

# Die kommunale Wärmeplanung auf Basis eines digitalen Zwillings

Bestands- und Potenzialanalyse  
(Teil 2)

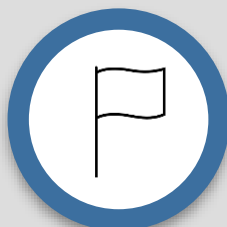
Stand: März 2025

# Die ganzheitliche Erhebung aller **EE-Potenziale** ist die Grundlage für die Bestimmung eines geeigneten **Wärmeerzeugungsmixes**



Ergebnisse der Potenzialanalyse

## Auf einen Blick



### Zielsetzung:

- Ermittlung der lokal verfügbaren **Potenziale Erneuerbarer Energien**
- Erfassung von **Abwärmepotenzialen**
- Bewertung der **Energieeinsparungspotenziale**



### Methodik:

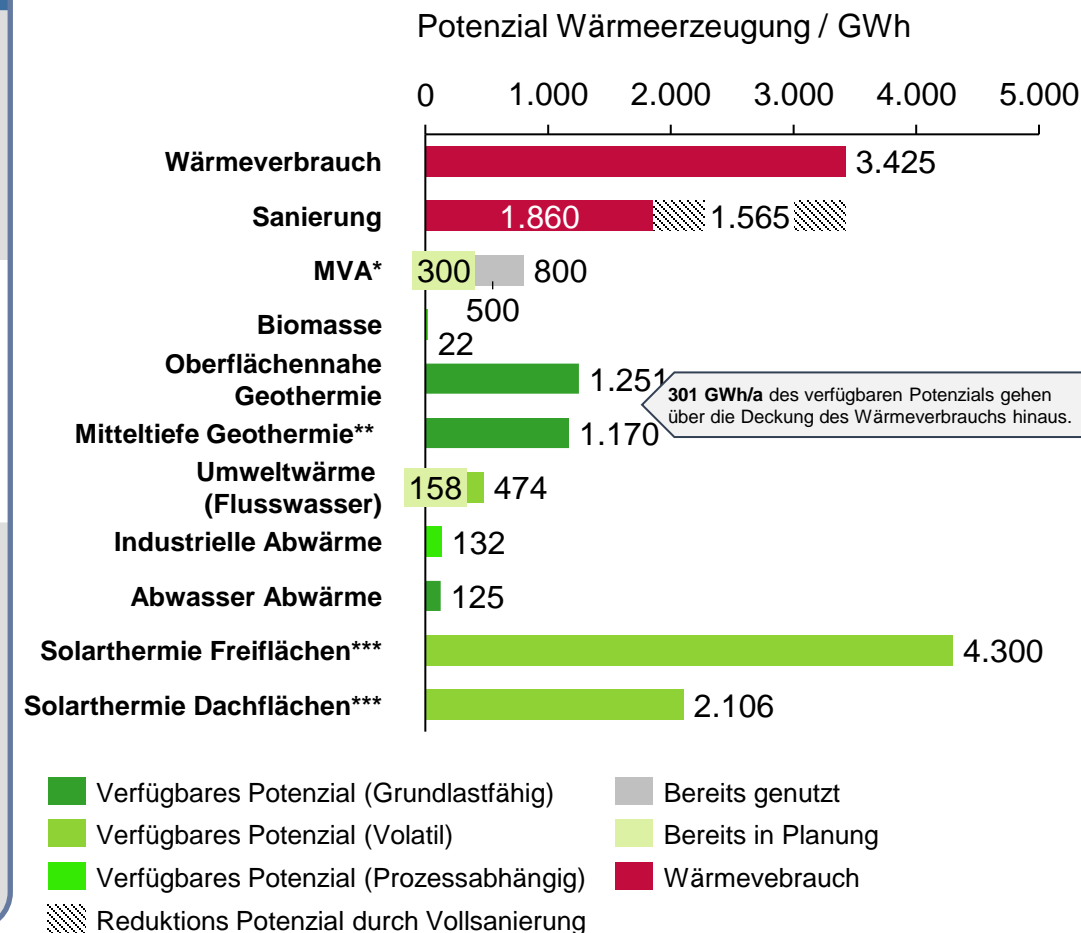
- Bewerten bereits erhobener Potenziale zur Wärmeversorgung
- Bestimmung weiterer relevanter Potenziale zusammen mit allen relevanten Akteuren
- Bestimmen von Energieeinsparpotenzialen durch Sanierung



### Kernerkenntnisse

- **FF-Solarthermie** und **oberfl. Geothermie**-Potenzial signifikant
- Die Freiflächenpotenziale stehen in Flächenkonkurrenz zueinander
- Zur Nutzung des oberfl. Geothermie-Potenzials mithilfe von Wärmepumpen wird zusätzlich elektrische Energie benötigt
- Erhebliche Einsparungspotenziale durch **Sanierungsmaßnahmen**
- Die Wärme aus **Flüssen und Abwasser** kann als Wärmequelle für **Wärmepumpen** dienen

