar

\*\*es wird ein Ausfall aufgrund von Wartung  
in Höhe von 260 h (3%) angenommen

## Abkürzungen

WP Wärmepumpe

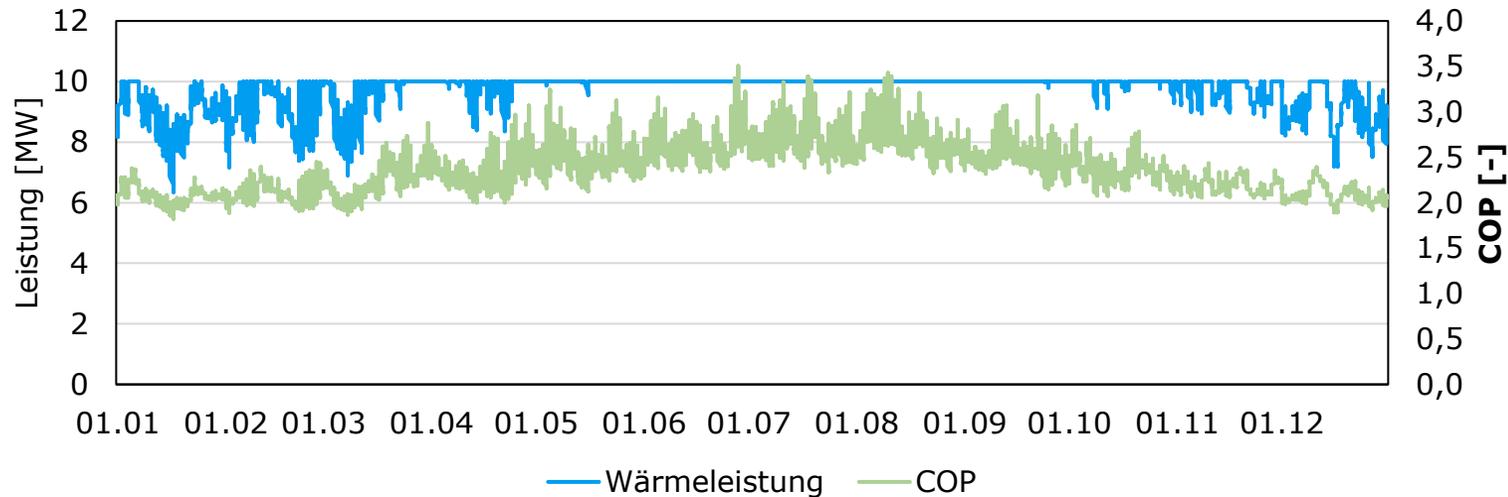
COP Coefficient of Performance

JAZ Jahresarbeitszahl

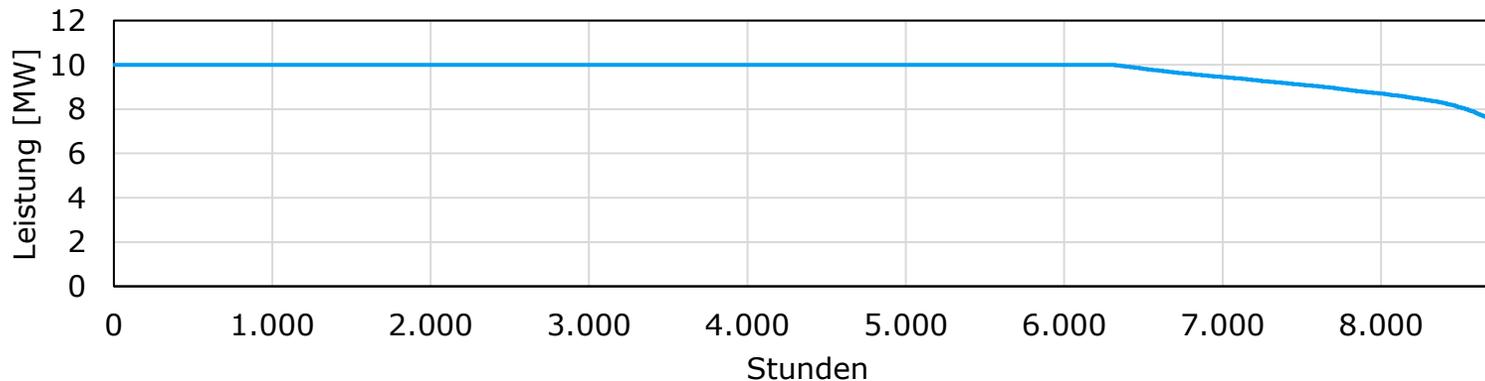


# Umgebungsluft

## Ergebnisse im Detail



Thermische Leistung - Jahresdauerlinie [MW]



## Ergebnisse und Hinweise

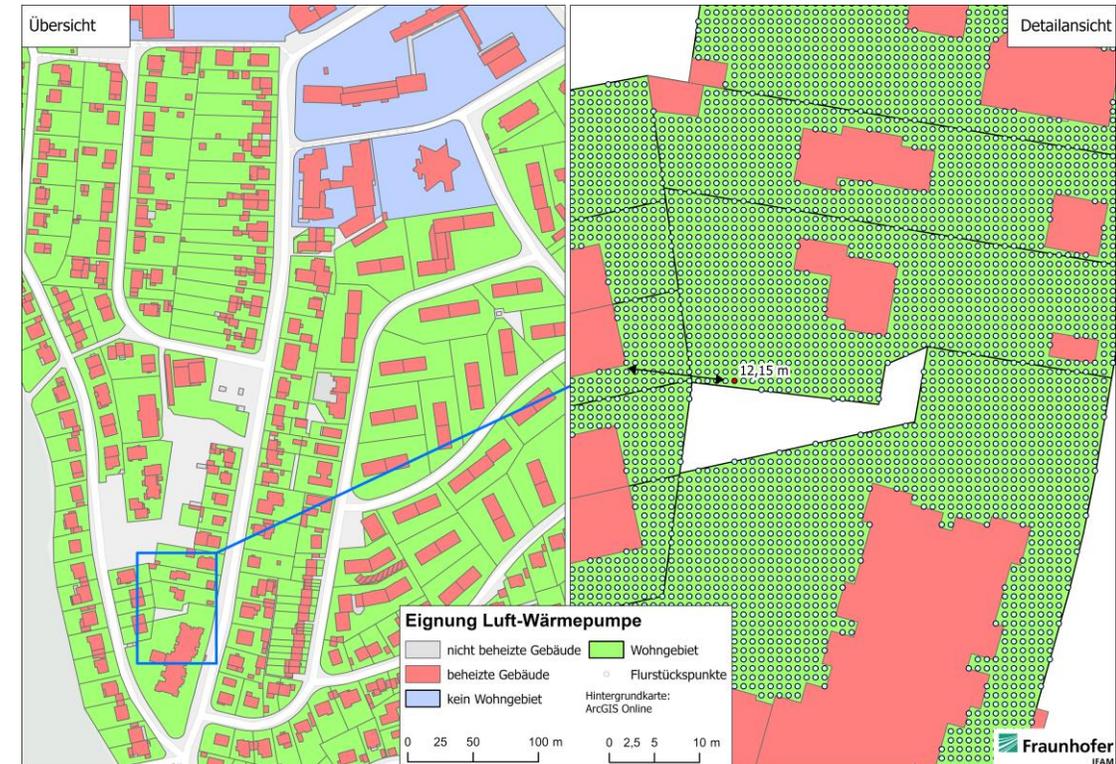
- Der COP der Luft-Wasser-Wärmepumpe folgt der Außentemperatur und bewegt sich im Bereich von 1,82 bis 3,51.
- Die mögliche Wärmeleistung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe sinkt in der Regel bei niedrigerer Außentemperatur.
- Für den Temperaturverlauf des Testreferenzjahrs liegt die Leistung der LW-Wärmepumpe zwischen 6,4 und 10 MW.
- Bei der Abschätzung der jährlichen Wärmeerzeugung wird ein Ausfall aufgrund von Wartung in Höhe 260 h (3%) angenommen
- Ein **10 MW**-Wärmepumpenmodul erreicht **8250 Volllaststunden**, eine **JAZ** von **2,36** und eine jährliche Wärmeerzeugung von ca. **82,5 GWh**.
- Das konkrete Potenzial ist abhängig von den benötigten Vorlauftemperaturen des Netzes und ist für alle Betreiber eines Gebäude- oder Wärmenetzes nutzbar

# Eignung für Dezentrale Luft-Wärmepumpen

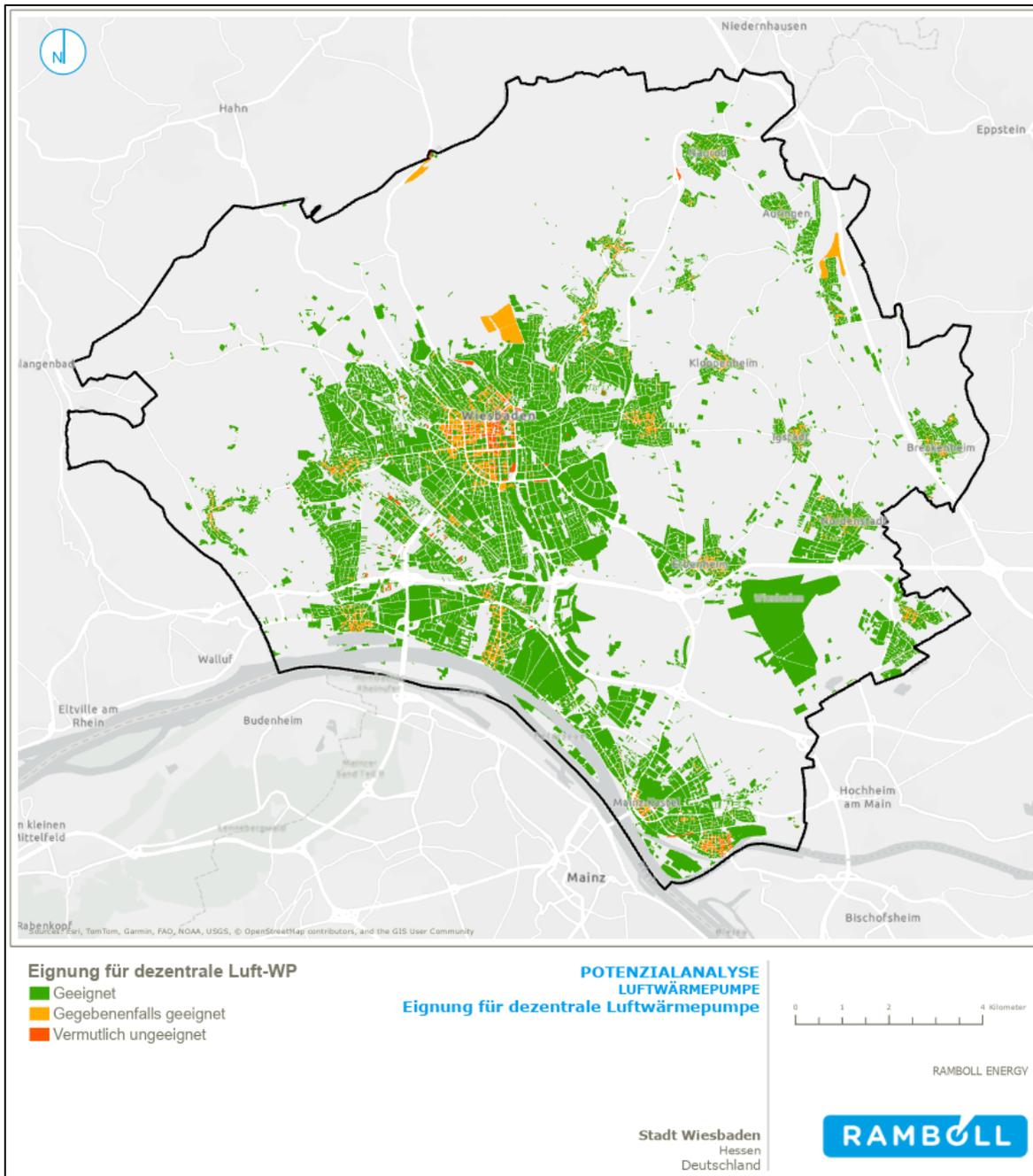
# Wärmepumpenpotenziale

## Luft-Wasser Wärmepumpen

- Ziel: Eignung für die Installation einer Luftwärmepumpe entlang der zulässigen Schallemissionen ermitteln.
- Vorgehen:
  1. Zuordnung der Flurstücke zu reinen Wohngebieten
  2. Ermitteln des maximal möglichen Abstands zum nächstgelegenen beheizten Gebäude
    - a) Umwandeln der Flurstücksflächen in ein Raster (1x1m)
    - b) Umwandeln des Rasters in (Mittel-)Punkte
    - c) Entfernung jedes Rasterpunktes zum nächstgelegenen, beheizten Gebäude auf einem fremden Flurstück
    - d) Ausgabe des maximal möglichen Abstands je Flurstück
    - e) (Beispielkarte: roter Punkt)
  3. Ausgehend von den Entfernungen zum nächstgelegenen beheizten Gebäude werden die Flurstücke in drei Kategorien aufgeteilt. Zur Erstellung dieser Kategorien wurde der Wärmepumpen-Schallrechner\* sowie die Schallemissionen handelsüblicher Wärmepumpen bei üblichen Leistungsklassen verwendet:
    - Unter 3m: Vermutlich ungeeignet
    - 3m bis 6m: Gegebenenfalls geeignet
    - Über 6m: Geeignet



\*<https://www.waermepumpe.de/werkzeuge/schallrechner/> vom Bundesverband Wärmepumpe



# LW-WP Dezentral



Ergebnisse (kartographisch)

## Hinweise

- Im Innenstadtbereich und in Biebrich ist vermehrt eine dichte Bebauung vorhanden
- In diesem Gebiet muss auf alternative und ggf. kostenintensivere Aufstellungsoptionen zurückgegriffen werden (in Einzelfällen bspw. eine Aufstellung auf dem Dach der Gebäude)



# Luft-Wärmepumpe- Dezentral

## Ergebnisse im Detail



### Eignung für dezentrale Luft-WP

- Vermutlich ungeeignet
- Gegebenfalls geeignet
- Geeignet



### Innenstadt & Biebrich

- Sehr enge Bebauung
- Kaum Freiflächen vorhanden für die Aufstellung von Luft-Wasser-Wärmepumpen
- Schallgrenzwerte können aufgrund der engen Bebauung teilweise nicht oder nur unter erhöhten Schallschutzmaßnahmen eingehalten werden



**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Wärme aus Klarwasser



# Wärme aus Klarwasser Technologie

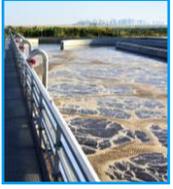
## Funktionsprinzip:

- Nutzt die Restwärme im geklärten Abwasser, das nach der Behandlung in den Vorfluter (z. B. Fluss) eingeleitet wird.
- Über Wärmetauscher wird die thermische Energie entzogen und per Wärmepumpe nutzbar gemacht.
- Geeignet für die Einspeisung in Nah- oder Fernwärmenetze.
- Versorgungssicherheit ist hoch, da der Kläranlagenbetrieb konstant Abwasser liefert.



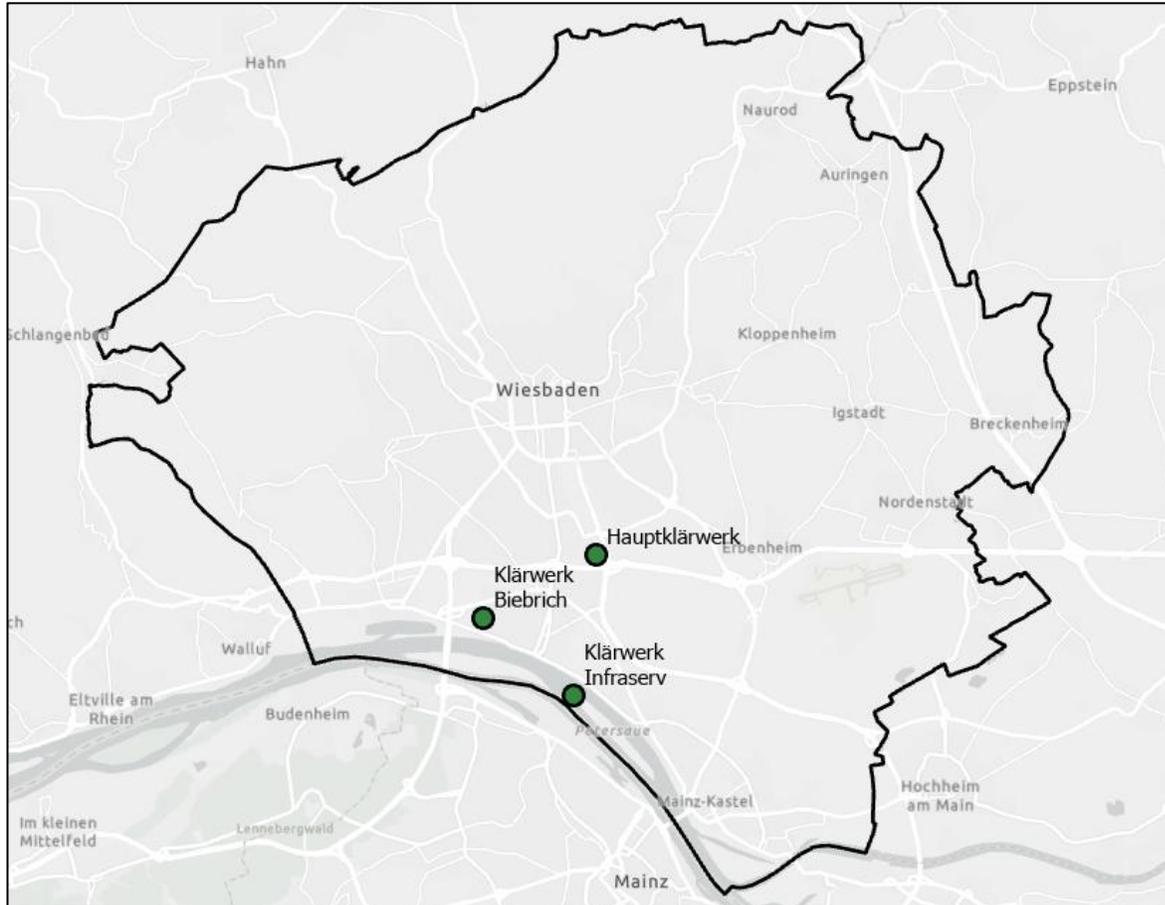
- **Konstante und planbare Wärmequelle:** Gereinigtes Abwasser besitzt ganzjährig gute Temperaturen.
- **Geringe Umweltbelastung:** Nutzung einer ohnehin vorhandenen Energiequelle
- **Hohe Wirtschaftlichkeit bei Nähe:** Besonders effizient, wenn Wärmenetze in unmittelbarer Umgebung existieren.
- **Gute Synergie mit kommunaler Infrastruktur:** Kläranlagen sind meist in kommunaler Hand

- **Standortabhängigkeit:** Nutzung ist nur sinnvoll, wenn potenzielle Wärmeabnehmer in der Nähe sind.
- **Genehmigungs- und Abstimmungsaufwand:** Beteiligung von Wasserwirtschaft und Umweltbehörden notwendig.



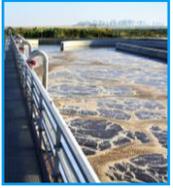
# Wärme aus Klarwasser

## Standorte im Untersuchungsgebiet



### Methodik und Hinweise

- Im Untersuchungsgebiet befinden sich drei Klärwerke:
    - Hauptklärwerk
    - Klärwerk Biebrich
    - Klärwerk Infraseriv
  - Das Hauptklärwerk sowie das Klärwerk Biebrich werden von den Entsorgungsbetrieben der Landeshauptstadt Wiesbaden (ELW) betrieben
  - Das Klärwerk Infraseriv befindet sich auf der Petersaue und wird vom Industrieparkbetreiber Infraseriv betrieben
- 
- Für das Hauptklärwerk und das Klärwerk Biebrich wird das Wärmepotenzial über Zeitreihen von Volumenstrom und Temperatur auf den nächsten Folien abgeschätzt.
- 
- Beim Klärwerk Infraseriv liegt eine Potenzialabschätzung seitens des Anlagenbetreibers vor (ca. **75 GWh/a**)



# Wärme aus Klarwasser

## Standorte im Untersuchungsgebiet

| Ergebnis  | Hauptklärwerk | Biebrich | Infraserv | Einheit |
|---|---------------|----------|-----------|---------|
| Wärmemenge (Abwärme)*   | 337,7         | 159,1    | -         | GWh/a   |
| Temperaturniveau  | 10 - 23       | 10 - 23  | -         | °C      |
| <b>Bei Nutzung in einem Wärmenetz über eine Wärmepumpe (exemplarisch, s. nächste Folien):</b> |               |          |           |         |
| JAZ (bei 95/50°C)   | 2,85          | 2,82     | -         | -       |
| Thermische Leistung WP*   | 28            | 9        | -         | MW      |
| Volllaststunden   | 8296          | 8336     | -         | h/a     |
| Wärmemenge  | 232           | 75       | 75*       |         |

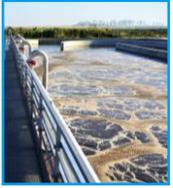
\*Die maximale Wärmemenge wird erreicht, wenn der gesamte Volumenstrom auf die minimale Temperatur von 2°C abgekühlt wird. Da der Volumenstrom sehr diskontinuierlich ist (s. nächste Folien), reduziert sich die Wärmemenge bei einer sinnvollen Auslegung einer Wärmepumpe

## Methodik und Hinweise

- Da das Temperaturniveau des Klarwassers zu gering ist, um es direkt für Heizzwecke zu nutzen, wird eine exemplarische Abschätzung für die Nutzung in einem Wärmenetz vorgenommen
- Der COP und die Wärmemenge sind abhängig von den Temperaturniveaus des Netzes
- Das Wärmepotenzial an den Klärwerken der ELW ist signifikant und sollte möglichst in ein Wärmenetz eingebunden werden
- Beim Klärwerk Infraserv ist davon auszugehen, dass dieses Potenzial mittelfristig vom Anlagenbetreiber genutzt wird, um das interne Wärmenetz zu dekarbonisieren
- \*Das Wärmepotenzial von Infraserv ist ebenfalls in der Kategorie Industrielle Abwärme aufgelistet und darf daher nicht kumuliert berücksichtigt werden!

# Klarwasser

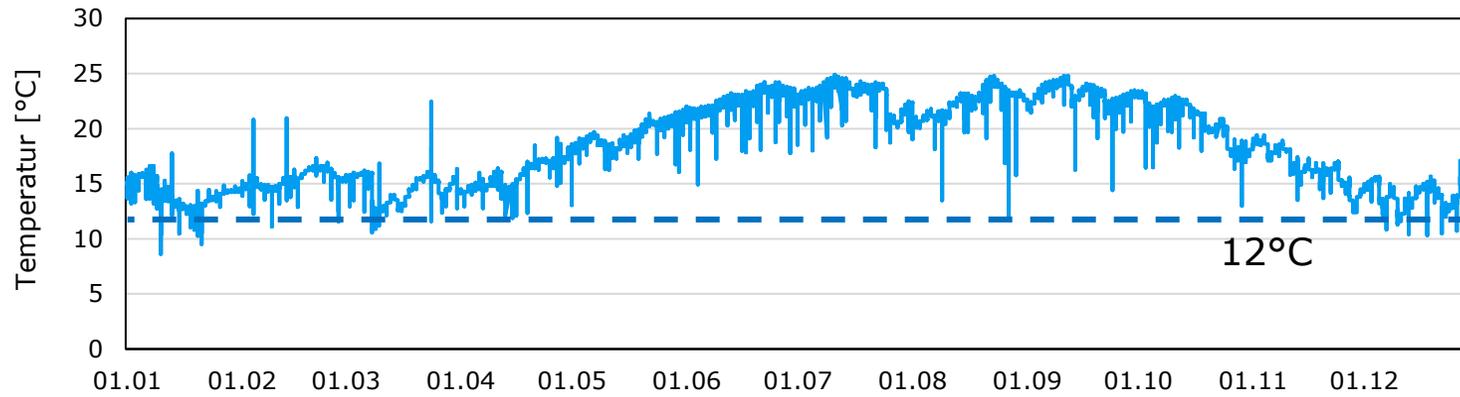
Hauptklärwerk



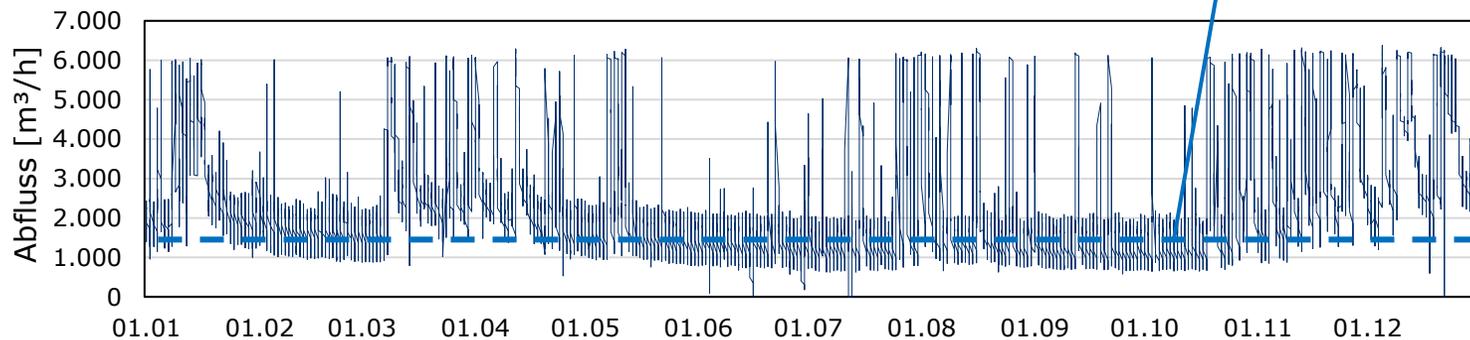
# Klarwasser (Hauptklärwerk)

## Datenanalyse

Temperatur Klarwasser [°C]

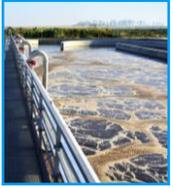


Abfluss Klärwerk [m<sup>3</sup>/h] 1500m<sup>3</sup>/h



## Methodik und Hinweise

- Der Temperaturverlauf der Wärmequelle beeinflusst in erster Hinsicht die Leistungszahl (COP) und die Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe
- Die Temperatur des Klarwassers ist hoch genug, so dass ein ganzjähriger Betrieb der Wärmepumpe möglich ist
- Der Volumenstrom des Klärwerks ist diskontinuierlich, in der Regel hauptsächlich aufgrund von Niederschlagseinträgen in das Abwasserkanalsystem
- Für die Klarwasserwärmepumpe wird eine Teillastfähigkeit von jeweils 50 % angenommen (2 Module)



# Klarwasser (Hauptklärwerk)

## Datengrundlage

| Randbedingungen                         |                                   | Einheit           |
|---|-----------------------------------|-------------------|
| Temperatur Klarwasser                   | Viertelstündlich aufgelöst (2023) | °C                |
| Volumenstrom Klarwasser                 | Viertelstündlich aufgelöst (2023) | m <sup>3</sup> /h |
| Temperaturänderung Klarwasser           | 2,5 - 15                          | K                 |
| Minimale Temperatur Klarwasser Austritt | 2                                 | °C                |
| Theoretisch nutzbare Wärmemenge         | <b>337,2</b>                      | GWh/a             |

| Auslegungsdaten Wärmepumpe             |           | Einheit           |
|--|-----------|-------------------|
| Max. Volumenstrom Klarwasser           | 1500      | m <sup>3</sup> /h |
| <b>Thermische Leistung</b>             | <b>28</b> | <b>MW</b>         |
| Temperaturänderung Klarwasser          | 10        | K                 |
| Vor-/Rücklauftemperatur (exemplarisch) | 95/50     | °C                |
| COP-Korrekturfaktor                    | 0,5       |                   |

## Quellen

ESWE

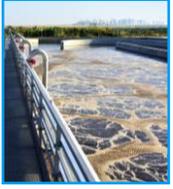
- Volumenströme (2023)
- Temperaturen (2023)

## Methodik

- Entfernen unplausibler Messwerte
- COP-Berechnung nach Lorentz

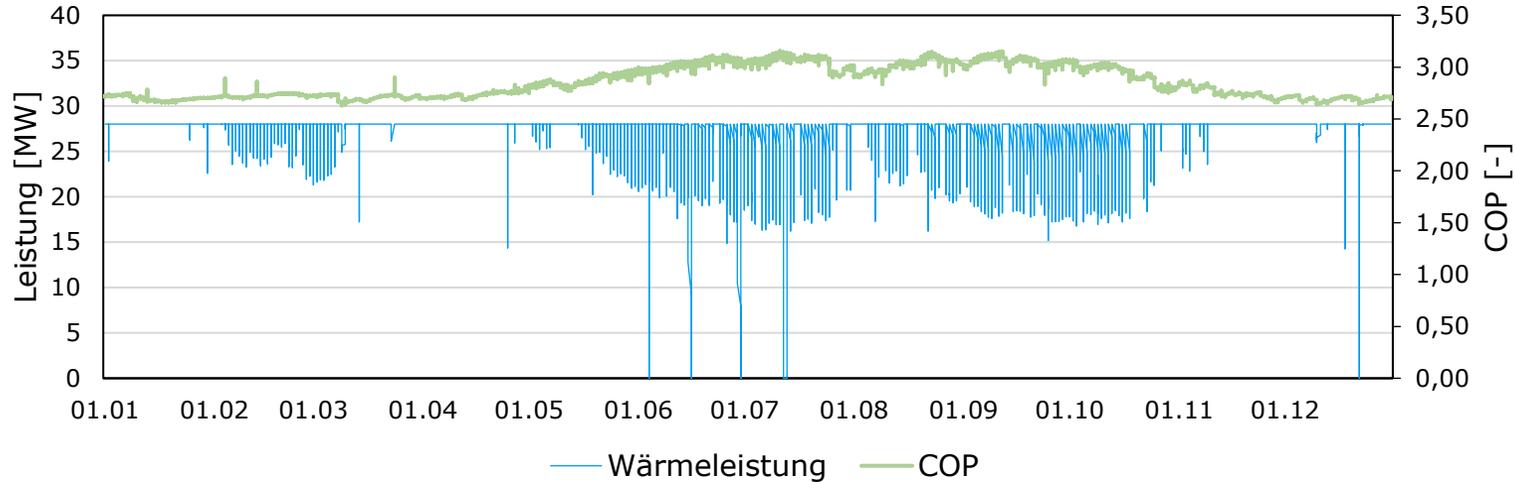
## Abkürzungen

COP    Coefficient of Performance

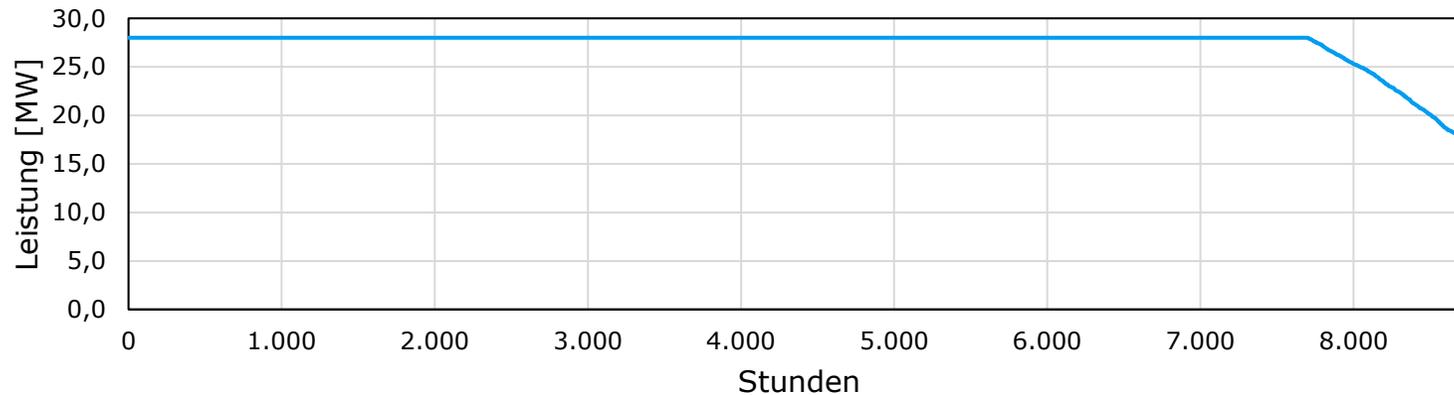


# Klarwasser (Hauptklärwerk)

## Ergebnisse im Detail



Thermische Leistung – Jahresdauerlinie [MW]

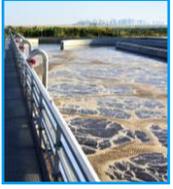


## Ergebnisse und Hinweise

- Der COP der Klarwasser-Wärmepumpe folgt der Klarwassertemperatur und bewegt sich im Bereich von 2,66 bis 3,39.
- Bei der Abschätzung der jährlichen Wärmeerzeugung wird ein Ausfall aufgrund von Wartungen in Höhe von 260 h (3%) angenommen (nicht in der Jahresdauerlinie abgebildet)
- Eine Klarwasserwärmepumpe am Hauptklärwerk erreicht ca. **8296 Volllaststunden**, eine **JAZ von 2,85** und eine jährliche Wärmeerzeugung von **232 GWh**.

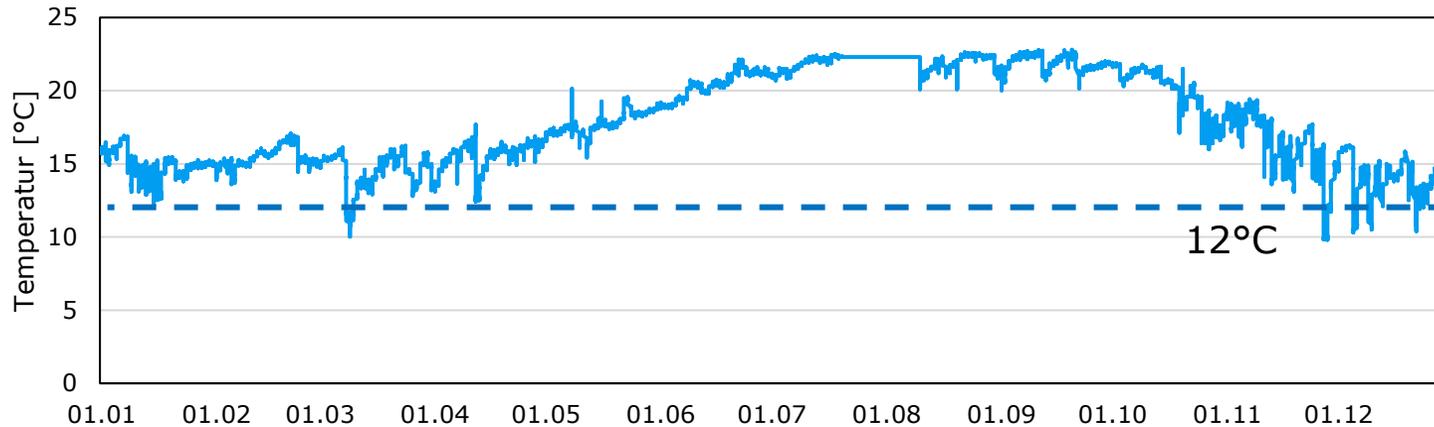
# Klarwasser

Kläranlage Biebrich

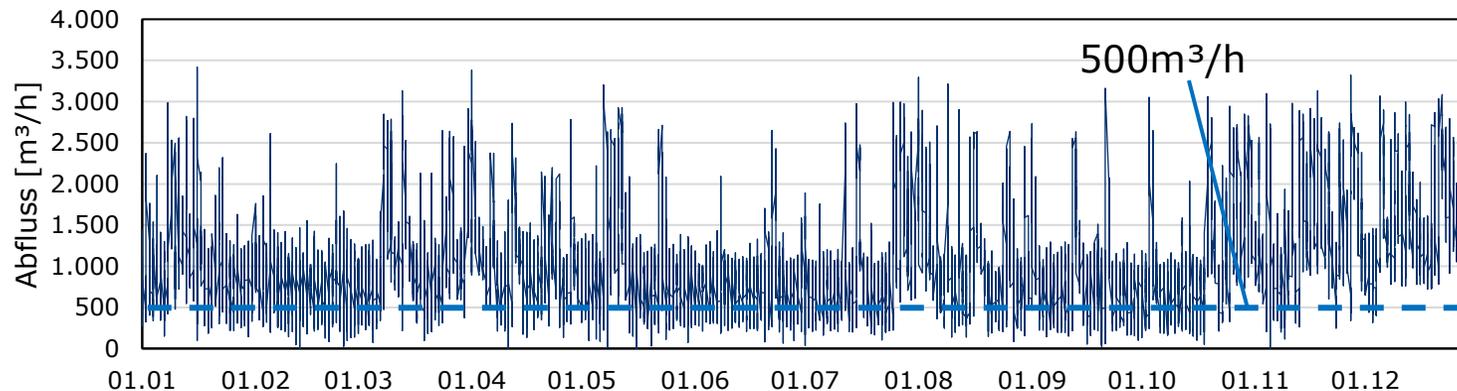


# Klarwasser (Kläranlage Biebrich) Datenanalyse

Temperatur Klarwasser [°C]

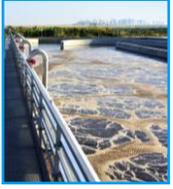


Abfluss Klärwerk [m<sup>3</sup>/h]



## Methodik und Hinweise

- Der Temperaturverlauf der Wärmequelle beeinflusst in erster Hinsicht den COP und die JAZ der Wärmepumpe
  - Die Temperatur des Klarwassers ist hoch genug, dass ein ganzjähriger Betrieb der Wärmepumpe möglich ist
- 
- Der Volumenstrom des Klärwerks ist diskontinuierlich, in der Regel hauptsächlich aufgrund von Niederschlagseinträgen in das Abwasserkanalsystem
  - Für die Klarwasserwärmepumpe wird eine Teillastfähigkeit von 50 % angenommen (1 Modul)



# Klarwasser (Kläranlage Biebrich)

## Datengrundlage

| Randbedingungen                         |                                   | Einheit           |
|---|-----------------------------------|-------------------|
| Temperatur Klarwasser                   | Viertelstündlich aufgelöst (2023) | °C                |
| Volumenstrom Klarwasser                 | Viertelstündlich aufgelöst (2023) | m <sup>3</sup> /h |
| Temperaturänderung Klarwasser           | <b>5 – 15</b>                     | K                 |
| Minimale Temperatur Klarwasser Austritt | <b>2</b>                          | °C                |
| Theoretisch nutzbare Wärmemenge         | <b>150,1</b>                      | GWh/a             |

| Auslegungsdaten Wärmepumpe             |          | Einheit           |
|--|----------|-------------------|
| Max. Volumenstrom Klarwasser           | 500      | m <sup>3</sup> /h |
| <b>Thermische Leistung</b>             | <b>9</b> | <b>MW</b>         |
| Temperaturänderung Klarwasser          | 10,0     | K                 |
| Vor-/Rücklauftemperatur (exemplarisch) | 95/50    | °C                |
| COP-Korrekturfaktor                    | 0,5      |                   |

## Quellen

ESWE

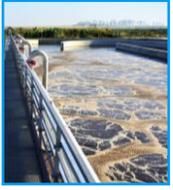
- Volumenströme (2023)
- Temperaturen (2023)

## Methodik

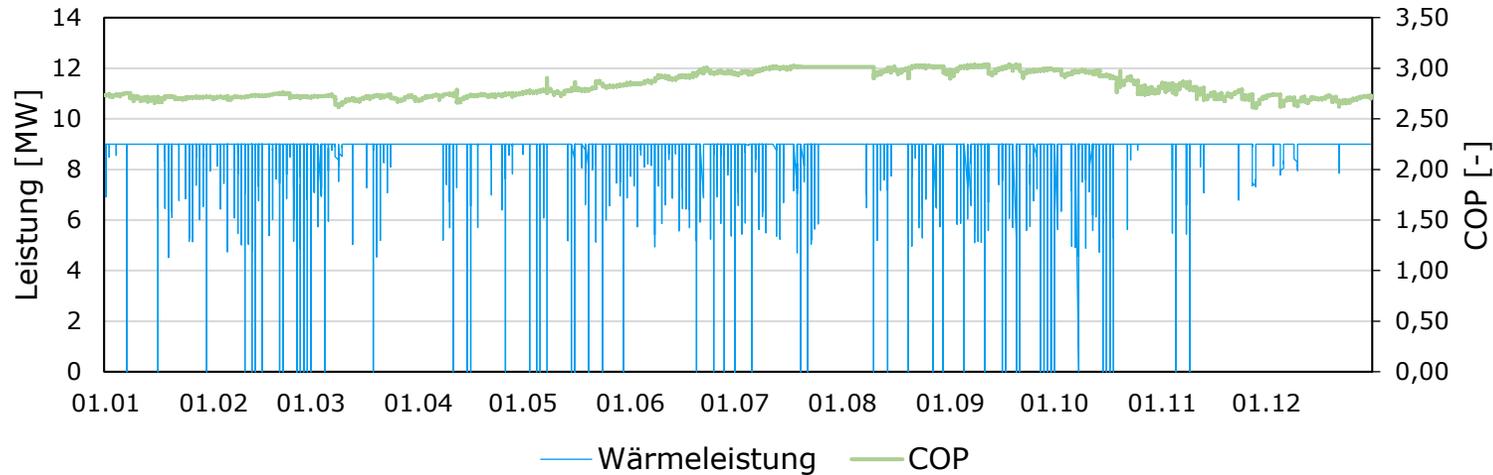
- Vernachlässigung von Schalttagen
- COP-Berechnung nach Lorentz

## Abkürzungen

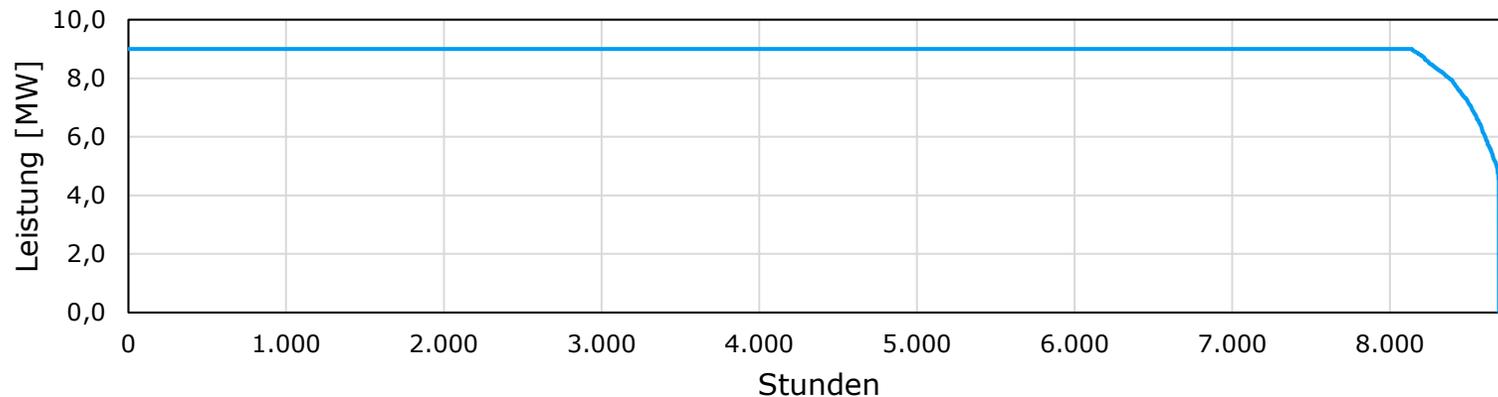
COP    Coefficient of Performance



# Klarwasser (Kläranlage Biebrich) Ergebnisse im Detail



Thermische Leistung – Jahresdauerlinie [MW]



## Ergebnisse und Hinweise

- Der COP der Klarwasser-Wärmepumpe folgt der Klarwassertemperatur und bewegt sich im Bereich von 2,62 bis 3,26.
- Bei der Abschätzung der jährlichen Wärmeerzeugung wird ein Ausfall aufgrund von Wartung in Höhe 260h (3%) angenommen (ist nicht in der Jahresdauerlinie abgebildet)
- Eine Klarwasserwärmepumpe am 2. Klärwerk erreicht ca. **8336 Volllaststunden**, eine **JAZ von 2,82** und eine jährliche Wärmeerzeugung von **75 GWh**.



**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Wärme aus Flusswasser



# Wärme aus Flusswasser Technologie

## Funktionsprinzip:

- Nutzt die im Wasser von Flüssen gespeicherte Umweltwärme.
- Ein Wärmetauscher entzieht dem Wasser thermische Energie, die per Wärmepumpe nutzbar gemacht wird.
- Besonders effektiv bei ganzjährig durchströmten Gewässern mit ausreichender Temperatur und Durchfluss.
- Eignet sich für die Versorgung von Quartieren, Industrie oder Wärmenetzen in Gewässernähe.

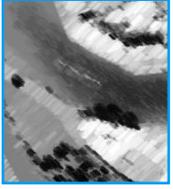
---

+

-

- 
- **Hohe Verfügbarkeit:** Viele Städte und Gemeinden liegen an Flüssen oder Kanälen.
  - **Effizienter Wärmepumpenbetrieb:** Günstiges Temperaturniveau → guter COP.
  - **Geringe Flächeninanspruchnahme:** Keine Bohrungen oder große Anlagenflächen erforderlich.

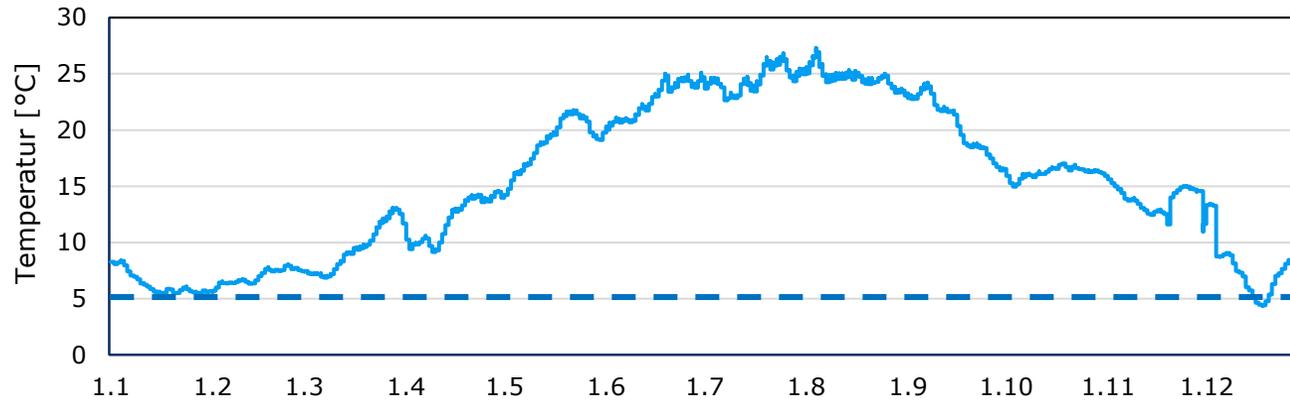
- **Genehmigungsaufwand:** Nutzung erfordert wasserrechtliche Genehmigungen und Umweltverträglichkeitsprüfungen.
- **Umweltanforderungen:** Einfluss auf Gewässerökologie muss minimiert werden.
- **Abhängigkeit von Gewässerstand und -qualität:** Niedrigwasser, Verschmutzung oder Eisbildung können Betrieb beeinträchtigen.
- **Standortgebunden:** Nur in unmittelbarer Nähe zum Gewässer wirtschaftlich realisierbar.



# Flusswasser - Rhein

## Datenanalyse

Temperatur Rhein [°C]



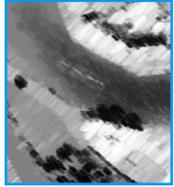
Durchfluss Rhein – Messpunkt Mainz [m<sup>3</sup>/s]



## Methodik und Hinweise

- Der Temperaturverlauf der Wärmequelle beeinflusst in erster Hinsicht den COP und die JAZ der Wärmepumpe
- Bei kalten Temperaturen (<5°C) ist eine Auskühlung der Quelle um 3K nicht mehr möglich.
- Bei Temperaturen zwischen 3,5°C und 5°C wird die Auskühlung der Quelle so begrenzt, dass bei Austritt eine Temperatur von 2°C sichergestellt werden kann
- Bei Temperaturen unter 3,5°C wird die Wärmepumpe nicht betrieben

- Die nächstgelegene Messstation liegt am anderen Rheinufer in Mainz.
- Der niedrigste Durchfluss des Rheins im Jahr 2022 betrug ca. 500m<sup>3</sup>/s.



# Flusswasser – Rhein - Max. Potenzial

## Datengrundlage

| Randbedingungen  |                       | Einheit           |
|--|-----------------------|-------------------|
| Temperatur Flusswasser   | Tagesmittelwerte 2022 | °C                |
| Volumenstrom Flusswasser   | Tagesmittelwerte 2022 | m <sup>3</sup> /s |
| Temperaturänderung Flusswasser                                   | 1                     | K                 |
| Minimale Temperatur WP-Austritt                                  | 2,0                   | °C                |
| Theoretisch nutzbare Wärmemenge<br>(Auskühlung des Rheins um 1K) | <b>67.321</b>         | <b>GWh/a</b>      |

| Auslegungsdaten Wärmepumpe                                 |              | Einheit           |
|--|--------------|-------------------|
| Volumenstrom Flusswasser<br>(gemäß minimalem Volumenstrom) | 500          | m <sup>3</sup> /s |
| <b>Thermische Leistung</b>                                 | <b>2.800</b> | <b>MW</b>         |
| Temperaturänderung Flusswasser                             | 1,0          | K                 |
| Vor-/Rücklauftemperatur                                    | 95/50        | °C                |
| COP-Korrekturfaktor  | 0,5          |                   |

## Quellen

Deutsches  
Gewässer-  
kundliches  
Jahrbuch

Messstation 25100100:  
• Volumenströme (2022)

## Methodik

- Vernachlässigung von Schalttagen
- Entfernen unplausibler Messwerte
- COP-Berechnung nach Lorentz

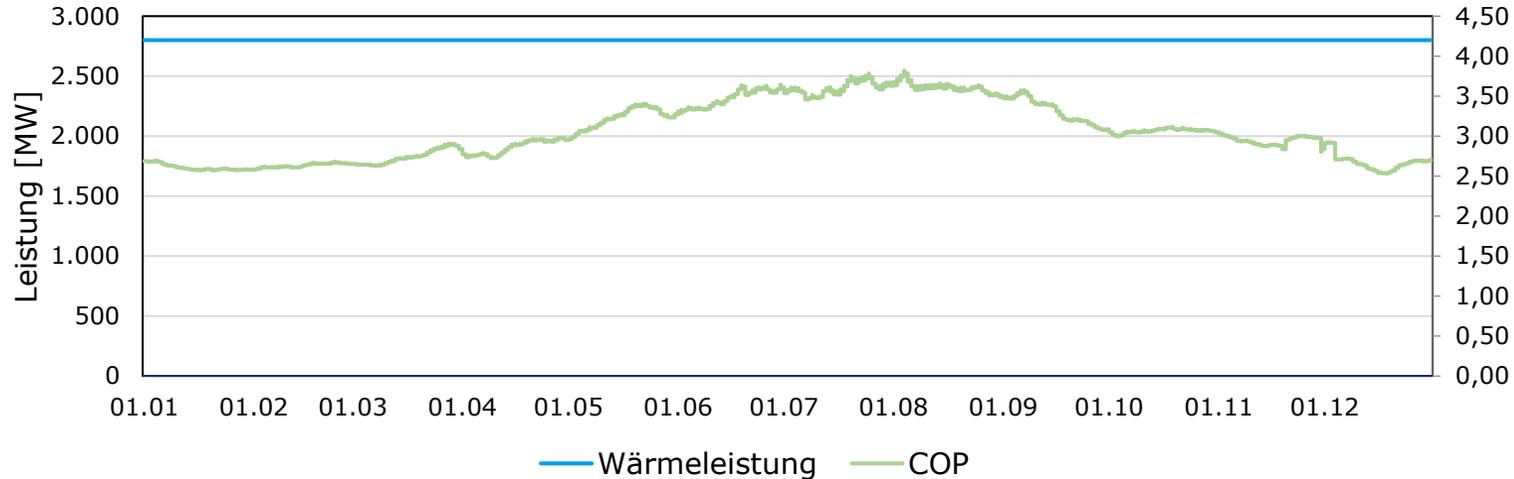
## Abkürzungen

WP Wärmepumpe

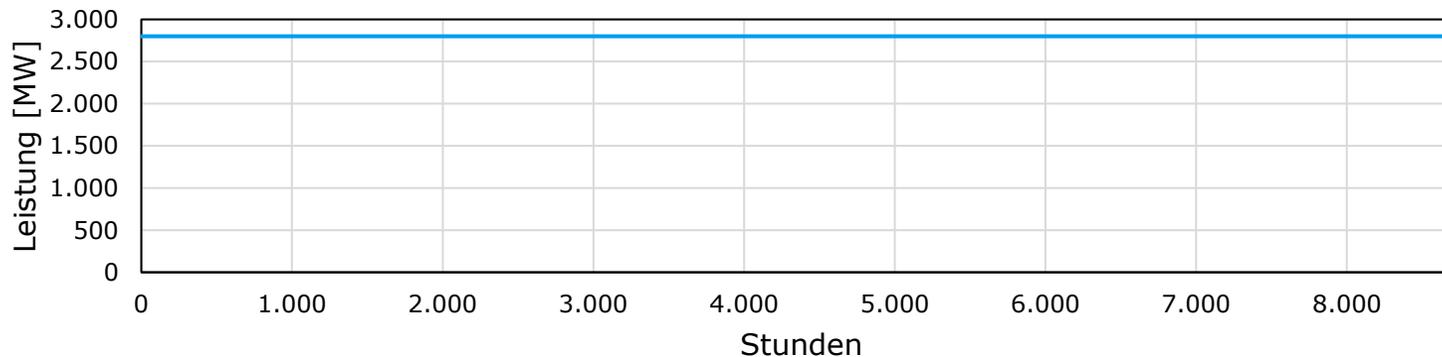
COP Coefficient of Performance



# Flusswasser – Rhein - Max. Potenzial Ergebnisse im Detail

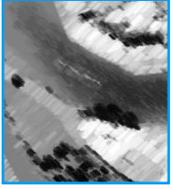


Thermische Leistung – Jahresdauerlinie [MW]



## Ergebnisse und Hinweise

- Wenn der Rhein beim niedrigsten Durchfluss des Jahres 2022 um 1K ausgekühlt wird, erreicht eine Wärmepumpe eine thermische Leistung von **2.800 MW**.
- Das Potenzial einer Flusswasser-Wärmepumpe in Wiesbaden ist damit praktisch unbegrenzt
- Der COP der Flusswasser-Wärmepumpe folgt der Flusswassertemperatur und bewegt sich im Bereich von 2,53 bis 3,82.
- Das maximale jährliche Wärmeerzeugungspotenzial bei 8.760 h/a beträgt ca. **24.500 GWh/a**



# Flusswasser – Rhein - 20 MW Modul

## Datengrundlage

| Randbedingungen                   |                                | Einheit           |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Temperatur Flusswasser            | Tagesmittelwerte 2022          | °C                |
| Volumenstrom Flusswasser          | Tagesmittelwerte 2022          | m <sup>3</sup> /s |
| Temperaturänderung Flusswasser    | 1,5 - 4,5                      | K                 |
| Minimale Temperatur WP-Austritt   | 2,0                            | °C                |
| Minimale Temperatur Flusswasser   | 3,5                            | °C                |
| Maximale Abkühlung gesamter Fluss | 1,0 (für den Rhein irrelevant) | K                 |

| Auslegungsdaten Wärmepumpe     |           | Einheit           |
|--------------------------------|-----------|-------------------|
| Volumenstrom Flusswasser       | 3.500     | m <sup>3</sup> /h |
| <b>Thermische Leistung</b>     | <b>20</b> | <b>MW</b>         |
| Temperaturänderung Flusswasser | 3,0       | K                 |
| Vor-/Rücklauftemperatur        | 95/50     | °C                |
| COP-Korrekturfaktor            | 0,5       |                   |

## Quellen

Deutsches  
Gewässer-  
kundliches  
Jahrbuch

Messstation 25100100:  
• Volumenströme (2022)

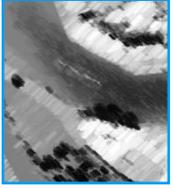
## Methodik

- Vernachlässigung von Schalttagen
- Entfernen unplausibler Messwerte
- COP-Berechnung nach Lorentz

## Abkürzungen

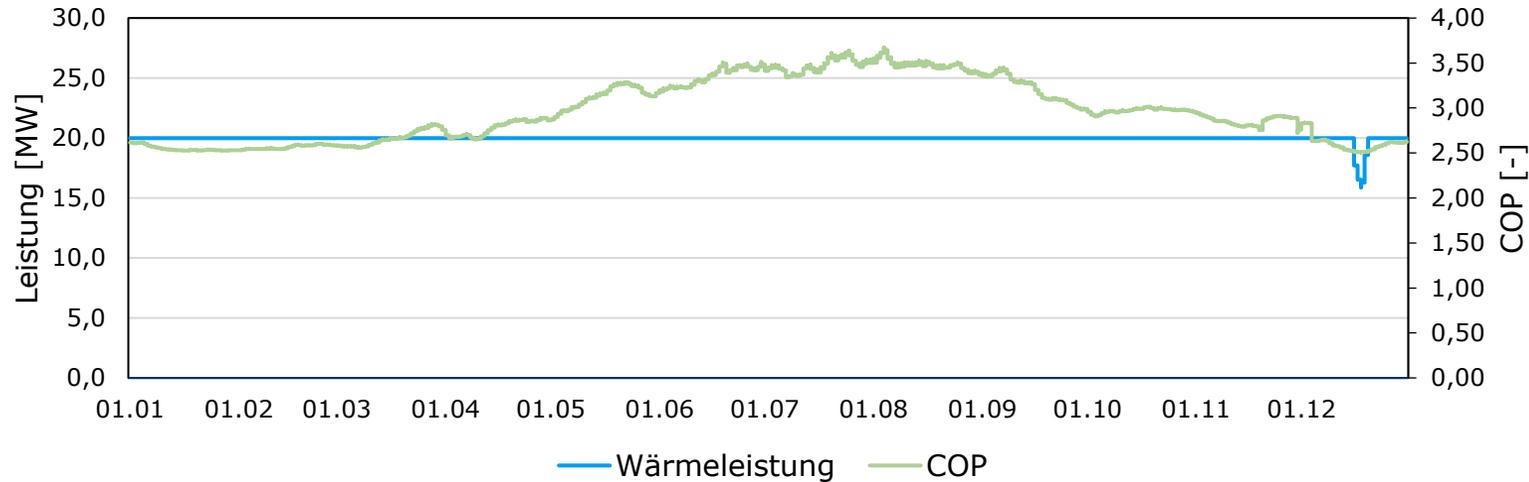
WP Wärmepumpe

COP Coefficient of Performance

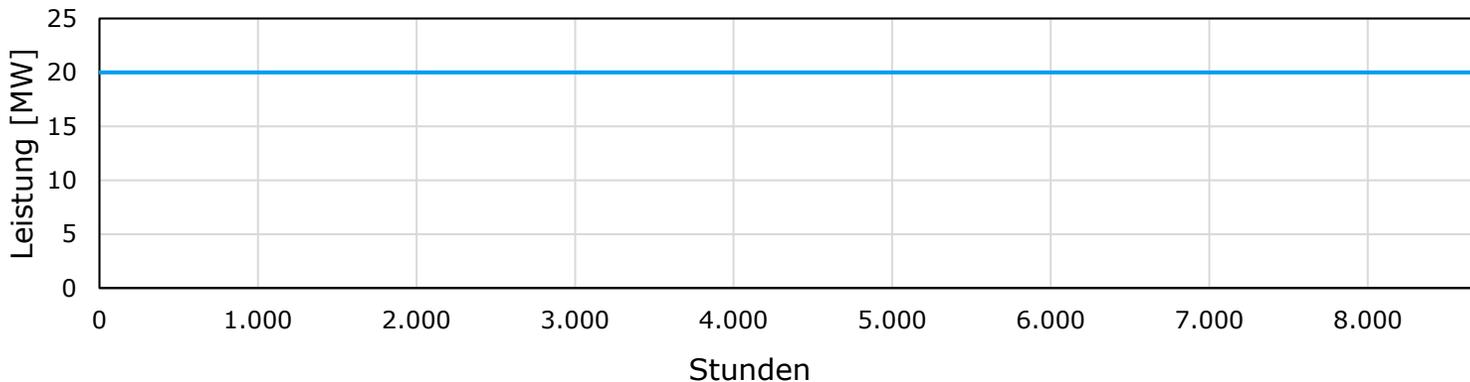


# Flusswasser – Rhein - 20 MW Modul

## Ergebnisse im Detail



Thermische Leistung – Jahresdauerlinie [MW]



## Ergebnisse und Hinweise

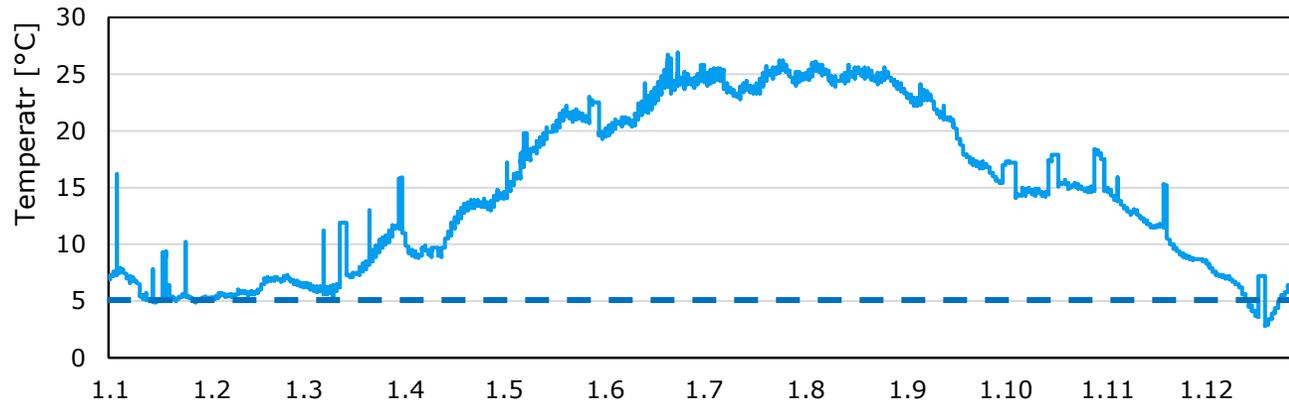
- Der COP der Flusswasser-Wärmepumpe folgt der Flusswassertemperatur und bewegt sich im Bereich von 2,51 bis 3,67.
- Die Wärmeübertrager der Wärmepumpe werden so ausgelegt, dass die Nennleistung der Wärmepumpe stets erreicht wird
- 20 MW entsprechen ungefähr einem Wärmepumpenmodul, je nach Bedarf können mehrere Module eingesetzt werden.
- Bei der Abschätzung der jährlichen Wärmeerzeugung wird ein Ausfall aufgrund von Wartung in Höhe 260h (3%) angenommen
- Ein **20 MW**-Wärmepumpenmodul erreicht **8487 Volllaststunden**, eine **JAZ** von **2,94** und eine jährliche Wärmeerzeugung von ca. **170 GWh**.



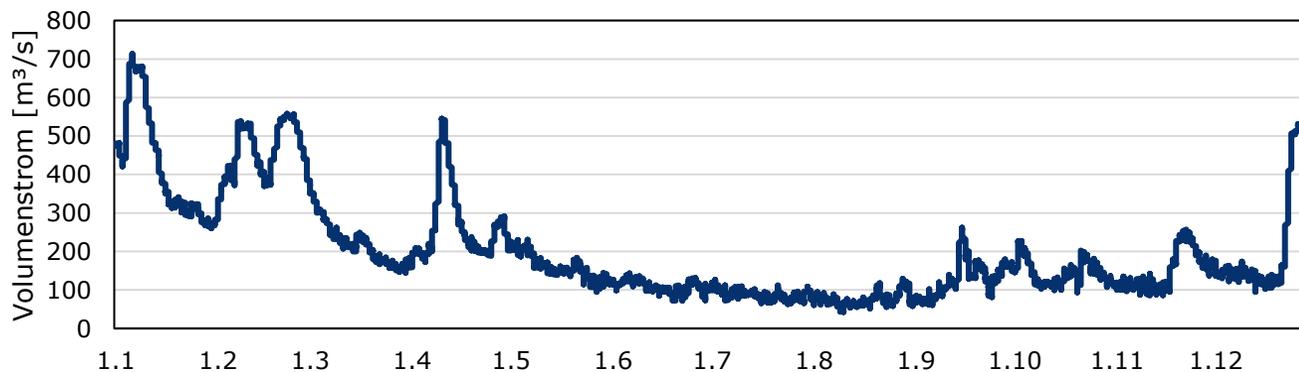
# Flusswasser - Main

## Datenanalyse

Temperatur Main [°C]



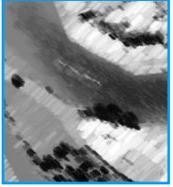
Durchfluss Main - Messstelle Raunheim [m³/s]



## Methodik und Hinweise

- Der Temperaturverlauf der Wärmequelle beeinflusst in erster Hinsicht den COP und die JAZ der Wärmepumpe
- Bei kalten Temperaturen (<5°C) ist eine Auskühlung der Quelle um 3K nicht mehr möglich.
- Bei Temperaturen zwischen 3,5°C und 5°C wird die Auskühlung der Quelle so begrenzt, dass bei Austritt eine Temperatur von 2°C sichergestellt werden kann
- Bei Temperaturen unter 3,5°C wird die Wärmepumpe nicht betrieben

- Die nächstgelegene Temperatur-Messstation liegt in Bischofsheim
- Die nächstgelegene Durchfluss-Messstation liegt in Raunheim
- Der niedrigste Durchfluss des Mains im Jahr 2022 betrug ca. 42m³/s.



# Flusswasser – Main – Max. Potenzial

## Datengrundlage

| Randbedingungen  |                       | Einheit           |
|--|-----------------------|-------------------|
| Temperatur Flusswasser                                       | Tagesmittelwerte 2022 | °C                |
| Volumenstrom Flusswasser                                     | Tagesmittelwerte 2022 | m <sup>3</sup> /s |
| Temperaturänderung Flusswasser                               | 1                     | K                 |
| Minimale Temperatur WP-Austritt                              | 2,0                   | °C                |
| Theoretisch nutzbare Wärmemenge (Auskühlung des Mains um 1K) | <b>7.416</b>          | <b>GWh/a</b>      |

| Auslegungsdaten Wärmepumpe     |            | Einheit           |
|--------------------------------|------------|-------------------|
| Volumenstrom Flusswasser       | 80         | m <sup>3</sup> /s |
| <b>Thermische Leistung</b>     | <b>400</b> | <b>MW</b>         |
| Temperaturänderung Flusswasser | 1,0        | K                 |
| Vor-/Rücklauftemperatur        | 95/50      | °C                |
| COP-Korrekturfaktor            | 0,5        |                   |

## Quellen

Deutsches  
Gewässer-  
kundliches  
Jahrbuch

Messstation HE01:

- Wassertemp. (2022)
- Messstation 249000108:
- Volumenströme (2022)

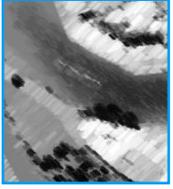
## Methodik

- Vernachlässigung von Schalttagen
- Entfernen unplausibler Messwerte
- COP-Berechnung nach Lorentz

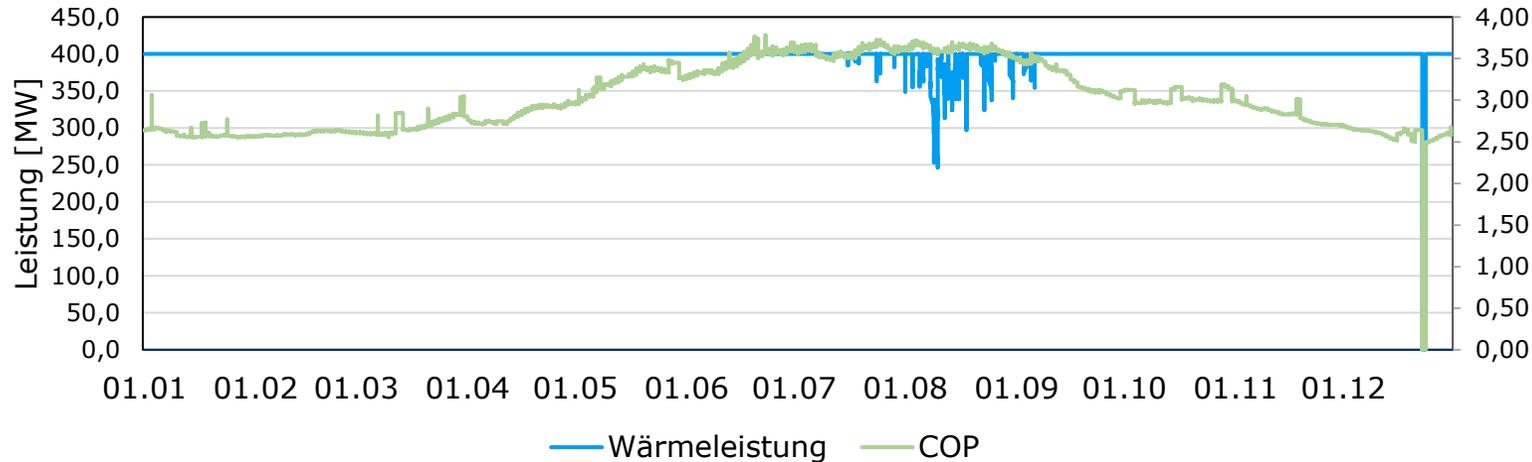
## Abkürzungen

WP Wärmepumpe

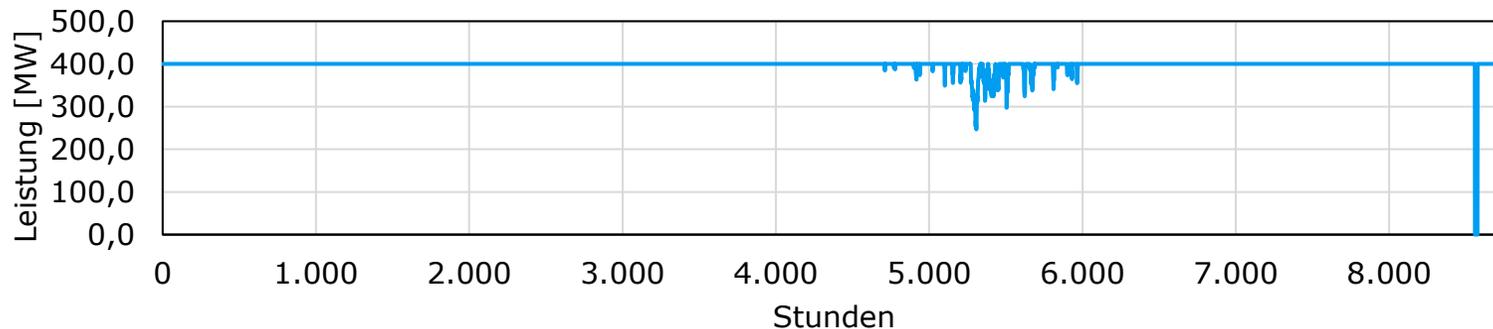
COP Coefficient of Performance



# Flusswasser – Main – Max. Potenzial Ergebnisse im Detail



Thermische Leistung - Jahresdauerlinie [MW]



## Ergebnisse und Hinweise

- Wenn eine Wärmepumpe so ausgelegt wird, dass der Main stets um 1K ausgekühlt wird, läge die Auslegungsleistung bei ca. **400 MW**.
- Das Potenzial einer Flusswasser-Wärmepumpe im Main ist in den Sommermonaten durch einen geringen Durchfluss begrenzt
- Der COP der Flusswasser-Wärmepumpe folgt der Flusswassertemperatur und bewegt sich im Bereich von 2,5 bis 3,78.
- Das maximale jährliche Wärmeerzeugungspotenzial bei 8.710 h/a beträgt ca. **3.483 GWh/a**

The logo for Ramboll, featuring the word "RAMBOLL" in a bold, white, sans-serif font. The letter "O" is stylized with a blue checkmark-like shape inside it. The logo is set against a white rounded rectangular background.

RAMBOLL

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Wärme aus Stillgewässer



# Wärme aus Stillgewässern Technologie

## Funktionsprinzip:

- Wasser wird aus Seen entnommen, abgekühlt und wiedereingeleitet
- Wärmetauscher entzieht dem Wasser Wärme
- Die aufgenommene Wärme wird als Wärmequelle für eine Wärmepumpe genutzt, die die Wärme auf das gewünschte Temperaturniveau anhebt

---

+

-

- 
- **Quelltemperatur:** Im Winter kann je nach Größe des Gewässers eine höhere Quelltemperatur vorliegen als bei Luftwärmepumpen.
  - **Geringer Platzbedarf:** Der Platzbedarf ist geringer verglichen mit Luftwärmepumpen.

- **Entnahmeleistung:** Die Entnahmeleistung der Wärmepumpe ist begrenzt durch die Durchmischung des Wassers im See. Ist die Entnahmeleistung zu hoch und die Entnahme- und Wiedereinleitung zu nah aneinander, kann es zu einem thermischen Kurzschluss kommen
- **Lokale Vereisung:** Bei kalten Temperaturen ( $< 2,5^{\circ}\text{C} - 3,5^{\circ}\text{C}$ ) ist ein Betrieb nicht möglich, ohne dass durch die Abkühlung ein Risiko einer lokalen Vereisung besteht



# Wärme aus Stillgewässer

## Standortsuche & Methodik



### Hinweise & Fazit

- Im Untersuchungsgebiet befinden sich keine Stillgewässer, in denen eine thermische Nutzung des Seewassers sinnvoll wäre
- Im Südosten des Stadtgebiets befindet sich ein kleiner See mit einer Fläche von ca. 4 Hektar
- Dieser See hat nur eine geringe Tiefe, zudem ist in der direkten Nähe kein Wärmebedarf vorhanden



Es ist kein Potenzial für Wärme aus Stillgewässer vorhanden



**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Wärme aus Trinkwasser



# Wärme aus Trinkwasser Technologie

## Funktionsprinzip:

- Nutzt die Temperaturdifferenz im Trinkwasser (typisch 8–12 °C) zur Wärmerückgewinnung über Wärmetauscher.
- Entzieht dem Wasser vor der Verteilung Wärme, z. B. in Trinkwasserhochbehältern oder Verteilleitungen.
- Einsatz ist sehr limitiert und vor allem im Forschungs- oder Pilotstadium, jedoch in speziellen Fällen denkbar.

---

+

-

- 
- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Hohe Versorgungssicherheit:</b> Trinkwassernetze sind flächendeckend vorhanden und temperaturstabil.</li><li>• <b>Konstantes Temperaturniveau:</b> Insbesondere bei tiefen Leitungen oder in Hochbehältern.</li><li>• <b>Möglichkeit zur Doppelnutzung:</b> In Sonderfällen kombinierbar mit Kühlung und Wärmenutzung.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Strenge Vorschriften:</b> Die Nutzung von Trinkwasser als Wärmequelle ist aufgrund der derzeit geltenden Trinkwasserschutzverordnung nicht genehmigungsfähig</li><li>• <b>Sehr begrenztes Potenzial:</b> Nur bei ausreichender Nähe zu Verbrauchern und großem Volumen sinnvoll.</li><li>• <b>Technisch und politisch umstritten:</b> Nutzung ist in der Regel nicht vorgesehen und wird meist abgelehnt.</li></ul> |
|---|--|
-



# Trinkwasser

## Hintergrund & Gesetzeslage

### Aus der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) §13:

(5)

Bei dem Betrieb von Wasserversorgungsanlagen dürfen, wenn sie in Kontakt mit dem Rohwasser oder Trinkwasser kommen, nur solche Stoffe oder Gegenstände verwendet und nur solche physikalische, chemische oder biologische Verfahren angewendet werden, die dazu bestimmt sind, der Trinkwasserversorgung zu dienen [...]

### Hinweise des Umweltbundesamts (UBA) zu §13 der TrinkwV:

[...]

Nicht genehmigungsfähig sind energetische Nutzungen abseits der Haupt- und Nebenprozesse des Betriebs einer zentralen Wasserversorgungsanlage oder zugunsten Dritter. Da hierzu eine unüberschaubare Vielfalt theoretischer Möglichkeiten besteht, sollen Abgrenzungsprobleme und Präzedenzfälle durch die Bedingungen in § 13 Absätze 5 und 6 TrinkwV von vornherein vermieden werden. Hierunter fallen z. B. die Temperierung nicht direkt zur zentralen Wasserversorgungsanlage gehöriger Verwaltungsgebäude oder die sonstige Vermarktung des Wärmepotentials von Roh- oder Trinkwasser. Das gilt auch dann, wenn der Betreiber der zentralen Wasserversorgungsanlage dieselbe juristische Person ist, die z. B. ein Schwimmbad betreibt.

[...]



- Die Wärmegewinnung aus Trinkwasser ist derzeit nicht genehmigungsfähig
- Das theoretische Potenzial der Wärmegewinnung aus Trinkwasser wird zur Einschätzung an zwei möglichen Standorten abgeschätzt

## Methodik und Hinweise

TrinkwV  
Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung) § 13 Planung, Errichtung, Instandhaltung und Betrieb von Wasserversorgungsanlagen

UBA  
Empfehlung des Umweltbundesamts Hinweise zur Erteilung von Ausnahmegenehmigungen vom Einbringungsverbot gem. § 13 Absatz 5 TrinkwV

# Trinkwasser

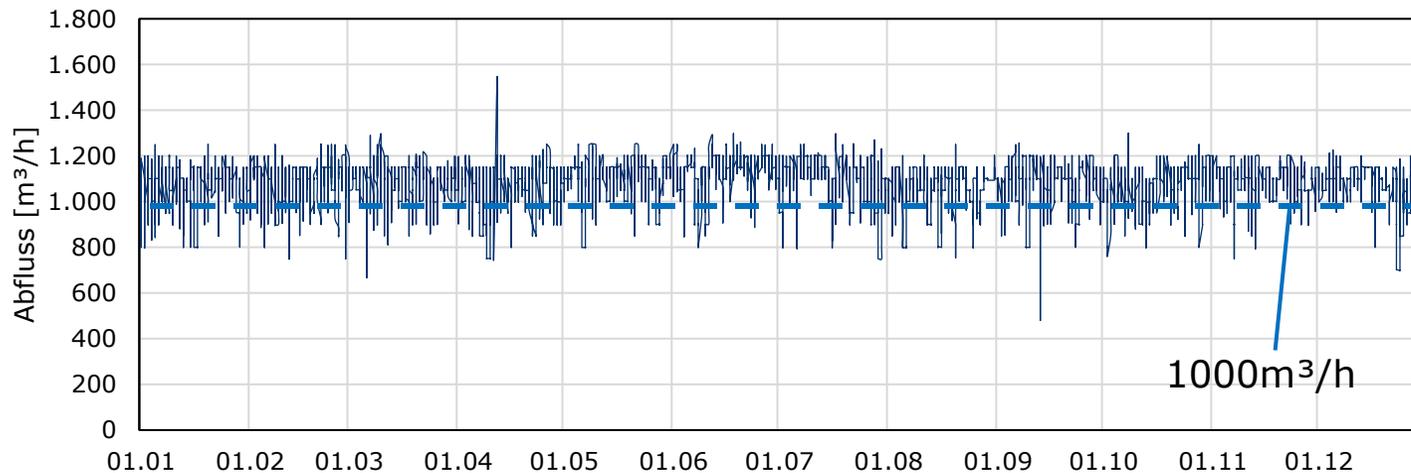
Haupttrinkwasserleitung Hainerberg



# Haupttrinkwasserleitung Hainerberg

## Datenanalyse

Abfluss Haupttrinkwasserleitung Hainerberg [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]



## Methodik und Hinweise

- Die Temperaturen des Trinkwasser-Abflusses liegen nicht stündlich aufgelöst vor.
- Folgende Werte sind bekannt
  - Min. Temperatur:  $10,7^\circ\text{C}$
  - Max. Temperatur:  $15,5^\circ\text{C}$
  - Mittl. Temperatur:  $12,6^\circ\text{C}$
- Für die Potentialabschätzung wird eine konstante Temperatur von  **$10,7^\circ\text{C}$**  angenommen
- Die Varianz des Volumenstroms ist deutlich geringer als beim Trinkwasserbehälter Losern
- Für die Trinkwasserwärmepumpe wird eine Teillastfähigkeit von 50% angenommen



# Haupttrinkwasserleitung Hainerberg

## Datengrundlage

| Randbedingungen   |                            | Einheit           |
|---|----------------------------|-------------------|
| Temperatur Trinkwasser  | Nur einzelne Messungen     | °C                |
| Volumenstrom Trinkwasser  | Stündlich aufgelöst (2023) | m <sup>3</sup> /h |
| Temperaturänderung Trinkwasser  | 5,5                        | K                 |
| Minimale Temperatur Trinkwasser Austritt                                  | 5                          | °C                |
| Theoretisch nutzbare Wärmemenge<br>(Auskühlung des Volumenstroms auf 5°C) | <b>63,1</b>                | <b>GWh/a</b>      |

| Auslegungsdaten Wärmepumpe     |           | Einheit           |
|--------------------------------|-----------|-------------------|
| Volumenstrom Trinkwasser       | 1000      | m <sup>3</sup> /h |
| <b>Thermische Leistung</b>     | <b>10</b> | <b>MW</b>         |
| Temperaturänderung Trinkwasser | 5,5       | K                 |
| Vor-/Rücklauftemperatur        | 95/50     | °C                |
| COP-Korrekturfaktor            | 0,5       |                   |

## Quellen

ESWE

- Volumenströme (2023)
- Temperaturen (2023)

## Methodik

- Vernachlässigung von Schalttagen
- COP-Berechnung nach Lorentz

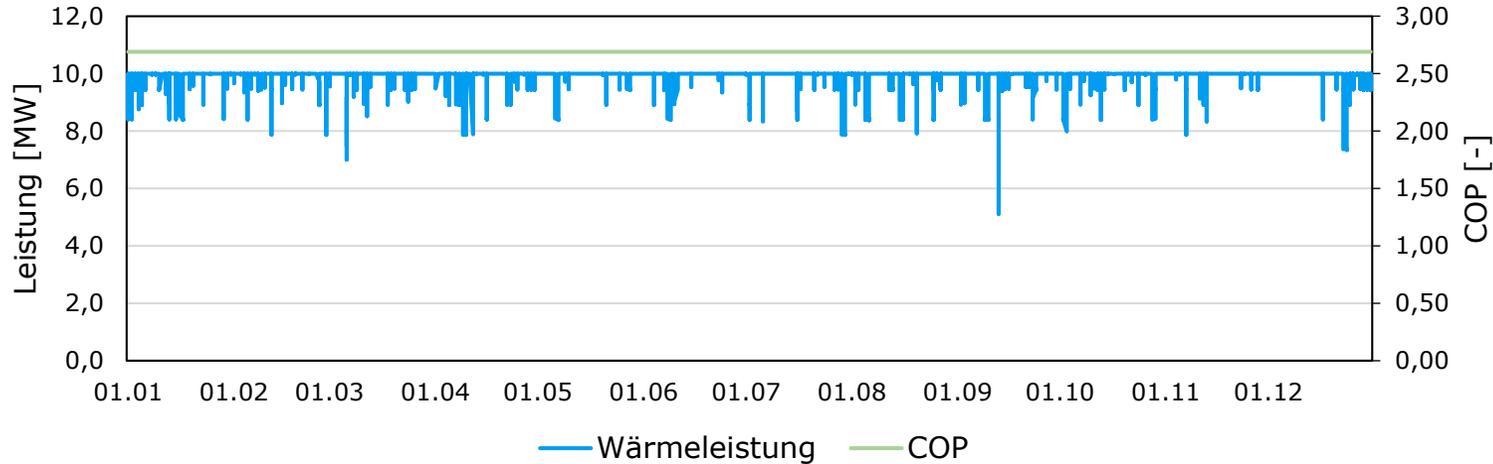
## Abkürzungen

COP    Coefficient of Performance

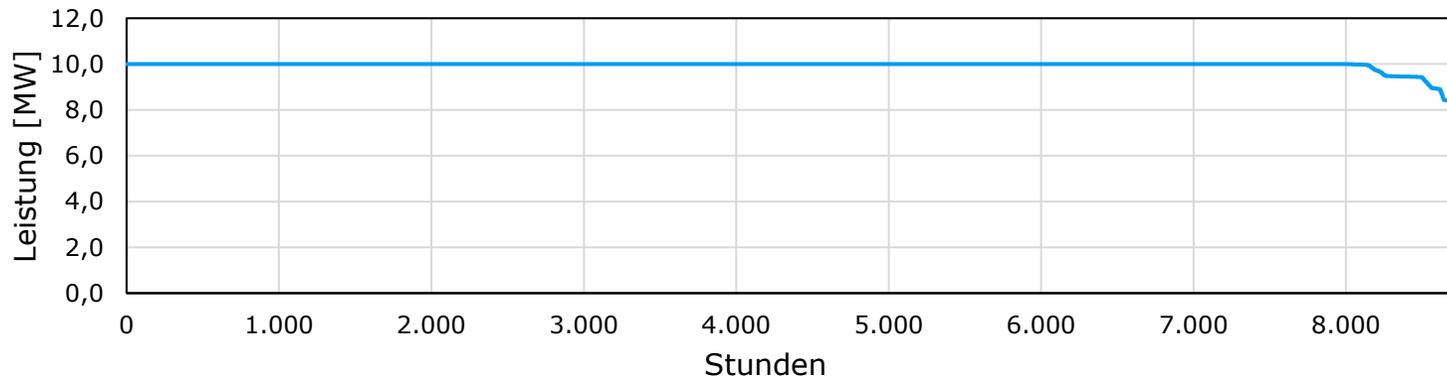


# Haupttrinkwasserleitung Hainerberg

## Ergebnisse im Detail



Thermische Leistung – Jahresdauerlinie [MW]



## Ergebnisse und Hinweise

- Da mangels stündlich aufgelöster Daten eine konstante Temperatur des Trinkwassers angenommen wird, ist der COP konstant bei 2,73.
- Bei der Abschätzung der jährlichen Wärmeerzeugung wird ein Ausfall aufgrund von Wartung in Höhe 260h (3%) angenommen (ist nicht in der Jahresdauerlinie abgebildet)
- Eine Trinkwasserwärmepumpe an der Haupttrinkwasserleitung Hainerberg erreicht ca. **8448 Volllaststunden**, eine **JAZ von 2,69** und eine jährliche Wärmeerzeugung von **84 GWh**.

# Trinkwasser

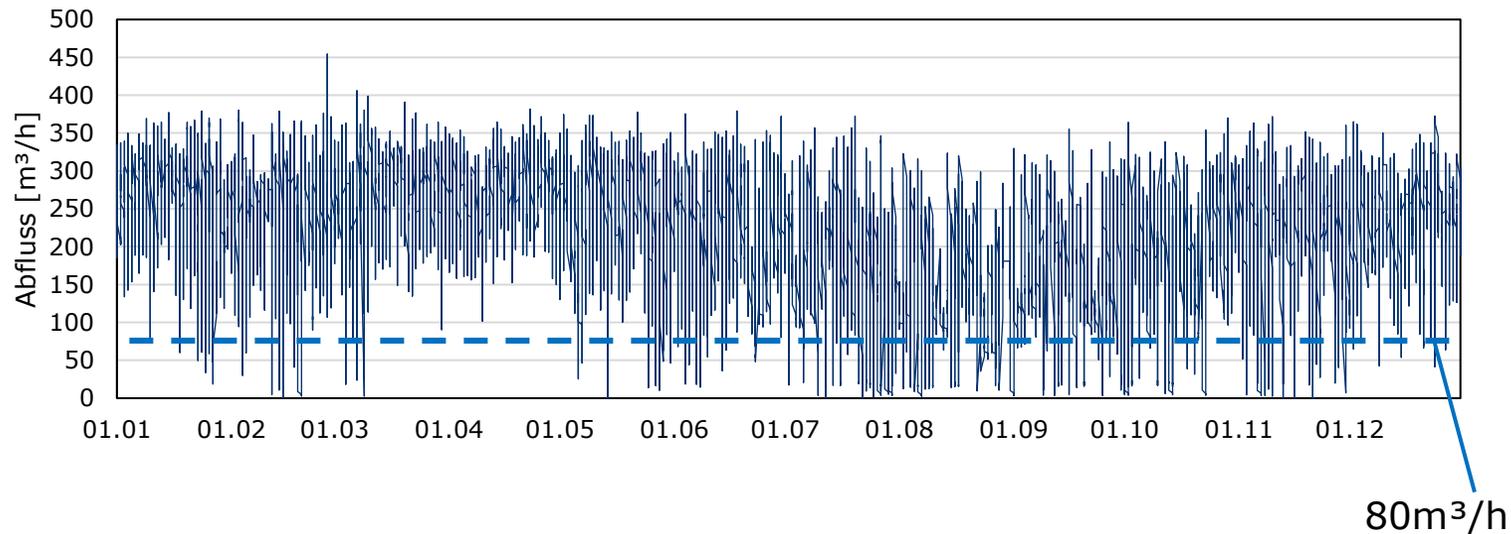
Behälter Losern



# Trinkwasser – Behälter Losern

## Datenanalyse

Abfluss Wasserbehälter Losern [m<sup>3</sup>/h]



## Methodik und Hinweise

- Die Temperaturen des Trinkwasser-Abflusses liegen nicht stündlich aufgelöst vor.
- Folgende Werte sind bekannt
  - Min. Temperatur: 10,8°C
  - Max. Temperatur: 15,7°C
  - Mittl. Temperatur: 12,8°C
- Für die Potentialabschätzung wird eine konstante Temperatur von **10,8°C** angenommen
- Der Volumenstrom des Trinkwasserabflusses ist unständig
- Für die Trinkwasserwärmepumpe wird eine Teillastfähigkeit von 50% angenommen



# Trinkwasser – Behälter Losern

## Datengrundlage

| Randbedingungen  |                            | Einheit           |
|--|----------------------------|-------------------|
| Temperatur Trinkwasser   | Nur einzelne Messungen     | °C                |
| Volumenstrom Trinkwasser   | Stündlich aufgelöst (2021) | m <sup>3</sup> /h |
| Temperaturänderung Trinkwasser   | <b>5,5</b>                 | K                 |
| Minimale Temperatur Trinkwasser Austritt                               | 5                          | °C                |
| Theoretisch nutzbare Wärmemenge (Auskühlung des Volumenstroms auf 5°C) | <b>13,2</b>                | <b>GWh/a</b>      |

| Auslegungsdaten Wärmepumpe     |            | Einheit           |
|--------------------------------|------------|-------------------|
| Volumenstrom Trinkwasser       | 80         | m <sup>3</sup> /h |
| <b>Thermische Leistung</b>     | <b>0,8</b> | <b>MW</b>         |
| Temperaturänderung Trinkwasser | <b>5,0</b> | K                 |
| Vor-/Rücklauftemperatur        | 95/50      | °C                |
| COP-Korrekturfaktor            | 0,5        |                   |

## Quellen

ESWE

- Volumenströme (2021)
- Temperaturen (2021)

## Methodik

- Vernachlässigung von Schalttagen
- COP-Berechnung nach Lorentz

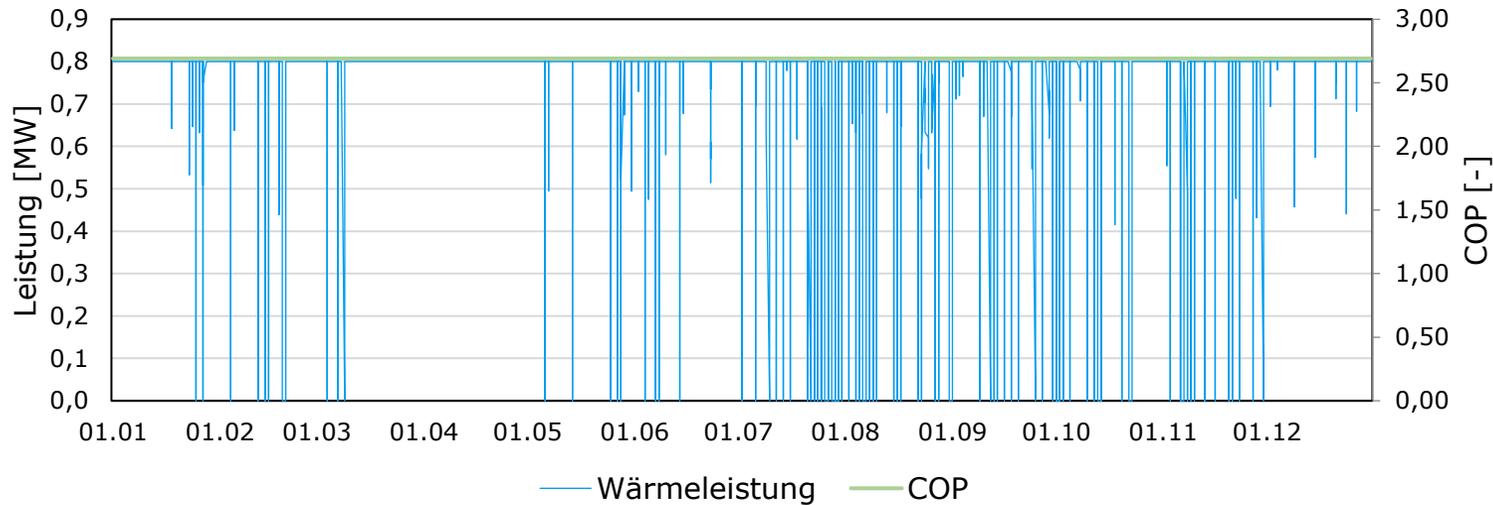
## Abkürzungen

COP    Coefficient of Performance

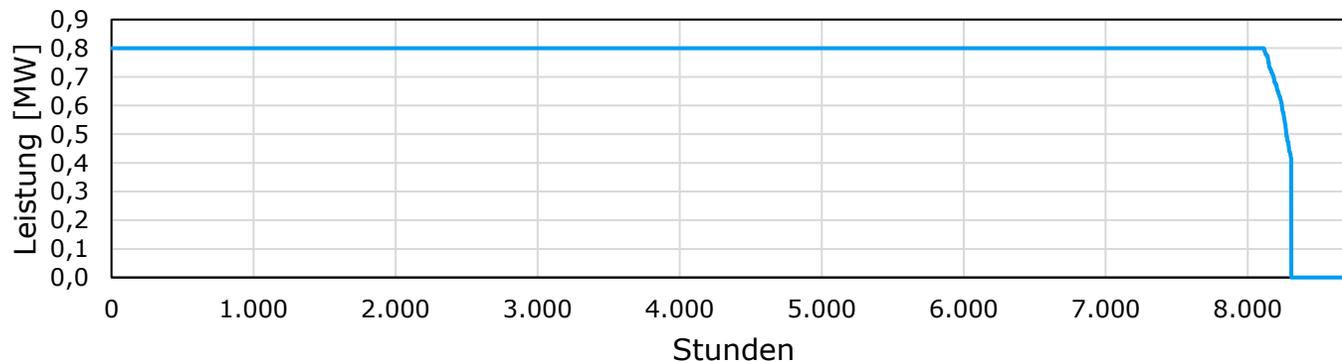


# Trinkwasser – Behälter Losern

## Ergebnisse im Detail



Thermische Leistung – Jahresdauerlinie [MW]



## Ergebnisse und Hinweise

- Da mangels stündlich aufgelöster Daten eine konstante Temperatur des Trinkwassers angenommen wird, ist der COP konstant bei 2,69.
- Bei der Abschätzung der jährlichen Wärmezeugung wird ein Ausfall aufgrund von Wartung in Höhe 260h (3%) angenommen (ist nicht in der Jahresdauerlinie abgebildet)
- Eine Trinkwasserwärmepumpe am Behälter Losern erreicht ca. **8006 Volllaststunden**, eine **JAZ von 2,69** und eine jährliche Wärmezeugung von **6,41 GWh**.



**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Wärme aus Abwasser



# Wärme aus Abwasser Technologie

## Funktionsprinzip:

- Nutzt die thermische Energie im Abwasser, das durch städtische Kanäle fließt.
- Abwasser wird entweder direkt im Kanal über Wärmeübertrager abgekühlt oder über einen Bypass entnommen, abgekühlt und wieder eingeleitet.
- Besonders geeignet in dicht besiedelten Gebieten mit konstantem Abwasseraufkommen.
- Häufige Anwendung z. B. bei großen Gebäuden, Quartieren oder in der Nähe von Hauptsammlern/Pumpstationen.

+

-

- **Konstante Temperaturquelle:** Abwasser hat ganzjährig Temperaturen zwischen 10–20 °C.
- **Hohe Effizienz:** Günstige Ausgangstemperaturen ermöglichen wirtschaftlichen Wärmepumpenbetrieb.
- **Gute städtische Verfügbarkeit:** Abwasserkanäle durchziehen fast alle urbanen Gebiete.
- **Nutzung bestehender Infrastruktur:** Wärmequelle ist bereits vorhanden.

- **Technische Anforderungen an Wärmetauscher:** Kanalwärmetauscher müssen robust, wartungsarm und reinigungsfähig sein.
- **Platzbedarf:** Wärmepumpen und Technikräume benötigen Raum in der Nähe des Abwasserkanals.
- **Abstimmungsbedarf:** Enge Zusammenarbeit mit dem Abwasserbetrieb erforderlich (Standicherheit, Hydraulik).
- **Begrenzte Skalierbarkeit:** Potenzial hängt stark von Abwassermenge, -temperatur und Nähe zum Wärmebedarf ab.



# Wärme aus Abwasser

## Standortsuche & Methodik

### Standortsuche:

- Um geeignete Standorte für die Nutzung von Wärme aus Abwasser zu finden, sollten folgende Kriterien beachtet werden:
  - Rohrdurchmesser  $\geq$  DN800
  - Nähe zum Fernwärmenetz
  - Möglichst hoher Trockenwetterabfluss
  - Möglichst große Entfernung zum Klärwerk, um eine Temperaturabsenkung beim Klärwerk zu vermeiden. Durch das Zusammenführen mit anderen Teilsträngen und durch Temperaturregeneration im Boden kann eine größere Auskühlung am Ort der Abwasser-Wärmepumpe erreicht werden
- Ein Gesamtpotenzial kann nicht angegeben werden, da eine mögliche Temperaturregeneration im Boden nicht abgeschätzt werden kann und eine maximale Nutzung der Wärme aus Abwasser das Potenzial der Wärme aus Klarwasser beeinträchtigt
- Stattdessen werden beispielhafte Abschätzungen an geeigneten Standorten vorgestellt, an denen entweder ein größerer Abstand zum Klärwerk besteht oder an denen eine sinnvolle Nutzung der Wärme im Klärwerk nicht besteht.