## Konkrete erhobene Ergebnisse aus der kWP






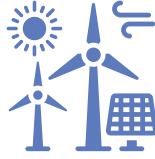




\*MVA = Müllverwertungsanlage, Angaben beziehen sich auf die Dampfmenen, die zur Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden. Die 300 GWh/a beziehen sich auf den Neubau des Müllheizkraftwerks  
 \*\* Bei einer Sondenlänge von 1.000 Metern und unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen. Anmerkung: Für die Tiefen-Geothermie wird kein flächiges Potenzial ausgewiesen. In Kombination mit Speichertechnologien können volatile Erneuerbare Energien grundlastfähig sein. \*\*\* Unter Annahme ausreichend großer Speicherkapazitäten zur saisonalen Speicherung.



# Mithilfe von GIS-Analysen werden die technischen Potenziale erschließbarer Quellen konkretisiert






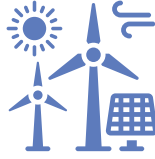




|                                                                                                                |                                                       |                         |                                                                                                                                                               |                                                                |                                                                           |                                                                               |          |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Biomasse                                                                                                                                                                                        | Geothermie                                                                                                                             | Umweltwärme                                                                                              | Abwärme                                                                                                                                                                                                                                          | Solarthermie                                                                                                                                      | EE-Strom                                                                                                                                                     | Grüne Gase                                                                                                                                                       | Speicher                                                                                    |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Nachwachsende Rohstoffe</li> <li>Organische Abfälle</li> <li>Klärgas aus Kläranlagen</li> <li>Biogas aus Biogasanlagen</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-nah Geothermie</li> <li>Mitteltiefe Geothermie</li> <li>Tiefe Geothermie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-gewässer (Seen &amp; Flüsse)</li> <li>Luft</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie &amp; GHD</li> <li>Höchstleistungs-rechenzentren</li> <li>Abwasser</li> <li>Thermische Abfallverwertung</li> <li>Trinkwasser</li> <li>Anlagen zur Stromerzeugung</li> <li>Power-to-X</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen</li> <li>Dachflächen</li> </ul> <p>Hinweis: Solarthermie ist mit Speichern zu kombinieren.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen-PV</li> <li>Dachflächen-PV</li> <li>PV auf Verkehrswegen</li> <li>Agri-PV</li> <li>Windenergie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>-Kernnetz</li> <li>Erzeugung von Wasserstoff</li> <li>Infrastrukturnetz Wasserstoff</li> <li>HKWs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zentrale und dezentrale Speicher-lösungen</li> </ul> |  |
| <b>Sanierungspotenzial</b>                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                        |                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                             |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollsanierung<sup>1</sup> gilt als 100% saniert</li> <li>Teilsaniert<sup>2</sup> gilt als 50% saniert</li> <li>Unsanziert gilt als 0% saniert</li> </ul> |                                                                                                                                        |                                                                                                          | <p>Hinweis: Genauere Zuordnung von Potenzialen (Solarthermie, PV, mitteltiefe Geothermie, Speichern) zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief „Flächenanalyse“.</p>                                                                            |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                             |  |