### Mögliche Standorte:





# Wärme aus Abwasser

## Standortsuche & Methodik

### Methodik:

- Standort A befindet sich in der Innenstadt in direkter Nähe zum Bestandsnetz. Es liegt ein Trockenwetterabfluss von über 150 l/s vor.
  - Das Abwasser fließt von dort weiter in Richtung Hauptklärwerk. Dort liegt ein minimaler Durchfluss von ca. 500 l/s vor.
  - Damit eine maximale Auskühlung von 0,5 K am Klärwerkseintritt vorliegt, wird am Standort A eine Auskühlung von 2 K angesetzt (berechnet über Verhältnis der Volumenstrom und unter Berücksichtigung einer Temperaturregeneration)
- Standort B liegt an einer eventuellen Fernwärmeausbautrasse in Richtung Biebrich. Da das Klärwerk Biebrich auf der anderen Seite des Schloßparks liegt und eine Querung schwierig sein könnte, könnte es sinnvoll sein, an Standort B Wärme aus Abwasser zu nutzen.
  - Es liegt ein Durchfluss von 40 – 60 l/s vor.
  - Da am Klärwerk Biebrich ein minimaler Durchfluss von 200 l/s vorliegt, wird eine Auskühlung in Höhe von 2 K angesetzt.

### Mögliche Standorte:





# Wärme aus Abwasser

## Methodik & Berechnung

| Randbedingungen                | A              | B                 | Einheit |
|--------------------------------|----------------|-------------------|---------|
| Trockenwetterdurchfluss        | 150            | 60                | l/s     |
| Abfluss zum...                 | Hauptklärwerk  | Klärwerk Biebrich | -       |
| Min. Volumenstrom Klärwerk     | ~400           | ~200              | l/s     |
| Temperaturabsenkung            | 2              |                   | K       |
| Abwassertemperatur             | 12 (Schätzung) |                   | °C      |
| COP-Korrekturfaktor (Gütegrad) | 0,5            |                   | -       |
| Volllaststunden*               | 8500           |                   | h/a     |

| Ergebnis   | A     | B    | Einheit |
|--|-------|------|---------|
| Leistung (Abwärme Abwasser)  | 1,26  | 0,50 | MW      |
| Wärmemenge (Abwärme Abwasser)  | 10,71 | 4,28 | GWh/a   |
| <b>Nutzung in einem Wärmenetz über eine Wärmepumpe (exemplarisch):</b> |       |      |         |
| Vor-/Rücklauftemperatur (exemplarisch)                                 | 95/50 |      | °C      |
| COP  | 2,83  | 2,83 | -       |
| Wärmeleistung WP   | 1,95  | 0,78 | MW      |
| Wärmemenge (jährlich)  | 16,57 | 6,63 | GWh/a   |

## Quellen

- |      |   |
|------|---|
| ESWE | <ul style="list-style-type: none"> <li>Durchmesser Abwasserkanäle</li> <li>Trockenwetterabflüsse</li> </ul> |
|------|---|

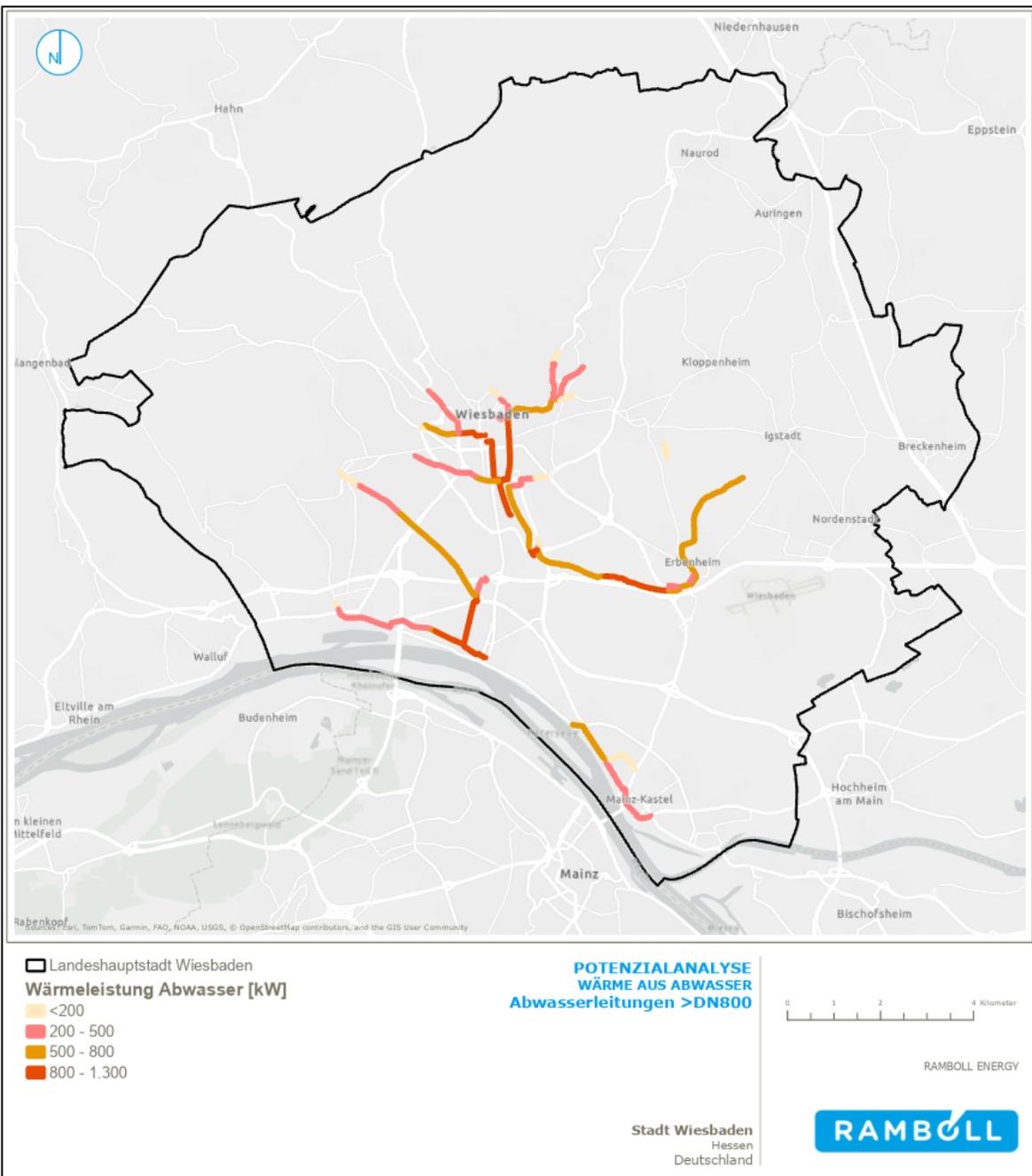
- |  |   |
|--|---|
| VKU/DWA - Abwasserwärme effizient nutzen | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mögliche Auskühlung am Klärwerk</li> </ul> |
|--|---|

## Methodik

- COP-Berechnung nach Lorentz
- \*Berücksichtigung von Wartung (3% oder 260 h/a)

## Abkürzungen

- |     |                            |
|-----|----------------------------|
| COP | Coefficient of Performance |
| WP  | Wärmepumpe                 |



# Wärme aus Abwasser



Ergebnisse (kartographisch)

## Methodik

- Für die Bestimmung der Wärmeleistung des Abwassers wurden die gleichen Randbedingungen angesetzt, die auf der vorherigen Folie vorgestellt worden sind
- Als Durchflussmenge wurde der maximale Trockenwetterdurchfluss der Rohre mit einem Durchmesser >DN800 verwendet



Das vorhandene Wärmepotenzial im Abwassernetz ist nicht überall gleichzeitig nutzbar, da thermische Wechselwirkungen zwischen den Entnahmestellen auftreten würden

# Wärme aus Thermalwasser

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

Quelle: pa/Helga Lade Fotoagentur GmbH, Ger/E.Bergmann





# Wärme aus Thermalwasser Technologie

## Funktionsprinzip:

- Förderung des Thermalwassers aus tiefen geologischen Schichten
- Wärmetauscher entzieht dem Thermalwasser Wärme
- Wärme wird mit einer Wärmepumpe auf das benötigte Temperaturniveau erhöht
- Abgekühltes Thermalwasser wird wieder in die Erde zurückgeleitet

---

+

-

- 
- **Temperaturniveau:** Thermalwasser besitzt, abhängig vom Standort, ein sehr hohes Temperaturniveau (Wiesbaden 50 °C – 65 °C)
  - **Grundlastfähig:** Liefert konstant Wärme, unabhängig von Wetter und Tageszeit
  - **Geringer Flächenbedarf:** Wärme aus Thermalwasser benötigt nur wenig Flächen, verglichen mit anderen EE
  - **Technische Anforderungen:** Thermalwasser enthält viele Mineralien und ist sehr salzhaltig, was die technischen Anforderungen und Kosten für Wärmeübertrager und Rohrleitungen erhöht
  - **Hohe Investitionen:** Bohrung, Wärmetauscher und Pumptechnik sind kostintensiv
-



# Thermalwasser Datengrundlage

| Randbedingungen  | Quelle       |            |                        |                      | Einheit           |
|--|--------------|------------|------------------------|----------------------|-------------------|
|  | Kochbrunnen  | Salmquelle | Schützenhof-<br>quelle | Große<br>Adlerquelle |                   |
| Volumenstrom   | 250.000      | 100.000    | 50.000                 | 150.000              | m <sup>3</sup> /a |
| Temperatur   | 65           | 64         | 50                     | 65                   | °C                |
| Volumenstrom (Summe)   | 550.000      |            |                        |                      | m <sup>3</sup> /a |
| Temperatur (Gewichtet)   | 63,5         |            |                        |                      | °C                |
| Temperatur n. Auskühlung   | 40           |            |                        |                      | °C                |
| Ergebnis   |              |            |                        |                      | Einheit           |
| Leistung (Abwärme)   | <b>1,7</b>   |            |                        |                      | MW                |
| Wärmemenge (Abwärme)   | <b>14,99</b> |            |                        |                      | GWh/a             |
| <b>Nutzung in einem Wärmenetz über eine Wärmepumpe (exemplarisch):</b> |              |            |                        |                      |                   |
| Vor-/Rücklauftemperatur  | 95/50        |            |                        |                      | °C                |
| Gütegrad   | 0,5          |            |                        |                      | -                 |
| COP  | 8,45         |            |                        |                      | -                 |
| <b>Thermische Leistung WP</b>  | <b>1,9</b>   |            |                        |                      | <b>MW</b>         |
| <b>Wärmemenge</b>  | <b>17,0</b>  |            |                        |                      | <b>GWh/a</b>      |

## Quellen

ESWE

- Jährl. Volumenstrom
- Temperaturen (konst.)

## Methodik

- COP-Berechnung nach Lorentz
- Annahme: Volumenstrom im Jahr konstant
- Berücksichtigung von Wartung (3% oder 260 h/a)

## Abkürzungen

COP    Coefficient of Performance  
WP    Wärmepumpe



**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Wärme aus Grundwasser



# Wärme aus Grundwasser Technologie

## Funktionsprinzip:

- Über einen Saugbrunnen wird Grundwasser aus dem Boden entnommen, abgekühlt und über einen Schluckbrunnen wieder eingeleitet
- Die aufgenommene Wärme wird als Wärmequelle für eine Wärmepumpe genutzt, die die Wärme auf das gewünschte Temperaturniveau anhebt

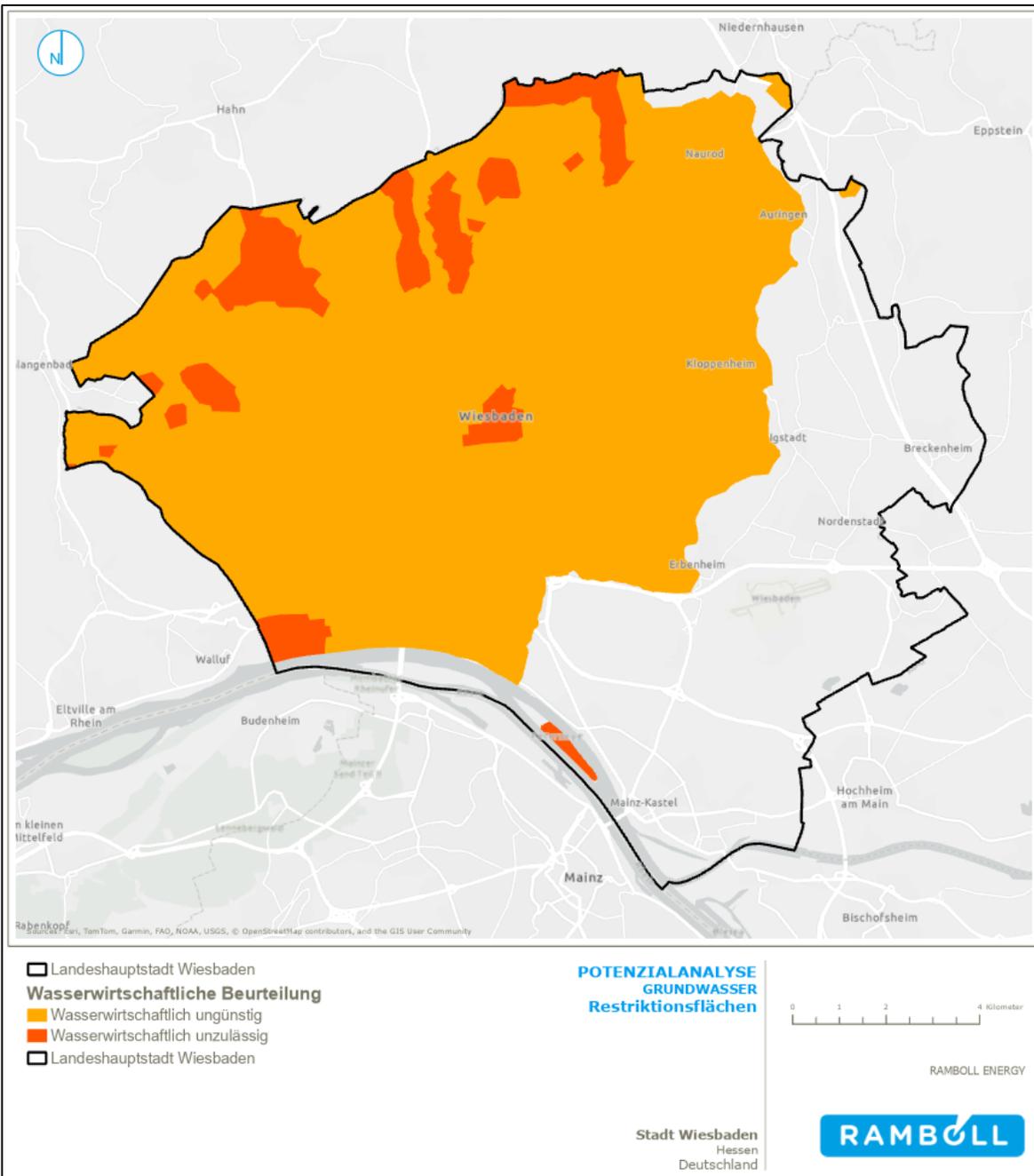
---

+

-

- 
- **Konstante Temperaturen:** Die Temperatur des Grundwassers schwankt im Jahr nur leicht (je nach Standort) und liegt im Bereich von 10 - 15°C
  - **Niedrige Betriebskosten:** Nach der Erschließung sind die laufenden Betriebskosten gering

- **Erschließungskosten:** Für Saug- und Schluckbrunnen sind hohe Investitionen nötig
- **Geologische Charakteristik:** Die Ergiebigkeit des Bodens beeinflusst die mögliche Wasserentnahme und somit die mögliche Wärmeleistung
- **Restriktionen:** In Wasserschutzgebieten ist die Entnahme von Grundwasser zur Wärmeerzeugung nicht oder nur unter erhöhten Sicherheitsanforderungen möglich



# Grundwasser

## Restriktionsflächen



## Quellen

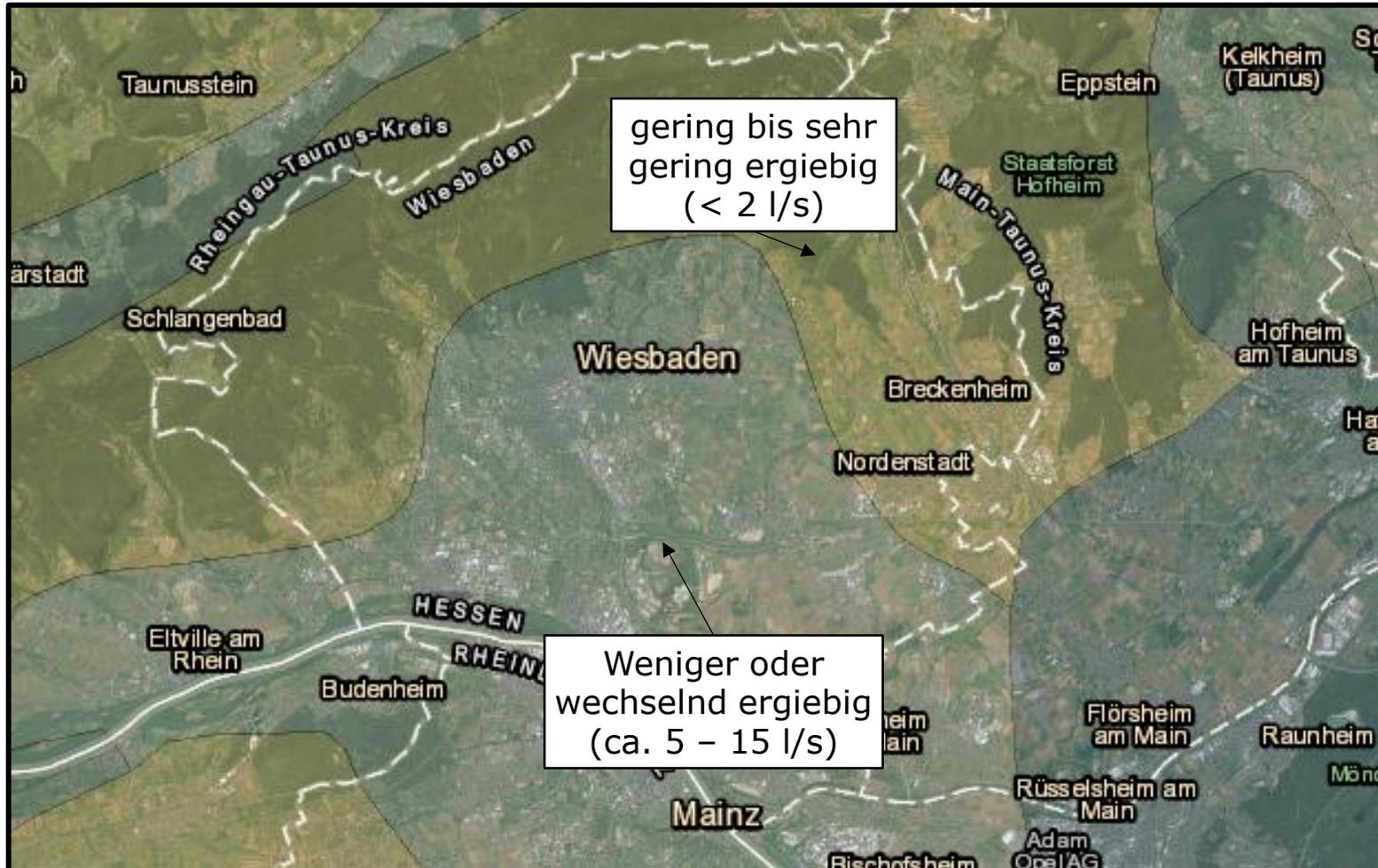
- HLNUG - Geoviewer

## Methodik und Hinweise

- Bei der Nutzung von Grundwasser müssen Trinkwasser- sowie Heilquellenschutzgebiete berücksichtigt werden
- Es gibt keine Genehmigungsfähigkeit für Grundwassernutzungen in den Trinkwasserschutzgebieten 1 und 2 sowie den qualitativen Heilquellenschutzgebieten 1, 2, 3 sowie den quantitativen Schutzgebieten A
- Wasserwirtschaftlich ungünstig sind alle weiteren Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebiete



# Grundwasser Potentialabschätzung



## Quellen

Geoportal BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

## Methodik und Hinweise

- Das Geoportal des BGR liefert eine grobe Abschätzung zu den Ergiebigkeiten des Untergrunds
- Das Potenzial für die Grundwassernutzung in Wiesbaden kann allgemein als niedrig eingeschätzt werden



# Grundwasser Potentialabschätzung

| Randbedingungen                                   |           |    | Einheit |
|---|-----------|----|---------|
| Entnahme Einzelbrunnen <sup>(1)</sup>             | Bis zu 15 | 2  | l/s     |
| Temp. Grundwasser <sup>(2)</sup>                  | 10        | 10 | °C      |
| Temp. Grundwasser Wiedereinleitung <sup>(3)</sup> | 5         | 5  | °C      |

| Ergebnis   | Wert        |             | Einheit |
|--|-------------|-------------|---------|
| Leistung (Umweltwärme)   | <b>0,31</b> | <b>0,04</b> | MW      |
| Wärmemenge (Umweltwärme)   | <b>2,66</b> | <b>0,36</b> | GWh/a   |
| <b>Nutzung in einem Wärmenetz über eine Wärmepumpe (exemplarisch):</b> |             |             |         |
| Vor-/Rücklauftemperatur  | 95/50       | 95/50       | °C      |
| Gütegrad   | 0,5         | 0,5         | -       |
| COP  | 2,68        | 2,68        | -       |
| Thermische Leistung (pro Brunnen)                                      | <b>0,5</b>  | <b>0,07</b> | MW      |
| Vollbenutzungsstunden  | 8500        | 8500        | h/a     |
| Jährliche Energiemenge (pro Brunnen)                                   | <b>4,27</b> | <b>0,57</b> | GWh/a   |

- Die Berechnung liefert nur eine grobe Abschätzung
- Mögliches Potential muss im Einzelfall durch Probebohrung geprüft werden

## Quellen

<sup>1</sup> BGR (Geoportal der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)

<sup>2</sup> Annahme (aus anderen Projekten)

<sup>3</sup> Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen

# Industrielle Abwärme

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.





# Industrielle Abwärme Technologie

## Funktionsprinzip:

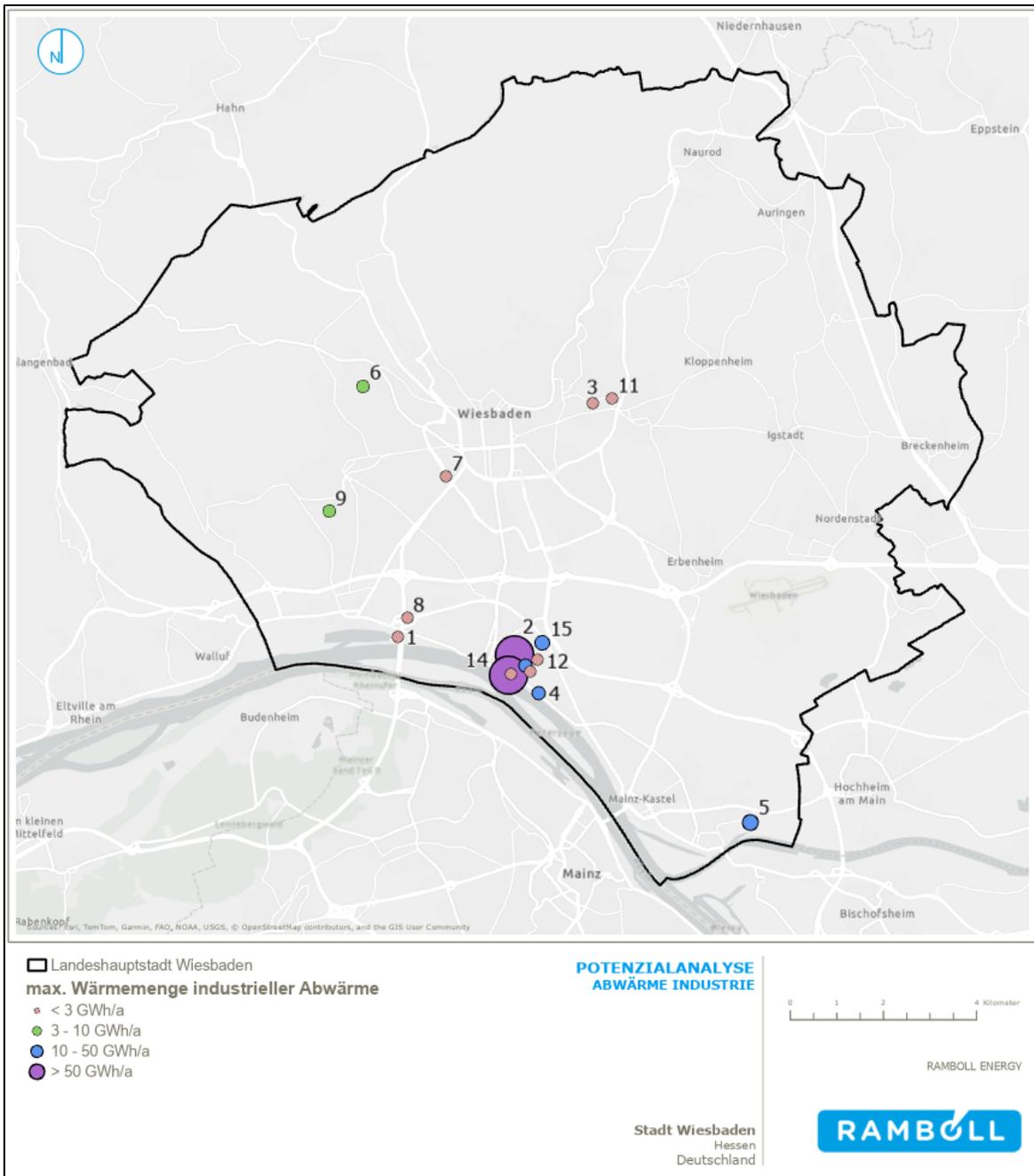
- Nutzt die überschüssige Wärme, die in industriellen Prozessen als Abfallprodukt entsteht (z. B. chemischen Industrie, Metallproduktion, etc.).
- Abwärme kann direkt oder über Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und in lokale Wärmenetze eingespeist werden.
- Häufig liegt Abwärme in Form von heißem Wasser, Dampf oder Abgasen vor.
- Besonders geeignet in Industrieclustern oder städtischen Gebieten mit vielen Industriebetrieben.



- **Kostengünstige Wärmequelle:** Wertvolle Ressource, die ohne zusätzliche Primärenergie bereitgestellt wird.
- **Flexibilität:** Abwärme kann in verschiedenen Formaten (Wasser, Dampf, Gas) genutzt werden und lässt sich gut an unterschiedliche Wärmesysteme anpassen.
- **Wirtschaftlich und effizient:** Oft schon vorhandene Infrastruktur kann genutzt werden, was zu geringen Investitionskosten führt.



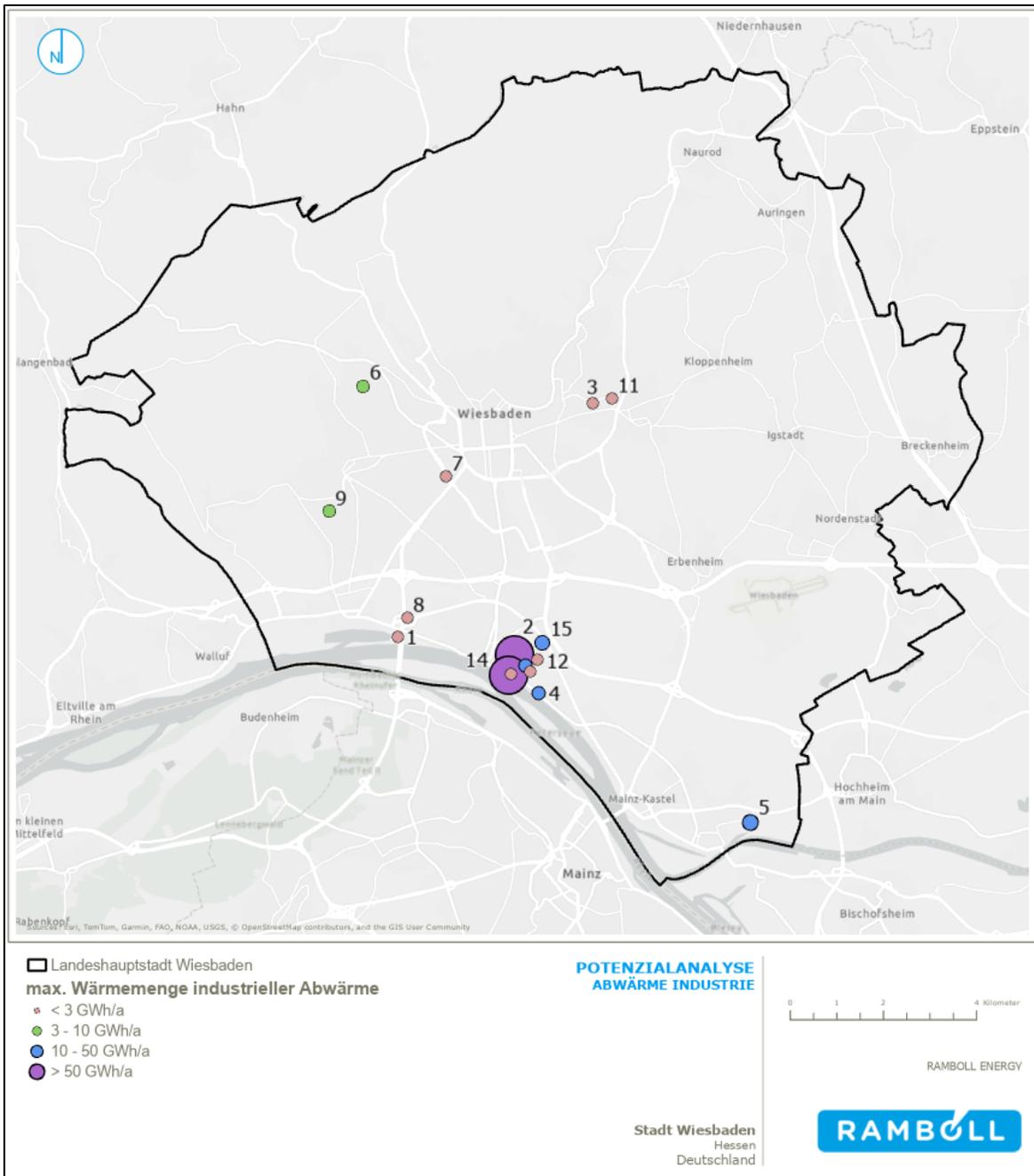
- **Geografische Abhängigkeit:** Industrieabwärme ist nur in der Nähe von Industrieanlagen verfügbar.
- **Temperaturniveau variiert:** Die Qualität, Temperatur und Verfügbarkeit der Abwärme hängen vom Industrieverfahren ab.
- **Integration in bestehende Systeme:** Der Aufbau eines Abwärmenetzwerks und die Anbindung an kommunale Wärmenetze erfordert zusätzliche Investitionen und technische Herausforderungen.



# Industrielle Abwärme



- Für die Abschätzung der Abwärmepotenziale wurde die Plattform für Abwärme von der Bundesstelle für Energieeffizienz genutzt
- Das größte Potenzial befindet sich auf dem Industriegelände der Firma Infraseriv
- Dort wurde ein Abwärmepotenzial von ca. **535 GWh/a** identifiziert
- Es ist zu berücksichtigen, dass sich die Temperaturniveaus der Abwärme stark unterscheiden können
- Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass dieselbe Abwärme sowohl von der produzierenden Firma als auch vom Industrieparkbetreiber berücksichtigt wurde
- Insgesamt liegt in Wiesbaden ein Potenzial von ca. **598 GWh/a** vor



# Industrielle Abwärme



| ID | Firma  | Leistung [MW <sub>max</sub> ] | Wärmemenge [MWh/a] |
|----|--|-------------------------------|--------------------|
| 1  | AGRAVIS Kraftfutterwerke Rhein Main GmbH         | 0,9                           | 2.157              |
| 2  | SE Tylose GmbH & Co. KG                          | 33,8                          | 233.694            |
| 3  | DKD HELIOS Klinik Wiesbaden GmbH                 | 0,8                           | 1.598              |
| 4  | Dyckerhoff GmbH                                  | 14,8                          | 20.695             |
| 5  | Essity Operations Mainz-Kostheim GmbH            | 5,0                           | 40.321             |
| 6  | ESWE Versorgungs AG                              | 1,0                           | 5.874              |
| 7  | ESWE Versorgungs AG                              | 0,2                           | 694                |
| 8  | GAMMA Warenhandel GmbH & Co. KG                  | 1,5                           | 2.572              |
| 9  | HELIOS Dr. Horst Schmidt Kliniken Wiesbaden GmbH | 4,0                           | 8.454              |
| 10 | Merck Performance Materials GmbH                 | 0,8                           | 1.752              |
| 11 | HELIOS Dr. Horst Schmidt Kliniken Wiesbaden GmbH | 0,5                           | 922                |
| 12 | Allnex Germany GmbH                              | 0,5                           | 1.812              |
| 13 | Catexel Production GmbH                          | 27,5                          | 20.148             |
| 14 | InfraServ GmbH & Co. Wiesbaden KG                | 35,2                          | 226.486            |
| 15 | Mitsubishi Polyester Film GmbH                   | 3,6                           | 27.808             |
| 16 | Sterigenics Germany GmbH                         | 0,3                           | 2.533              |

# Abwärme aus Rechenzentren

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.





# Abwärme aus Rechenzentren Technologie

## Funktionsprinzip:

- Nutzt die überschüssige Wärme, die in Rechenzentren als Abfallprodukt entsteht
- Abwärme muss in der Regel über Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden, um in ein Wärmenetz eingespeist werden zu können.

---

+

-

- 
- **Kostengünstige Wärmequelle:** Wertvolle Ressource, die ohne zusätzliche Primärenergie bereitgestellt wird.
  - **Wirtschaftlich und effizient:** Oft schon vorhandene Infrastruktur kann genutzt werden, was zu geringen Investitionskosten führt.
  - **Geografische Abhängigkeit:** Die Abwärme muss in der Nähe eines Wärmenetzes liegen
  - **Temperaturniveau:** Das Temperaturniveau der Abwärme hängt vom Kühlsystem des Betreibers ab. In der Regel ist eine Wärmepumpe nötig
  - **Integration in bestehende Systeme:** Der Aufbau eines Abwärmenetzwerks und die Anbindung an kommunale Wärmenetze erfordert zusätzliche Investitionen und technische Herausforderungen.
-



# Abwärme aus Rechenzentren

## Mögliche Potenziale

| Randbedingungen             | Standort 1 | Standort 2 | Einheit |
|-----------------------------|------------|------------|---------|
| Abwärme                     | 3          | 6          | MW      |
| Temperaturniveau (Annahme*) | 38,5       | 45         | °C      |
| Auskühlung                  | 8          |            | K       |
| Vor-/Rücklauftemperatur     | 95/50      |            | °C      |
| Gütegrad                    | 0,5        |            | -       |

| Ergebnis                      | Standort 1  | Standort 2  | Einheit      |
|-------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| Entzugsleistung               | 3           | 6           | MW           |
| <b>Leistung (Abwärme)</b>     | <b>25,5</b> | <b>51</b>   | GWh/a        |
| COP                           | 4,6         | 5,56        | -            |
| <b>Thermische Leistung WP</b> | <b>3,8</b>  | <b>7,3</b>  | <b>MW</b>    |
| Volllaststunden               | 8500        | 8500        | h/a          |
| <b>Wärmemenge</b>             | <b>32,6</b> | <b>62,2</b> | <b>GWh/a</b> |

## Quellen

- ESWE
- Abwärmeleistungen
  - Auskühlung
  - Temperaturniveau

## Methodik

- COP-Berechnung nach Lorentz
- \*Das Temperaturniveau wurde nach den aktuellsten Informationen von ESWE abgeschätzt, ist aber noch nicht definiert
- Berücksichtigung von Wartung (3% oder 260 h/a)

## Abkürzungen

- COP    Coefficient of Performance
- WP    Wärmepumpe

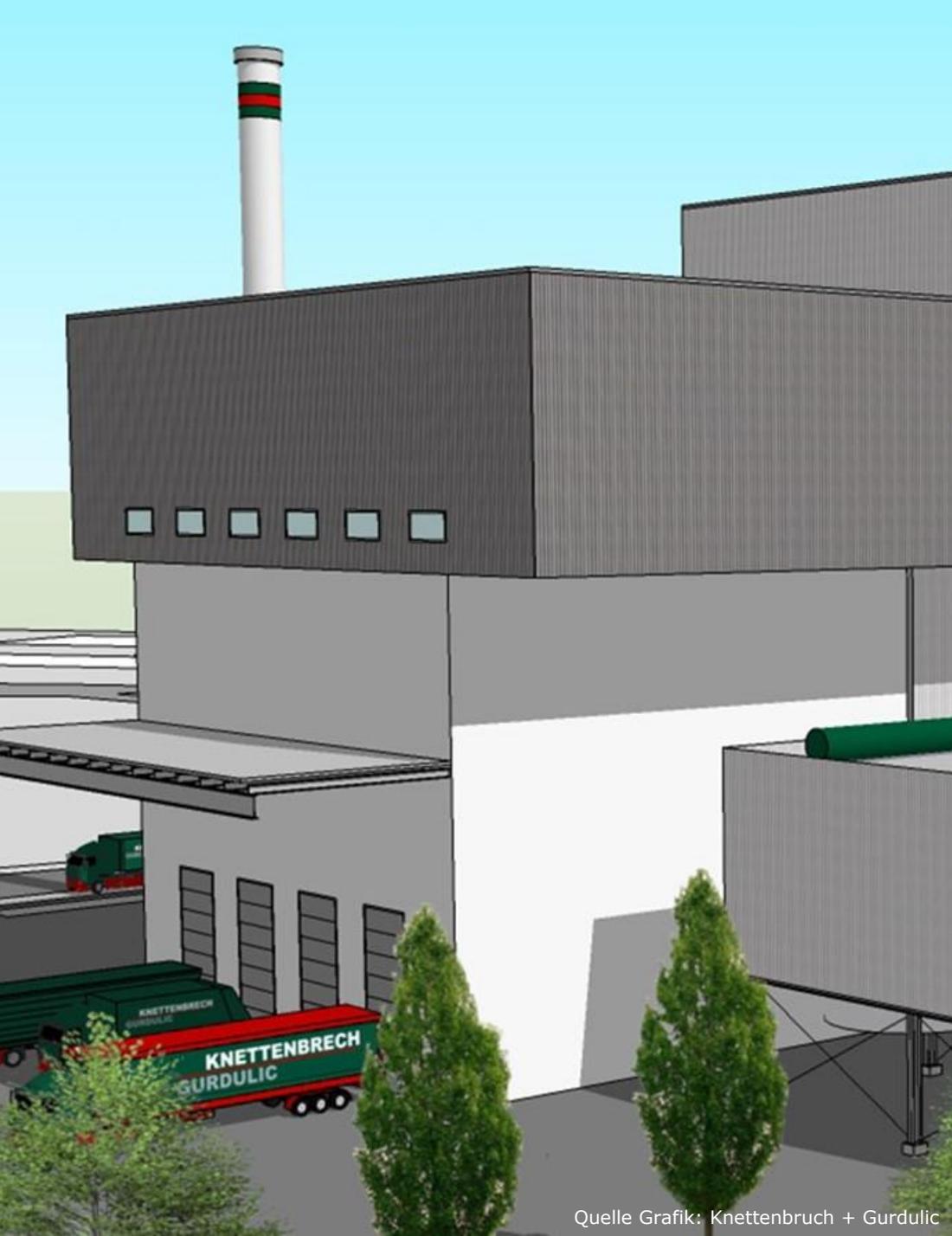
# Thermische Abfallbehandlung

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

Quelle Grafik: Knettenbruch + Gurdulic





# Thermische Abfallbehandlung Technologie

## Funktionsprinzip:

- Umfasst Prozesse wie Abfallverbrennung oder Abfallvergasung, bei denen organische Abfälle (z. B. Hausmüll, Gewerbeabfälle) unter kontrollierten Bedingungen verbrannt/vergast werden, um Wärme und Strom zu erzeugen.
- Die entstehende Wärme kann direkt in Fernwärmenetze eingespeist oder für industrielle Prozesse genutzt werden.
- Besonders geeignet in Gebieten mit hohem Abfallaufkommen, z. B. städtische Ballungszentren oder industrielle Bereiche.

+

-

- **Effiziente Nutzung von Abfällen:** Verwertet Abfälle, die ansonsten deponiert oder ineffizient entsorgt würden.
- **Kontinuierliche Wärmequelle:** Abfall fällt regelmäßig an, wodurch eine konstante Wärmeversorgung gewährleistet ist.
- **Zusätzliche Stromerzeugung:** Abfallverbrennungsanlagen können zusätzlich zur Wärme auch Elektrizität erzeugen, was den Gesamtnutzen erhöht.

- **Emissionen und Luftqualität:** Abfallverbrennung führt zu Schadstoffemissionen, die gut kontrolliert werden müssen, um die Luftqualität nicht zu beeinträchtigen.
- **Hoher Investitionsaufwand:** Die Errichtung von modernen Abfallverbrennungsanlagen ist mit hohen Investitionen und einem langen Genehmigungsprozess verbunden.
- **Abfallabhängigkeit:** Die Verfügbarkeit von geeigneten Abfällen für die Verbrennung ist limitiert und abhängig von Abfallmengen/-arten.



# Thermische Abfallbehandlung

## Das Müllheizkraftwerk Wiesbaden

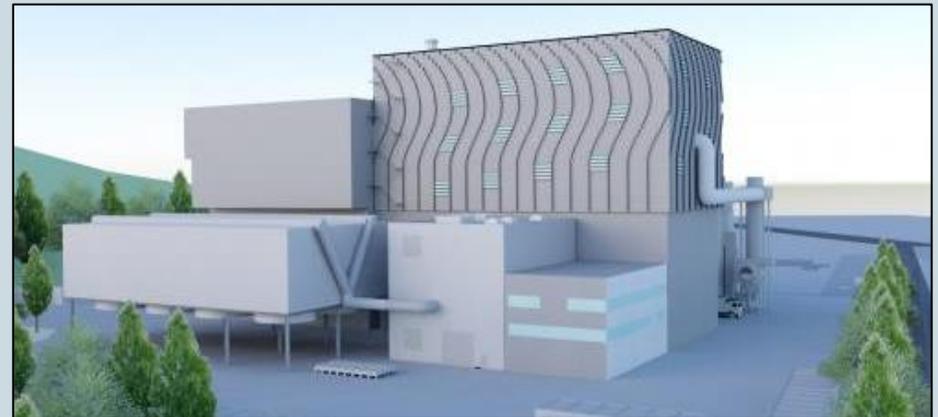
### Fakten

Die neu gegründete Firma MHKW Wiesbaden GmbH plant derzeit ein neues Müllheizkraftwerk in Wiesbaden

- Gesellschafter sind die K+G Service GmbH & Co. KG, die ENTEGA AG und die ESWE Versorgungs AG
- Derzeit befindet sich das Projekt in der Bauphase.
- Das MHKW verbrennt Siedlungsabfälle von Einwohnern der Landeshauptstadt Wiesbaden sowie vorbehandelte Gewerbeabfälle. Die Anlieferung erfolgt durch die Knettenbrech + Gurdulic Unternehmensgruppe (K+G)
- Es besteht die Möglichkeit, die durch die Verbrennung erzeugte Wärmemenge in das Wärmenetz der ESWE Versorgungs AG einzuspeisen und/oder zu verstromen und in das öffentliche Stromnetz einzuspeisen
- Bei einer Einspeisung in das Wärmenetz werden fossile Erzeuger verdrängt, sodass die spezifischen Treibhausgasemissionen der Fernwärme reduziert werden können.

### Technische Daten:

- 195.000 Tonnen jährlicher Durchsatz (ca. 25 t/h)
- max. 87,5 MW Feuerungswärmeleistung
- max. 21 MW elektrische Leistung (ca. 150.000 MWh/a)
- max. **39 MW** thermische Leistung (ca. **100.000 MWh/a**)
- ca. 7500 m<sup>3</sup> Lagerkapazität (Vorrat von 5 Tagen)

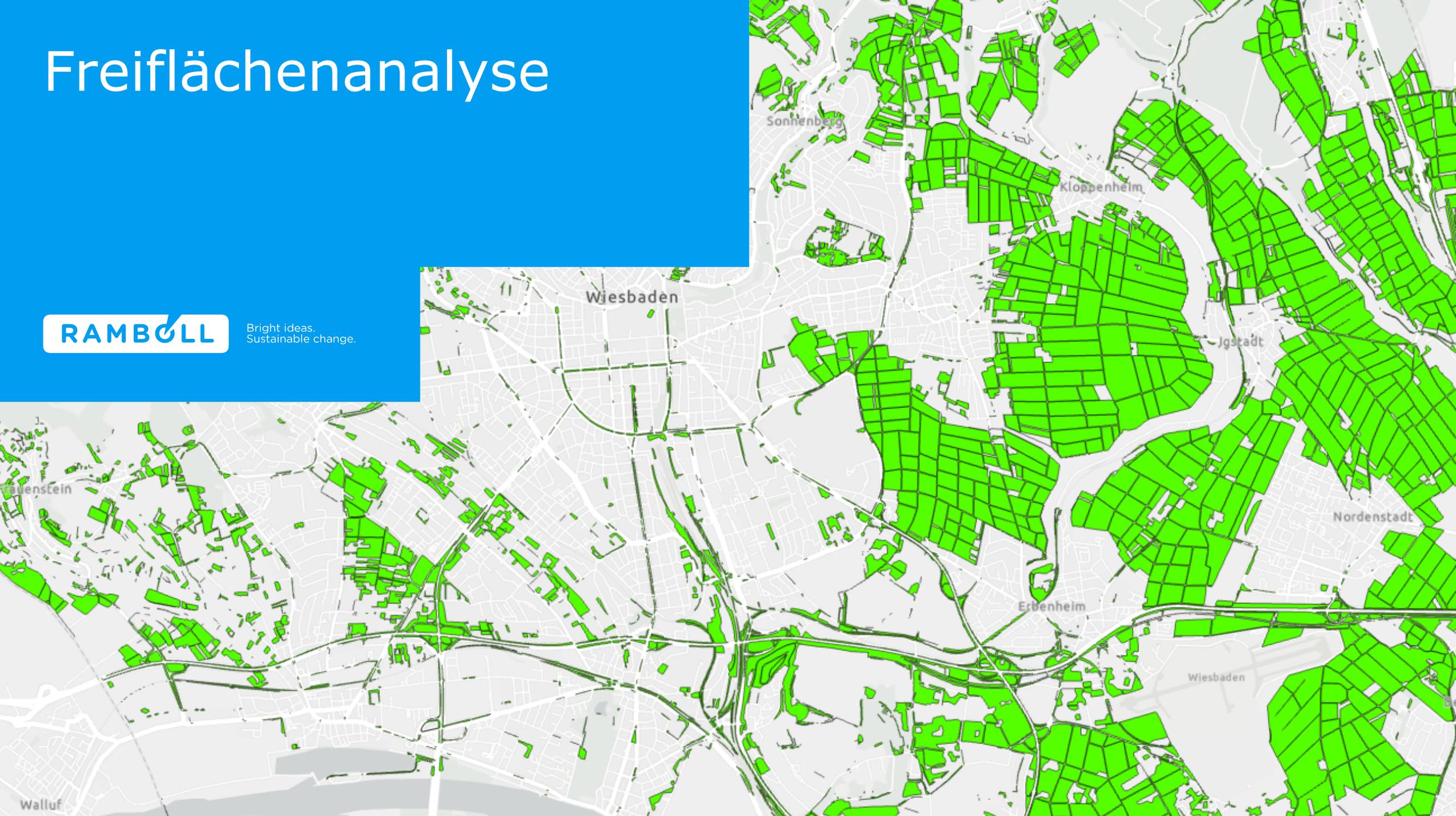


Quelle: MHKW Wiesbaden GmbH

# Freiflächenanalyse

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.





# Freiflächenanalyse – Methodik

## Potenzialanalyse

Landeshauptstadt  
Wiesbaden

Ausgangslage für die Freiflächenanalyse  
ist das ganze Stadtgebiet Wiesbaden

Ausschluss-  
kriterien

Ausschluss aufgrund von genehmigungsrechtlichen  
Restriktionen, z.B.:

- Naturschutzgebiete
- Wasserschutzgebiete Zone I

Eingrenzungs-  
kriterien

Weitere Eingrenzung durch u.a.:

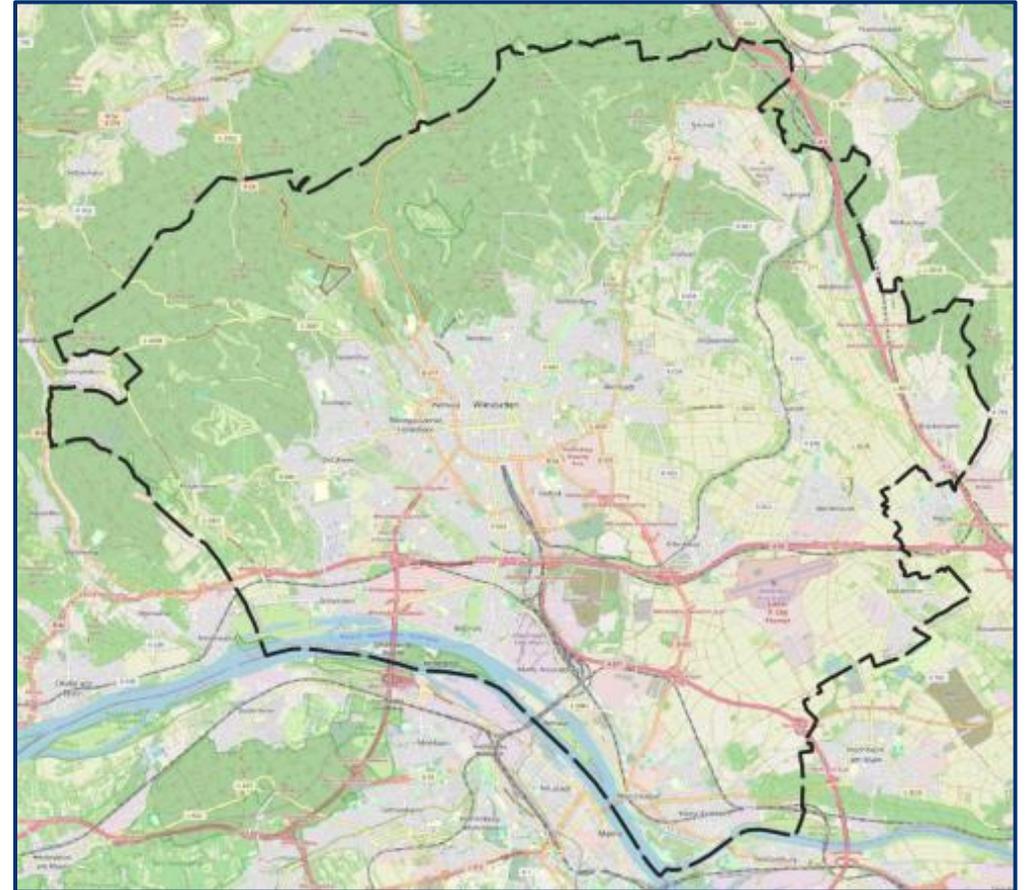
- Bebauungsflächen nach FNP
- Bebautes Gebiet

Technische  
Ausschlüsse

Ausschluss aufgrund von technischen Restriktionen  
Hierzu gehören u.a.:

- Straßenverkehrsflächen
- Schienen

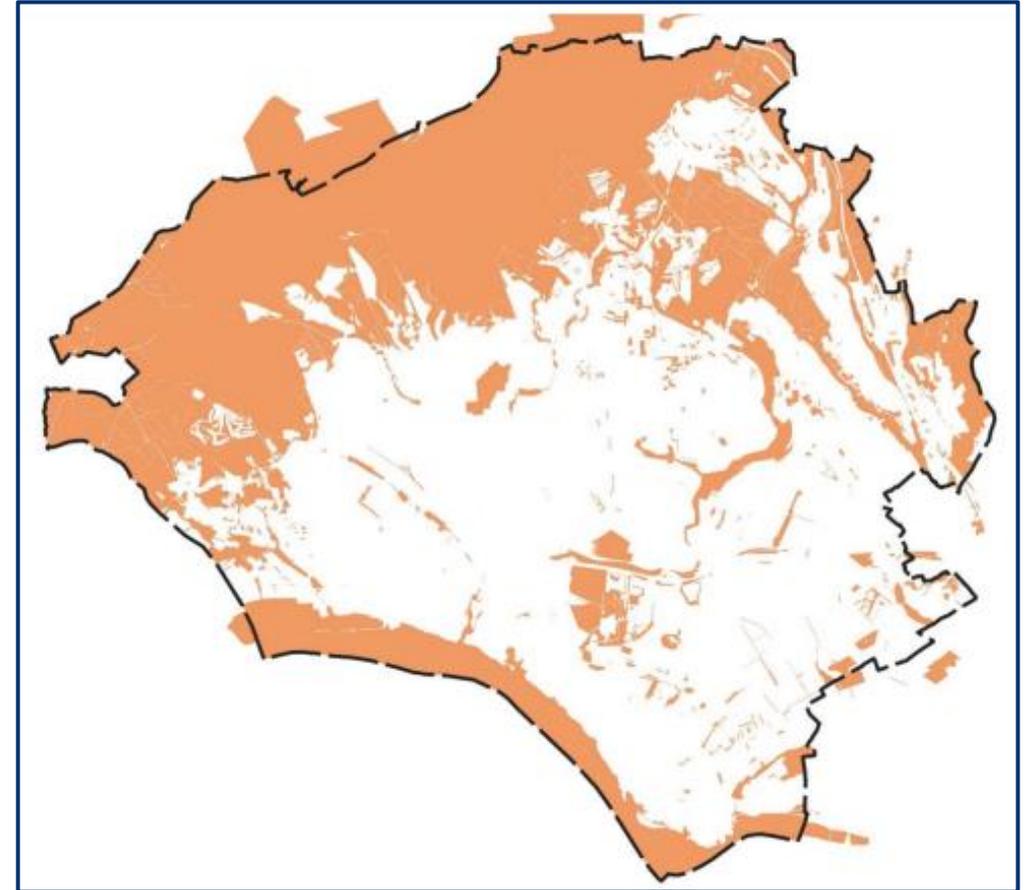
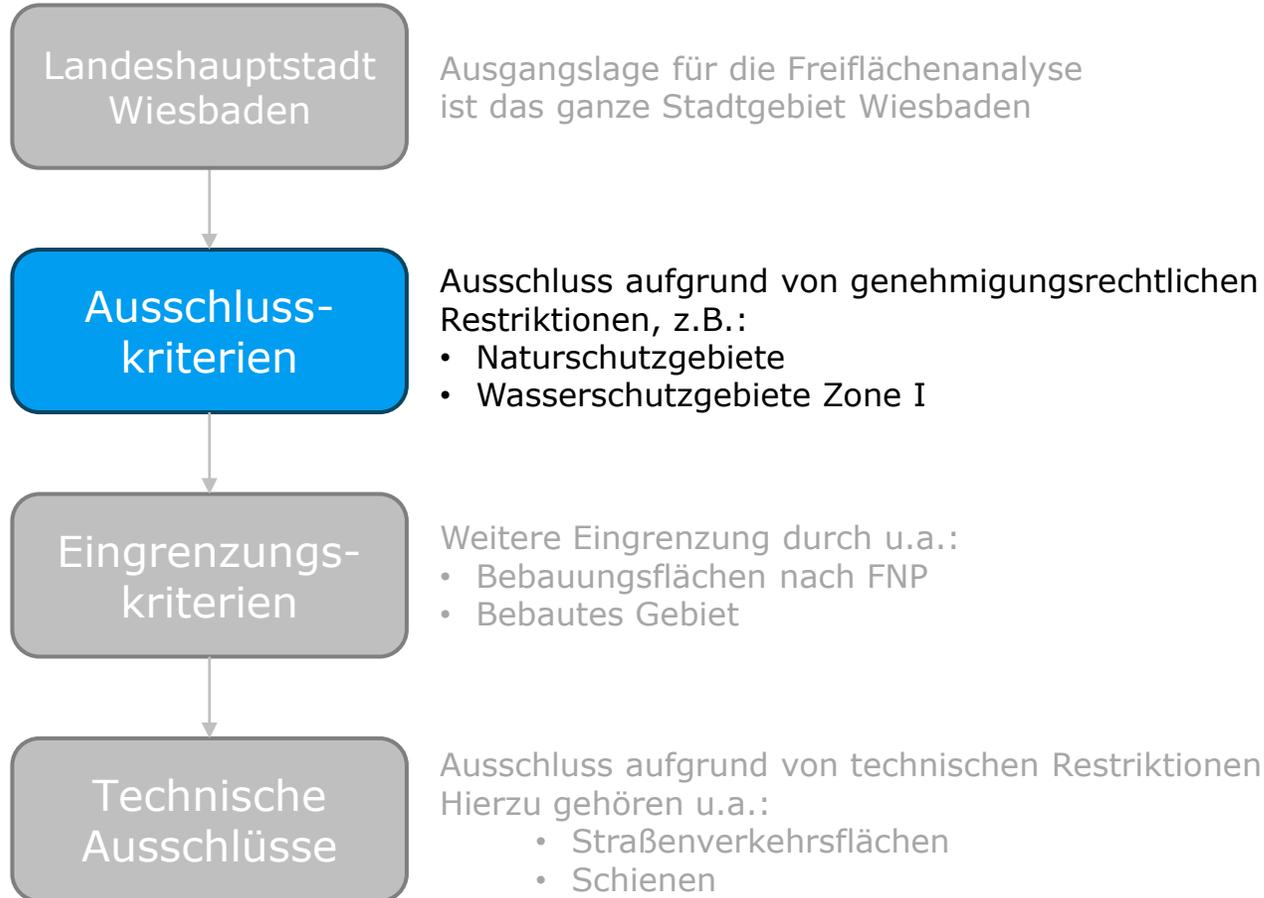
Freiflächenanalyse von ESWE!





# Freiflächenanalyse – Methodik

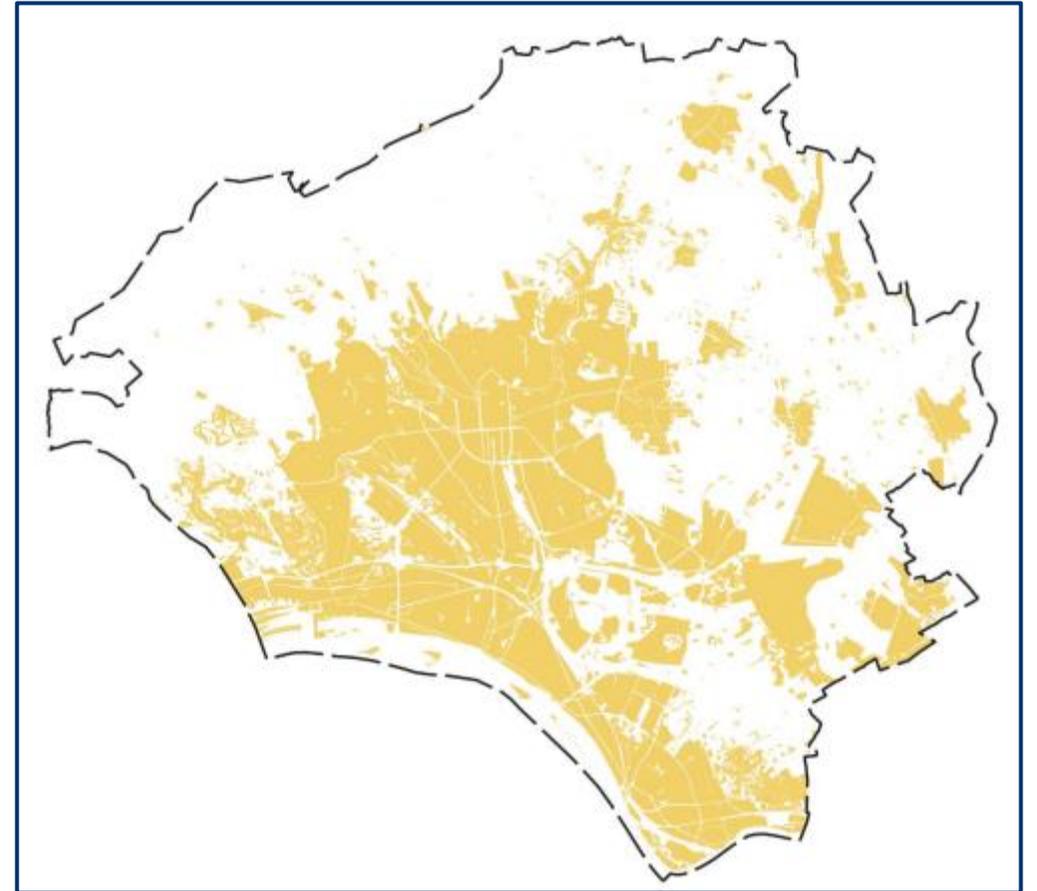
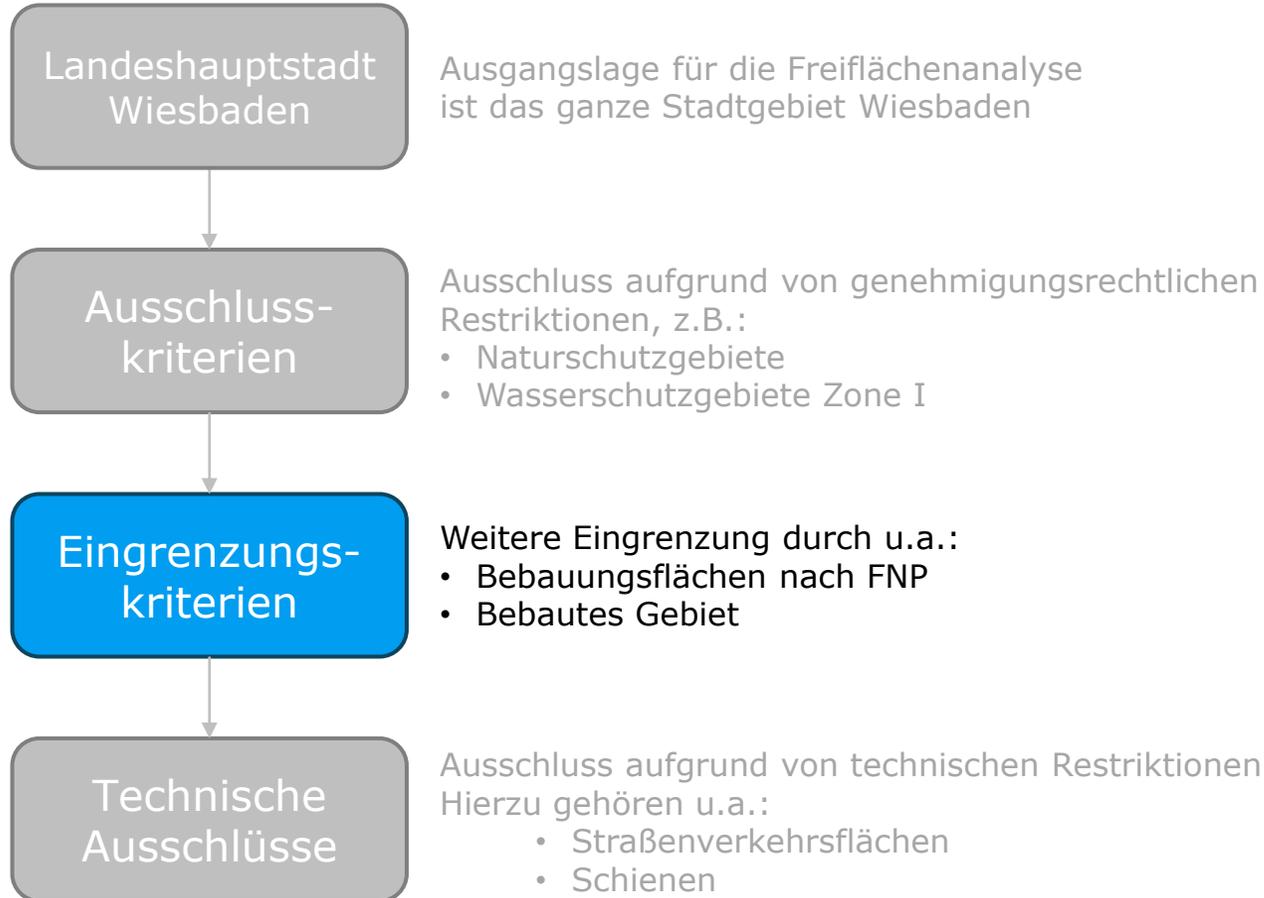
## Potenzialanalyse





# Freiflächenanalyse – Methodik

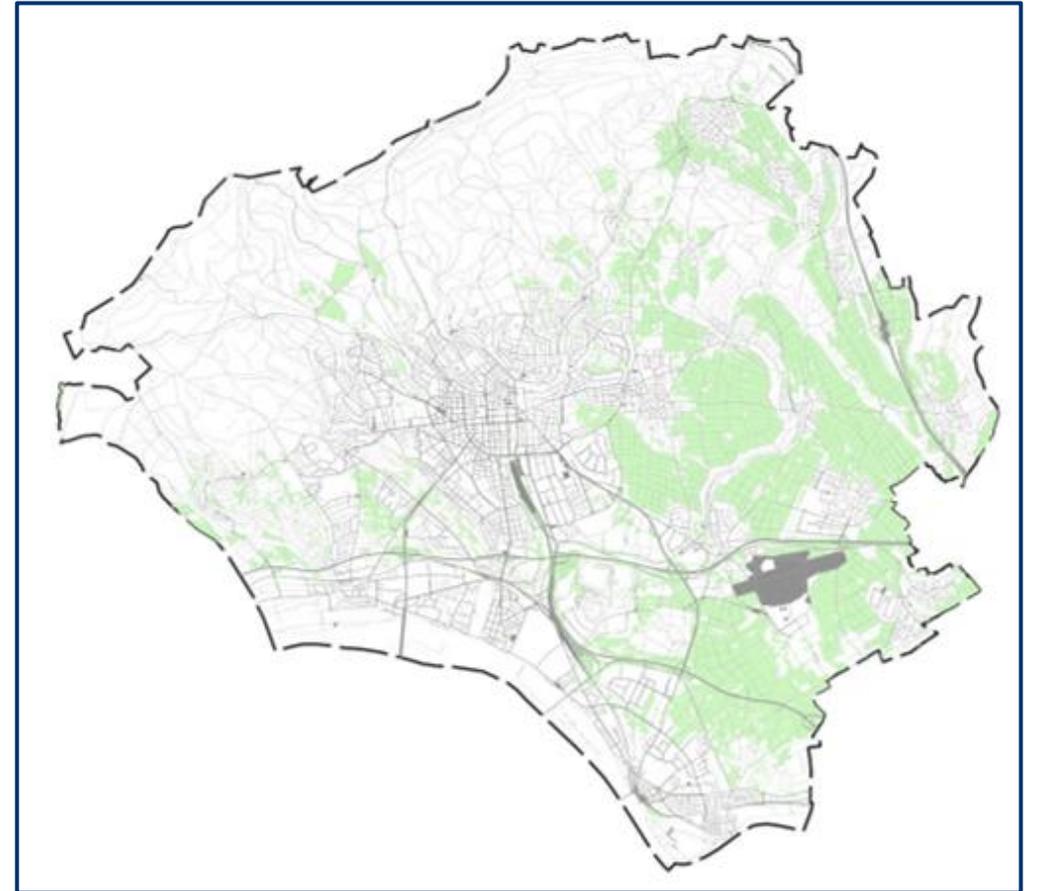
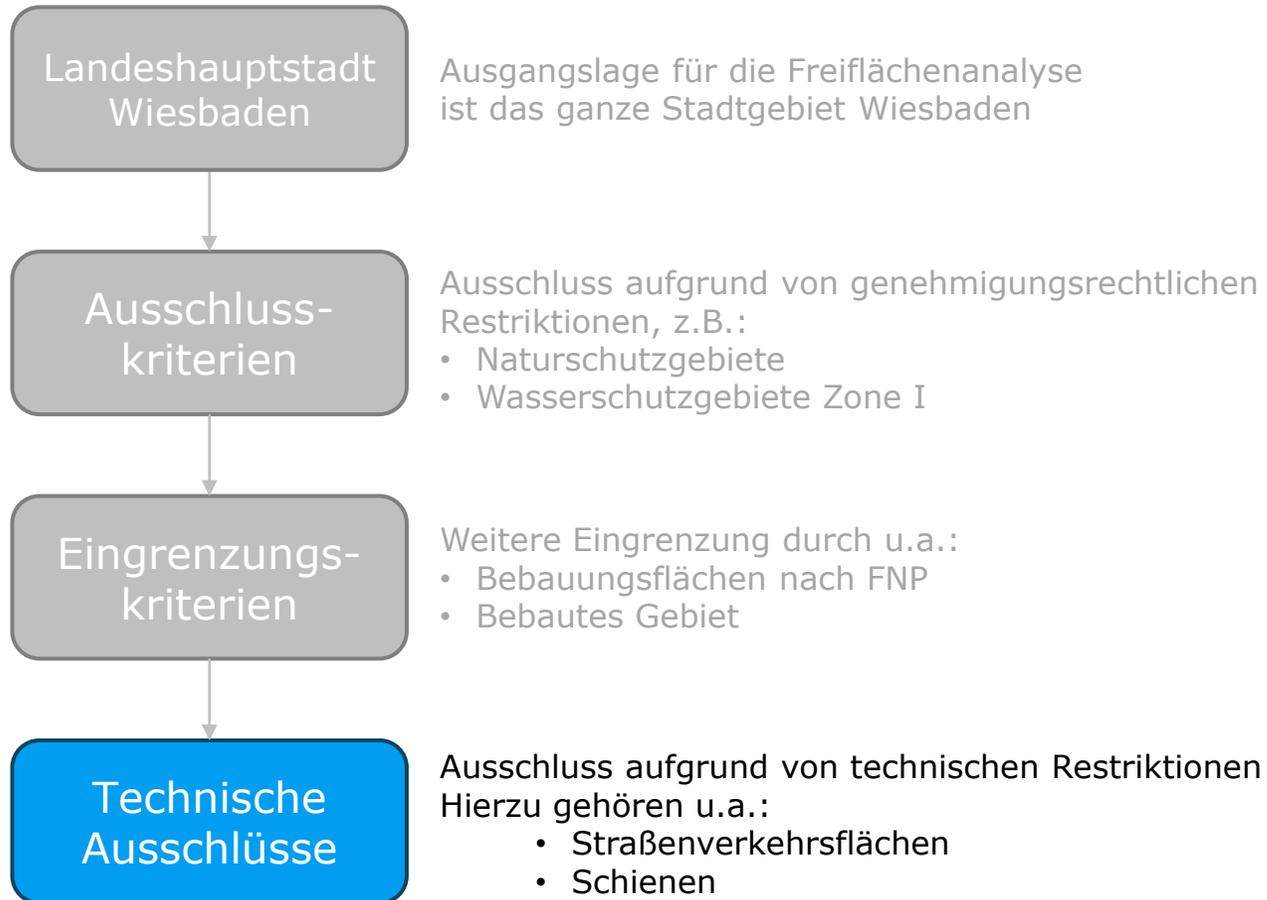
## Potenzialanalyse





# Freiflächenanalyse – Methodik

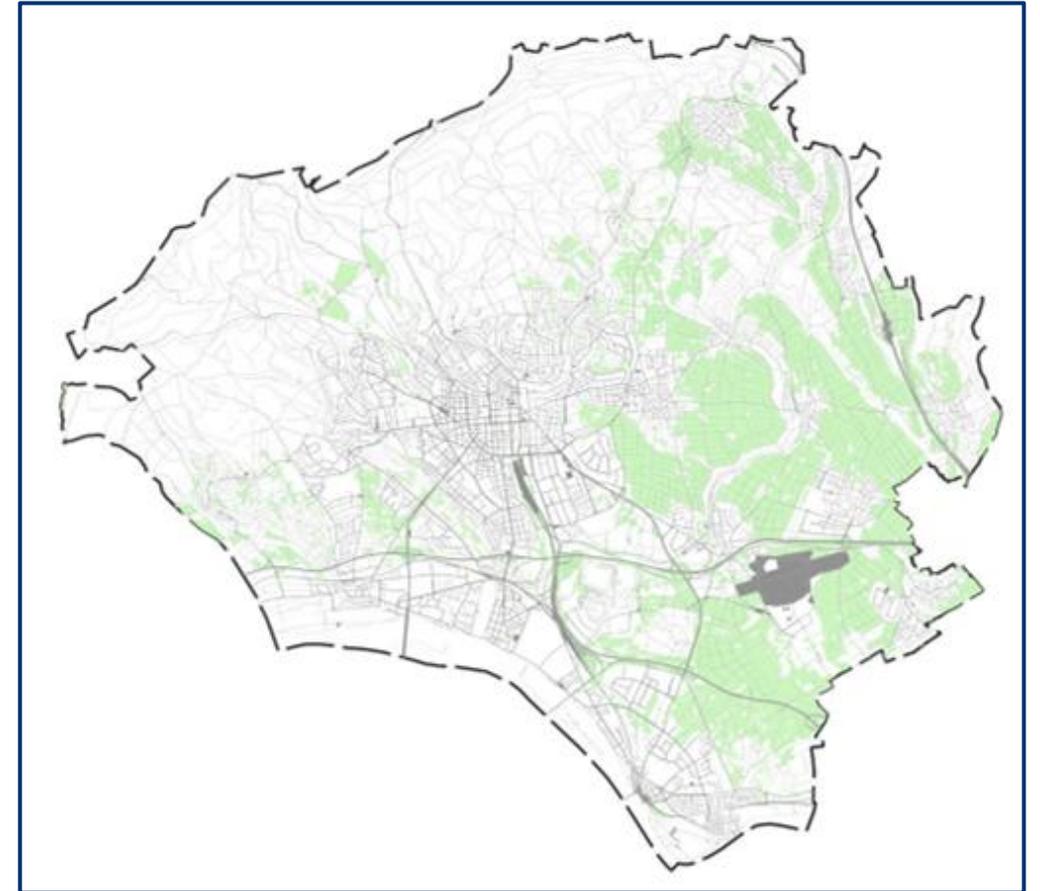
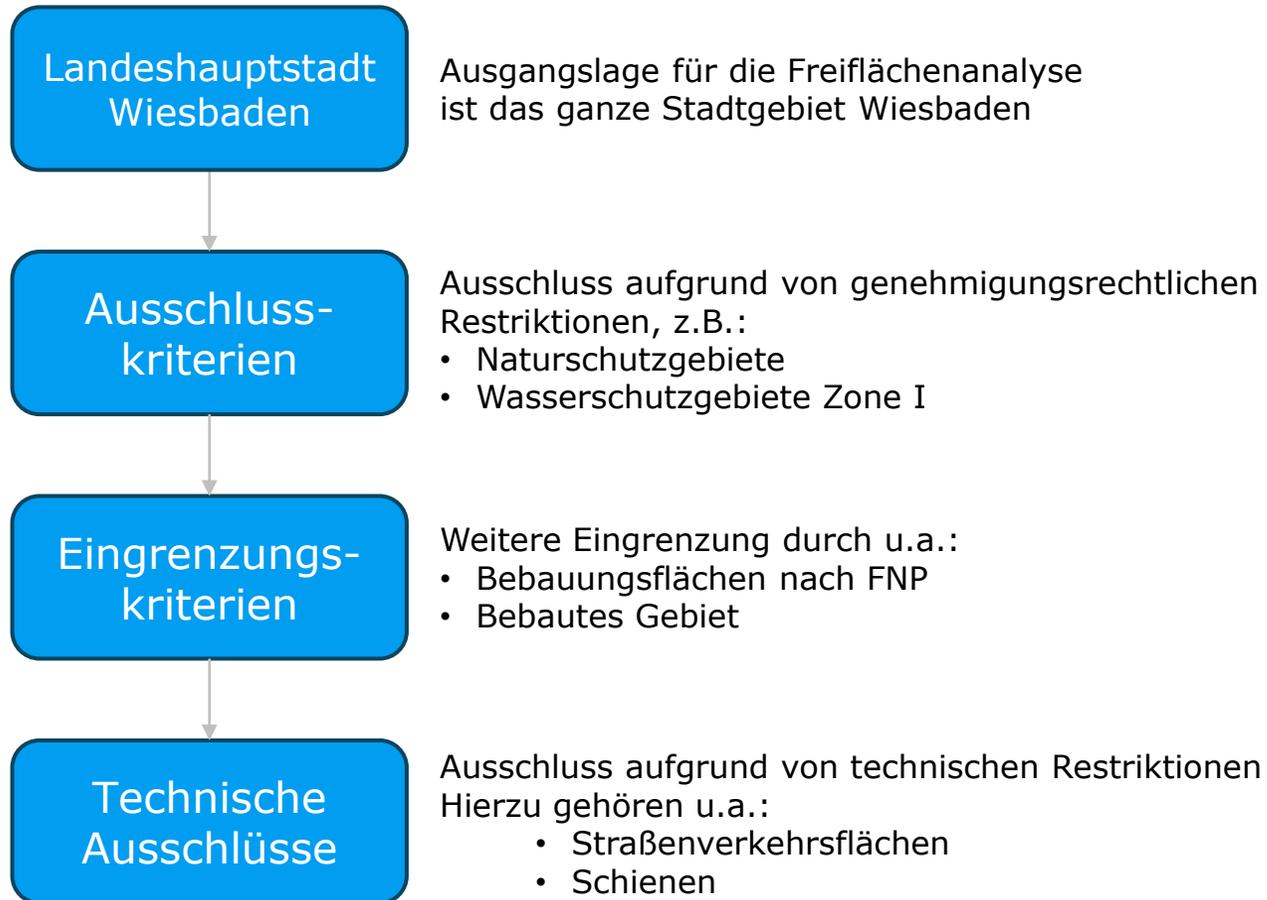
## Potenzialanalyse





# Freiflächenanalyse – Methodik

## Potenzialanalyse



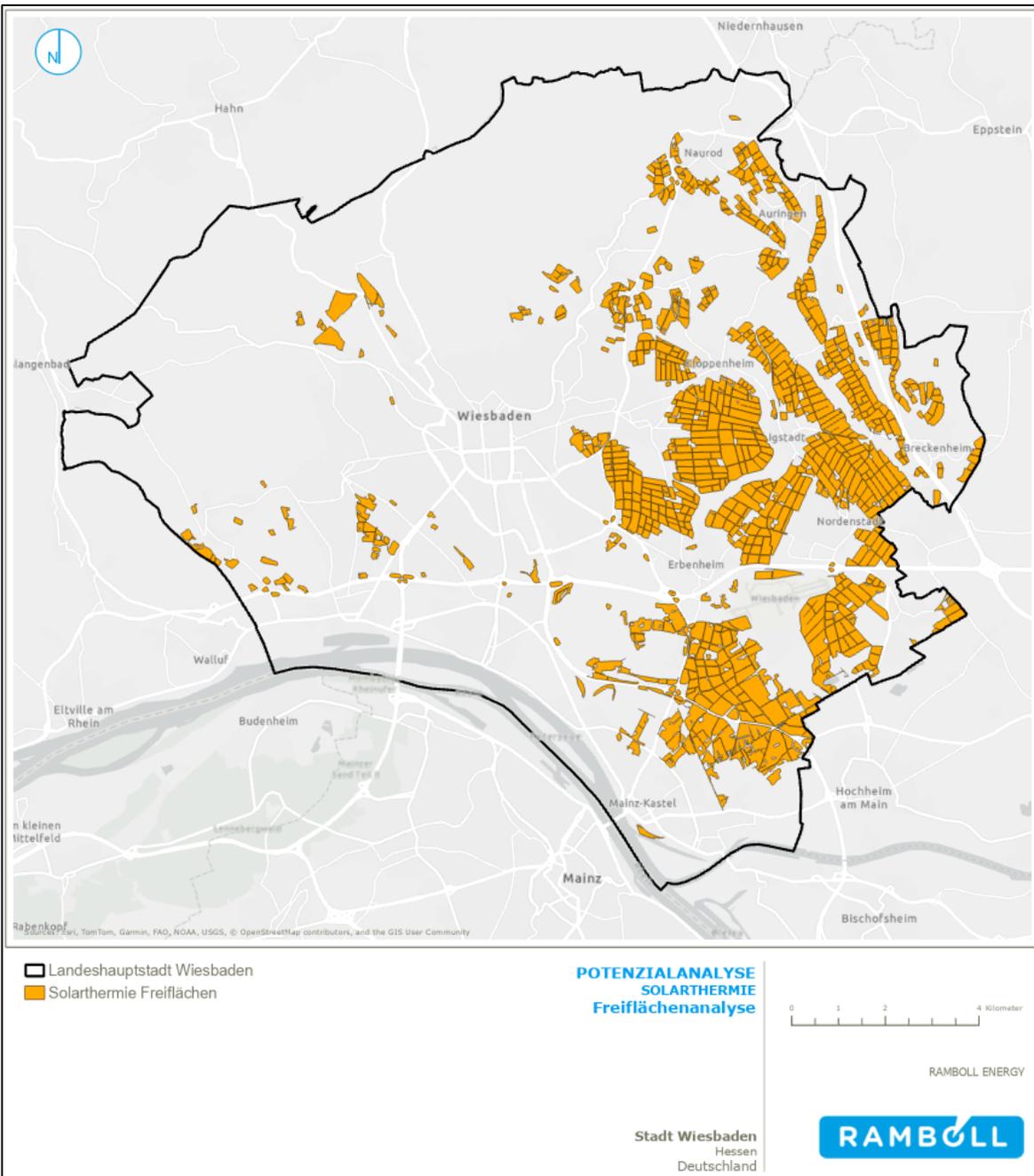


# Freiflächenanalyse – Methodik

## Restriktionsflächen

= Ausschluss  
 = k. Ausschluss

| Restriktionen  | Solarthermie | Oberflächennahe Geothermie |
|--|--------------|----------------------------|
| FFH-Gebiete  |              |                            |
| Naturschutzgebiete                                     |              |                            |
| Geschützte Landschaftsbestandteile                     |              |                            |
| Naturdenkmäler   |              |                            |
| Landschaftsschutzgebiete                               |              |                            |
| Ausgleichsflächen                                      |              |                            |
| Gesetzlich geschützte Biotope                          |              |                            |
| Kompensationsgebiete                                   |              |                            |
| Überschwemmungsgebiete                                 |              |                            |
| Wasserschutzgebiete - Zone I + II                      |              |                            |
| Heilquellenschutzgebiete – qualitativ Zone I + II      |              |                            |
| Natura 2000  |              |                            |
| Ökokonto   |              |                            |
| Wald   |              |                            |
| Weinbau  |              |                            |
| Nutzungsbezogene Grünflächen                           |              |                            |
| Flächen mit hoher Bodenwertigkeit                      |              |                            |
| Bebauungsfläche Kalkofen + Ostfeld                     |              |                            |
| Gemeinbedarfsfläche                                    |              |                            |
| Bebautes Gebiet  |              |                            |
| Bebauungsflächen nach FNP                              |              |                            |
| Flughafen  |              |                            |
| Autobahn   |              |                            |
| Bahn   |              |                            |
| Straßen & Wege   |              |                            |
| Wasserwirtschaftlich unzulässige Gebiete (gemäß HNLUG) |              |                            |



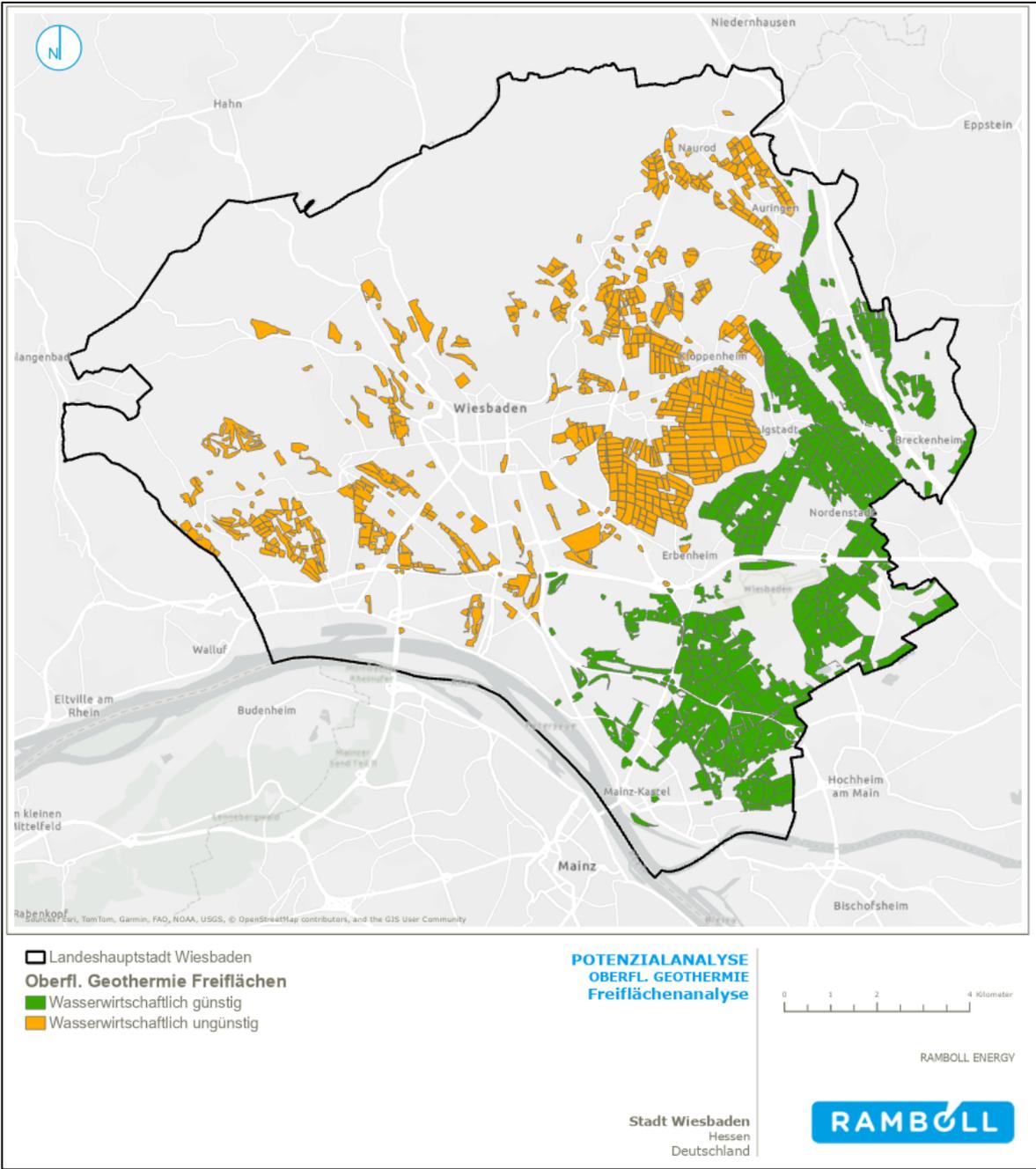
# Solarthermie

## Freiflächen



## METHODIK

- Bei der Bestimmung der Freiflächen wurden alle Flächen berücksichtigt, die größer als 5.000 m<sup>2</sup> sind
- Außerdem wurden Flächen nicht berücksichtigt, die sehr länglich sind und damit für Solarthermie ungeeignet sind



# Oberfl. Geothermie Freiflächen



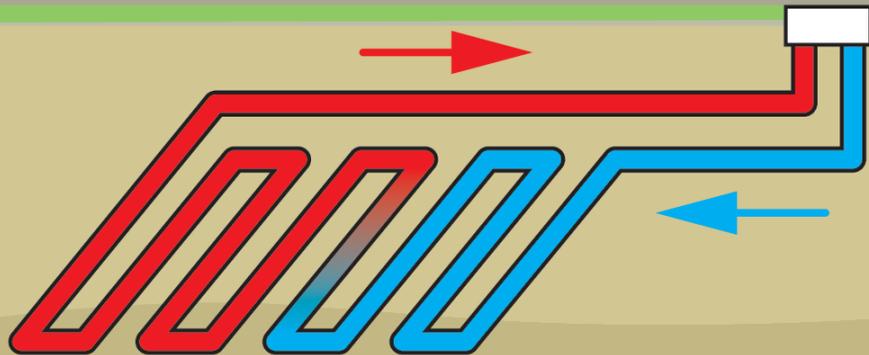
## METHODIK

- Bei der Bestimmung der Freiflächen wurden alle Flächen berücksichtigt, die größer als 5.000 m<sup>2</sup> sind
- Außerdem wurden Flächen nicht berücksichtigt, die sehr länglich sind und damit für größere Geothermieanlagen ungeeignet sind

# Oberflächennahe Geothermie

RAMBOLL

Bright ideas.  
Sustainable change.



# Wärme aus oberfl. Geothermie Kollektoren

## Funktionsprinzip:

- Nutzt die oberflächennahe Geothermie durch horizontale Rohrsysteme, die im Boden verlegt werden.
- Flächenkollektoren werden horizontal in etwa 1 bis 2 Meter Tiefe verlegt, wodurch größere Flächen benötigt werden.
- Das System besteht aus einem Rohrnetz, durch das ein Wärmeträgerflüssigkeit zirkuliert, die Wärme aus dem Boden aufnimmt und zu einer Wärmepumpe leitet.

+

-

- **Geringere Bohrkosten:** Kollektoren sind günstiger als Sonden, da keine tiefen Bohrungen erforderlich sind.
- **Große Fläche, geringe Tiefe:** Ideal für Neubauten oder große Flächen wie landwirtschaftliche Betriebe oder Wohnsiedlungen.
- **Weniger geologische Abhängigkeit:** Unempfindlicher gegenüber geologischen Gegebenheiten im Vergleich zu Sonden.
- **Einfache Installation:** Einfachere und weniger komplexe Installation als bei tiefen Bohrungen.
- **Hoher Flächenbedarf:** Kollektoren benötigen viel Platz, was in städtischen Gebieten ein Problem darstellen kann.
- **Geringere Effizienz als Sonden:** Temperaturen in den obersten Bodenschichten meist niedriger, was Wirkungsgrad reduziert.
- **Abhängigkeit von Grundstücksgröße:** Kann nicht in städtischen Gebieten ohne ausreichenden Platz installiert werden.
- **Begrenzte Wärmeleistung:** Eher geeignet für Gebäude mit geringeren Wärmebedarfen oder mittlere Leistungsanforderungen.



# Wärme aus oberfl. Geothermie Sonden

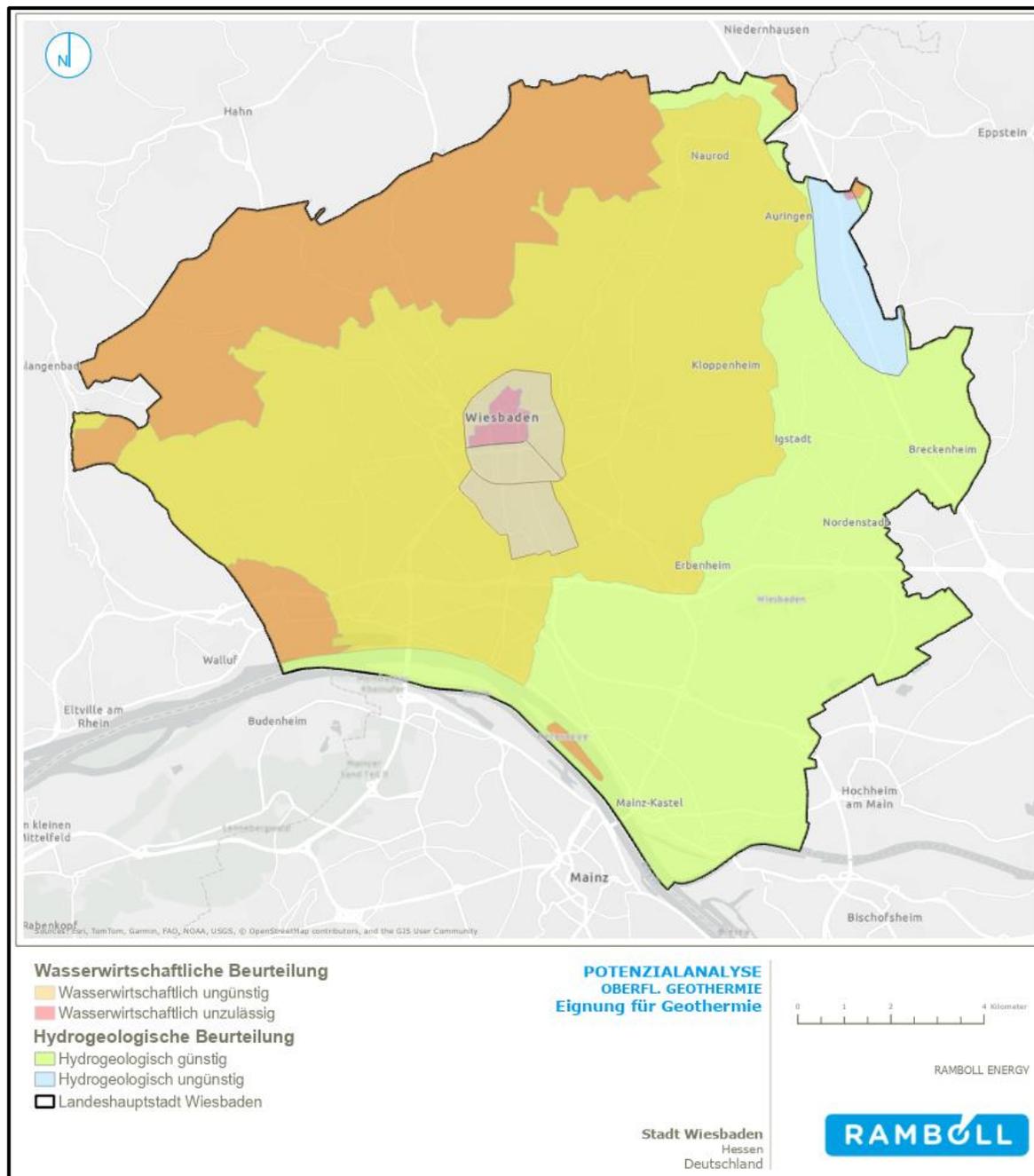
## Funktionsprinzip:

- Nutzt die Erdwärme in den obersten 100 bis 200 Metern der Erdkruste.
- Sonden werden vertikal in den Boden eingebracht, um die Wärmeenergie zu entziehen.
- Über einen Kreislauf mit Wärmetauschern wird die Wärme durch ein geschlossenes System von Rohren und einer Wärmepumpe gewonnen.
- Besonders geeignet für kleinere bis mittlere Wärmebedarfe, vor allem in städtischen Gebieten oder bei Einfamilienhäusern.

+

-

- **Effiziente Nutzung bei ausreichender Bohrtiefe:** Sehr gute Wärmeentnahme möglich, auch bei niedrigeren Außentemperaturen.
- **Langlebig und wartungsarm:** Systeme haben eine lange Lebensdauer bei relativ geringer Wartung.
- **Höherer Wirkungsgrad:** Besonders effektiv, wenn die Tiefe der Bohrung gut auf die Geologie abgestimmt ist.
- **Geringer Platzbedarf:** Ideal für städtische Gebiete oder kleinere Grundstücke.
- **Hohe Initialkosten:** Bohrungen und Installation der Sonden sind kostenintensiv.
- **Geologische Abhängigkeit:** Nicht alle Böden eignen sich gleichermaßen gut für die Bohrungen (z. B. Felsen oder sehr dichtes Material).
- **Genehmigungen erforderlich:** Planungsaufwand und behördliche Genehmigungen (z. B. wasserrechtlich).
- **Begrenzte Wärmeleistung:** Aufgrund der Tiefe nur begrenzt skalierbar für größere Anwendungen.



# Oberfl. Geothermie Restriktionsflächen



## Methodik und Hinweise

- Beim Einsatz von Erdwärmesonden müssen Trinkwasser- sowie Heilquellenschutzgebiete berücksichtigt werden
- Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie hat einen Leitfaden für Erdsondenanlagen veröffentlicht, in dem eine wasserwirtschaftliche und hydrogeologische Beurteilung enthalten ist
- Es gibt **keine** Genehmigungsfähigkeit für Erdwärmesonden in den Wasserschutzgebieten 1, 2 und 3A sowie den qualitativen Heilquellenschutzgebieten 1, 2, 3/1 und im quantitativen Gebiet A
- Wasserwirtschaftlich ungünstig sind Gebiete der Wasserschutzzonen 3B sowie in den Heilquellenschutzgebiete 3/2 und B



# Oberflächennahe Geothermie

## Datengrundlage

### Erdwärmesonden

|                                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| Betrachtete Sondertiefen        | 100m            |
| Entzugsleistungen Sonden in W/m | HLNUG GeoViewer |

### Erdwärmekollektoren

|   |                 |
|---|-----------------|
| Bodenart für Erdwärmekollektoren                          | HLNUG GeoViewer |
| Entzugsleistungen Erdwärmekollektoren in W/m <sup>2</sup> | VDI 4640-2      |

### Dezentrale vs. Zentrale Versorgung

|  |   |
|--|---|
| Flächen für eine dezentrale Versorgung geeignet                            | Potenzielle Flächen mit <b>mindestens einem Gebäude</b> |
| Flächen für eine zentrale Versorgung (Fernwärme, neue Inselnetze) geeignet | Alle potenziellen Flächen                               |

| Auslegungsdaten         | Zentrale Versorgung                     | Dezentrale Versorgung                   |
|-------------------------|---|---|
| Temperatur Umweltwärme  | 10°C                                    | 10°C                                    |
| SCOP der Wärmepumpe     | 2,67                                    | 4                                       |
| VL-Temperatur           | 95°C (Fernwärme)                        | 60°C                                    |
| Vollbenutzungsstunden * | 2400 h/a Sonden<br>1350 h/a Kollektoren | 2400 h/a Sonden<br>1350 h/a Kollektoren |

\*die Annahmen zu VBH werden nach der VDI 4640 bestimmt und gelten für zentrale und dezentrale Versorgung. Sie unterscheiden sich lediglich in der verwendeten Technologie.

## Quellen

- VDI 4640 Blatt 2
- LANUV Fachbericht Potenzialstudie Erneuerbare Energien

## Methodik

Berücksichtigung von Flächenrestriktionen und Abständen in GIS

Bestimmung der Volllaststunden gemäß VDI 4640

## Abkürzungen

|    |                   |
|----|-------------------|
| WP | Wärmepumpe        |
| VL | Vorlauftemperatur |



# Oberflächennahe Geothermie

## Ermittlung des energetischen Potenzials

- **Sondenlänge:** ab 100 m ist eine bergrechtliche Genehmigung beim Landesbergamt notwendig. Für die Abschätzung des Potenzials werden daher 100m angesetzt
- **Nutzbare Flächen:** für Erdwärmesonden und – Kollektoren aus der GIS-Analyse. Die Methodik zur Bestimmung der nutzbaren Flächen unterscheidet sich für zentrale und dezentrale Anlagen.
- **Vollbenutzungsstunden:** hängen von der Nutzungsart ab. Typische Zahlen werden angenommen.
- **Geothermische Entzugsleistungen:** Im GeoViewer Hessen werden Entzugsleistungen für Erdwärmesonden ausgehend von bestehenden Bohrungen angegeben. Die Entzugsleistung der Kollektoren wird gemäß VDI 4640 bestimmt



Methodik gemäß der **VDI-4640**





# Oberflächennahe Geothermie

## Potenzial Sonden nach VDI 4640-2

### Annahmen

- Minimale Sole-Austrittstemperatur (TWP) bei Maximalleistung (Spitzenlast) - 2 Szenarien:
  - Konservativer Ansatz ( $TWP \geq 0^{\circ}\text{C}$ )
  - Mittelwert Ansatz (Mittelwert aus  $TWP \geq 0^{\circ}\text{C}$  &  $TWP \geq -5^{\circ}\text{C}$ )
- Wärmeleitfähigkeit der Sonden gemäß Daten im GeoViewer Hessen vom HLNUG
- Vollbenutzungsstunden: 2.400 h/a
- Als Sondentiefe werden pauschal 100m Tiefe angenommen

### Hinweis:

Die Vorgaben der VDI 4640-2 gelten mit den folgenden Einschränkungen:

- Anlagen bis 30 kW
- 1 - 5 Erdwärmesonden
- Nur für bestimmte Vollbenutzungsstunden gültig (1.800 bei Kollektoren und 2.400 h bei Sonden)
- Für eine bestimmte minimale Sole-Austrittstemperatur (TWP) aus der Wärmepumpe ( $\geq -5^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq -3^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 0^{\circ}\text{C}$ )

Mittels einer entwickelten Methodik, werden die Vorgaben der VDI 4640-2 auch für größere Sondenfelder anwendbar.



# Oberflächennahe Geothermie

## Ermittlung Sondenanzahl

- Die eingesetzten Entzugsleistungen gemäß VDI 4640 gelten für **bis zu 5 Sonden**
- Damit diese Entzugsleistungen für große Flächen (>5 Sonden) weiterhin genutzt werden können, werden **Gruppen von 5 Sonden** berücksichtigt und ein Abstand von **15 m** zwischen diesen Gruppen angenommen.
- Dieser Abstand dient als Maßnahme, um sicherzustellen, dass die Sonden sich nicht gegenseitig beeinflussen.



Fallunterscheidung:

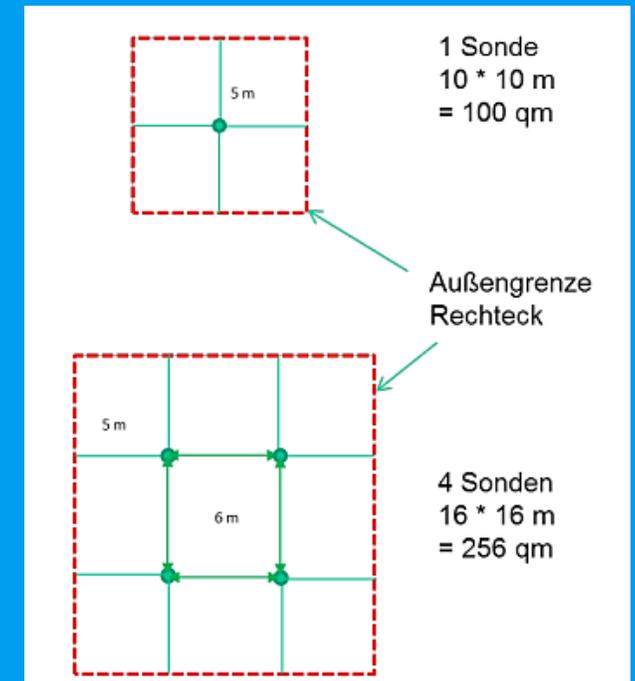
| Potenzielle Fläche                             | Anzahl Sonden | Methodik   |
|--|---------------|--|
| unter 100 m <sup>2</sup>                       | 1             | 5 m Abstand zu der Flurstückgrenze; 6 m Abstand zwischen den Sonden.                                 |
| 100 m <sup>2</sup> bis 320 m <sup>2</sup>      | 1 bis 5       | Berechnungsformel aus dem LANUV Ansatz (siehe Bild) hergeleitet.                                     |
| Über 320 m <sup>2</sup> bis 350 m <sup>2</sup> | = 5           | Mindestfläche für eine 5-Sonden Gruppe inklusive Sicherheitsabstand                                  |
| Über 350 m <sup>2</sup>                        | >5            | Bestimmung der Anzahl möglicher 5-Sonden-Gruppen unter Berücksichtigung des Gruppenabstands von 15 m |

### Quellen

- LANUV Fachbericht Potenzialstudie Erneuerbare Energien
- VDI 4640-2

### Ansatz für 1 bis 5 Sonden

- Ermittlung der Anzahl von Sonden anhand einer äquivalenten quadratischen Fläche



# Oberfl. Geothermie

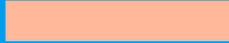
Zentral



# Oberflächennahe Geothermie

## Methodik - zentral

| Restriktionen  | Oberflächennahe Geothermie |
|--|----------------------------|
| FFH-Gebiete  | Ausschluss                 |
| Naturschutzgebiete                                     | Ausschluss                 |
| Geschützte Landschaftsbestandteile                     | Ausschluss                 |
| Naturdenkmäler   | Ausschluss                 |
| Landschaftsschutzgebiete                               | Ausschluss                 |
| Ausgleichsflächen                                      | Ausschluss                 |
| Gesetzlich geschützte Biotope                          | Ausschluss                 |
| Kompensationsgebiete                                   | Ausschluss                 |
| Überschwemmungsgebiete                                 | Ausschluss                 |
| Wasserschutzgebiete - Zone I + II                      | Ausschluss                 |
| Heilquellenschutzgebiete – qualitativ Zone I + II      | Ausschluss                 |
| Natura 2000  | Ausschluss                 |
| Ökokonto   | Ausschluss                 |
| Wald   | Ausschluss                 |
| Weinbau  | k. Ausschluss              |
| Nutzungsbezogene Grünflächen                           | k. Ausschluss              |
| Flächen mit hoher Bodenwertigkeit                      | Ausschluss                 |
| Bebauungsfläche Kalkofen + Ostfeld                     | Ausschluss                 |
| Gemeinbedarfsfläche                                    | Ausschluss                 |
| Bebautes Gebiet  | Ausschluss                 |
| Bebauungsflächen nach FNP                              | Ausschluss                 |
| Flughafen  | Ausschluss                 |
| Autobahn   | Ausschluss                 |
| Bahn   | Ausschluss                 |
| Straßen & Wege   | Ausschluss                 |
| Wasserwirtschaftlich unzulässige Gebiete (gemäß HNLUG) | Ausschluss                 |

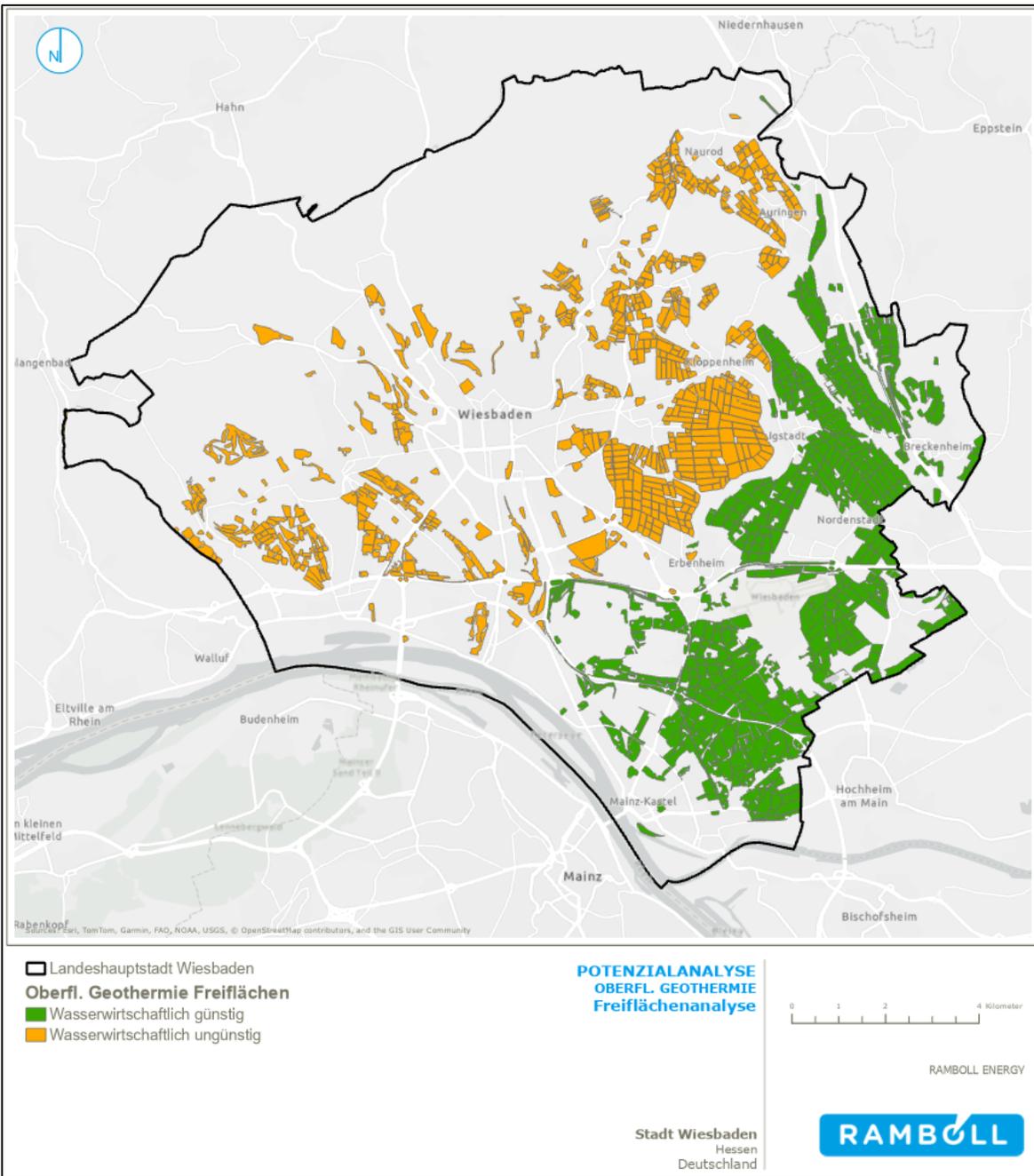
 = Ausschluss  
 = k. Ausschluss

### Methodik

- Basierend von den Restriktionsflächen links wird das Untersuchungsgebiet verkleinert, sodass nur potenzielle Flächen übrig bleiben
- Bei der Potenzialanalyse berücksichtigt werden alle Flächen mit einer Fläche von über 5.000 m<sup>2</sup>
- Zusätzlich werden sehr längliche und unförmige Flächen entfernt



Die Ergebnisse sind auf den nächsten Folien zu sehen



# Oberfl. Geothermie Freiflächen



## METHODIK

- Bei der Bestimmung der Freiflächen wurden alle Flächen berücksichtigt, die größer als 5.000 m<sup>2</sup> sind
- Außerdem wurden Flächen nicht berücksichtigt, die sehr länglich sind und damit für größere Geothermieanlagen ungeeignet sind



# Oberflächennahe Geothermie

## Ergebnisse - zentral

### Erdwärmesonden

| Versorgung | Eignung?         | VBH (h/a) | Umwelt (T = 10°C)      |                          | Wärmepumpe (zentral) |      |                            |                              |
|------------|------------------|-----------|------------------------|--------------------------|----------------------|------|----------------------------|------------------------------|
|            |                  |           | Leistung (Umwelt) (MW) | Energie (Umwelt) (GWh/a) | T                    | JAZ  | Leistung (Wärmepumpe) (MW) | Energie (Wärmepumpe) (GWh/a) |
| Zentral    | Geeignet         | 2.400     | 386                    | 927                      | 95 °C                | 267% | 617                        | 1.483                        |
|            | Bedingt geeignet | 2.400     | 347                    | 832                      | 95 °C                | 267% | 555                        | 1.331                        |

### Erdwärmekollektoren\*

| Versorgung | Eignung?         | VBH (h/a) | Umwelt (T = 10°C)      |                          | Wärmepumpe (zentral) |      |                            |                              |
|------------|------------------|-----------|------------------------|--------------------------|----------------------|------|----------------------------|------------------------------|
|            |                  |           | Leistung (Umwelt) (MW) | Energie (Umwelt) (GWh/a) | T                    | JAZ  | Leistung (Wärmepumpe) (MW) | Energie (Wärmepumpe) (GWh/a) |
| Zentral    | Geeignet         | 1.350     | 908                    | 1.225                    | 95 °C                | 267% | 1.451                      | 1.959                        |
|            | Bedingt geeignet | 1.350     | 825                    | 1.114                    | 95 °C                | 267% | 1.319                      | 1.780                        |

\*für Erdwärmekollektoren wurde die Entzugsleistung gemäß VDI 46040 bestimmt und keine Reduktion durch thermische Wechselwirkungen bei größeren Anlagen berücksichtigt. Das tatsächliche Potenzial einer Anlage muss durch Thermal-Response-Tests validiert werden.

### Hinweise

- JAZ** Abschätzung über Senken- & Quelltemperaturen
- VBH** Gemäß der VDI 4640
- Quelle EL** VDI 4640-2 & GeoViewer Hessen
- Flächen** Es wurden sowohl die geeigneten als auch bedingt geeigneten Flächen in der Auswertung berücksichtigt.
- Temperatur** Das Temperaturniveau der Umweltwärme liegt bei ungefähr **10°C**

### Abkürzungen

- EL Entzugsleistung
- VBH Vollbenutzungsstunden

# Oberfl. Geothermie

Dezentral



# Oberflächennahe Geothermie

## Methodik - dezentral

### Eignung von Flächen für dezentrale Geothermieanlagen

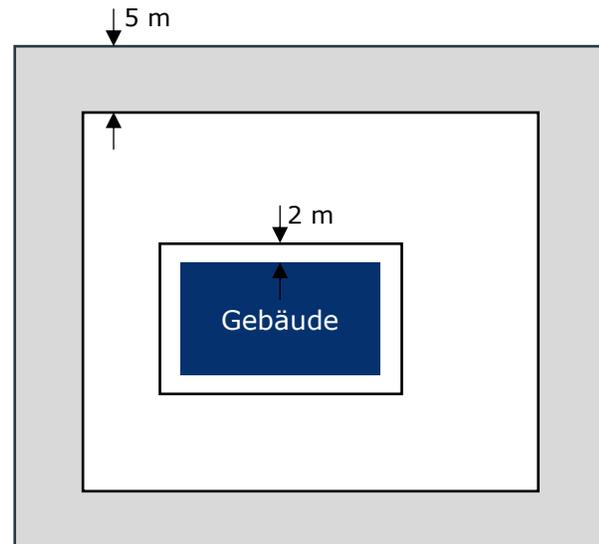
- Ausschluss von Restriktionsflächen (natürliche Barrieren, u.a. Wald, Gewässer, Bahn)
- Ausschluss von Flurstücken, die in wasserrechtlich unzulässigen Gebieten liegen
- Ermittlung aller Flurstücke mit Gebäuden mit Wärmebedarf

### Ermittlung der zur Verfügung stehenden Fläche für dezentrale Geothermie

- Mindestabstand zu Gebäuden von 2 m
- Mindestabstand zur Flurstücksgrenze von 5 m

### Für Erdwärmesonden:

- Ermittlung der möglichen Anzahl an Sonden nach der zuvor vorgestellten Methodik, angelehnt an die VDI 4640



### Quellen

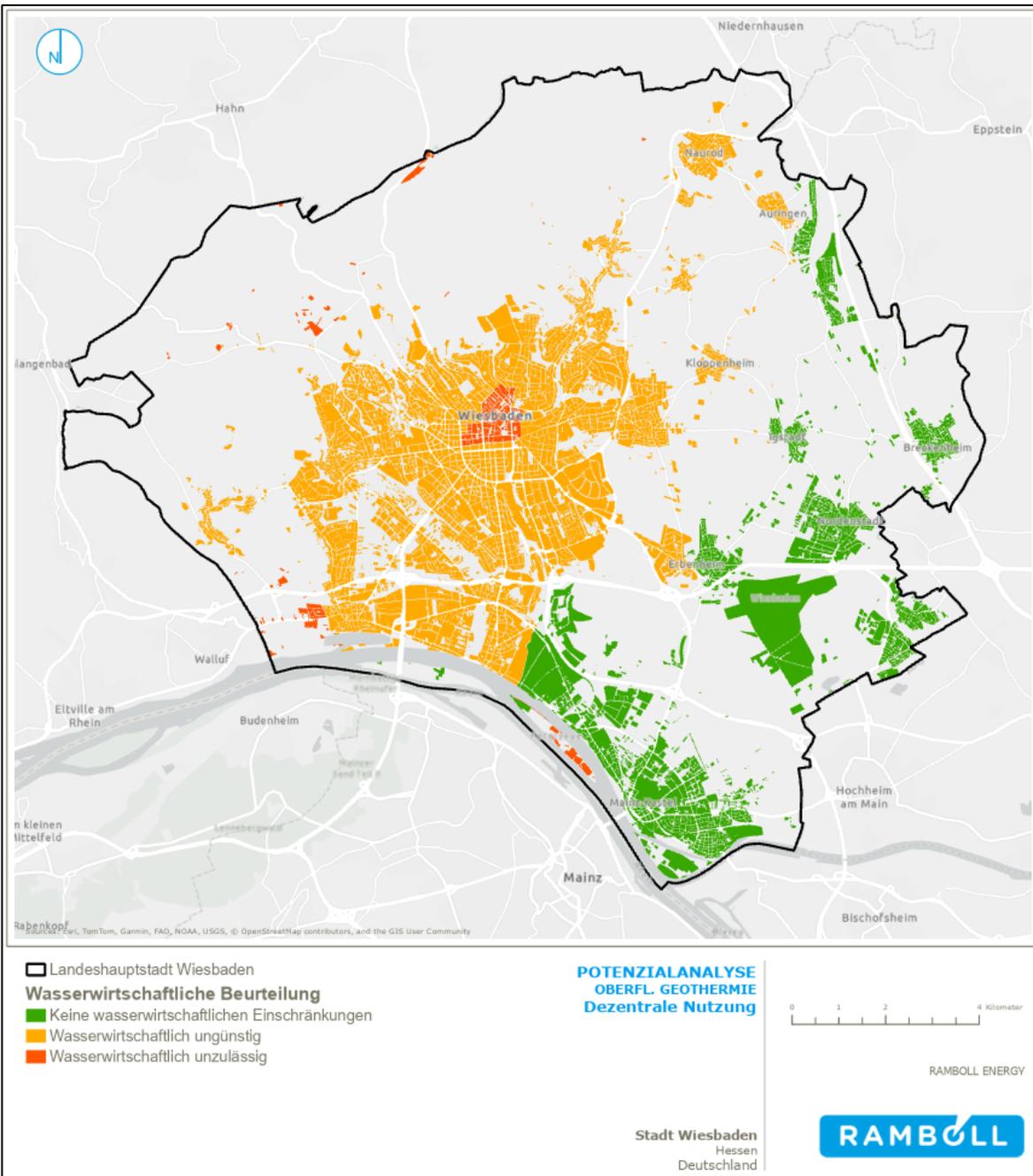
- LANUV Fachbericht Potenzialstudie Erneuerbare Energien
- VDI 4640-2

### Methodik

- Berücksichtigung von Abständen zu Gebäuden und Flurstücksgrenzen
- Ermittlung der zur Verfügung stehenden Fläche anhand einer äquivalenten quadratischen Fläche



Die Ergebnisse sind auf den nächsten Folien zu sehen



# Oberfl. Geothermie Dezentral



## METHODIK

- Bei der Bestimmung der Flächen für dezentrale Geothermie wurde eine Pufferfläche um Gebäude (2m) sowie Abstände zu Flurstücken (5m) berücksichtigt



# Oberflächennahe Geothermie

## Ergebnisse - dezentral

### Erdwärmesonden

| Versorgung | VBH (h/a) | Umwelt (T = 10°C)      |                          | Wärmepumpe (dezentral) |      |                  |                    |
|------------|-----------|------------------------|--------------------------|------------------------|------|------------------|--------------------|
|            |           | Leistung (Umwelt) (MW) | Energie (Umwelt) (GWh/a) | T                      | JAZ  | Leistung WP (MW) | Energie WP (GWh/a) |
| Dezentral  | 2.400     | 277                    | 664                      | 60 °C                  | 400% | 369              | 885                |

### Erdwärmekollektoren\*

| Versorgung | VBH (h/a) | Umwelt (T = 10°C)      |                          | Wärmepumpe (dezentral) |      |                  |                    |
|------------|-----------|------------------------|--------------------------|------------------------|------|------------------|--------------------|
|            |           | Leistung (Umwelt) (MW) | Energie (Umwelt) (GWh/a) | T                      | JAZ  | Leistung WP (MW) | Energie WP (GWh/a) |
| Dezentral  | 1.350     | 591                    | 798                      | 60 °C                  | 400% | 788              | 1.064              |

\*für Erdwärmekollektoren wurde die Entzugsleistung gemäß VDI 4640 bestimmt und keine Reduktion durch thermische Wechselwirkungen bei größeren Anlagen berücksichtigt. Das tatsächliche Potenzial einer Anlage muss durch Thermal-Response-Tests validiert werden.

### Hinweise

- JAZ** Abschätzung über Senken- & Quelltemperaturen
- VBH** Gemäß der VDI 46040
- Quelle EL** VDI 4640-2 & GeoViewer Hessen
- Flächen** Es wurden sowohl die geeigneten als auch bedingt geeigneten Flächen in der Auswertung berücksichtigt.
- Temperatur** Das Temperaturniveau der Umweltwärme liegt bei ungefähr **10°C**
- Flurstücke** Bei den Flurstücken wurde Mitversorgung berücksichtigt

### Abkürzungen

- EL Entzugsleistung
- VBH Vollbenutzungsstunden
- WP Wärmepumpe

The logo for Ramboll, featuring the word "RAMBOLL" in a bold, white, sans-serif font. The letter "O" is stylized with a blue checkmark-like shape inside it. The logo is set against a white rounded rectangular background.

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Freiflächen- Solarthermie





# Freiflächen Solarthermie Technologie

## Funktionsprinzip:

- Nutzt die Sonnenenergie zur Wärmeerzeugung durch Solarthermie-Kollektoren, die auf großen Freiflächen installiert werden.
- Die Kollektoren absorbieren die Sonnenstrahlung und erhitzen eine Flüssigkeit (meist Wasser oder eine Antifrostlösung), die dann direkt zur Raum- oder Prozesswärmeversorgung genutzt oder in ein Wärmenetz integriert werden kann.

---

+

-

- 
- **Hohe Effizienz bei direkter Sonneneinstrahlung:** Besonders leistungsfähig in Regionen mit viel Sonnenstrahlung.
  - **Platzierung auf ungenutzten Flächen:** Ideal für landwirtschaftliche Flächen oder Brachland ohne Wettbewerb mit anderen Nutzungen.
  - **Geringe Betriebskosten:** Nach der Installation sind die Betriebskosten vergleichsweise gering, da keine Brennstoffe benötigt werden.
  - **Witterungsabhängigkeit:** Die Effizienz ist stark abhängig von den Wetterbedingungen und der Sonneneinstrahlung. Wärme wird weitestgehend außerhalb der Heizperiode erzeugt.
  - **Flächenbedarf:** Für größere Wärmemengen sind große Flächen erforderlich, was in dicht besiedelten Gebieten problematisch sein kann.
  - **Geringere Effizienz bei hohen Temperaturen:** Solarthermie liefert insbesondere bei niedrigen Temperaturen eine hohe Effizienz.

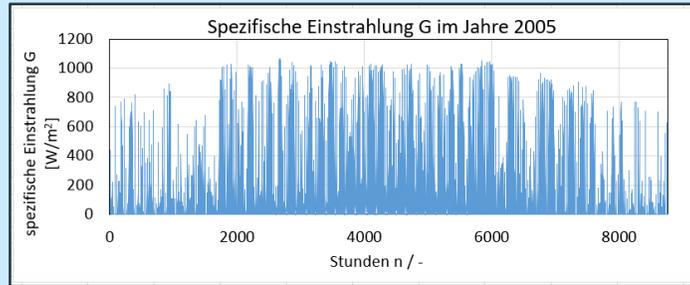


# Solarthermie (Freifläche)

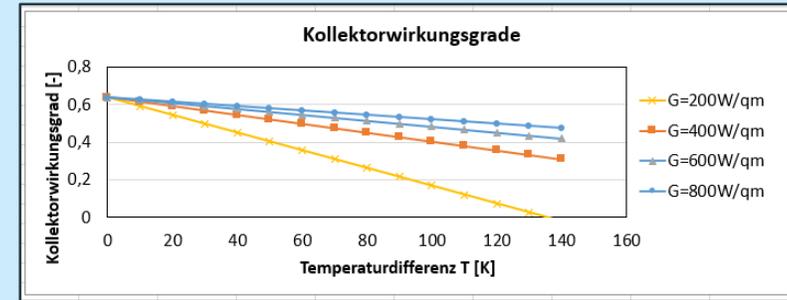
## Datengrundlage und Methodik



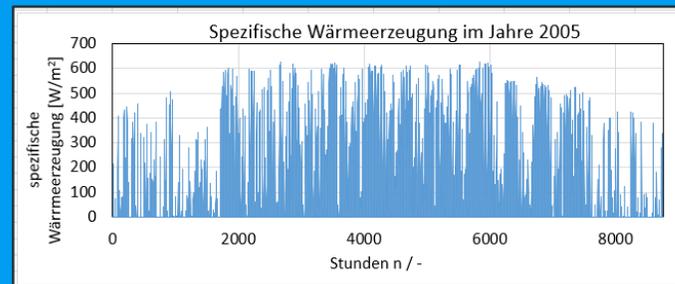
PVGIS liefert stündlich aufgelöste Strahlungsdaten (2005-2020) auf eine optimal ausgerichtete Fläche



Datenblätter von Solarthermiekollektoren geben eine Kollektorkennlinie an



Die spezifische Wärmeerzeugung kann stündlich aufgelöst ermittelt werden





# Solarthermie (Freifläche)

## Datengrundlage und Ergebnisse

| Randbedingungen           | Wert   | Einheit  |
|---------------------------|--------|--|
| Freifläche (exemplarisch) | 10.000 | $\text{m}^2_{\text{Freifläche}}$                                     |
| Flächenbedarfsfaktor      | 2,5    | $\text{m}^2_{\text{Freifläche}}/\text{m}^2_{\text{Kollektorfläche}}$ |
| Korrekturfaktor*          | 0,85   | -  |

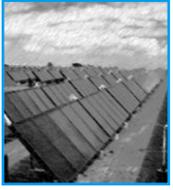
| Ergebnis                 | Wert   | Einheit  |
|--------------------------|--|--|
| Spezifischer Wärmeertrag | Mittelwert<br>Minimum (2013)<br>Maximum (2018) | $\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Kollektorfläche}}$ |
| Wärmemenge (Mittelwert)  | <b>2,33</b>                                    | GWh/ha   |
| Vollbenutzungsstunden    | 909  | h/a  |

- Es wird von einer optimalen Anstellung der Flächen ausgegangen (Südlich, ca. 37° Neigung)
  - Es werden keine Verluste wie Anfahrverluste o.ä. berücksichtigt
- Tatsächliche Wärmemengen sind von der Betriebsweise und der Wahl des Kollektors abhängig



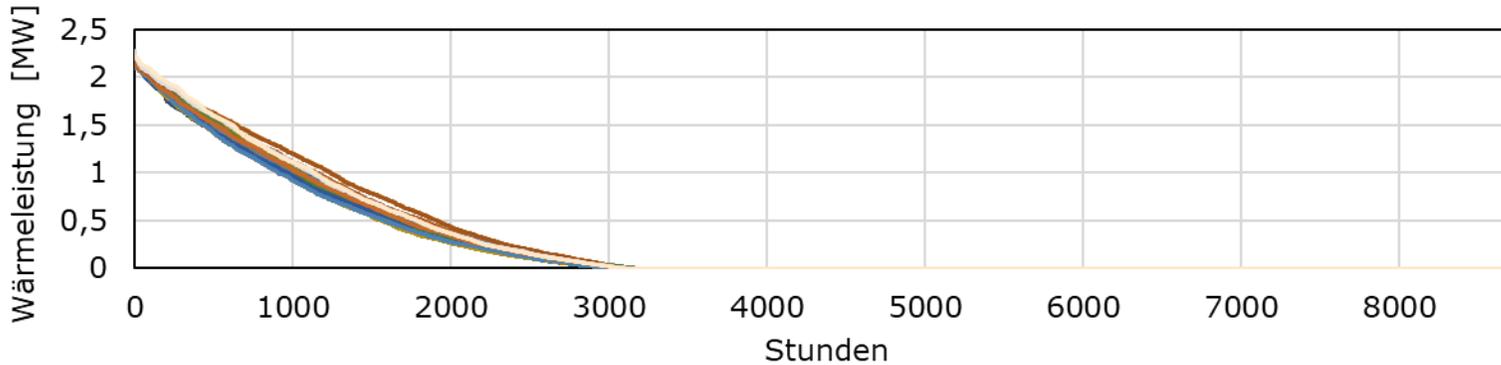
## Ergebnisse und Hinweise

- \*Die rein physikalische Berechnung des Ertrags überschätzt die potenzielle Wärmemenge. Durch die Berücksichtigung eines Korrekturfaktor in Höhe von 85% werden vergleichbare Werte zu Literaturdaten erreicht
- Auf einer **1 ha** großen Freifläche kann bei einer Nutzung von Solarthermie eine thermische Leistung von ca. **2,56 MW** bei **909 Volllaststunden** erreicht werden.
- Dies ergibt eine jährliche Wärmeenergieerzeugung von ca. **2,33 GWh/a**.

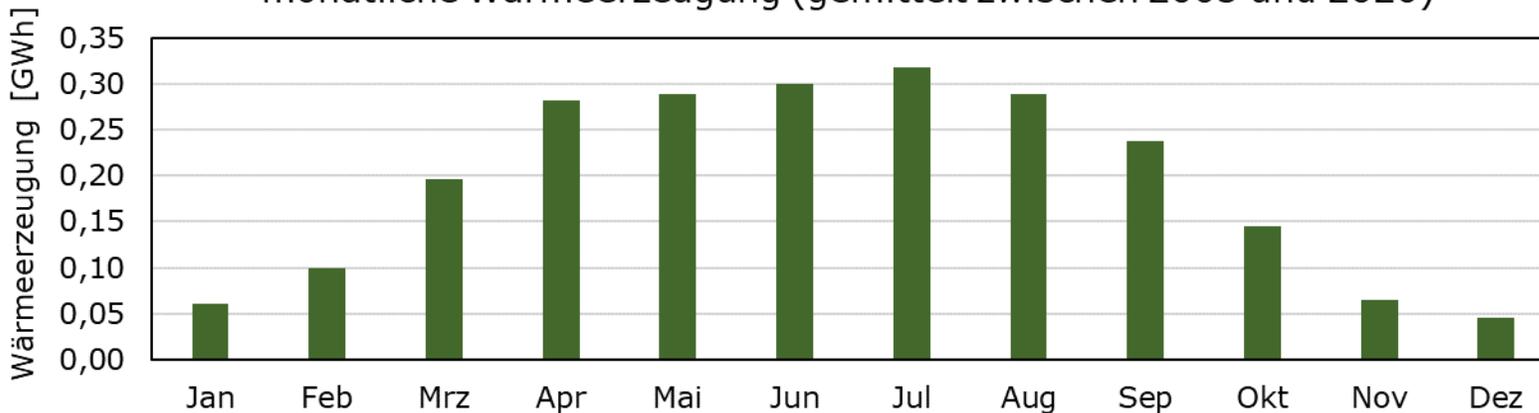


# Solarthermie (Freifläche) Ergebnisse

Thermische Leistung - Jahresdauerlinien [MW]

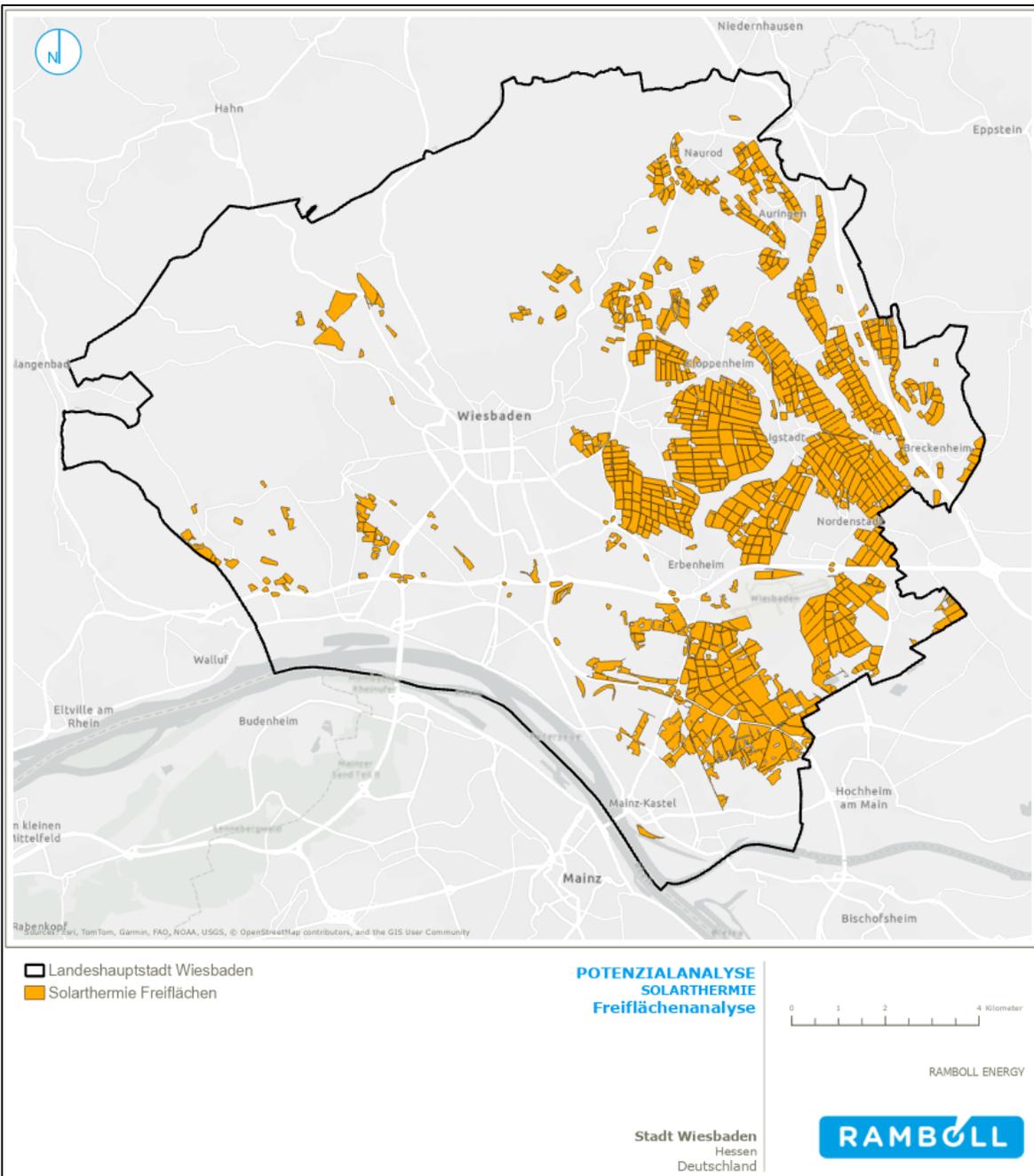


monatliche Wärmeerzeugung (gemittelt zwischen 2005 und 2020)



## Ergebnisse und Hinweise

- Die Jahresdauerlinie der Solarthermie variiert in jedem Jahr leicht
- Die Wärmeerzeugung konzentriert sich auf die Monate April bis September. In diesen Monaten wird ca. **74%** der jährlichen Wärmeerzeugung generiert
- Die Wärmeerzeugung durch Solarthermie und der Heizwärmebedarf verläuft nicht deckungsgleich. Zur Nutzung dieses Potenzials ist daher ein Saisonspeicher sinnvoll, der sowohl bei der ökonomischen Bewertung als auch bei der Standortsuche berücksichtigt werden sollte



# Solarthermie Freiflächen



## METHODIK

- Bei der Bestimmung der Freiflächen wurden alle Flächen berücksichtigt, die größer als 5.000 m<sup>2</sup> sind
- Außerdem wurden Flächen nicht berücksichtigt, die sehr länglich sind und damit für Solarthermie ungeeignet sind



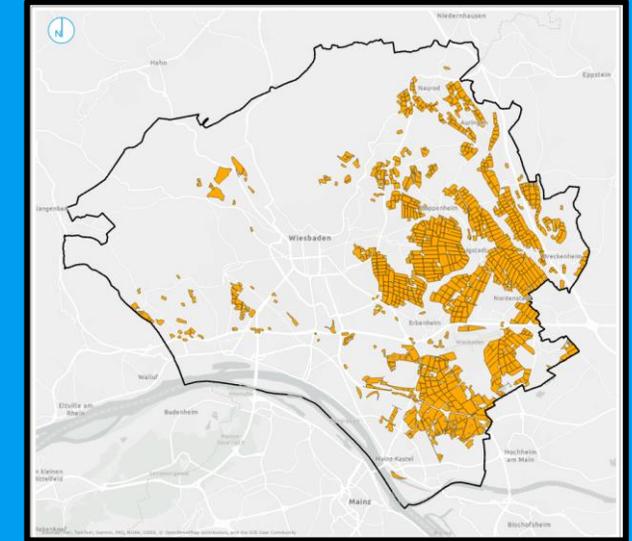
# Solarthermie (Freifläche)

## Datengrundlage und Ergebnisse

| Randbedingungen                       | Wert  | Einheit  |
|---------------------------------------|-------|--|
| Potenzielle Freiflächen               | 3.300 | ha   |
| Potenzielle Freiflächen (<500m zu FW) | 687   | ha   |
| Flächenbedarfsfaktor                  | 2,5   | $\text{m}^2_{\text{Freifläche}}/\text{m}^2_{\text{Kollektorfläche}}$ |
| Korrekturfaktor*                      | 0,85  | -  |

| Ergebnis                              | Wert   | Einheit           |  |
|---------------------------------------|--|-------------------|--|
| Spezifischer Wärmeertrag              | Mittelwert<br>Minimum (2013)<br>Maximum (2018) | 581<br>530<br>658 | $\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Kollektorfläche}}$ |
| Wärmemenge (Mittelwert)               | <b>7.681</b>                                   | GWh/a             |  |
| Wärmemenge (Mittelwert) (<500m zu FW) | <b>1.598</b>                                   | GWh/a             |  |
| Vollbenutzungsstunden                 | 909  | h/a               |  |

- Es wird von einer optimalen Anstellung der Flächen ausgegangen (Südlich, ca. 37° Neigung)
- Es werden keine Verluste wie Anfahrverluste o.ä. berücksichtigt
- Tatsächliche Wärmemengen sind von der Betriebsweise und der Wahl des Kollektors abhängig



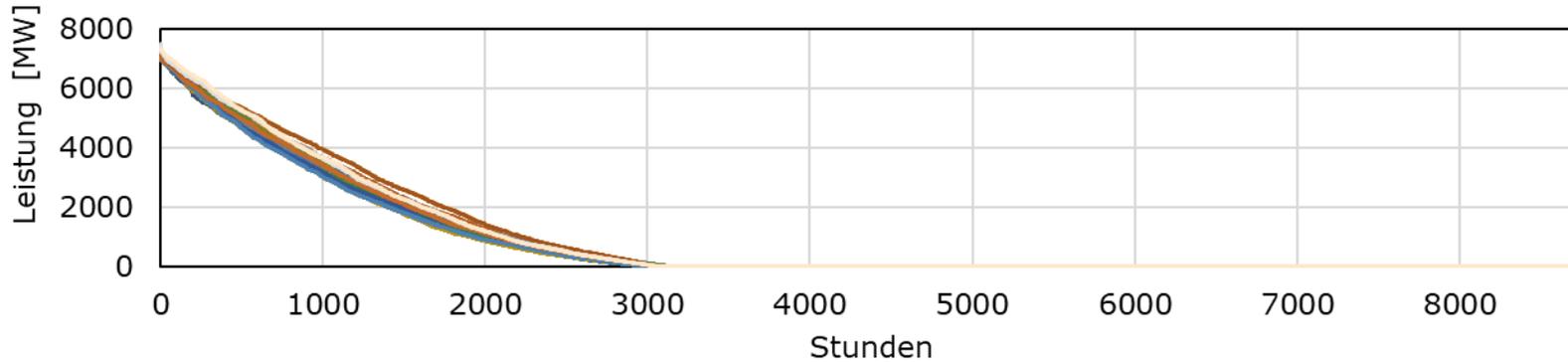
### Ergebnisse und Hinweise

- \*Die rein physikalische Berechnung des Ertrags überschätzt die potenzielle Wärmemenge. Durch die Berücksichtigung eines Korrekturfaktor in Höhe von 85% werden vergleichbare Werte zu Literaturdaten erreicht
- Die Nutzung des vollen Potenzials ist in Wintermonaten nur in Kombination mit thermischen Speichern möglich
- Aufgrund der sehr großen Freiflächen im Osten der Stadt ist insgesamt eine Wärmemenge von ca. **7.681 GWh/a** möglich
- Werden nur Freiflächen betrachtet, die nur in direkter Entfernung zum FW-Netz liegen, reduziert sich das Potenzial auf **1.598 GWh/a**.

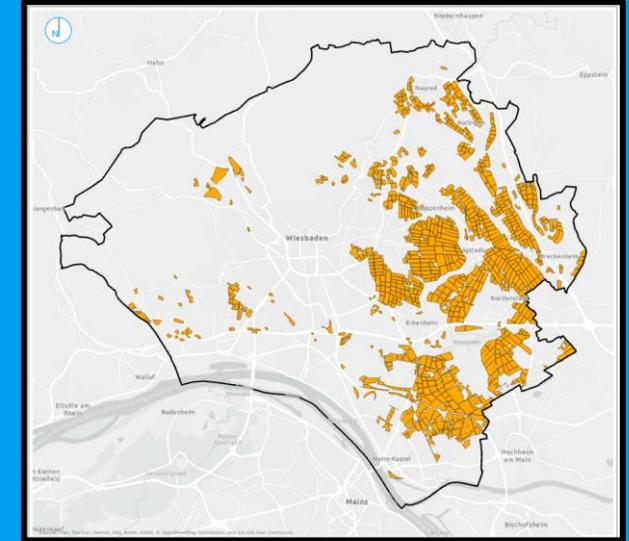
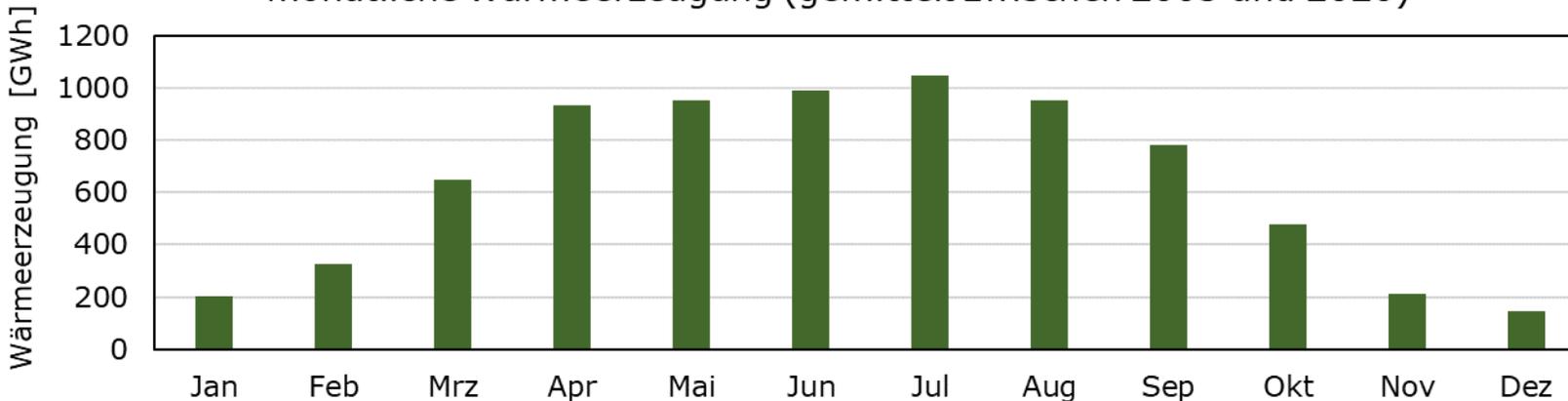


# Solarthermie (Freifläche) Ergebnisse

Thermische Leistung - Jahresdauerlinien [MW]



monatliche Wärmeerzeugung (gemittelt zwischen 2005 und 2020)



## Ergebnisse und Hinweise

- Die Jahresdauerlinie der Solarthermie variiert in jedem Jahr leicht
- Die Wärmeerzeugung konzentriert sich auf die Monate April bis September. In diesen Monaten wird ca. **74%** der jährlichen Wärmeerzeugung generiert
- Die Wärmeerzeugung durch Solarthermie und der Heizwärmebedarf verläuft nicht deckungsgleich. Zur Nutzung dieses Potenzials ist daher ein Saisonspeicher sinnvoll, der sowohl bei der ökonomischen Bewertung als auch bei der Standortsuche berücksichtigt werden sollte

The logo for Ramboll, featuring the word "RAMBOLL" in a bold, white, sans-serif font. A white checkmark is integrated into the letter "O". The logo is set against a white rounded rectangular background.

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Dachflächen Solarthermie



# Dachflächen Solarthermie Technologie

## Funktionsprinzip:

- Nutzt Solarkollektoren (Flach- oder Vakuumröhrenkollektoren) zur Umwandlung von Sonnenstrahlung in Wärme.
- Die erzeugte Wärme wird in einem Wärmeträgerfluid aufgenommen und über einen Wärmetauscher in Heizsysteme oder Warmwasserspeicher eingespeist.
- Besonders geeignet für Einzelgebäude, Wohnanlagen oder Gewerbeimmobilien mit geeigneter Dachausrichtung und -neigung.

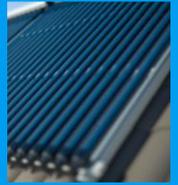


- **Dezentrale Versorgung:** Ideal für einzelne Gebäude oder Quartiere, reduziert Verluste durch Wärmeverteilung.
- **Geringer Flächenkonflikt:** Nutzt bestehende, ungenutzte Dachflächen – keine zusätzliche Flächenversiegelung nötig.
- **Förderfähig:** Viele öffentliche Förderprogramme unterstützen solarthermische Anlagen.

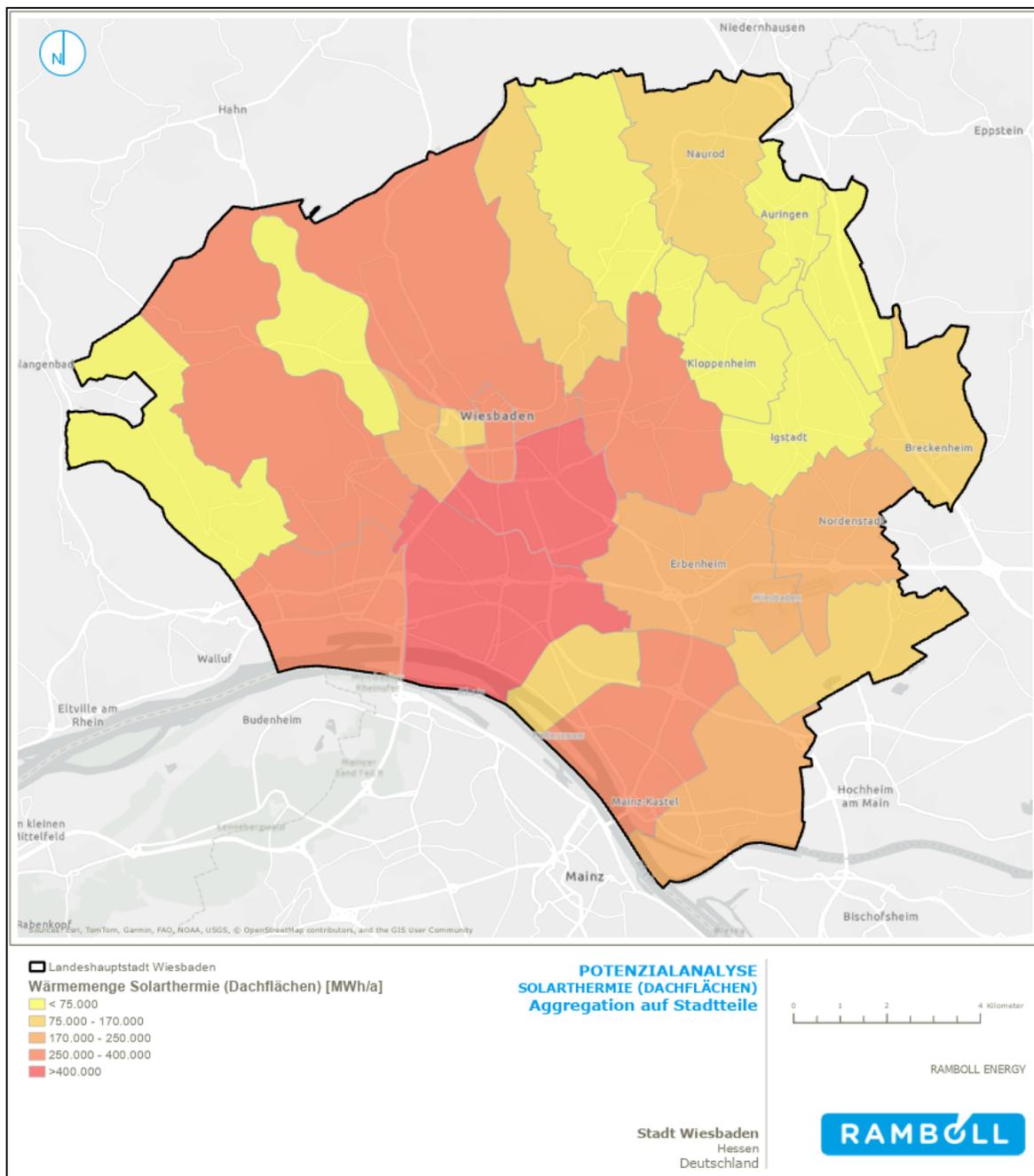


- **Witterungsabhängig:** Leistung stark von Sonnenstand und Jahreszeit abhängig, geringere Effizienz im Winter.
- **Begrenzter Platz:** Dachfläche ist oft nicht ausreichend groß für vollständige Heizungsversorgung.
- **Hoher Installationsaufwand:** Besonders bei Bestandsgebäuden mit ungünstiger Dachausrichtung oder -statik.
- **Geringe Wirtschaftlichkeit bei kleinen Anlagen:** Wirtschaftlich sinnvoll meist nur bei guter Auslegung/ hoher Eigenverbrauchsquote.

# Solarthermie Dachflächen



- Die Potenzialanalyse für Dachflächen-Solarthermie stammt von IPSyscon und wurde im Rahmen des EEP erarbeitet
- Grundlage für die Potenzialanalyse ist ein digitales Oberflächenmodell (DOM)
- Dabei wird das Dach jedes Gebäudes in die Ausrichtungen unterteilt
- Für jede Ausrichtung wird anschließend das Wärmepotenzial bestimmt
- Insgesamt ergibt sich für Wiesbaden ein Potenzial von ca. **4.995 GWh/a**
- Das größte Potenzial liegt für den Stadtteil Biebrich mit ca. **643 GWh/a** vor



A close-up photograph of a person's hands holding a large, textured pile of light-colored wood chips. The person is wearing a green long-sleeved shirt. The background is a blurred field of more wood chips. The image is partially overlaid by a blue graphic on the left side.

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Biomasse



# Biomasse Technologie

## Funktionsprinzip:

- Die entstehende Wärme wird direkt für Heiz- und Warmwasserzwecke genutzt oder in Wärmenetze eingespeist.
- Geeignet für dezentrale Anwendungen (z. B. Ein- und Mehrfamilienhäuser, kleine Nahwärmenetze) sowie großtechnische Anlagen für Quartiers- oder Stadtteilversorgung.
- Als erneuerbare Energiequelle CO<sub>2</sub>-neutral, sofern nachhaltig bewirtschaftete Rohstoffe verwendet werden.

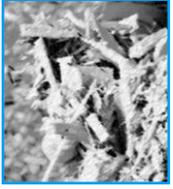
---

+

- **Grundlastfähig:** Liefert unabhängig von Wetter oder Tageszeit kontinuierlich Wärme – auch im Winter zuverlässig.
- **Etabliert und ausgereift:** Technologisch erprobt, viele verfügbare Systeme von Einzelfeuerungen bis zu KWK-Anlagen.
- **CO<sub>2</sub>-Neutralität:** Bei nachhaltiger Nutzung nahezu geschlossener Kohlenstoffkreislauf.

-

- **Feinstaub- und Emissionsthema:** Verbrennung erzeugt Feinstaub und andere Emissionen – Filtertechnik notwendig.
- **Versorgungsabhängigkeit:** Abhängig von regionaler Brennstoffverfügbarkeit und funktionierenden Lieferketten.
- **Flächen- und Logistikbedarf:** Lagerung und Transport der Brennstoffe benötigen Platz und verursachen Aufwand.
- **Nachhaltigkeitsdebatte:** Nutzung von Biomasse konkurriert potenziell mit Naturschutz, Landwirtschaft etc..



# Biomasse und Biogas

## Datengrundlage

| Energiequelle                  | Menge/<br>Fläche                 | Derzeitige Verwendung   | Quelle   |
|--------------------------------|----------------------------------|---|--|
| <b>Waldholz</b>                | 3.200 – 7.700 m <sup>3</sup> /a  | Stoffliche oder energetische Nutzung  | <a href="#">Biomassepotenzialstudie Hessen 2010</a>                                      |
| <b>Altholz</b>                 | 3.912 t/a                        | Je nach Zustand wird eine stoffliche Verwertung oder eine energetische Verwertung im BMHKW vorgenommen      | <a href="#">Abfallmengenbilanz des Landes Hessen für das Jahr 2023</a>                   |
| <b>Klärschlamm, entwässert</b> | 34.000 t/a                       | Der Klärschlamm wird nach Frankfurt-Höchst gebracht und dort anschließend verbrannt                         | Datenblätter über das Hauptklärwerk sowie Klärwerk Biebrich                              |
| <b>Klärgas</b>                 | 5,2 Mio. m <sup>3</sup> + 50 GWh | Das Klärgas wird direkt in den jeweiligen Klärwerken genutzt  | <a href="#">Hauptklärwerk Klärwerk Biebrich</a>  |
| <b>Bioabfall</b>               | 18.700 t/a                       | Der Bioabfall der Landeshauptstadt Wiesbaden wird derzeit in der Biogasanlage Flörsheim-Wickers verarbeitet | <a href="#">Abfallmengenbilanz des Landes Hessen für das Jahr 2023</a>                   |
| <b>Gartenabfälle</b>           | 5.300 t/a                        | Teilweise werden Gartenabfälle nach Flörsheim-Wickers gebracht, teilweise werden diese kompostiert          |  |
| <b>Gülle</b>                   | 1530 GV                          | -   | <a href="#">Agrarstrukturerhebung 2016 Landwirtschaftliche Betriebe und Viehbestände</a> |
| <b>Energiepflanzen</b>         | 1.200 ha                         | -   | Landwirtschaftliche Fläche Wiesbaden (6000 ha) + Anteil an Energiepflanzen (20%)         |



# Biomasse und Biogas

## Datengrundlage & Berechnung

| Energiequelle          | Menge                             | Umrechnungsfaktor                     | Heizwert                  |
|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| <b>Waldholz</b>        | 3.200 – 7.700 m <sup>3</sup> /a   | 600 kg <sub>20%</sub> /m <sup>3</sup> | 4,2 kWh/kg <sub>20%</sub> |
| <b>Altholz</b>         | 3.912 t/a                         | -                                     | 3.600 kWh/t               |
| <b>Klärschlamm</b>     | 34.000 t/a                        | 30% t <sub>TM</sub> /t                | 3.055 kWh/t <sub>TM</sub> |
| <b>Bioabfall</b>       | 18.700 t/a                        | 38% t <sub>TM</sub> /t                | 1.839 kWh/t <sub>TM</sub> |
| <b>Gartenabfall</b>    | 5.300 t/a                         | 50% t <sub>TM</sub> /t                | 3.000 kWh/t <sub>TM</sub> |
| <b>Klärgas</b>         | *5,2 Mio. m <sup>3</sup> + 50 GWh | -                                     | 6,4 kWh/m <sup>3</sup>    |
| <b>Energiepflanzen</b> | 1.200 ha                          | -                                     | 35.838 kWh/ha             |
| <b>Gülle</b>           | 1.530 GV                          | 19 m <sup>3</sup> /GV                 | 1.600 kWh/m <sup>3</sup>  |

## Quellen

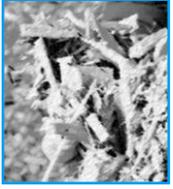
- Biomassepotenzialstudie Hessen 2010
  - Waldholz
- Abfallmengenbilanz des Landes Hessen für das Jahr 2023
  - Altholz
- Datenblätter der Klärwerke Biebrich & Hauptklärwerk
  - Klärschlamm
- Abfallmengenbilanz des Landes Hessen für das Jahr 2023
  - Bioabfall
  - Gartenabfall
- Datenblätter der Klärwerke Biebrich & Hauptklärwerk
  - Klärgas
- Landwirtschaftliche Fläche Wiesbaden + Anteil an Energiepflanzen
  - Energiepflanzen
- Agrarstrukturerhebung 2016 Landwirtschaftliche Betriebe und Viehbestände
  - Gülle

## Hinweise

- \* Die anfallenden Mengen an Klärgas werden direkt in den jeweiligen Klärwerken genutzt

## Abkürzungen

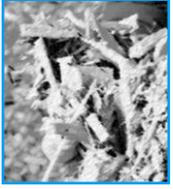
- TM Trockenmasse
- GV Großvieheinheit



# Biomasse und Biogas

## Ergebnisse im Detail

| Energiequelle          | Thermische Energie [GWh/a] | Mögliche zukünftige Nutzung   | Kommentar (Einschränkung des Potenzials)  |
|------------------------|----------------------------|---|---|
| <b>Waldholz</b>        | 32,2                       | Nutzung im BMHKW oder Weiterverwertung in Hackschnitzel für dezentrale Nutzung                                    | Dient als Erholungsgebiet; Nachhaltige Bewirtschaftung begrenzt die Entnahme; problematisch in Bezug auf Naturschutz      |
| <b>Altholz</b>         | 14,1                       | Nutzung im BMHKW oder MHKW, je nach Zustand oder Weiterverwertung in Hackschnitzel für dezentrale Nutzung         | Verfügbarkeit schwankt stark; nur bestimmte Qualitäten sind energetisch nutzbar   |
| <b>Klärschlamm</b>     | 31,2                       | Klärschlamm-trocknung und -verbrennung innerhalb der Stadtgrenzen   | Thermische Behandlung unterliegt strengen Vorgaben; hoher Trocknungsaufwand; politische Debatte um Nährstoffrückgewinnung |
| <b>Bioabfall</b>       | 13,7                       | Verwertung zu Biomethan in geplanter Bioabfallvergärungsanlage  | Biogaserzeugung nur bei hoher Qualität möglich  |
| <b>Gartenabfall</b>    | 7,9                        | Verwertung zu Biomethan in geplanter Bioabfallvergärungsanlage  | Saisonale Schwankungen  |
| <b>Klärgas</b>         | 83,9                       | Einbindung der Klärwerke und des Klärgases in das Fernwärmenetz der ESWE (oder eines anderen Wärmenetzbetreibers) | Abhängigkeit vom kontinuierlichen Betrieb der Kläranlage; Nutzung vor Ort reduziert verfügbares Potenzial                 |
| <b>Energiepflanzen</b> | 59,8                       | Verwertung zu Biomethan oder Biogas   | Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion; politische Diskussion über Nachhaltigkeit                                 |
| <b>Gülle</b>           | 46,5                       | Verwertung zu Biomethan oder Biogas   | Hoher Sammel- und Transportaufwand  |



# Biomasse und Biogas

## Bioabfallvergärungsanlage

### Fakten

- Derzeit wird der anfallende Bioabfall der Stadt Wiesbaden in einer Biogasanlage in Flörsheim-Wicker (Main-Taunus-Kreis) verarbeitet
- 2029 soll eine neue Bioabfallvergärungsanlage auf dem Deponiegelände Dykerhoffbruch in Betrieb gehen
- Partner sind die Landeshauptstadt Wiesbaden und der Rheingau-Taunus-Kreis
- In dieser neuen Anlage sollen die Bioabfälle der Stadt Wiesbaden **sowie** umliegender Kreise verarbeitet werden
- Das entstehende Biogas soll zu Biomethan aufgearbeitet und anschließend in das Gasnetz eingespeist werden

### Technische Daten:

- 60.000 Tonnen jährlicher Durchsatz
- 8,9 Mio. m<sup>3</sup> Biogas
- bzw. ca. **5 Mio. m<sup>3</sup> Biomethan**
- Dies entspricht ca. **50 GWh** Wärme pro Jahr
  - Kein zusätzliches Biomassepotenzial, sondern lokale Produktion von Biomethan!



\*Beispielfoto



**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Tiefengeothermie

(Studie der ESWE wird ergänzt, sobald verfügbar)



# Wärme aus Tiefengeothermie Hydrothermal

## Funktionsprinzip:

- Nutzt natürlich vorhandenes, heißes Tiefenwasser aus porösen, wasserführenden Gesteinsschichten (Aquiferen).
- Das Thermalwasser wird über eine Förderbohrung entnommen, durch einen Wärmetauscher geleitet und wieder in die Tiefe geleitet.
- Erschließungstiefen zwischen 1.000 m und 5.000 m, Temperatur >60 °C.
- Wärme kann direkt in Fernwärmenetze eingespeist werden – ggf. mit Wärmepumpe bei niedrigerer Temperatur.

+

-

- **Technologisch erprobt:** Zahlreiche Anlagen in Betrieb, v. a. in Süddeutschland.
- **Hohe Versorgungssicherheit:** Dauerhaft verfügbare, grundlastfähige Energiequelle.
- **Geringe CO<sub>2</sub>-Emissionen:** Nahezu emissionsfrei bei rein thermischer Nutzung.
- **Gut geeignet für Wärmenetze:** Hohe Leistungen möglich, geeignet für städtische Gebiete.

- **Nur bei geeigneter Geologie möglich:** Vorkommen heißer, wasserführender Schichten notwendig.
- **Geologisches Risiko:** Explorationsphase kann zeigen, dass kein nutzbares Reservoir vorhanden ist.
- **Hohe Investitionen nötig:** Tiefbohrungen und Infrastruktur kosten mehrere Mio. €.
- **Langwieriger Genehmigungsprozess:** Bergrechtliche Zulassungen und Umweltverträglichkeitsprüfungen erforderlich.



# Wärme aus Tiefengeothermie Petrothermal

## Funktionsprinzip:

- Nutzt heißes, aber trockenes (wasserfreies) Gestein in Tiefen  $>3.000$  m.
- Wasser wird durch künstlich erzeugte Risse (Hydrofrakturierung) in das Gestein eingebracht, dort erhitzt und wieder gefördert.
- Der erzeugte Kreislauf funktioniert ähnlich wie bei hydrothermalen Systemen, jedoch mit künstlichem Wärmetauscher im Gestein.
- Einsatz noch überwiegend im Forschungs- und Pilotstadium, aber hohes technisches Zukunftspotenzial.

+

-

- **Standortunabhängigeres Potenzial:** Potenziell in vielen Regionen nutzbar, da keine wasserführenden Schichten nötig.
- **Sehr großes theoretisches Wärmepotenzial:** Gestein in großer Tiefe ist fast überall heiß genug.
- **CO<sub>2</sub>-frei im Betrieb:** Bei Nutzung mit erneuerbarem Strom sehr klimafreundlich.
- **Langfristige Perspektive für Wärmeversorgung:** Zukunftstechnologie mit hohem Ausbaupotenzial.
- **Technologie noch wenig erprobt:** Aktuell nur in wenigen Pilotanlagen umgesetzt.
- **Erhöhtes seismisches Risiko:** Durch künstliche Rissbildung können Mikrobeben ausgelöst werden.
- **Hoher technischer und finanzieller Aufwand:** Noch teurer und komplexer als hydrothermale Systeme.
- **Rechtlich und gesellschaftlich sensibel:** Öffentlichkeitsbeteiligung und Risikokommunikation essenziell.

The logo for Ramboll, featuring the word "RAMBOLL" in a bold, sans-serif font. The letter "O" is stylized with a blue checkmark-like shape inside it. The logo is set against a white rounded rectangular background.

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Wärmespeicher



# Wärmespeicher Technologie

## Funktionsprinzip:

- Durch Wärmespeicher kann die Erzeugung und der Bedarf von Wärme voneinander entkoppelt werden
- Wärmespeicher können als Tages-, Wochenspeicher oder Saisonspeicher eingesetzt werden
- Mögliche Technologien sind:
  - Behälterspeicher (erprobte Technologie, in vielen Größen erhältlich)
  - Erdbeckenwärmespeicher (Einsatz i.d.R. als Saisonal- oder Wochenspeicher, große Kapazität)
  - Aquiferspeicher (Speicherung von warmem Wasser in unterirdischen Gesteinsschichten, kein hoher Technologiereifegrad)

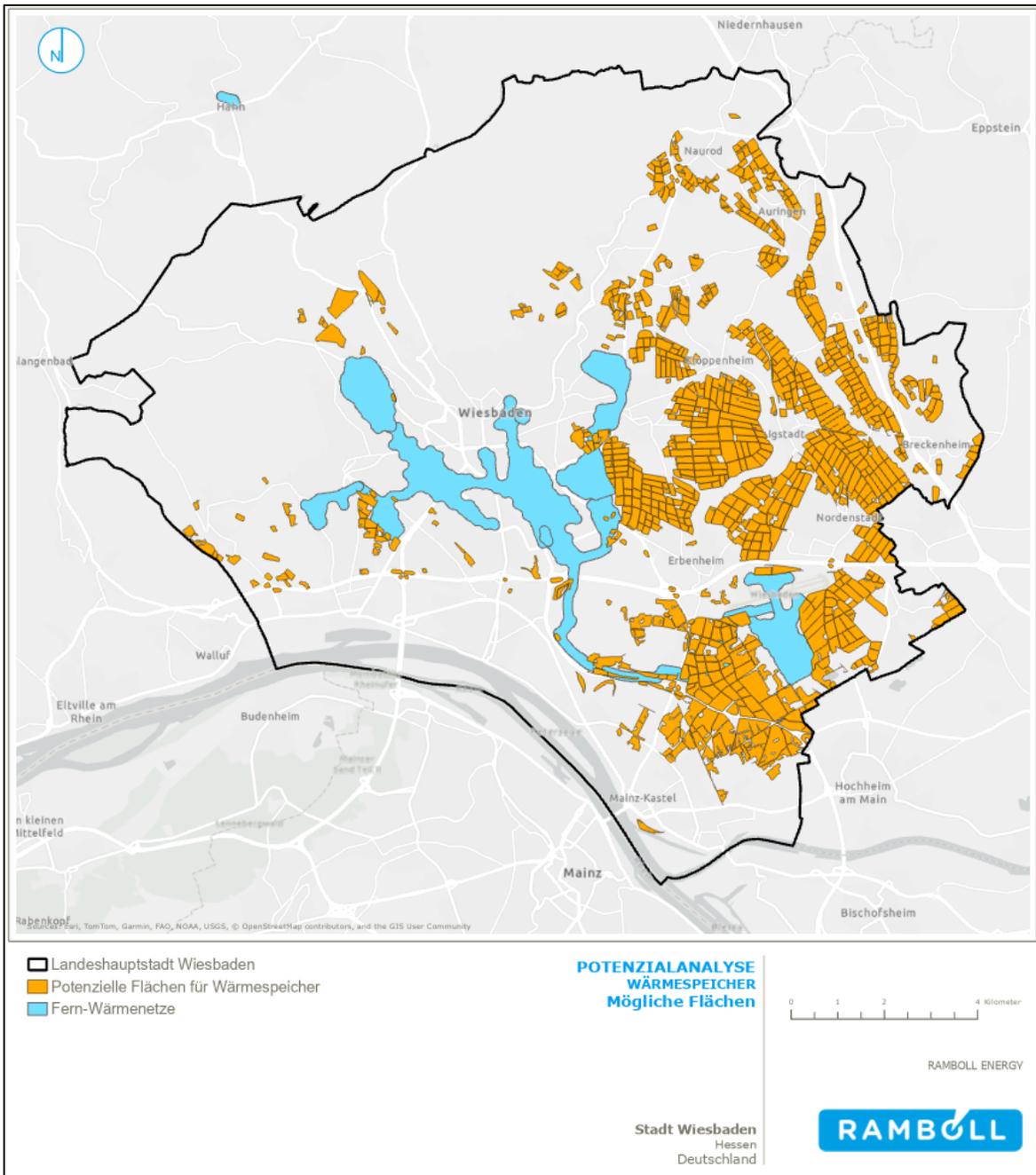
---

+

-

- 
- **Zeitliche Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch:** Wärme kann gespeichert und bei Bedarf abgegeben werden
  - **Erhöhung der Effizienz:** Wärmeerzeugungsanlagen können optimal und gleichmäßig betrieben werden

- **Platzbedarf:** Vor allem große oder Langzeitspeicher benötigen viel Raum
- **Wärmeverluste über Zeit:** Je nach Dämmung und Speicherdauer gehen Teile der Wärme wieder verloren
- **Investitionskosten:** Anschaffung, Installation und ggf. Erdarbeiten (z. B. bei Saisonspeichern) sind kostenintensiv



# Wärmespeicher Mögliche Flächen

- Bei Wärmespeichern muss zwischen Kurzzeitspeichern und Langzeitspeichern unterschieden werden
- Kurzzeitspeicher haben geringere Kapazitäten, benötigen weniger Platz und sollten in der Nähe von bestehenden Erzeugungsstandorten platziert werden
- Langzeitspeicher wie Erdbeckenwärmespeicher benötigen mehr Fläche
- Bei der Standortsuche kann auf die Freiflächenanalyse für Solarthermie zurückgegriffen werden
- Hier sollte verstärkt auf die Entfernung zum Wärmenetz geachtet werden
- Thermische Speicher bieten selbst kein Potenzial, aber sind notwendig, um fluktuierende Potenziale bedarfsgerecht zu nutzen
- Speicher werden sehr wahrscheinlich zur effizienten Wärmeversorgung benötigt, eine detailliertere Analyse wird im Fernwärme-Transformationsplan durchgeführt

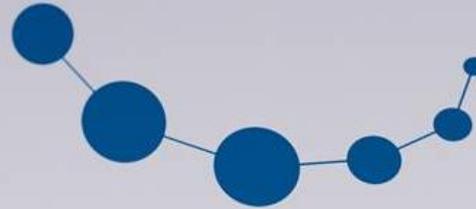
Hydrogen H<sub>2</sub>

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

Wasserstoff

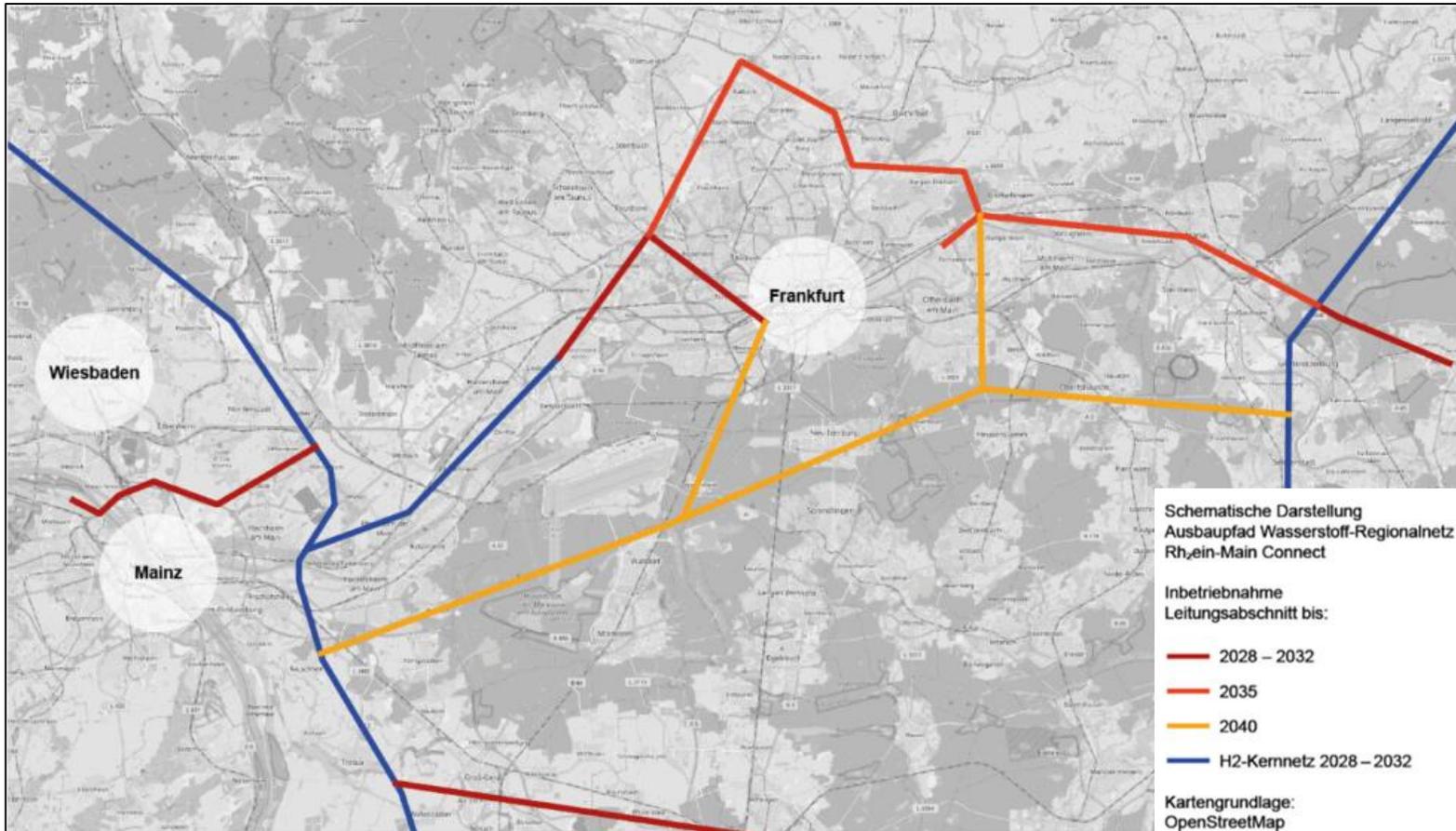
H<sub>2</sub> HYDROGEN POWER  
CLEAN ENERGY OF THE FUTURE





# Wasserstoff

## Wasserstoffkernnetz



Quelle: Wasserstoff-Regionalnetz Rh<sub>2</sub>ein-Main Connect

## Hinweise

- Das Wasserstoffkernnetz soll zukünftig durch das Stadtgebiet von Wiesbaden laufen
- In einer Machbarkeitsstudie zum Wasserstoff-Regionalnetz von Rhein-Main Connect, in Zusammenarbeit mit dem lokalen Energieversorger ESWE, wurde ein Wasserstoffverteilnetz in der Metropolregion Frankfurt Rhein-Main konzipiert
- Für Wiesbaden wurde ein Anschluss der Innenstadt sowie des Industriegebiets in der Nähe des Rheins erdacht, welches 2034 in Betrieb genommen werden soll
- Verfügbarer Wasserstoff sollte zunächst für Industrie eingesetzt werden, in denen hohe Vorlauftemperaturen benötigt werden oder Wasserstoff prozessbedingt verwendet wird
- Außerdem könnte die Nutzung von Wasserstoff zur Deckung von Lastspitzen im Fernwärmenetz sinnvoll sein
- Eine dezentrale Nutzung von Wasserstoff ist denkbar
- Sowohl die Verfügbarkeit als auch der zukünftige Preis sind jedoch mit großer Unsicherheit verbunden

The logo for Ramboll, featuring the word "RAMBOLL" in a bold, sans-serif font. The letter "O" is stylized with a blue checkmark-like shape inside it. The logo is set against a white rectangular background.

Bright ideas.  
Sustainable change.

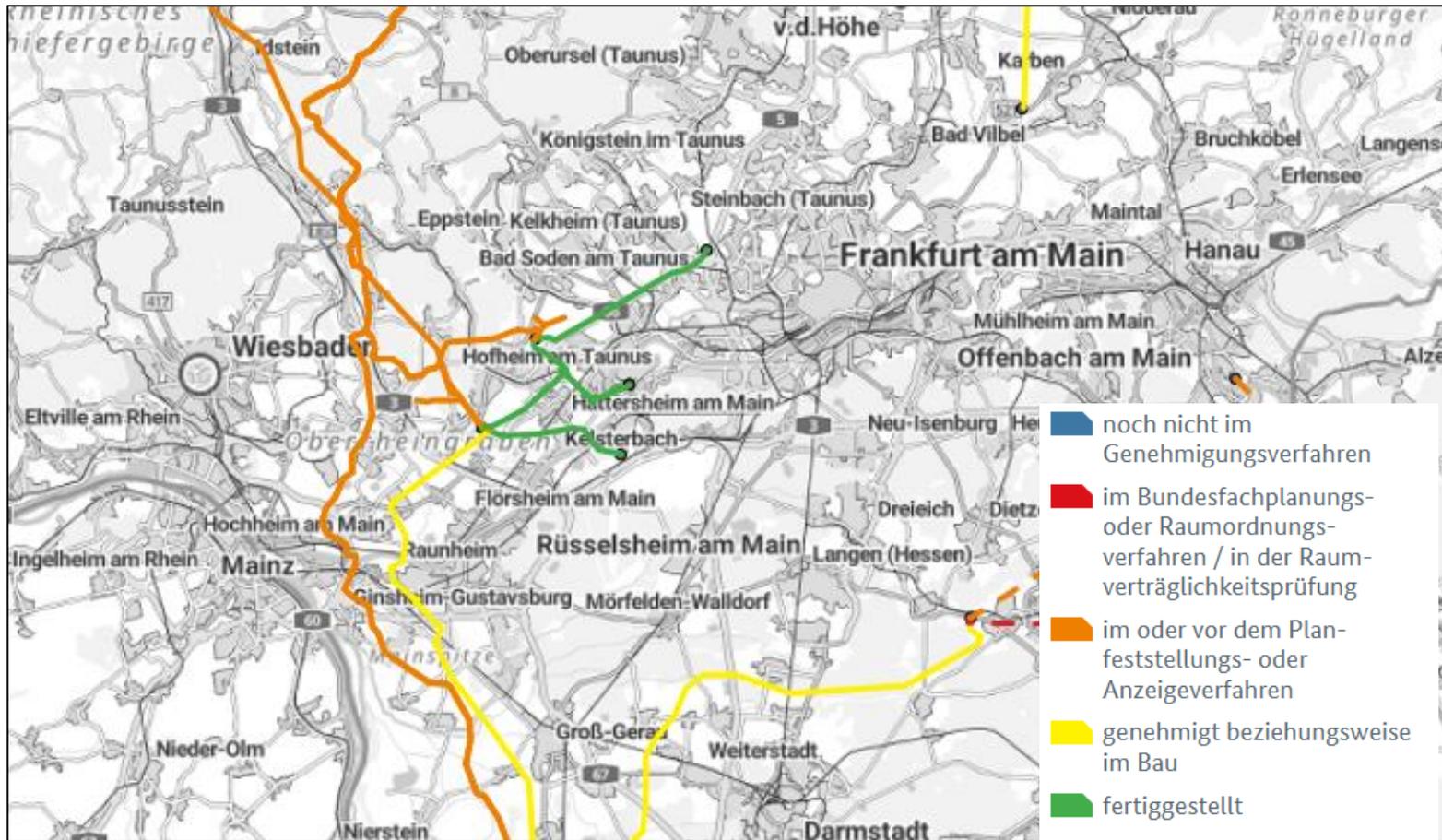
# Stromnetz





# Stromnetz

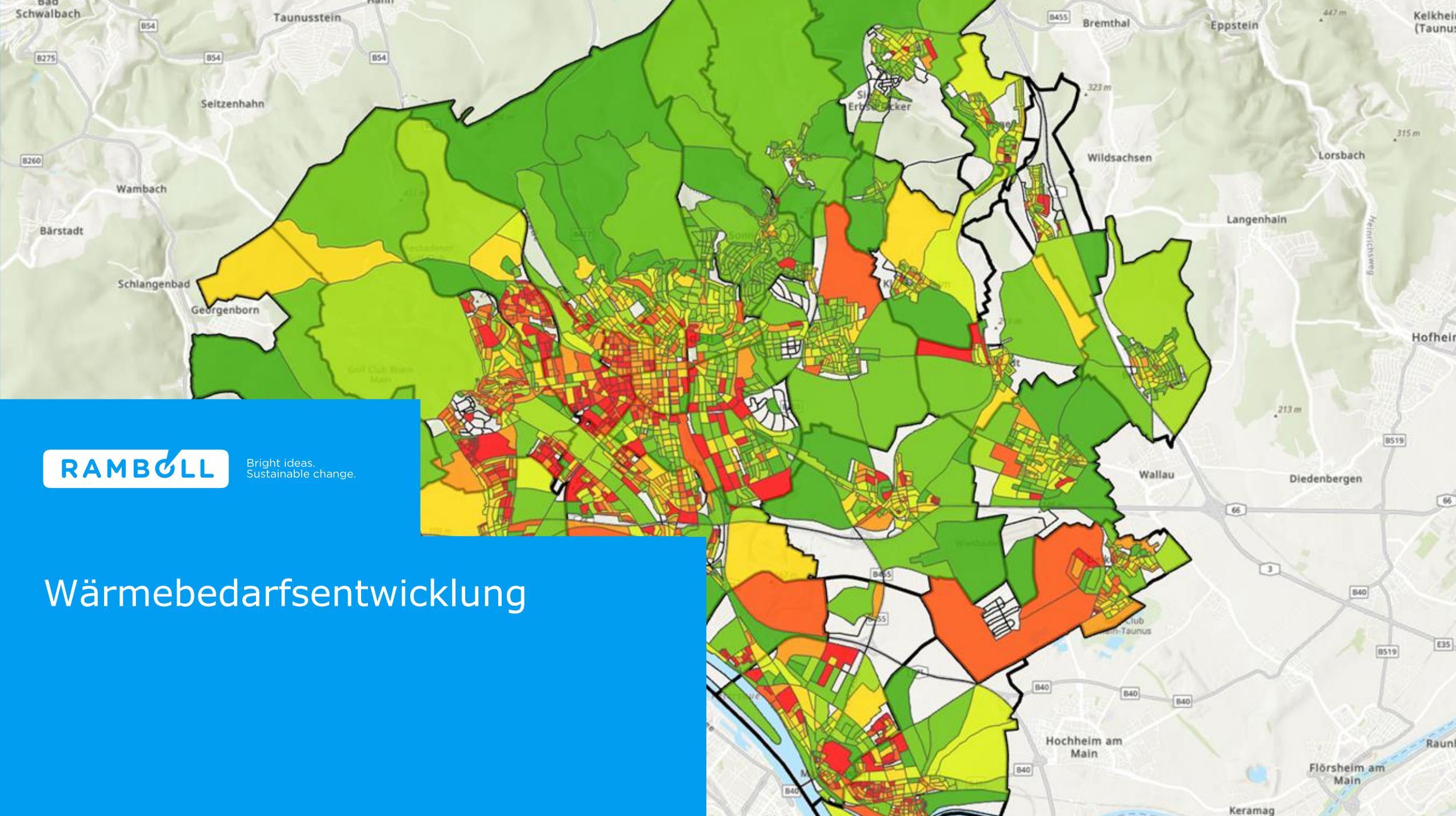
## Geplanter Stromnetzausbau



Quelle: Bundesnetzagentur - [Netzausbau](#) - Karte

## Hinweise

- Damit die Wärmeerzeugung elektrifiziert werden kann, muss auch ein Ausbau des Stromnetzes erfolgen, um dem steigenden Strombedarf gerecht zu werden
- Der Ausbau unterstützt die Integration dezentraler EE-Anlagen, indem sichergestellt wird, dass das Stromnetz in der Lage ist, die Einspeisung neuer Erzeugeranlagen zu ermöglichen
- Bei Wiesbaden soll 2033 der Rhein-Main-Link (Gesamtkapazität 8 GW) in Betrieb genommen werden
- Außerdem sind Erhöhungen der Netzkapazität und Verstärkungen bestehender Trassen geplant



**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Wärmebedarfsentwicklung

# Vorwort

Dieses Kapitel beschreibt zu Beginn die Methodik und verschiedene Studienergebnisse zur Bestimmung von Wärmebedarfsänderungen aufgrund von Sanierung und Klimaeffekten. Anschließend sind die Ergebnisse der Fortschreibung dargestellt.

## **Inhalt**

1. Sanierungseffekte
2. Klimaeffekte
3. Fortschreibung des Wärmebedarfs

# 1. Sanierungseffekte

Änderung des Wärmebedarfs aufgrund von Gebäudesanierungen

# Senkung des Wärmebedarfs durch erhöhte Gebäude-Energieeffizienz

Wir untersuchen die zwei wesentlichen Einflussfaktoren auf den Wärmebedarf:

|            | Sanierungsrate  | Sanierungstiefe  |
|------------|---|--|
| Definition | = Sanierte Gebäude (in Jahr 2021)/gesamter Gebäudebestand   | = 1-(Wärmeverbrauch nach Sanierung/Wärmeverbrauch vor Sanierung)   |
| Beispiel   | <ul style="list-style-type: none"><li>• im Jahr 2023 wurden 500 Gebäude im Untersuchungsgebiet saniert</li><li>• Das Untersuchungsgebiet besteht aus 50.000 Gebäuden</li><li>• Sanierungsrate liegt im Jahr 2023 bei 1%</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• In den Jahren 2018, 2019 und 2020 hat ein Gebäude im Untersuchungsgebiet einen Gasverbrauch von jeweils 10.000 kWh</li><li>• Im Jahr 2021 hat das Gebäude einen Gasverbrauch von 6.000 kWh</li><li>• Sanierungstiefe liegt bei 40%</li></ul> |

# Begriffsbestimmung Sanierungsrate

Sanierungsrate ist **kein definierter Begriff**, der erschöpfend festlegt, welche Maßnahmen im Einzelnen und in welchem Umfang konkret umgesetzt wurde. Allgemeiner gesprochen: Sanierungsrate beinhaltet größere Maßnahmen, keine Einzelmaßnahmen (z. B. Erneuerung von Fenstern).

Aufgrund der Unschärfe ist umstritten, inwiefern Sanierungsrate eine sinnvolle Zielvorgabe/Messgröße sein kann - siehe Studie des BBSR (2016), die schlechte Datenbasis über Wohn- und Nichtwohngebäude in Deutschland beklagen.

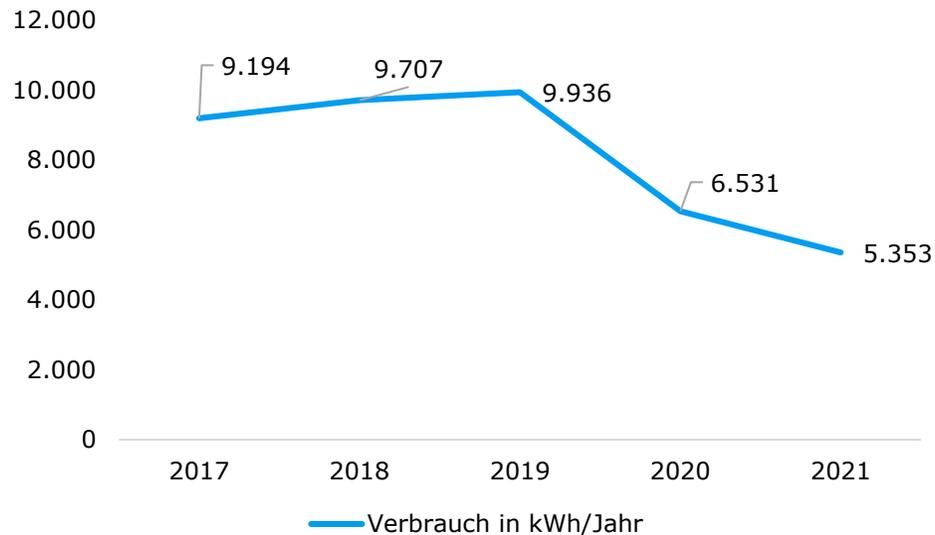


Wir müssen im Rahmen des Projekts definieren, was wir unter Sanierung verstehen:

- Festlegung, ab welcher Sanierungstiefe wir von einem sanierten Gebäude sprechen wollen (z.B. 20%, z.B. 25%)
- Vorsicht bei Abgleich der Sanierungsrate in Untersuchungsgebiet mit Literaturwerten zu Sanierungsraten und -tiefen

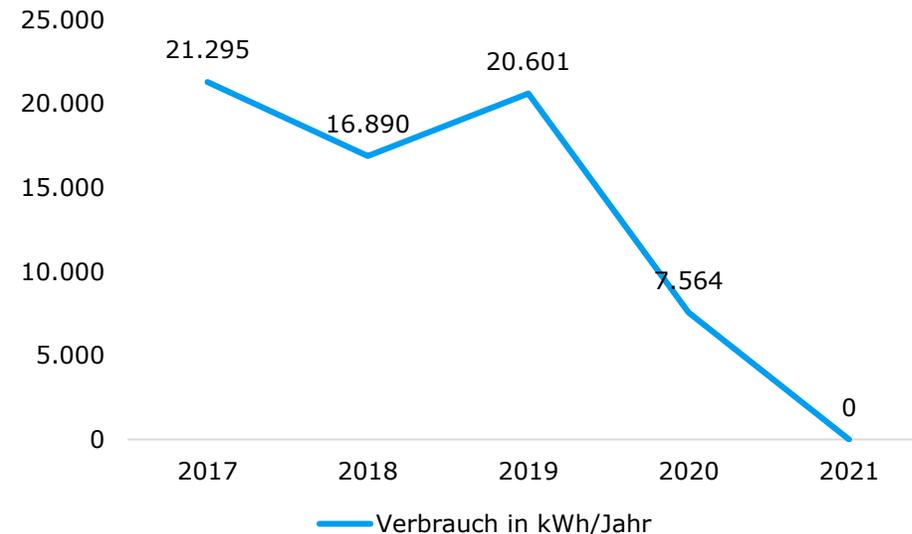
# Hintergrundinfo: Festlegung von sanierten Gebäuden anhand von Verbrauchsdaten

**Beispiel 1:** 35% Einsparung im Jahr 2020, leichte Abnahme im Jahr 2021



→ Saniert in 2020

**Beispiel 2:** 65 % Einsparung im Jahr 2020, Abnahme auf 0 kWh im Jahr 2021



→ Nicht Saniert in 2021, da ggf. Abriss/Umstellung auf andere Energieträger



Tatsächliche Abnahmen von Verbräuchen müssen kritisch hinterfragt werden hinsichtlich ihrer Ursachen

# Aktuelle regulatorische/ökonomische Entwicklungen weisen nicht auf starken Anstieg der Sanierungstätigkeit hin

## Regulatorische Rahmenbedingungen



- Zweite Novelle des GEG (September 2023, "Heizungsgesetz")
- 14 Maßnahmen der ehemaligen Bundesregierung für zusätzliche Investitionen in den Bau (September 2023)

## Ökonomische Rahmenbedingungen



- Zinsanstieg
- Inflation
- Konjunkturelle Schwäche
- Lieferengpässe
- Fachkräfte – bis 2030 fehlen bundesweit 120.00 Fachkräfte (HDB, 2024)
- Voll ausgelastete Produktionskapazitäten für Dämmung, Fenster, Wärmepumpen (1. Halbjahr 2022: 94%; DIW, 2023)
- Sinkender Anteil an Produzenten (Dämmung, Fenster), die Kapazitätserweiterung anstreben (September 2022: 12%; DIW, 2023)

# Relevante Studien zur Entwicklung der Sanierungsrate und Sanierungstiefe



Bericht | Oktober 2020

**CO<sub>2</sub>-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze**

Diskussionsbeitrag für Fridays for Future Deutschland mit finanzieller Unterstützung durch die GLS Bank  
 (2. korrigierte Auflage)

Dr. Georg Kobiela  
 Dr. Sascha Samadi  
 Jenny Kurwan  
 Annika Tönjes  
 Prof. Dr.-Ing. Manfred Fischedick  
 Thorsten Koska  
 Prof. Dr. Stefan Lechtenböhrer  
 Dr. Steven März  
 Dietmar Schüwer

Wuppertal Institut

**LANGFRISTSZENARIOEN FÜR DIE TRANSFORMATION DES ENERGIESYSTEMS IN DEUTSCHLAND**

Treibhausgasneutrale Szenarien T45  
 Webinar 17.11.2022

Energienachfrage Gebäudesektor

Autoren:  
 Peter Mellwig  
 ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung

Fraunhofer ISE, consentec, ifeu, TU, etc.

Fraunhofer IEE, Fraunhofer ISE

Fraunhofer ISE & Fraunhofer IEE  
 im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrates

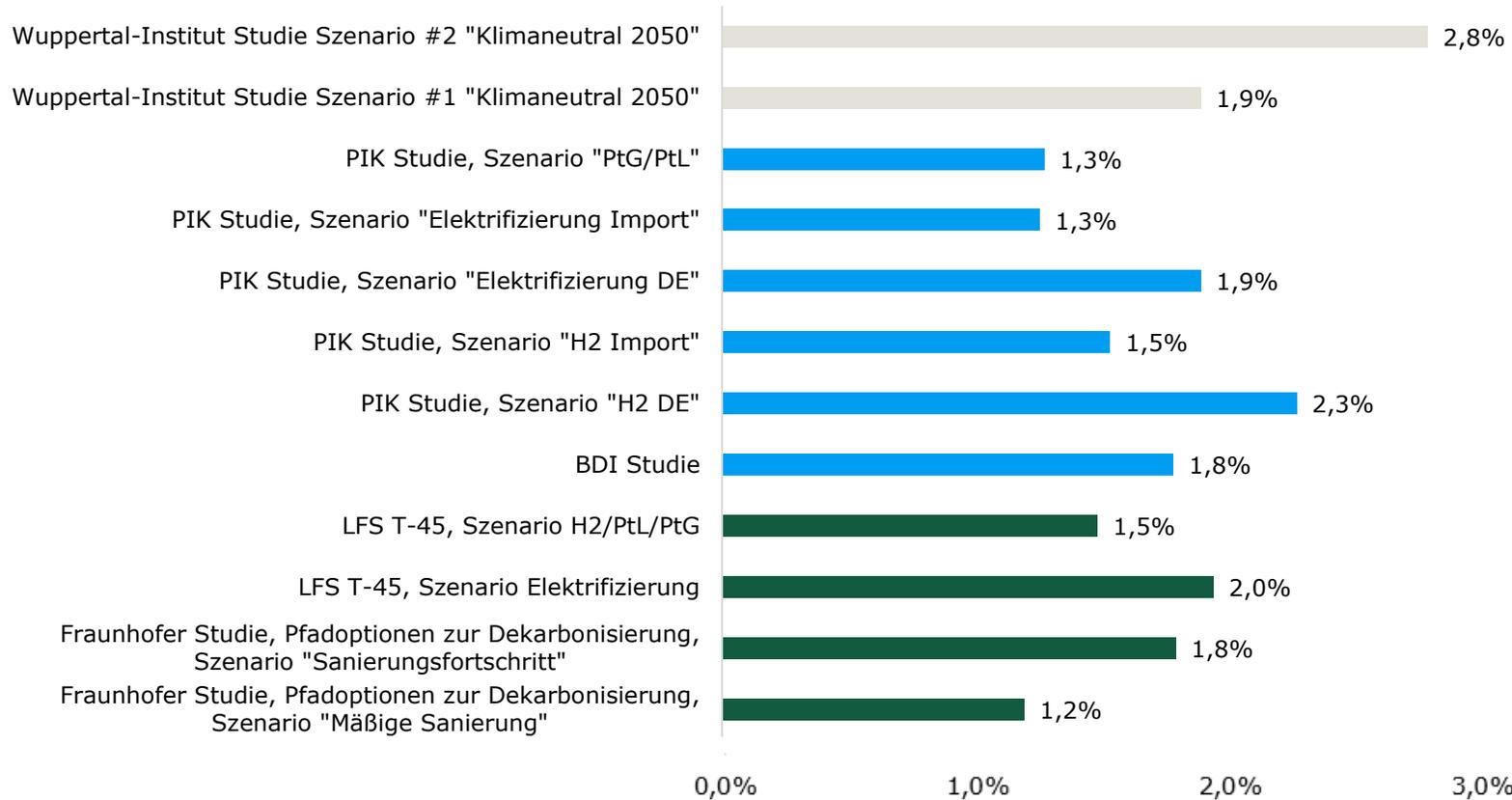
Freiburg und Kassel, 28.11.2022

**Bottom-Up Studie Wärmesektor**  
 BOTTOM-UP STUDIE ZU PFADOPTIONEN EINER EFFIZIENTEN UND SOZIALVERTRÄGLICHEN DEKARBONISIERUNG DES WÄRMESEKTORS

Im Auftrag:  
 NATIONALER WASSERSTOFFRAT

# Sanierungsrate

## Durchschnittliche Sanierungsrate bis 2045 bei ~1 bis 2 %

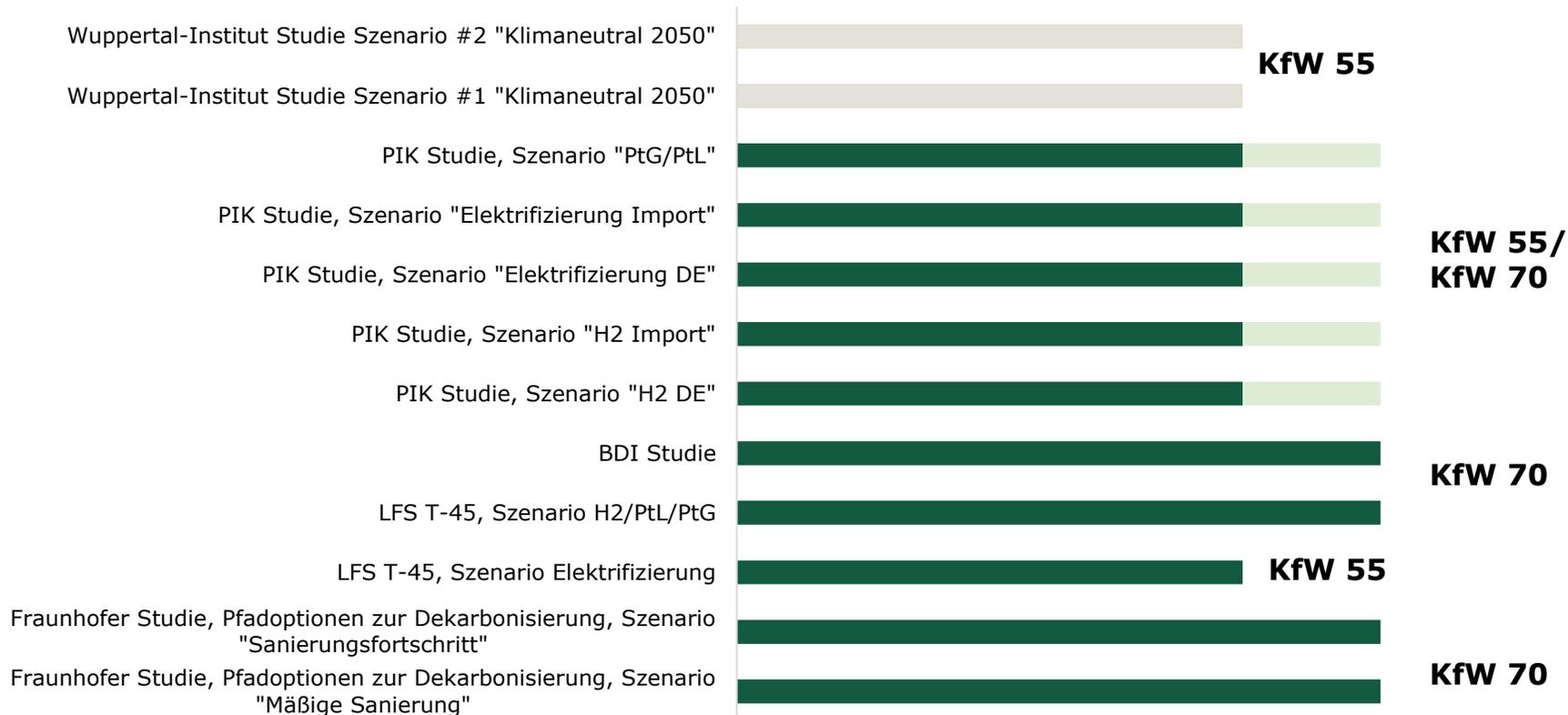


**Grau:** keine Analyse, sondern Prognose bzw. politische Zielstellung

**Blau:** Änderung der Sanierungsrate in 5-Jahres-Schritten

**Grün:** Konstante jährliche Sanierungsrate in Zeitraum 2025-2045

# Zugrundeliegende Sanierungstiefe wird in Studien als absoluter Wert KfW 55 oder KfW 70 gewählt (Vollsanierung)



**Grau:** keine Analyse, sondern Prognose bzw. politische Zielstellung

**Grün:** Konstante jährliche Sanierungstiefe in Zeitraum bis 2045

# Sanierungstiefe

## Sanierungstiefe wird als relativer Wert hinterlegt

Vorgehen in Großteil der Studien: Sanierungstiefe wird als absoluter spezifischer Endenergieverbrauch von Gebäuden festgelegt (z. B. KfW 70-Effizienzhaus)

Damit sind aus unserer Sicht zwei Probleme verbunden:

1. Es erscheint unrealistisch, dass der zukünftige spezifische Endenergieverbrauch eines Gebäudes unabhängig von dem spezifischen Endenergieverbrauch des Gebäudes vor der Sanierung ist.
2. Es werden nur Komplettsanierungen, keine Teilsanierungen betrachtet

In unseren Projekten haben wir daher mit einer **Sanierungstiefe relativ zum Zustand des Gebäudes vor Sanierung** gearbeitet und in der Fortschreibung des Wärmebedarfs auch kleinere Sanierungen modelliert.

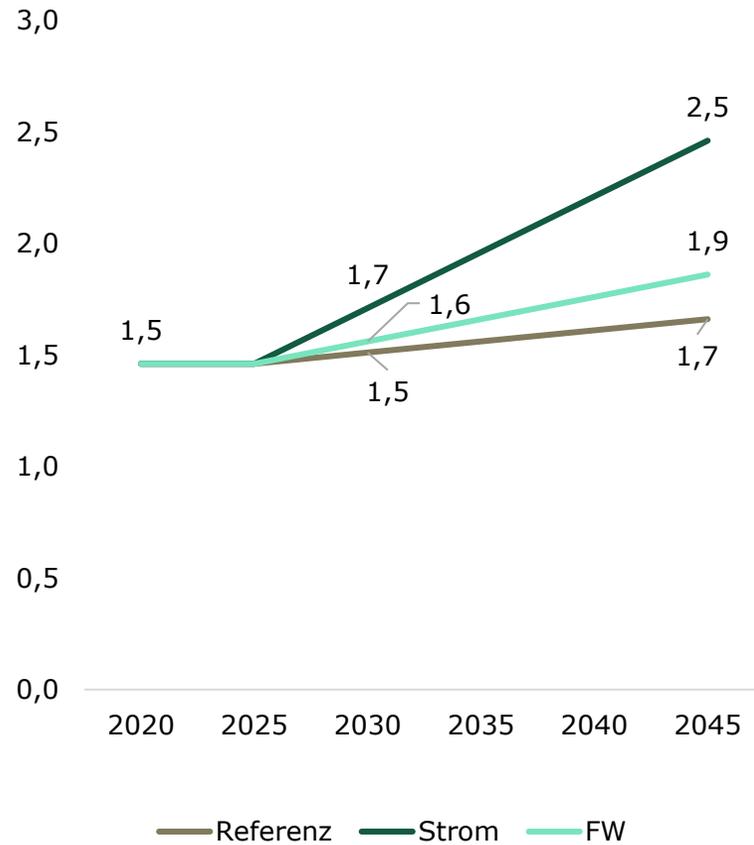
# Variierende Szenarioparameter für Wärmebedarf 1/4: Sanierung Wohngebäude

| Szenario-<br>parameter         | Markt        | Bedarf/<br>Bedarfsdeckung | Ebene     | Status Quo*       | Referenz  | Strom   | Fernwärme  |
|--------------------------------|--------------|---------------------------|-----------|-------------------|---|---|--|
| Sanierungsrate<br>Wohngebäude  | <b>Wärme</b> | Bedarf                    | Stadtteil | 2019-2020: 1,46 % | <b>Geringe</b> Rate:<br>Sanierungsrate nimmt<br>um 0,01 % pro Jahr zu<br><br>>> 1,5 % in 2030<br>>> 1,7 % in 2045 | <b>Hohe</b> Rate:<br>Sanierungsrate nimmt<br>um 0,05 % pro Jahr zu.<br><br>>> 1,7 % in 2030<br>>> 2,5 % in 2045 | <b>Mittlere</b> Rate:<br>Sanierungsrate nimmt<br>um 0,02 % pro Jahr zu<br><br>>> 1,6 % in 2030<br>>> 1,9 % in 2045 |
| Sanierungstiefe<br>Wohngebäude | <b>Wärme</b> | Bedarf                    | Stadtteil | 2019-2020: 35,9 % | <b>Geringe</b> Tiefe:<br>Konstante<br>Sanierungstiefe von<br>35,9 %   | <b>Hohe</b> Tiefe:<br>Sanierungstiefe nimmt<br>0,4 % pro Jahr zu<br><br>>> 40 % in 2030<br>>> 46 % in 2045      | <b>Mittlere</b> Tiefe:<br>Sanierungstiefe nimmt<br>0,2 % pro Jahr zu<br><br>>> 38 % in 2030<br>>> 41 % in 2045     |

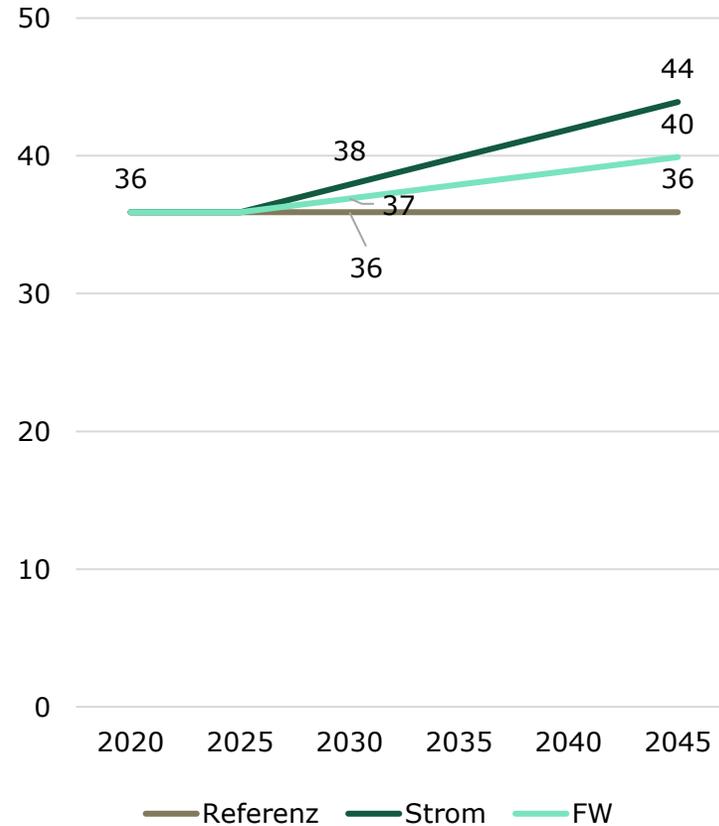
\*Anmerkung: Status Quo der Sanierungsrate und Sanierungstiefe basiert auf eigener Berechnung basierend auf der Auswertung des Gebäudemodells.

# Sanierungsrate und -tiefe Wohngebäude

Sanierungsrate in % pro Jahr



Durchschnittliche Sanierungstiefe in %



|       | Bedarf | Bedarfsdeckung |
|-------|--------|----------------|
| Wärme | ●      |                |
| Strom |        |                |

- Die Sanierungsrate liegt im Zeitraum 2019-2020 bei knapp unter 1,5% (Analyse des Ist-Zustands).
- Es wird angenommen, dass die Entwicklung bis 2025 in allen Szenarien gleichauf ist.
- Ab 2025 steigt die Sanierungsrate in allen Szenarien zu je verschiedener Geschwindigkeit. Die Sanierungsrate erreicht max. 2,5 % im Szenario Strom
- Sanierungstiefe steigt insb. im Szenario Strom an (Einbau von Wärmepumpen im Zusammenhang mit tieferer Sanierung).

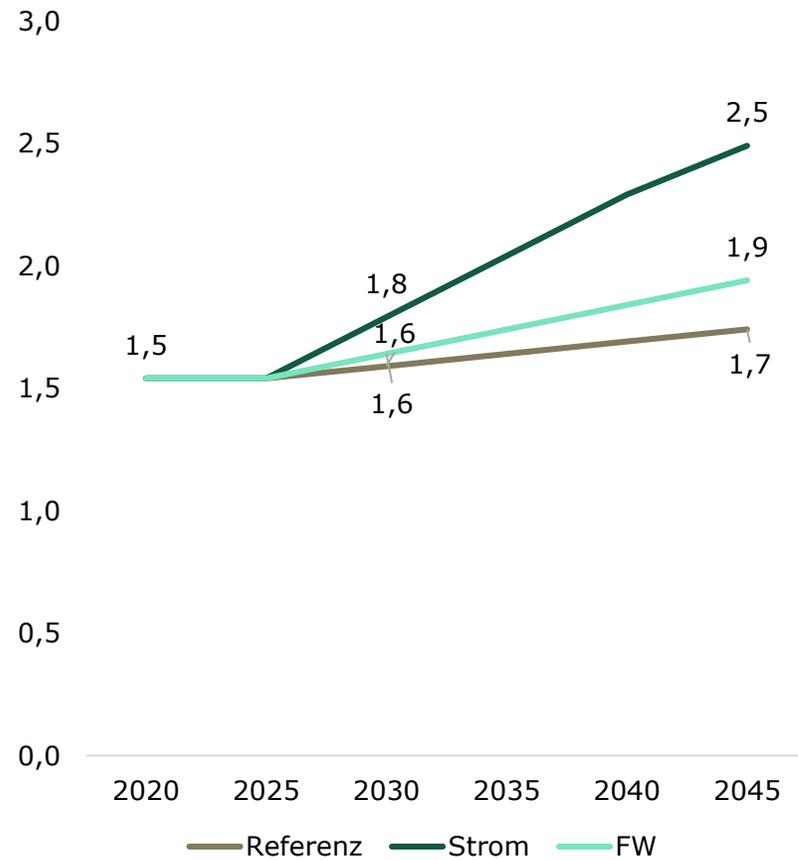
# Variierende Szenarioparameter für Wärmebedarf 2/4: Sanierung Gebäudetyp „Mischnutzung“

| Szenario-<br>parameter          | Markt        | Bedarf/<br>Bedarfsdeckung | Ebene     | Status Quo*       | Referenz  | Strom  | Fernwärme  |
|---------------------------------|--------------|---------------------------|-----------|-------------------|---|--|--|
| Sanierungsrate<br>Mischnutzung  | <b>Wärme</b> | Bedarf                    | Stadtteil | 2019-2020: 1,54 % | <b>Geringe Rate:</b><br>Sanierungsrate nimmt<br>um 0,01 % pro Jahr zu<br><br>>> 1,6 % in 2030<br>>> 1,7 % in 2045 | <b>Hohe Rate:</b><br>Sanierungsrate nimmt<br>um 0,05 % pro Jahr zu<br><br>>> 1,8 % in 2030<br>>> 2,5 % in 2045 | <b>Mittlere Rate:</b><br>Sanierungsrate nimmt<br>um 0,02 % pro Jahr zu<br><br>>> 1,6 % in 2030<br>>> 1,9 % in 2045 |
| Sanierungstiefe<br>Mischnutzung | <b>Wärme</b> | Bedarf                    | Stadtteil | 2019-2020: 31,3 % | <b>Geringe Tiefe:</b><br>Sanierungstiefe von<br>31,3 %  | <b>Hohe Tiefe:</b><br>Sanierungstiefe nimmt<br>0,4 % pro Jahr zu<br><br>>> 40 % in 2030<br>>> 46 % in 2045     | <b>Mittlere Tiefe:</b><br>Sanierungstiefe nimmt<br>0,2 % pro Jahr zu<br><br>>> 38 % in 2030<br>>> 41 % in 2045     |

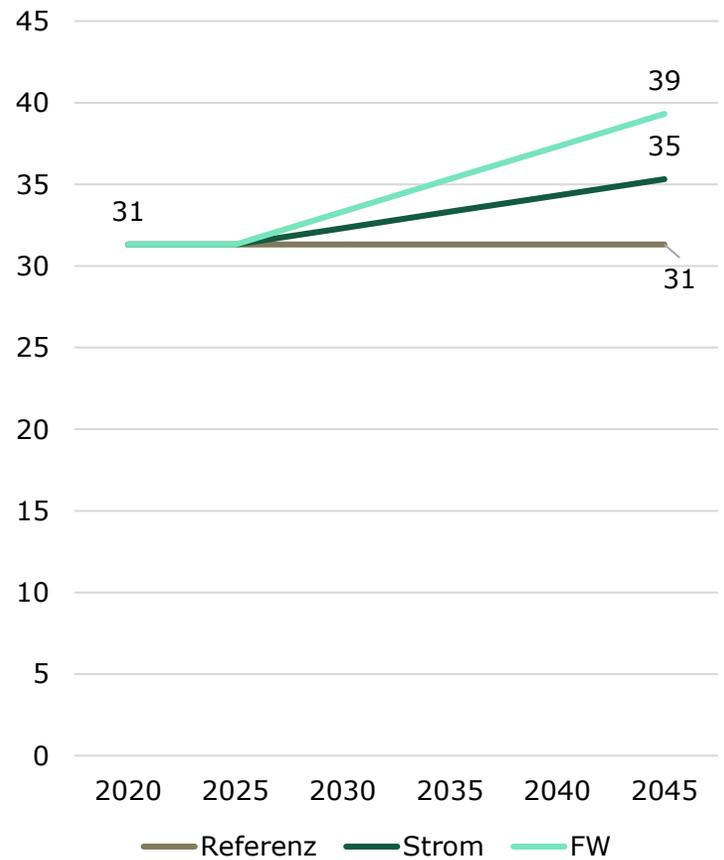
\*Anmerkung: Status Quo der Sanierungsrate und Sanierungstiefe basiert auf eigener Berechnung basierend auf der Auswertung des Gebäudemodells.

# Sanierungsrate und -tiefe Mischnutzung

Sanierungsrate in % pro Jahr



Durchschnittliche Sanierungstiefe in %



|       | Bedarf | Bedarfsdeckung |
|-------|--------|----------------|
| Wärme | ●      |                |
| Strom |        |                |

- Die Sanierungsrate liegt im Zeitraum 2019-2020 bei 1,54% und damit etwas höher als die Sanierungsrate der Wohngebäude (Analyse des Ist-Zustands).
- Die Entwicklung in den Szenarien wird analog zu Wohngebäuden angenommen.
- Sanierungstiefe steigt insb. im Szenario Strom stark an (ökonomische Notwendigkeit einer Vollsanierung bei Einbau von Wärmepumpen).

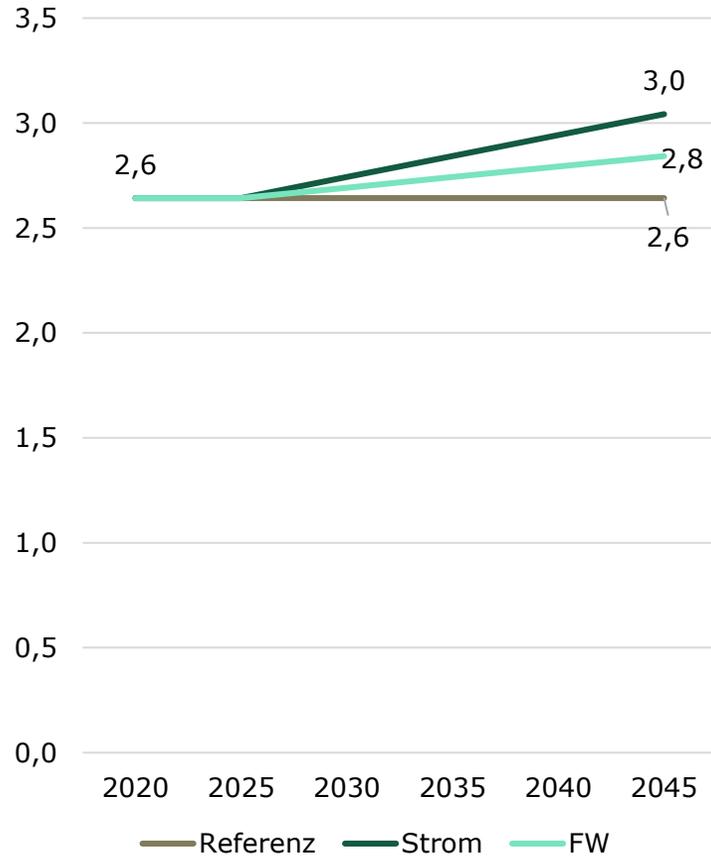
# Variierende Szenarioparameter für Wärmebedarf 3/4: Sanierung Öffentliche Gebäude

| Szenario-<br>parameter                    | Markt        | Bedarf/<br>Bedarfsdeckung | Ebene     | Status Quo*       | Referenz  | Strom   | Fernwärme   |
|---|--------------|---------------------------|-----------|-------------------|---|---|---|
| Sanierungsrate<br>Öffentliche<br>Gebäude  | <b>Wärme</b> | Bedarf                    | Stadtteil | 2019-2020: 2,64 % | <b>Geringe</b> Rate:<br>Sanierungsrate bleibt<br>konstant<br><br>>> 2,6 % in 2030<br>>> 2,6 % in 2045 | <b>Hohe</b> Rate:<br>Sanierungsrate nimmt<br>ab 2025 um 0,02 % pro<br>Jahr zu<br><br>>> 2,7 % in 2030<br>>> 3,0 % in 2045 | <b>Mittlere</b> Rate:<br>Sanierungsrate nimmt<br>ab 2025 um 0,01 % pro<br>Jahr zu<br><br>>> 2,7 % in 2030<br>>> 2,8 % in 2045 |
| Sanierungstiefe<br>Öffentliche<br>Gebäude | <b>Wärme</b> | Bedarf                    | Stadtteil | 2019-2020: 41,1 % | <b>Geringe</b> Tiefe:<br>Konstante<br>Sanierungstiefe von<br>41,1 %                                   | <b>Hohe</b> Tiefe:<br>Sanierungstiefe nimmt<br>0,4 % pro Jahr zu<br><br>>> 43 % in 2030<br>>> 49 % in 2045                | <b>Mittlere</b> Tiefe:<br>Sanierungstiefe nimmt<br>0,2 % pro Jahr zu<br><br>>> 42 % in 2030<br>>> 45 % in 2045                |

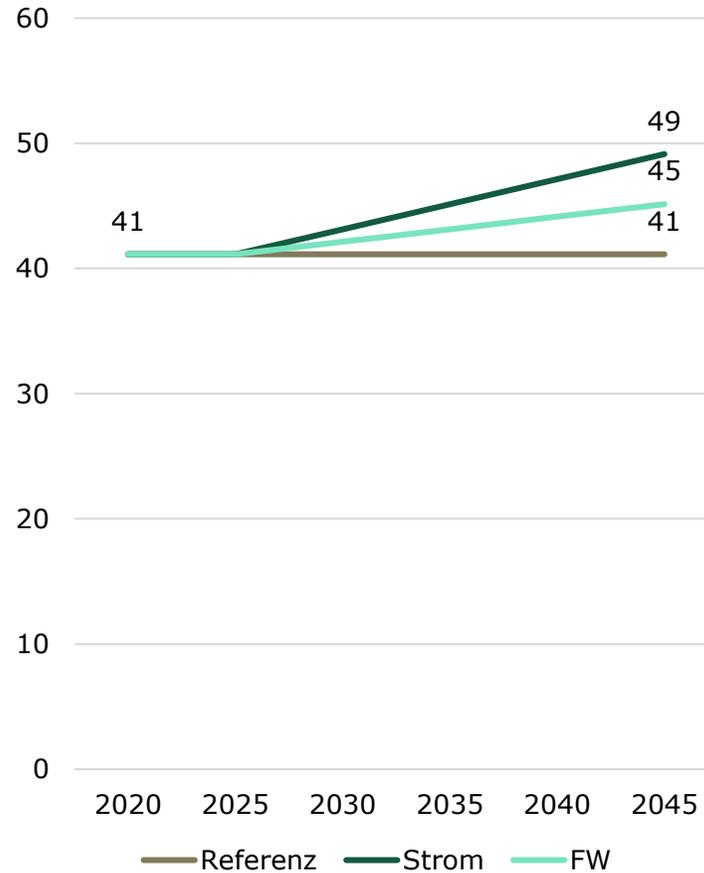
\*Anmerkung: Status Quo der Sanierungsrate und Sanierungstiefe basiert auf eigener Berechnung basierend auf der Auswertung des Gebäudemodells.

# Sanierungsrate und -tiefe Öffentliche Gebäude

Sanierungsrate in % pro Jahr



Durchschnittliche Sanierungstiefe in %



|       | Bedarf | Bedarfsdeckung |
|-------|--------|----------------|
| Wärme | ●      |                |
| Strom |        |                |

- Die Sanierungsrate liegt im Zeitraum 2019-2020 bei 2,64% und damit deutlich höher als für Wohngebäude (Analyse des Ist-Zustands).
- Ab 2025 steigt die Sanierungsrate in allen Szenarien zu je verschiedener Geschwindigkeit, jedoch etwas langsamer als bei Wohngebäuden. Die Sanierungsrate erreicht max. 3,0% im Szenario Strom.

# Variierende Szenarioparameter für Wärmebedarf 4/4: GHD

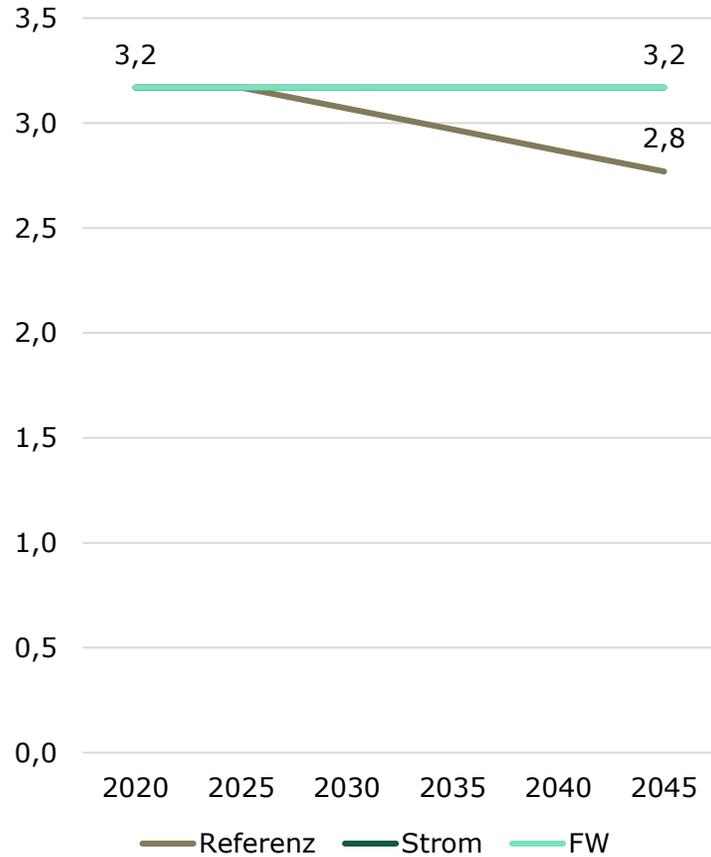
| Szenario-<br>parameter | Markt        | Bedarf/<br>Bedarfsdeckung | Ebene     | Status Quo*      | Referenz  | Strom  | Fernwärme  |
|------------------------|--------------|---------------------------|-----------|------------------|---|--|--|
| Sanierungsrate<br>GHD  | <b>Wärme</b> | Bedarf                    | Stadtteil | 2019-2020: 3,2 % | <b>Geringe</b> Rate:<br>Sanierungsrate sinkt<br>leicht ab<br><br>>> 3,1 % in 2030<br>>> 2,8 % in 2045 | <b>Hohe</b> Rate:<br>Sanierungsrate bleibt<br>konstant<br><br>>> 3,2 % in 2030<br>>> 3,2 % in 2045         | <b>Mittlere</b> Rate:<br>Sanierungsrate bleibt<br>konstant<br><br>>> 3,2 % in 2030<br>>> 3,2 % in 2045         |
| Sanierungstiefe<br>GHD | <b>Wärme</b> | Bedarf                    | Stadtteil | 2019-2020: 37 %  | <b>Geringe</b> Tiefe:<br>Konstante<br>Sanierungstiefe von<br>37,2 %                                   | <b>Hohe</b> Tiefe:<br>Sanierungstiefe nimmt<br>0,4 % pro Jahr zu<br><br>>> 40 % in 2030<br>>> 46 % in 2045 | <b>Mittlere</b> Tiefe:<br>Sanierungstiefe nimmt<br>0,2 % pro Jahr zu<br><br>>> 38 % in 2030<br>>> 41 % in 2045 |

\*Anmerkung: Status Quo der Sanierungsrate und Sanierungstiefe basiert auf eigener Berechnung basierend auf der Auswertung des Gebäudemodells.

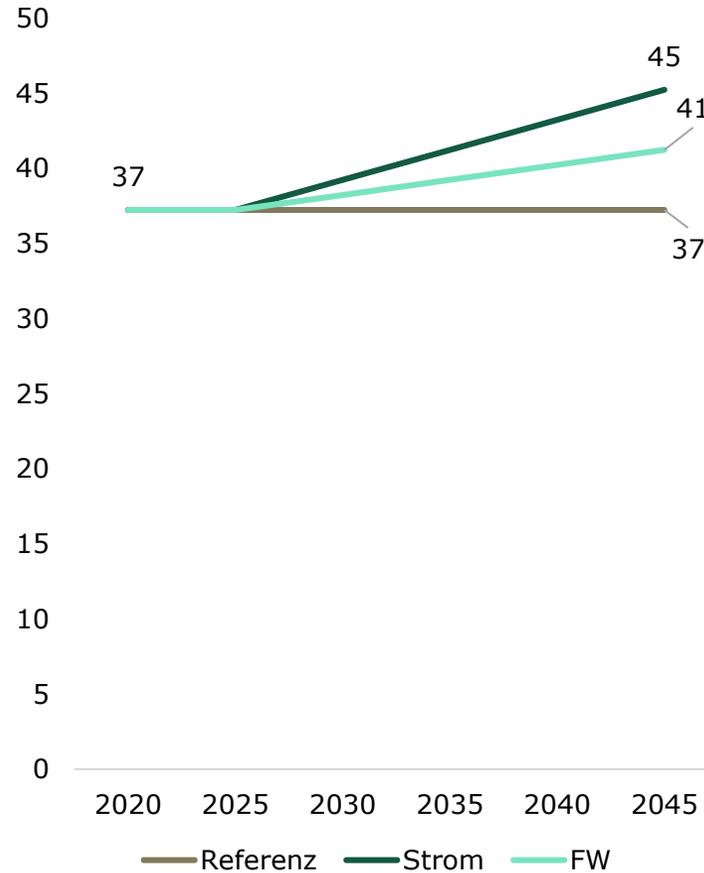
- Die Sanierungsrate liegt im Zeitraum 2019-2020 bei 3,2% und ist damit bereits sehr hoch (Analyse des Ist-Zustands). Es ist anzunehmen, dass die Sanierungsrate im Szenario Strom und Fernwärme auf diesem Level bleibt, im Referenzszenario etwas absinkt.
- Sanierungstiefe steigt insb. im Szenario Strom stark an (ökonomische Notwendigkeit einer Vollsanierung bei Einbau von Wärmepumpen).

# Sanierungsrate und -tiefe GHD

**Sanierungsrate in % pro Jahr**



**Durchschnittliche Sanierungstiefe in %**



|       | Bedarf | Bedarfsdeckung |
|-------|--------|----------------|
| Wärme | ●      |                |
| Strom |        |                |

- Die Sanierungsrate liegt im Zeitraum 2019-2020 bei 3,2% und ist damit bereits sehr hoch (Analyse des Ist-Zustands).
- Es ist anzunehmen, dass die Sanierungsrate im Szenario Strom und Fernwärme auf diesem Level bleibt, im Referenzszenario etwas absinkt.
- Sanierungstiefe steigt insb. im Szenario Strom an (ökonomische Notwendigkeit einer Vollsanierung bei Einbau von Wärmepumpen).

# 2. Klimaeffekte

Änderung der Gradtagszahl als Maß für die Erderwärmung

# Gradtagszahl (GTZ)

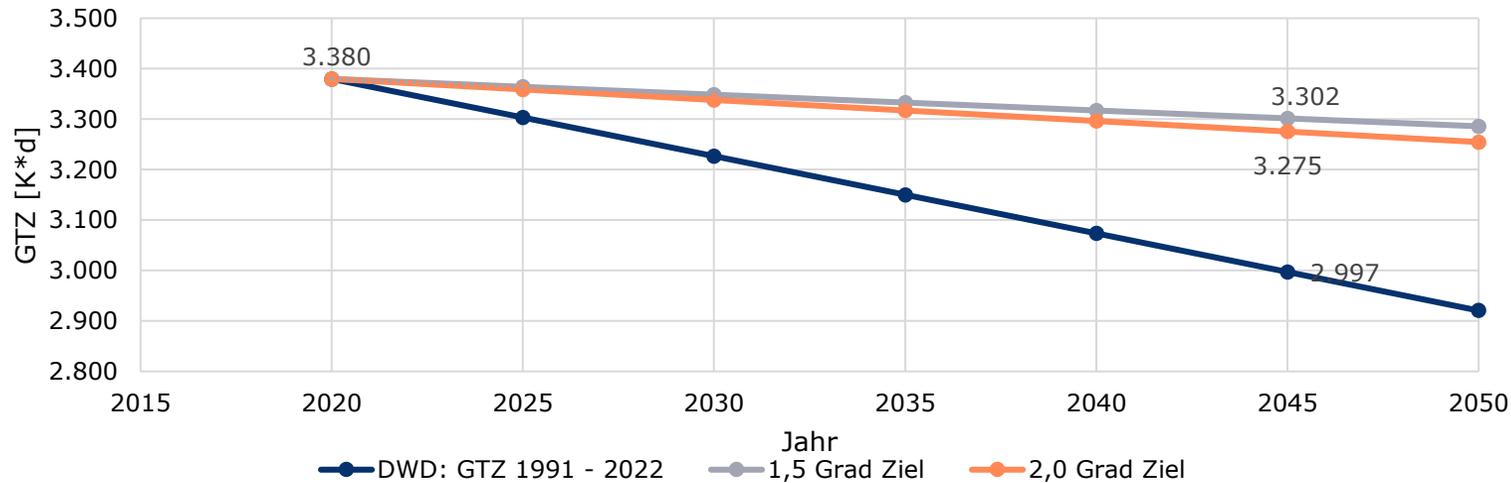
## Modellierung der GTZ als Einflussfaktor für Wärmebedarf

Drei verschiedene Möglichkeiten zur Fortschreibung der GTZ:

- Trendfortschreibung GTZ 1991-200
- lineare Fortschreibung nach Anpassung auf eine Entwicklung gemäß 1,5°-Ziel bzw. 2,0°-Ziel.

Festlegung: 1,5°-Ziel ist Grundlage für die Prognose der Gradtagszahlen und der entsprechenden Fortschreibung des Wärmebedarfs

-> Annahme: Abnahme des Wärmebedarfs entsprechend der Abnahme der Jahresgradtagszahl



|       | Bedarf | Bedarfsdeckung |
|-------|--------|----------------|
| Wärme | ●      |                |
| Strom |        |                |

| Jahr | 1,5 Grad GTZ | 2,0 Grad GTZ | Linear GTZ |
|------|--------------|--------------|------------|
| 2020 | 3.380        | 3.380        | 3.380      |
| 2025 | 3.364        | 3.359        | 3.303      |
| 2030 | 3.348        | 3.338        | 3.227      |
| 2035 | 3.333        | 3.317        | 3.150      |
| 2040 | 3.317        | 3.296        | 3.074      |
| 2045 | 3.302        | 3.275        | 2.997      |
| 2050 | 3.286        | 3.255        | 2.921      |

3.

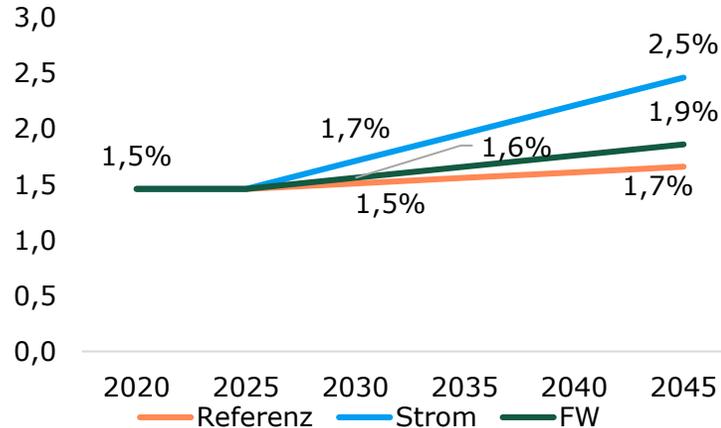
# Fortschreibung des Wärmebedarfs

# Einflussfaktoren der Szenarien

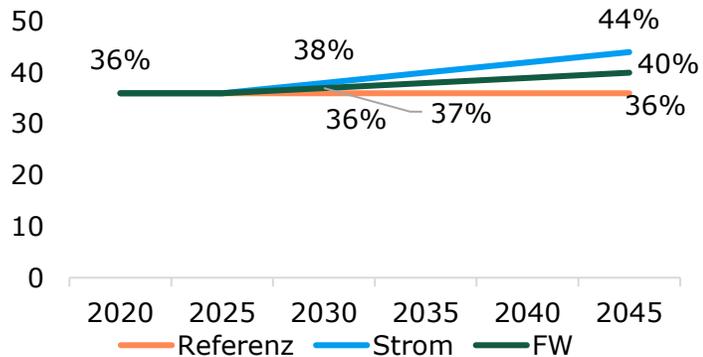
## Zusammenfassung

### Sanierungstätigkeit (hier Wohnen):

#### Sanierungsrate

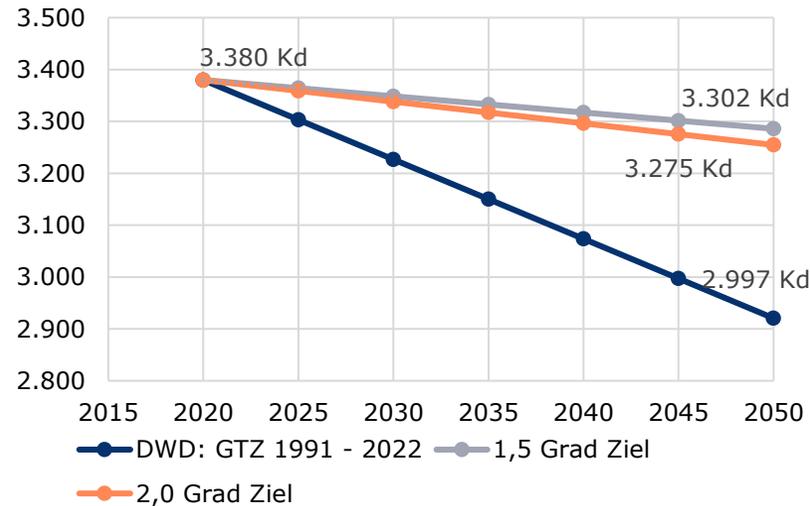


#### Sanierungstiefe



### Klimawandel (1,5 Grad Ziel):

#### Reduktion der Jahresgradtagszahl



### Neubaugelbiete:

| Neubaugelbiet              | Anzahl Wohneinheiten | Zeitraum                |
|----------------------------|----------------------|-------------------------|
| Kärtner Viertel            | 400                  | Baubeginn 2021          |
| Lange Seegewann            | 304                  | Fertigstellung bis 2025 |
| Wohngelbiet Bierstadt-Nord | 420                  | Erschließungsarbeiten   |
| LindeQuartier              | 172                  | - 2023                  |

# Fortschreibung Sanierung Methodik (1)

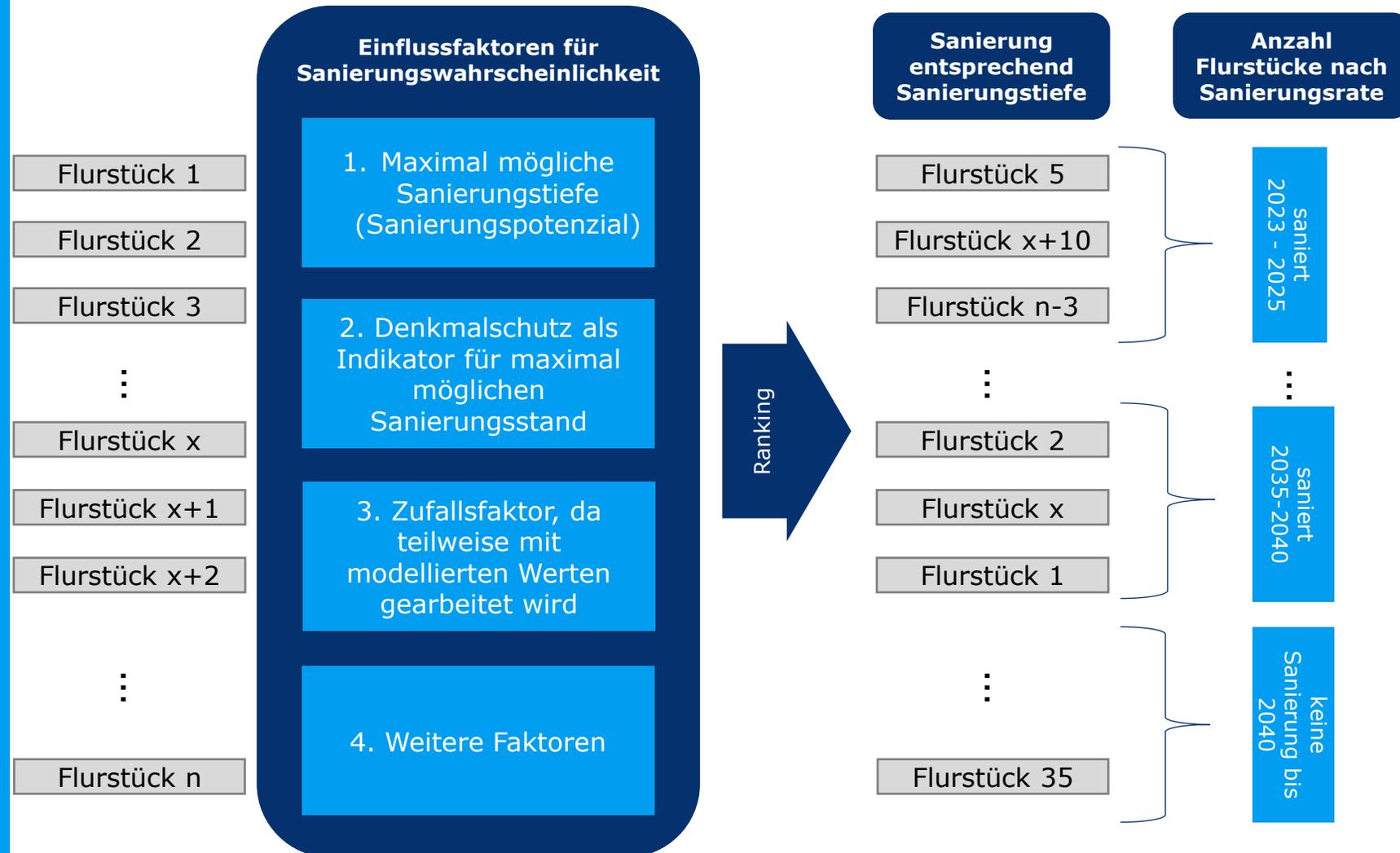
- Es wird Flurstückscharf saniert
  - Vorteil: Eignung für Wärmepumpen ist gegeben nach Sanierung (eine Reduktion der Vorlauftemperatur des Heizsystems wird vorausgesetzt)
  - Nachteil: Scheingenauigkeit, aber: verschmierte Ergebnisse lassen auch keinen Rückschluss auf ein einzelnes Gebäude zu (wichtig ist, dass die Ergebnisse auf ausreichend hoher Aggregationsebene interpretiert werden!)
- Es wird eine Sanierungswahrscheinlichkeit anhand verschiedener Kennzahlen gebildet (Einflussgrößen: Mögliche Sanierungstiefe, Denkmalschutz, Zufallsfaktor, ...)
- Aus der Wärmebedarfsberechnung (Grundlage 3D-Gebäudemodell) werden mehrere Gebäudestandards abgeleitet, sodass eine maximal mögliche Sanierungstiefe, also ein **Sanierungspotenzial** hergeleitet werden kann
  - Denkmalschutz hat Einfluss auf theoretisch erreichbaren Gebäudestandard (weniger Potenzial zur Reduktion des Wärmebedarfs)

Reihenfolge der in Zukunft sanierten Gebäude wird je Sektor bestimmt.

Objektscharfe Einflussfaktoren:

- Max. mögliche Sanierungstiefe (als Maß für mögliche Einsparung; je höher die mögliche Sanierungstiefe, desto günstiger ist eine erste Einsparung und desto wahrscheinlicher ist eine Sanierung)
- Gebäuden Denkmalschutz wirkt sich auf die maximal mögliche Sanierungstiefe aus (Sanierung der Fassade dann häufig nicht möglich oder mit höheren Investitionskosten verbunden)
- Zufallsfaktor sorgt für eine Streuung der Sanierungstätigkeit über die Stadt

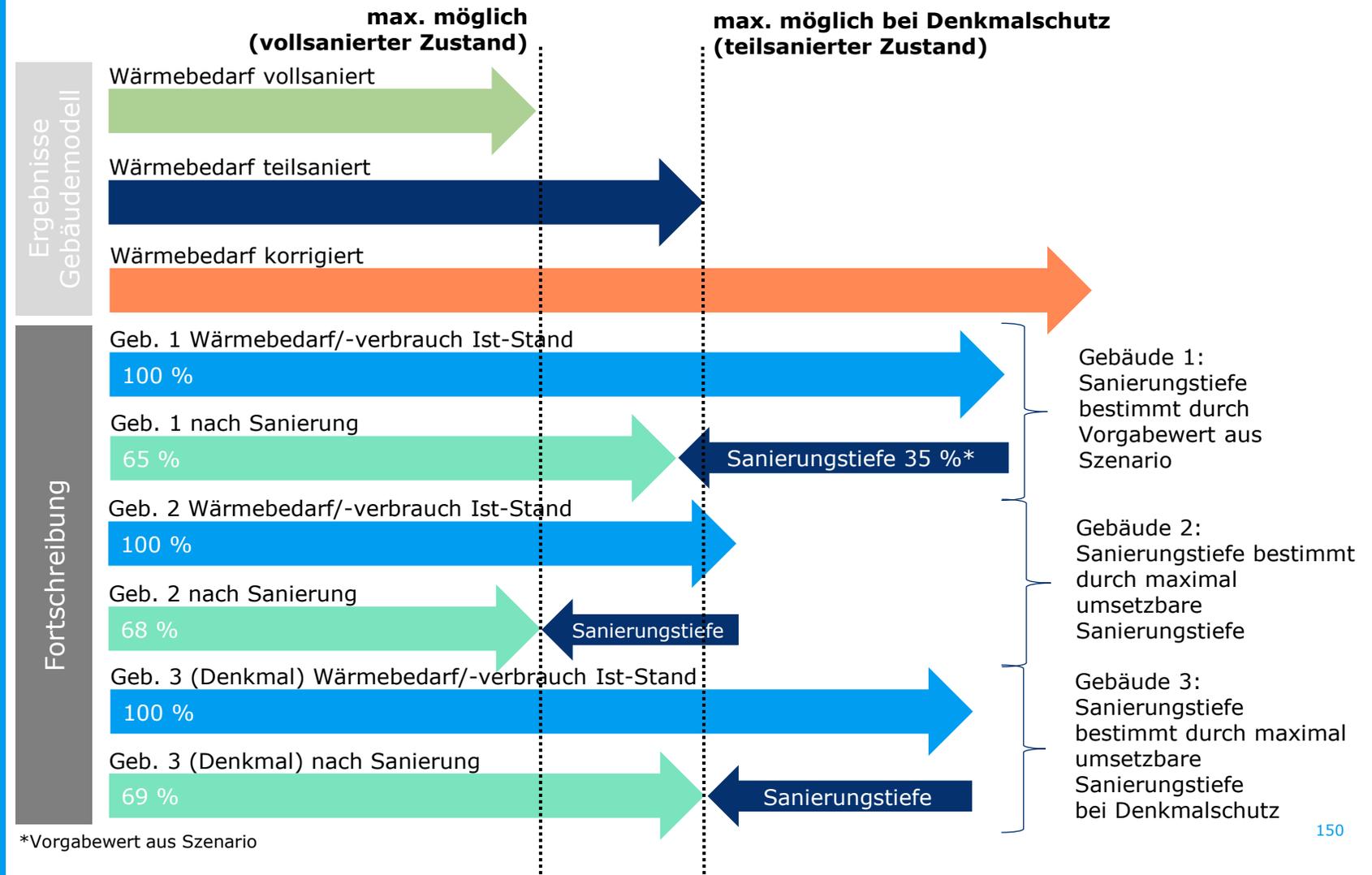
# Fortschreibung Sanierung Methodik (2)



Sanierungstiefe (Szenarioparameter) wird bei Sanierung eines Gebäudes auf den Wärmebedarf/-verbrauch im Ist-Stand angewendet. Jedoch...

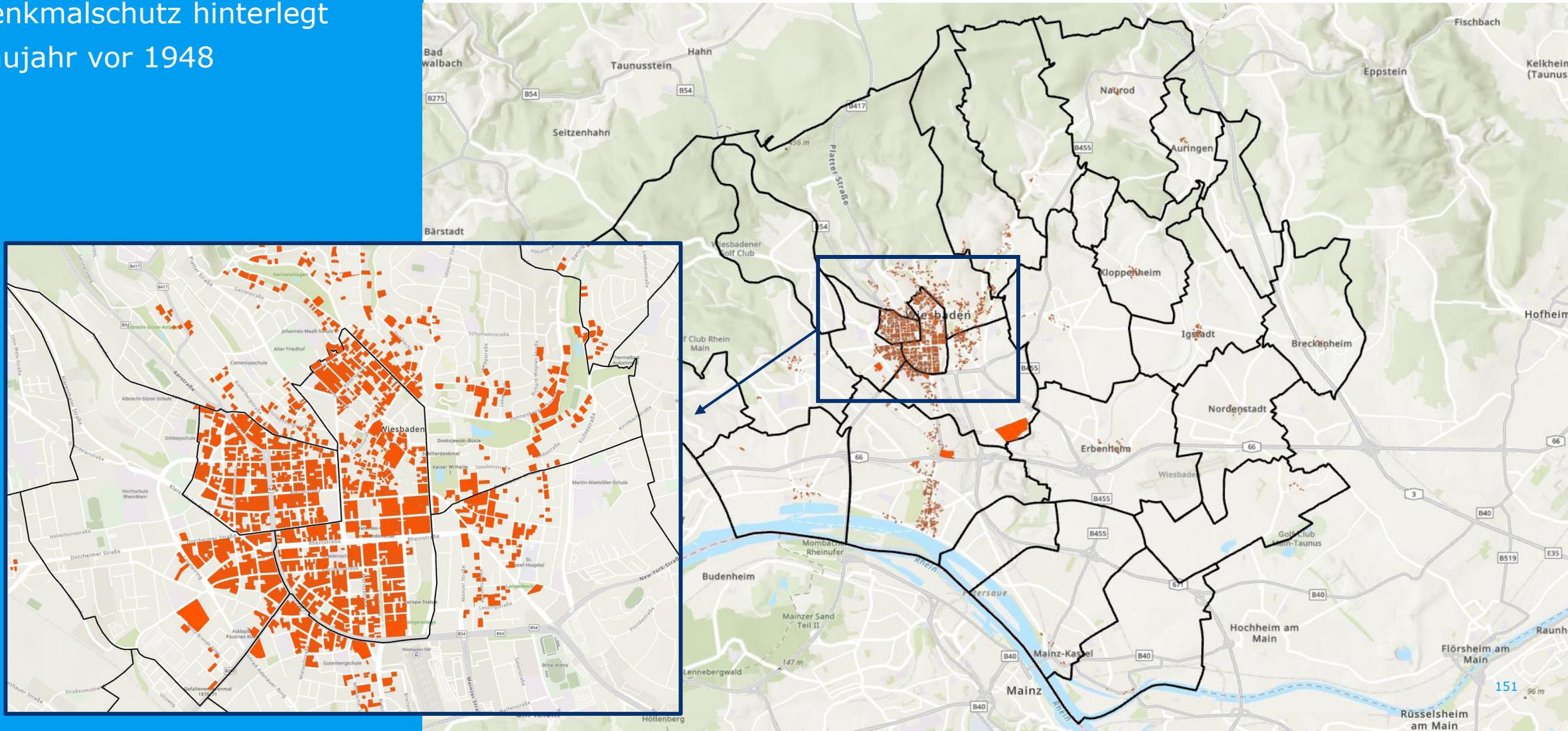
- ...gibt „Wärmebedarf vollsaniert“ das absolute Limit vor, dass durch eine Sanierung erreicht werden kann
- ...gibt „Wärmebedarf teilsaniert“ das absolute Limit für Gebäude unter Denkmalschutz vor, dass durch eine Sanierung erreicht werden kann

# Fortschreibung Sanierung Methodik (3)



- Flurstücke mit Denkmalschutz rot markiert
- Voraussetzung:
  - Denkmalschutz hinterlegt
  - Baujahr vor 1948

# Fortschreibung Sanierung Deklarierung Denkmalschutz





## Zusammenfassung:

- Anteil an Gebäuden, die ausgehend vom Ist-Stand bis 2045 saniert werden:

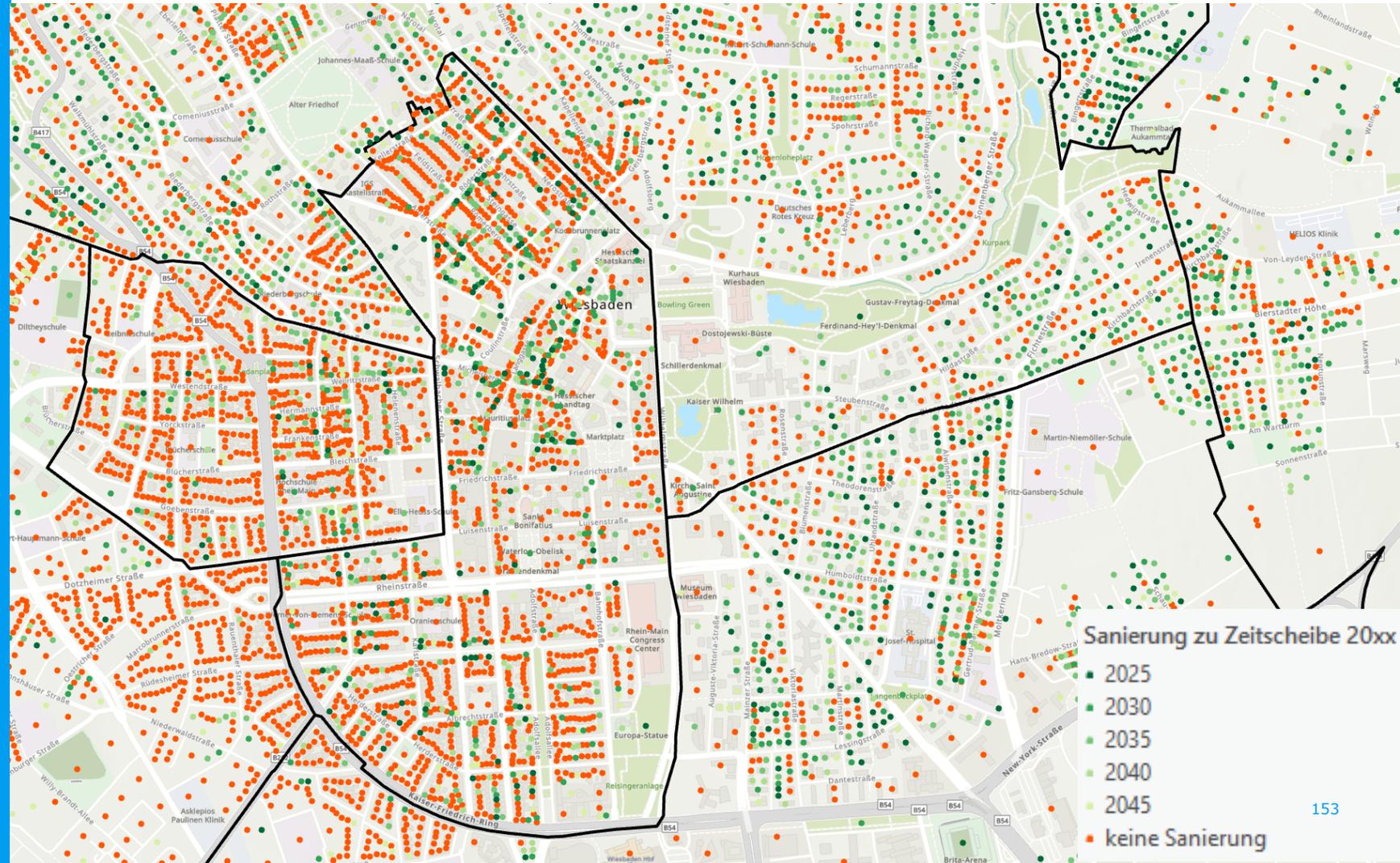
|                                   | Szenario |     |     |
|-----------------------------------|----------|-----|-----|
|                                   | Strom    | FW  | Ref |
| Wohnen                            | 51%      | 41% | 38% |
| Öffentlich                        | 79%      | 70% | 66% |
| Mischnutzung                      | 53%      | 43% | 40% |
| GHD und Sonstiges inkl. Industrie | 85%      | 79% | 76% |

(Grundlage hierfür ist die vorgegebene Sanierungsrate pro Sektor)

Tendenziell:

- Neubau wird nicht zusätzlich saniert
- Gebäude unter Denkmalschutz werden nicht saniert, da kaum weiteres Einsparpotenzial

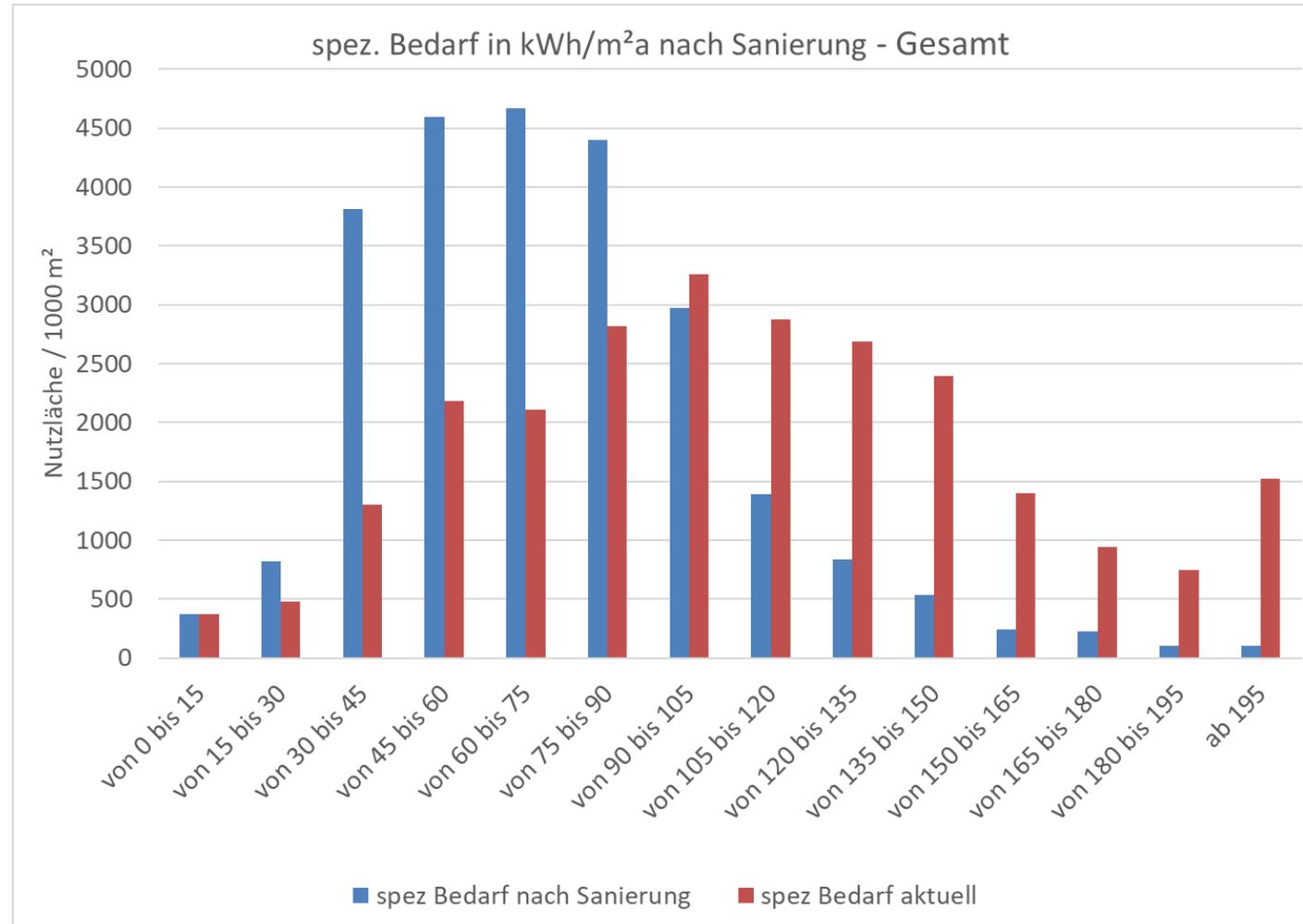
# Fortschreibung Sanierung Sanierungsreihenfolge im Szenario FW



## Abnahme des spezifischen Bedarfs:

- Mögliche Abnahme des spezifischen Bedarfs der Gebäude nach einer Sanierung
- Grundlage:
  - ermittelter Gebäudestandard aus der Bestandsanalyse
  - Sanierungstiefe als Szenarioparameter
- Aber: nicht jedes Gebäude wird bis 2045 auch saniert
  - →Berücksichtigung der Sanierungsraten in den Szenarien

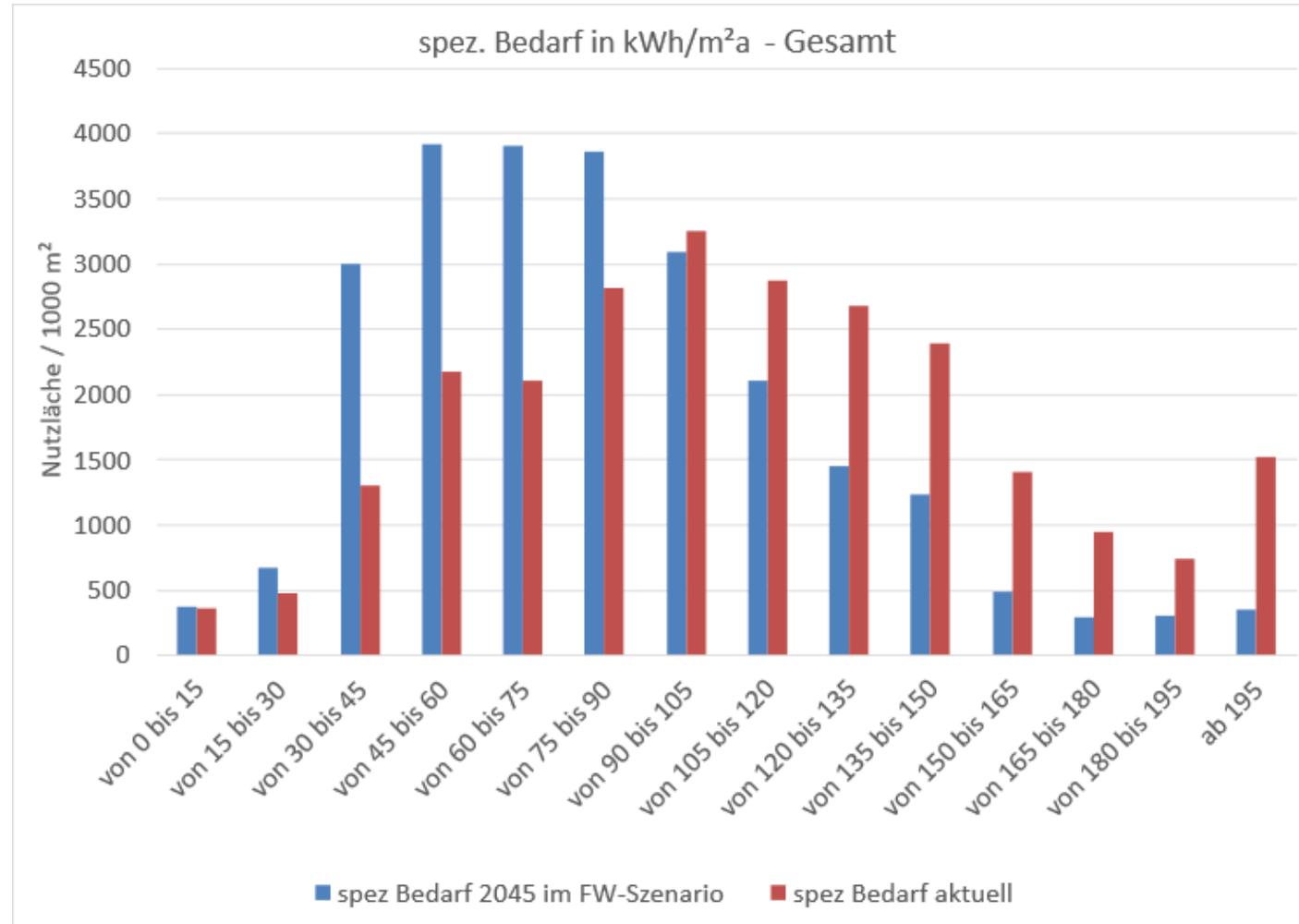
# Fortschreibung Wärmebedarf Theoretisches Sanierungspotenzial



## Ergebnis Gesamt:

- Grundlage ist das FW-Szenario
- Abnahme des spezifischen Bedarfs der Gebäude bis 2045
- Vor allem die momentan schlecht gedämmten Gebäude werden saniert (hier sind die ersten Maßnahmen zur Reduktion des Wärmebedarfs noch verhältnismäßig kostengünstig)

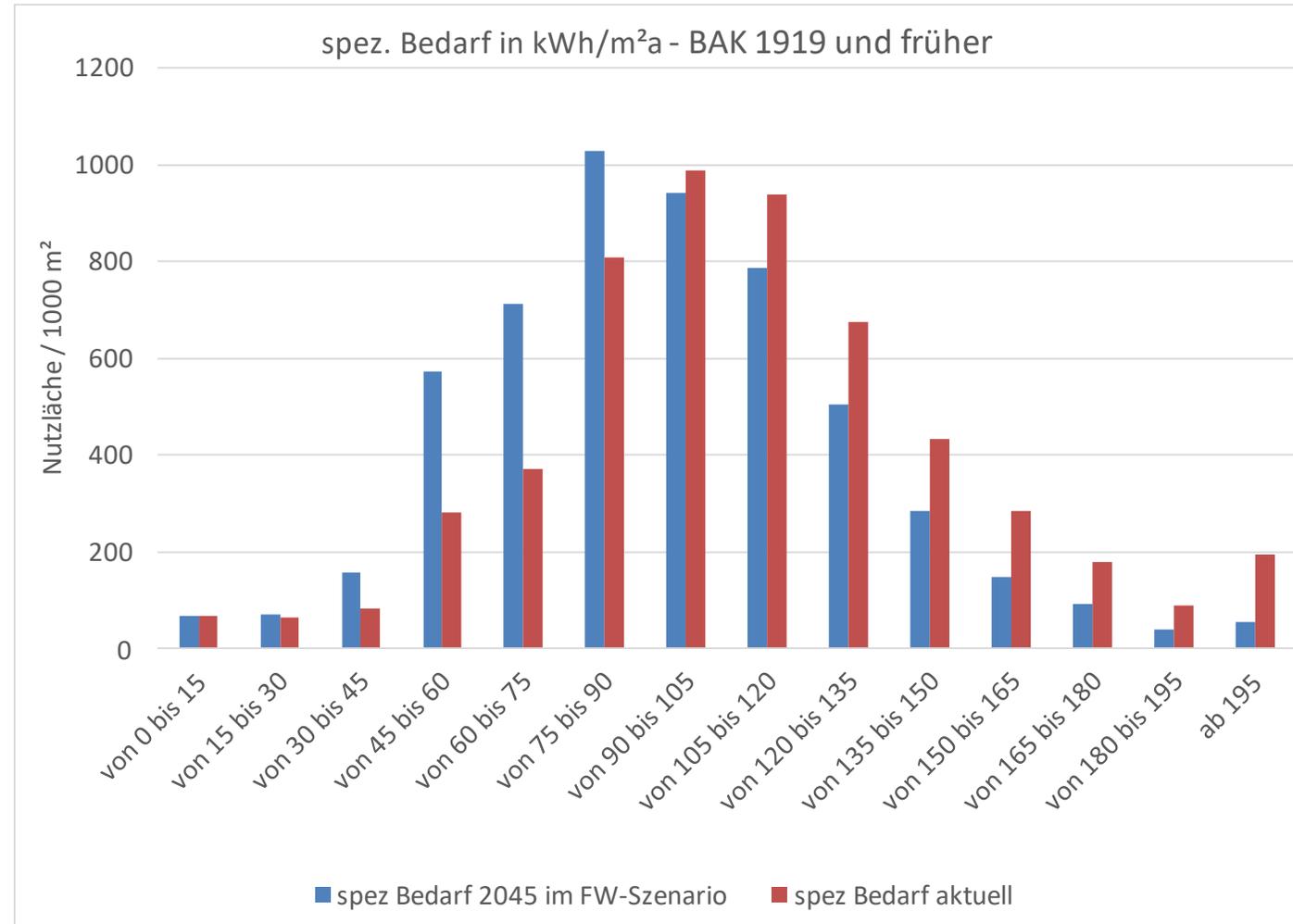
# Fortschreibung Wärmebedarf Sanierung im Szenario FW



## Ergebnis BAK 1919 und früher:

- Hohes Einsparpotenzial, aber auch Restriktionen in der Sanierungstätigkeit bei Gebäuden unter Denkmalschutz

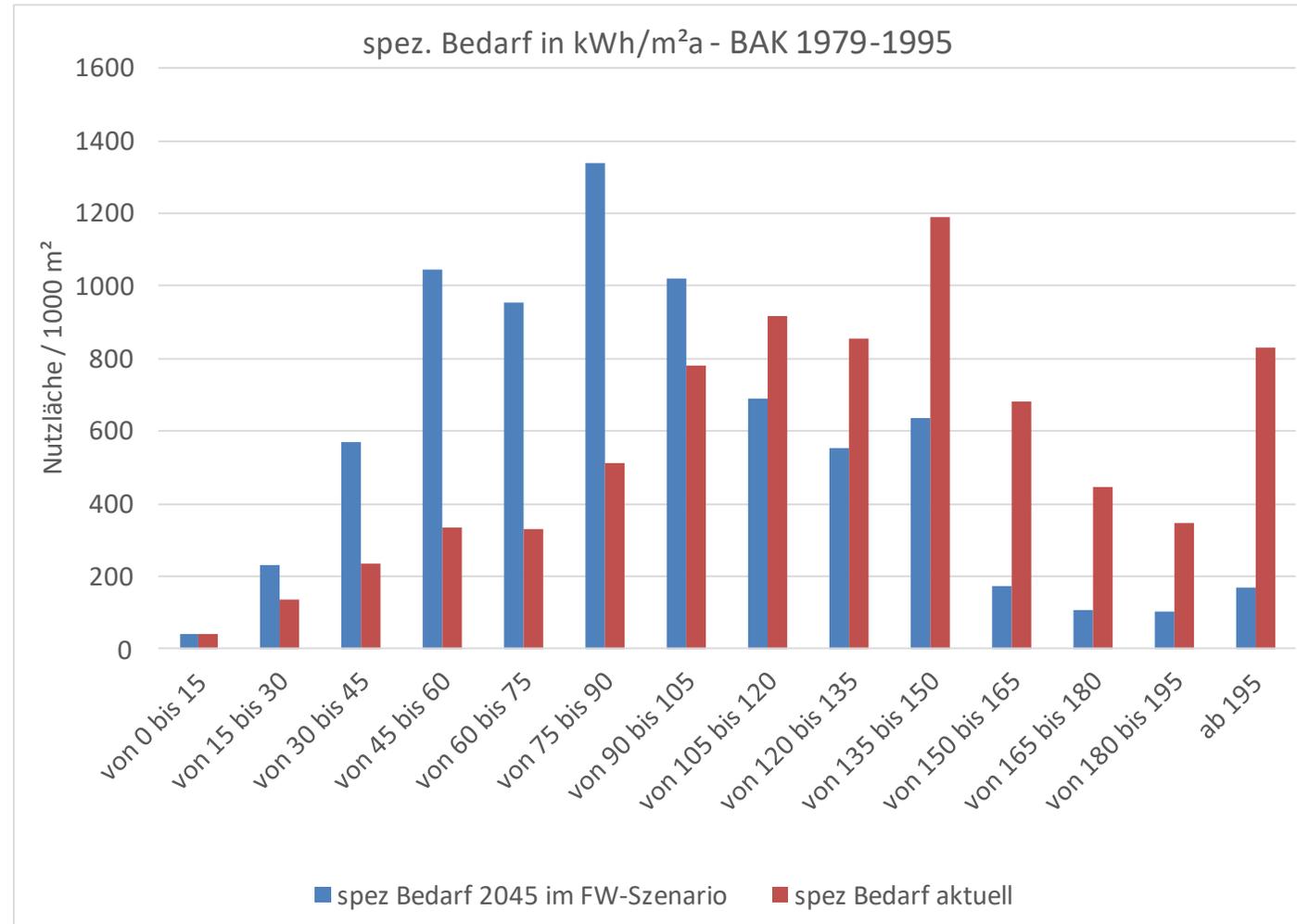
# Fortschreibung Wärmebedarf Sanierung im Szenario FW



## Ergebnis BAK 1979 - 1995:

- Hohe Sanierungsrate bei Gebäuden aus den mittleren Baualtersklassen, da hohes Einsparpotenzial und keine Restriktionen

# Fortschreibung Wärmebedarf Sanierung im Szenario FW

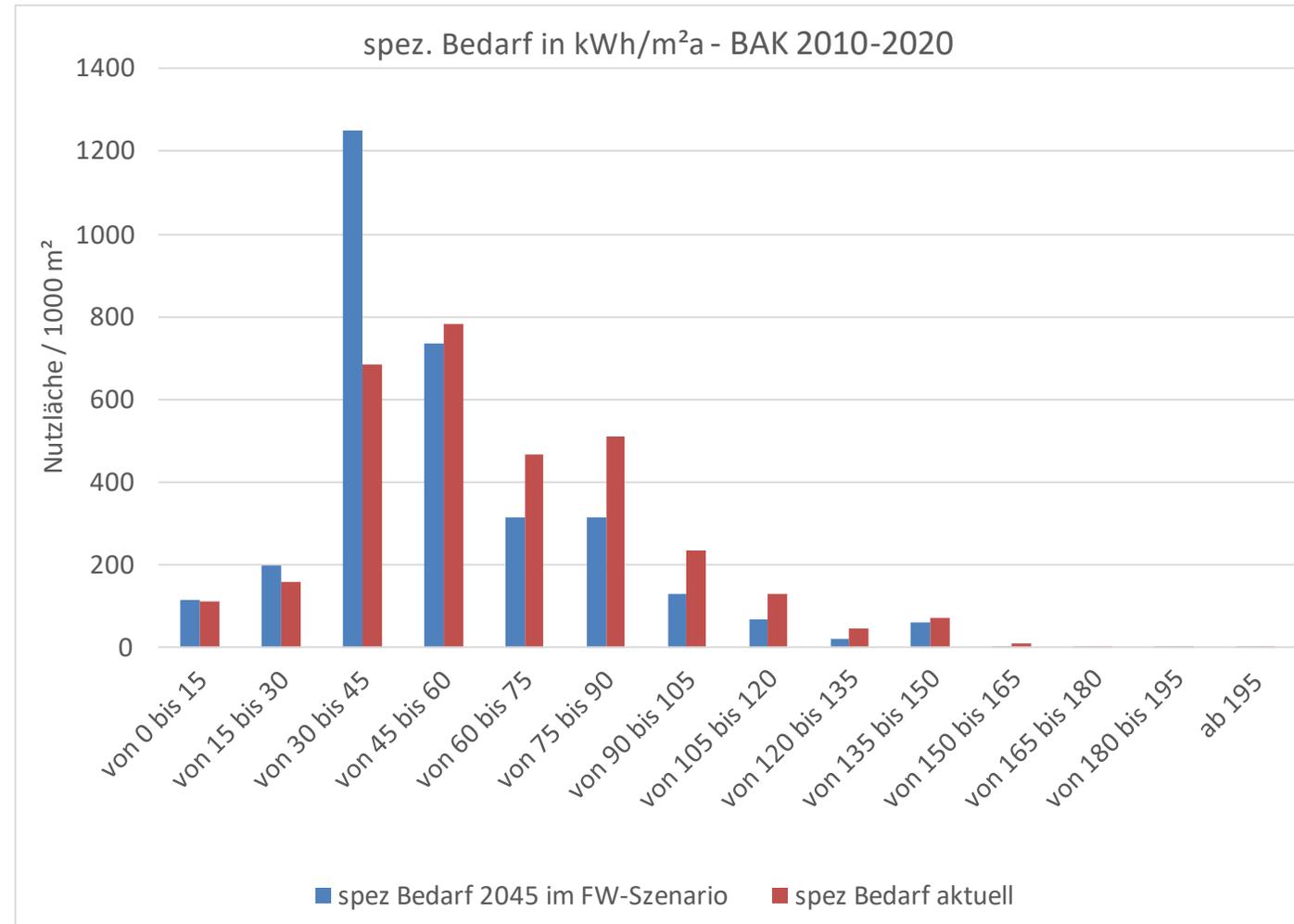


## Ergebnis BAK 2010 - 2020:

- Geringe Sanierungstätigkeit bei Neubauten, da bereits hoher Gebäudestandard

→ Mindeststandard EnEV 2009

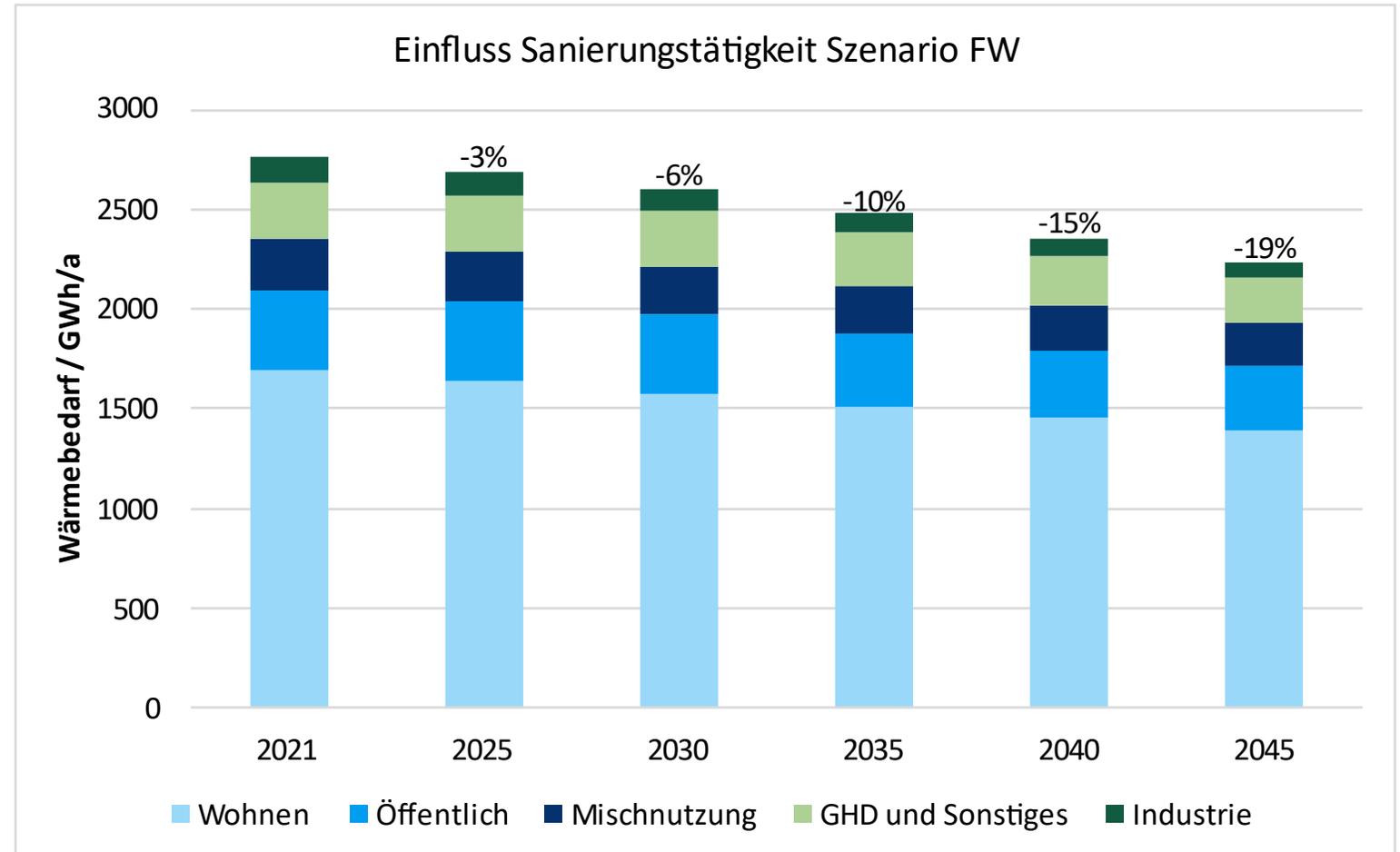
# Fortschreibung Wärmebedarf Sanierung im Szenario FW



## Ergebnisse Sanierung:

- Abnahme des Wärmebedarfs durch Sanierungstätigkeit je nach Szenario zwischen 17 und 24 %
- Im Szenario FW streut der Wert über die Stadtteile zwischen
  - 6 % (Westend, Bleichstraße) viel Denkmalschutz
  - 30 % (Sonnenberg) Großer Teil des Gebäudebestands aus Baualterklassen 1949-1995; viele EFH; hohe Kaufkraft
- Wärmebedarf Industrie exkl. Prozesswärme

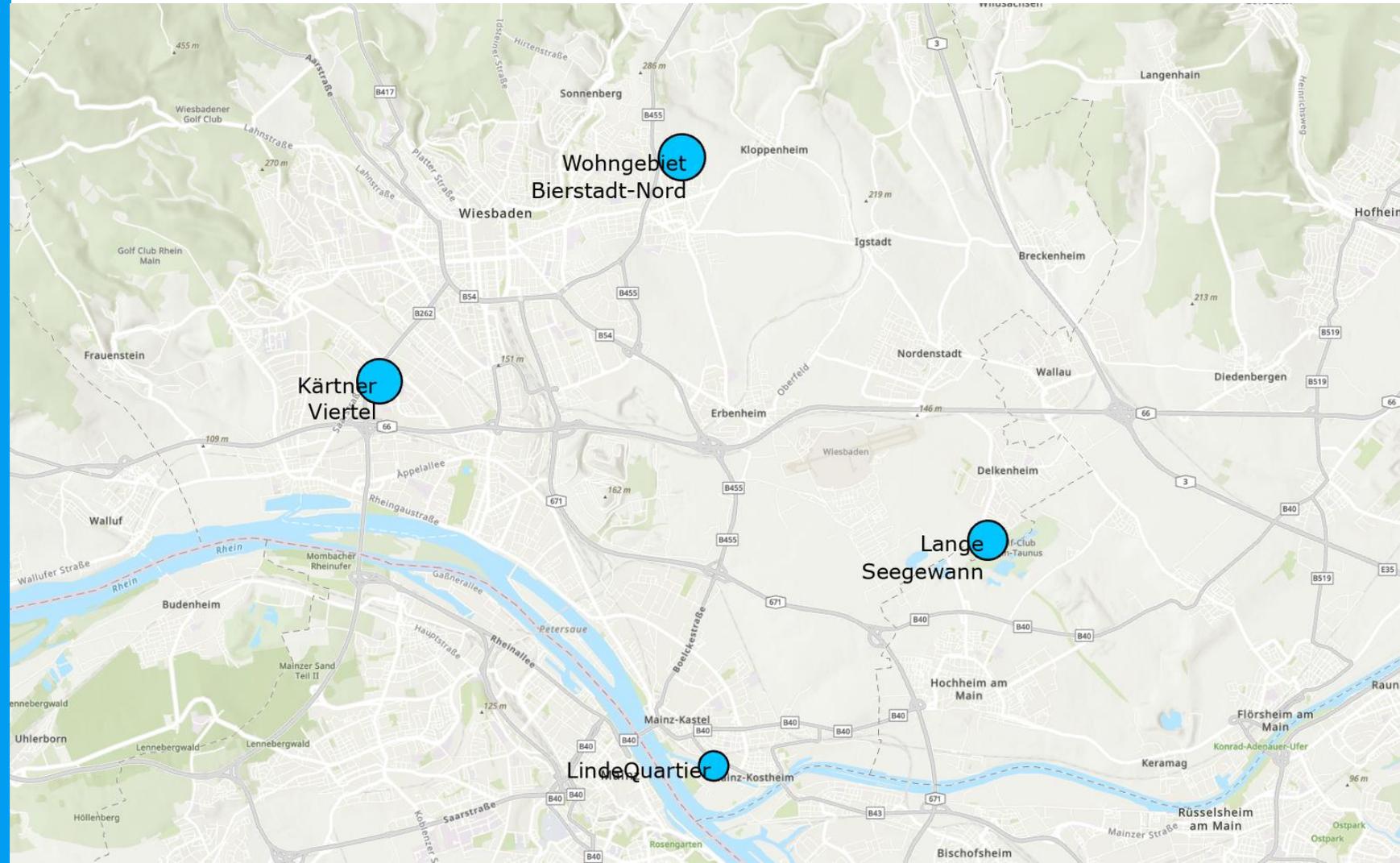
# Fortschreibung Wärmebedarf Einfluss Sanierung



## Annahmen (auf Basis von im Bestand untersuchten Neubaugebieten):

- Nutzfläche (nicht Wohnfläche) pro Wohneinheit: 100 m<sup>2</sup>
- Einwohner: 2,5 / WE
- Spez. Wärmebedarf: 50 kWh/m<sup>2</sup>a
- Spez. Strombedarf, wie in AP2 in Abhängigkeit von Nutzfläche und Einwohnern
- Vollbenutzungstunden nach Annahmen aus AP2

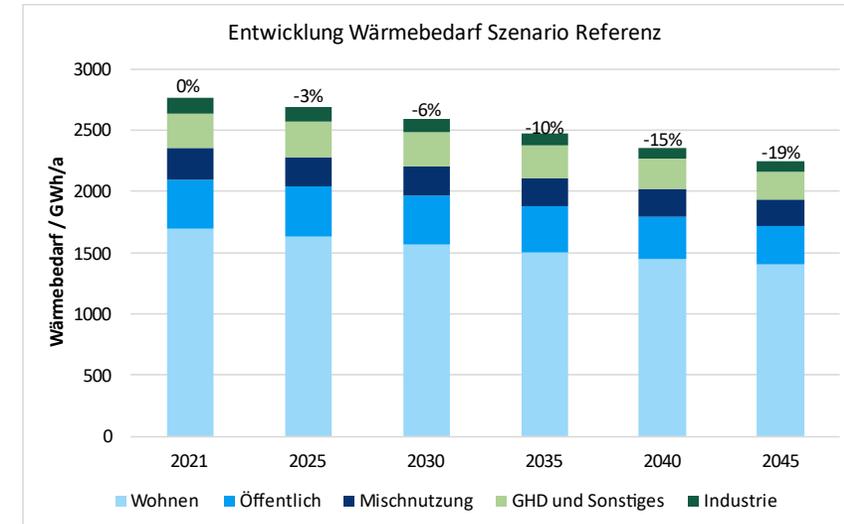
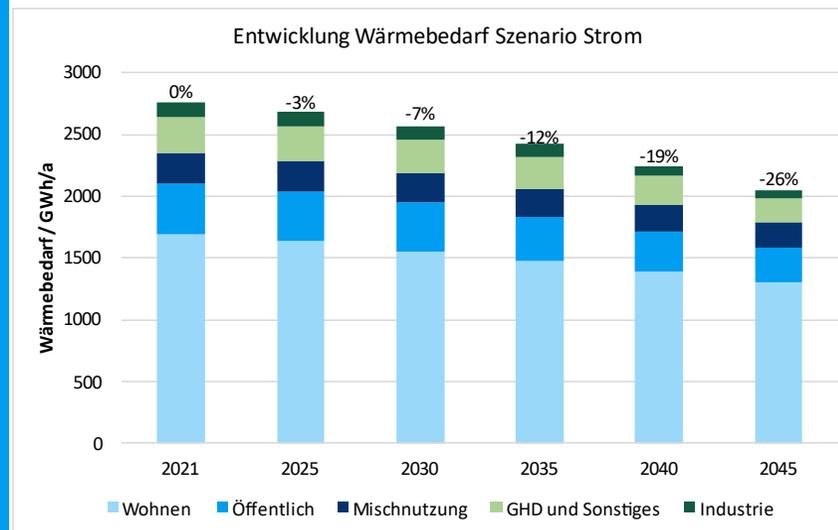
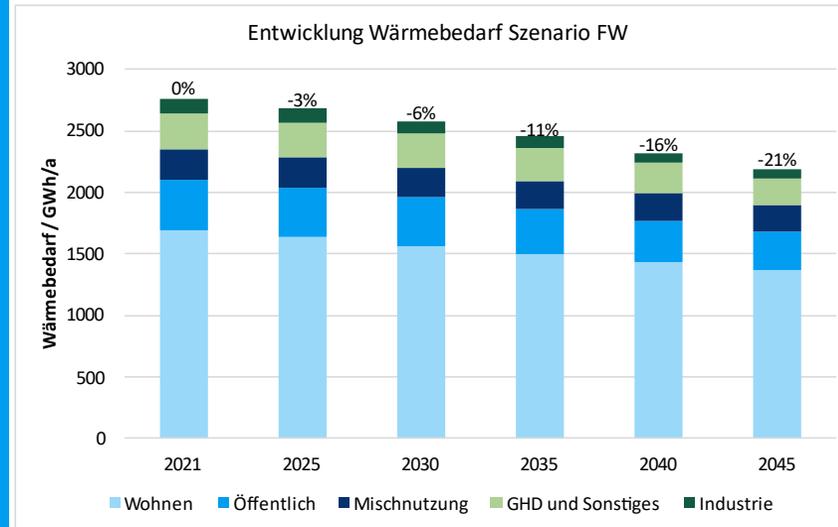
# Fortschreibung Wärmebedarf Neubaugebiete



## Ergebnisse Gesamt:

- Berücksichtigung aller Szenarioparameter (Sanierung, GTZ, Neubauprojekte)
- Abnahme des Wärmebedarfs je nach Szenario zwischen 19 und 26 %

# Fortschreibung Wärmebedarf Wiesbaden



## Zusammenfassung:

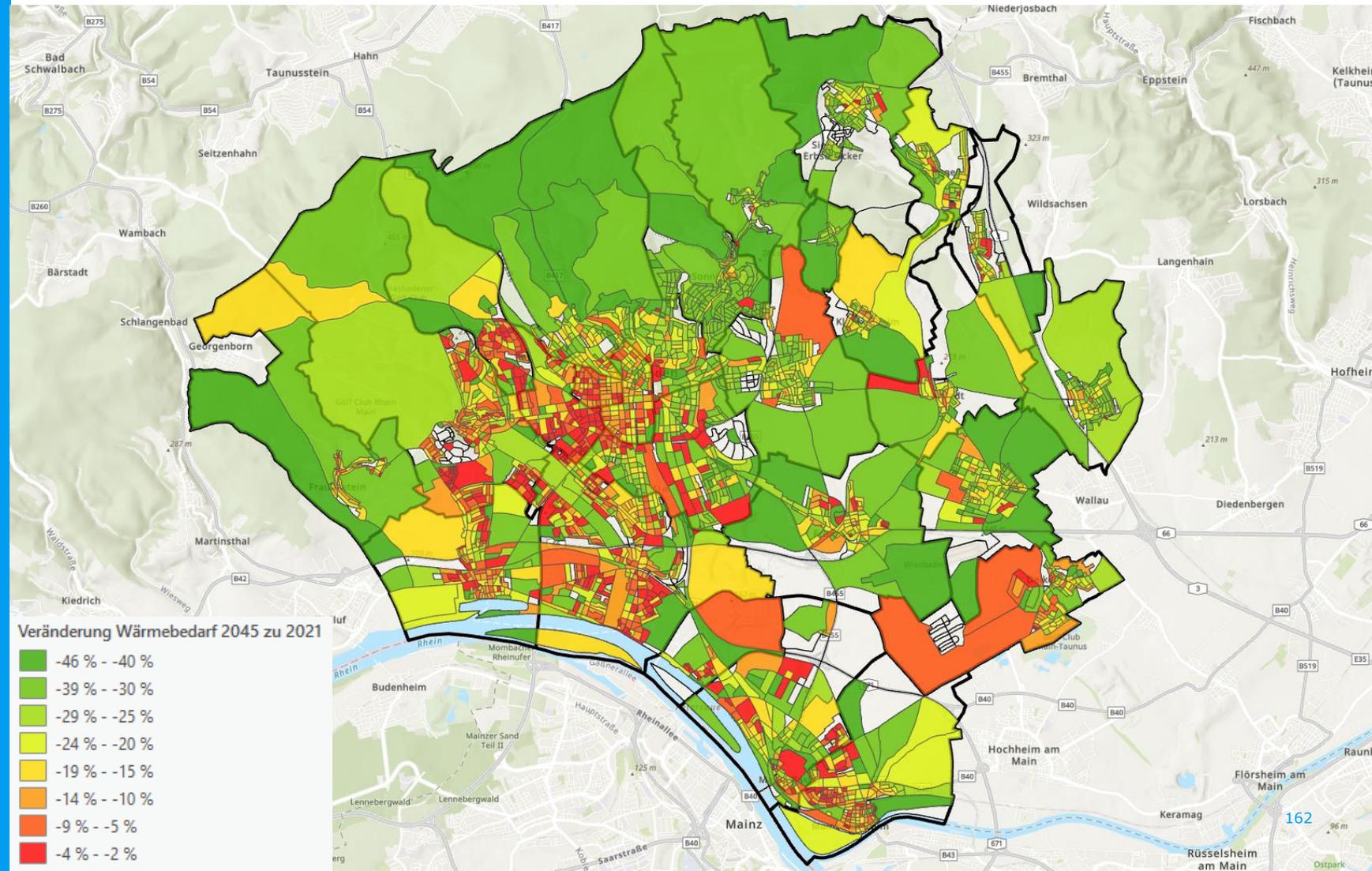
- Relative Änderung im Vergleich zum Wärmebedarf 2021 (dargestellt sind Baublöcke mit einem Wärmebedarf größer als 50 MWh/a in 2021)
- Abnahme des Wärmebedarfs insgesamt in den Baublöcken zwischen 2 und 46 %
- Abnahme in den Außenbezirken ist höher als in der Innenstadt
  - Außenbezirke: Tendenziell Vorzugsgebiete für Wärmepumpen
  - Innenstadt: Tendenziell Vorzugsgebiet für Fernwärme



## METHODIK

Übernahme der Analyse aus dem EEP Wiesbaden

# Fortschreibung Wärmebedarf Relative Änderung im Szenario FW

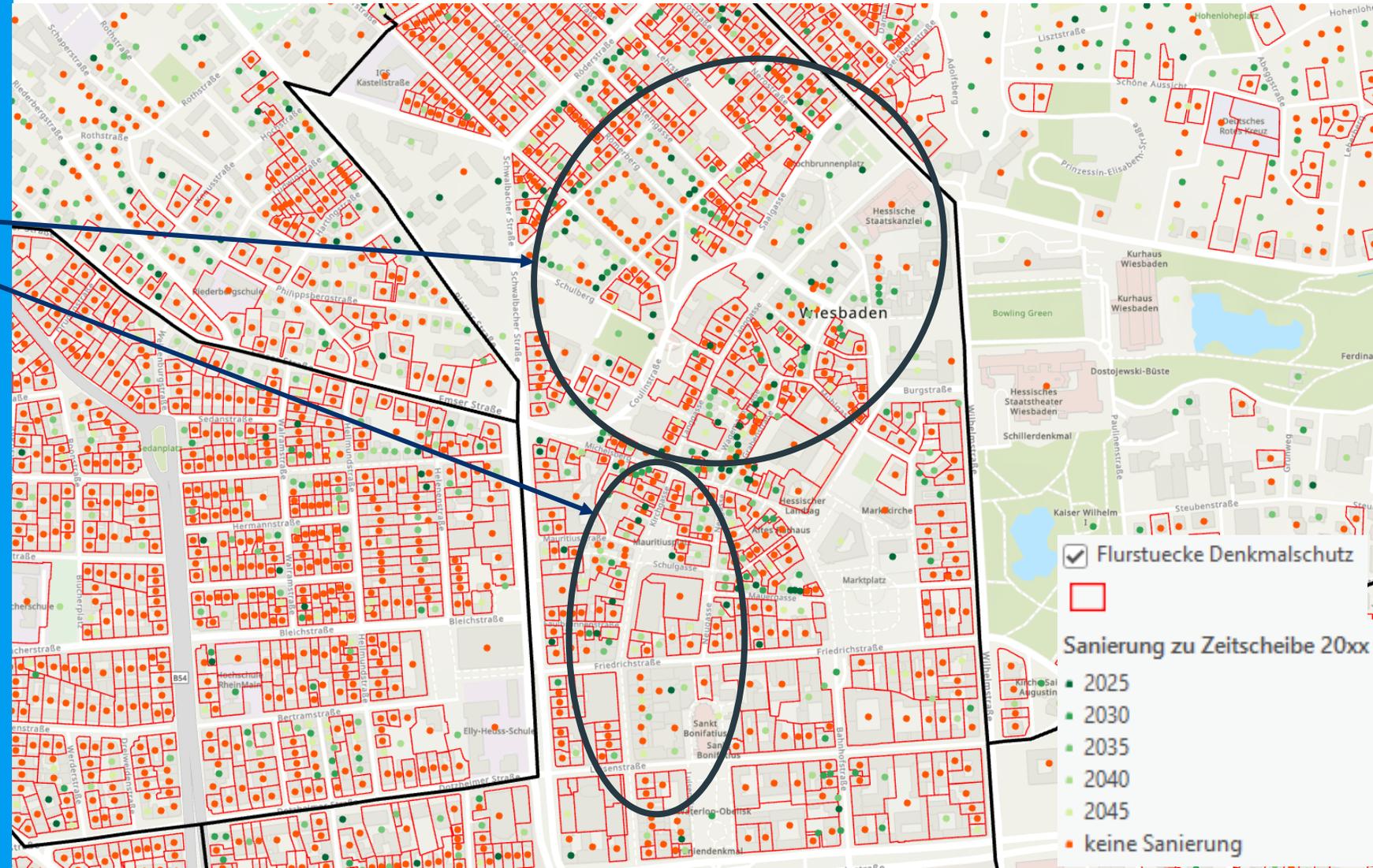


Exkurs: Erläuterung der unterschiedlichen Ausprägung der Wärmebedarfsveränderung im Innenstadtbereich

Sanierung im Stadtteil Mitte:

- Im Süden des Stadtteils kaum Sanierung, da flächendeckender Denkmalschutz
- Im Norden des Stadtteils teilweise Sanierungsaktivität, da Denkmalschutz lückenhaft (siehe Karte rechts)

# Fortschreibung Wärmebedarf Sanierung Stadtteil Mitte (Nord)



METHODIK

Übernahme der Analyse  
aus dem EEP Wiesbaden

# Bei Rückfragen stehen wir gerne zur Verfügung



**Michél Dau (Projektleitung)**

Senior Engineer

Ramboll – District Energy & Master Planning

[michel.dau@ramboll.com](mailto:michel.dau@ramboll.com)

+49 173 7091255



**Karen Janßen (stellv. Projektleitung)**

Gruppenleiterin

IFAM – Energiesystemanalyse

[karen.janssen@ifam.fraunhofer.de](mailto:karen.janssen@ifam.fraunhofer.de)

+ 49 171 8428262

Bright  
ideas.  
Sustainable  
change.

**RAMBOLL**