<sup>1)</sup> Dach, Keller, Fenster und Fassade, <sup>2)</sup> Dach und Keller

# Mithilfe von GIS-Analysen werden die technischen Potenziale erschließbarer Quellen konkretisiert



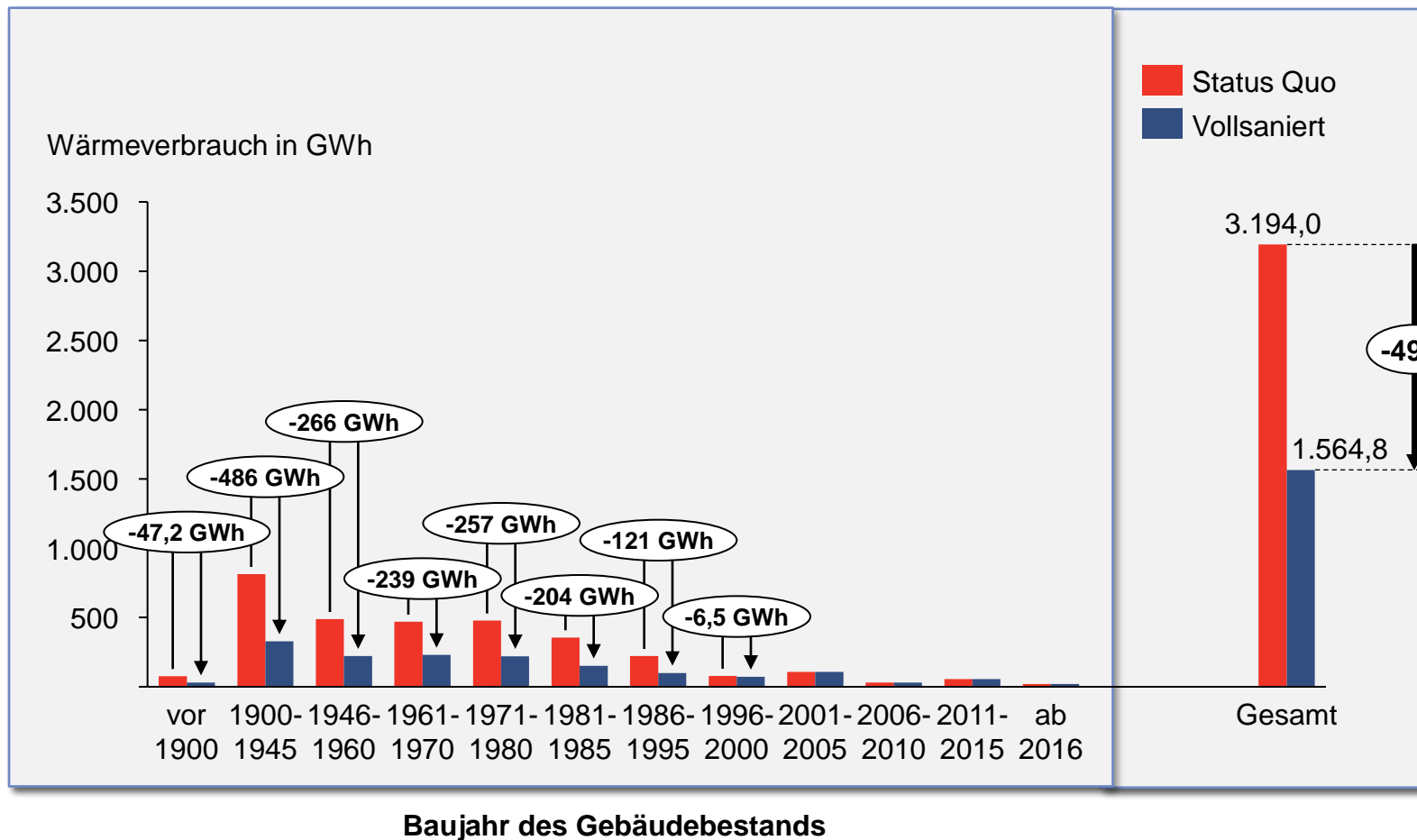
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                        |                        |                                                                                                                                                              |                                                                |                                                                           |                                                                               |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biomasse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Geothermie                                                                                                                              | Umweltwärme                                                                                             | Abwärme                                                                                                                                                                                                                                         | Solarthermie                                                                                                                                      | EE-Strom                                                                                                                                                     | Grüne Gase                                                                                                                                                       | Speicher                                                                                   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Nachwachsende Rohstoffe</li> <li>Organische Abfälle</li> <li>Klärgas aus Kläranlagen</li> <li>Biogas aus Biogasanlagen</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-nahe Geothermie</li> <li>Mitteltiefe Geothermie</li> <li>Tiefe Geothermie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächengewässer (Seen &amp; Flüsse)</li> <li>Luft</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie &amp; GHD</li> <li>Höchstleistungsrechenzentren</li> <li>Abwasser</li> <li>Thermische Abfallverwertung</li> <li>Trinkwasser</li> <li>Anlagen zur Stromerzeugung</li> <li>Power-to-X</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen</li> <li>Dachflächen</li> </ul> <p>Hinweis: Solarthermie ist mit Speichern zu kombinieren.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen-PV</li> <li>Dachflächen-PV</li> <li>PV auf Verkehrswegen</li> <li>Agri-PV</li> <li>Windenergie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>-Kernnetz</li> <li>Erzeugung von Wasserstoff</li> <li>Infrastrukturnetz Wasserstoff</li> <li>HKWs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zentrale und dezentrale Speicherlösungen</li> </ul> |
| <b>Sanierungspotenzial</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                         |                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollsanierung<sup>1</sup> gilt als 100% saniert</li> <li>Teilsaniert<sup>2</sup> gilt als 50% saniert</li> <li>Unsanziert gilt als 0% saniert</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px; text-align: center;"> <p>Hinweis: Genauere Zuordnung von Potenzialen (Solarthermie, PV, mitteltiefe Geothermie, Speichern) zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief „Flächenanalyse“.</p> </div> |                                                                                                                                         |                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                            |

<sup>1</sup>) Dach, Keller, Fenster und Fassade, <sup>2</sup>) Dach und Keller



# Der Wärmeverbrauch der Stadt Bonn kann durch Sanierungsmaßnahmen um bis zu 49 % signifikant reduziert werden

Ergebnisse der Potenzialanalyse



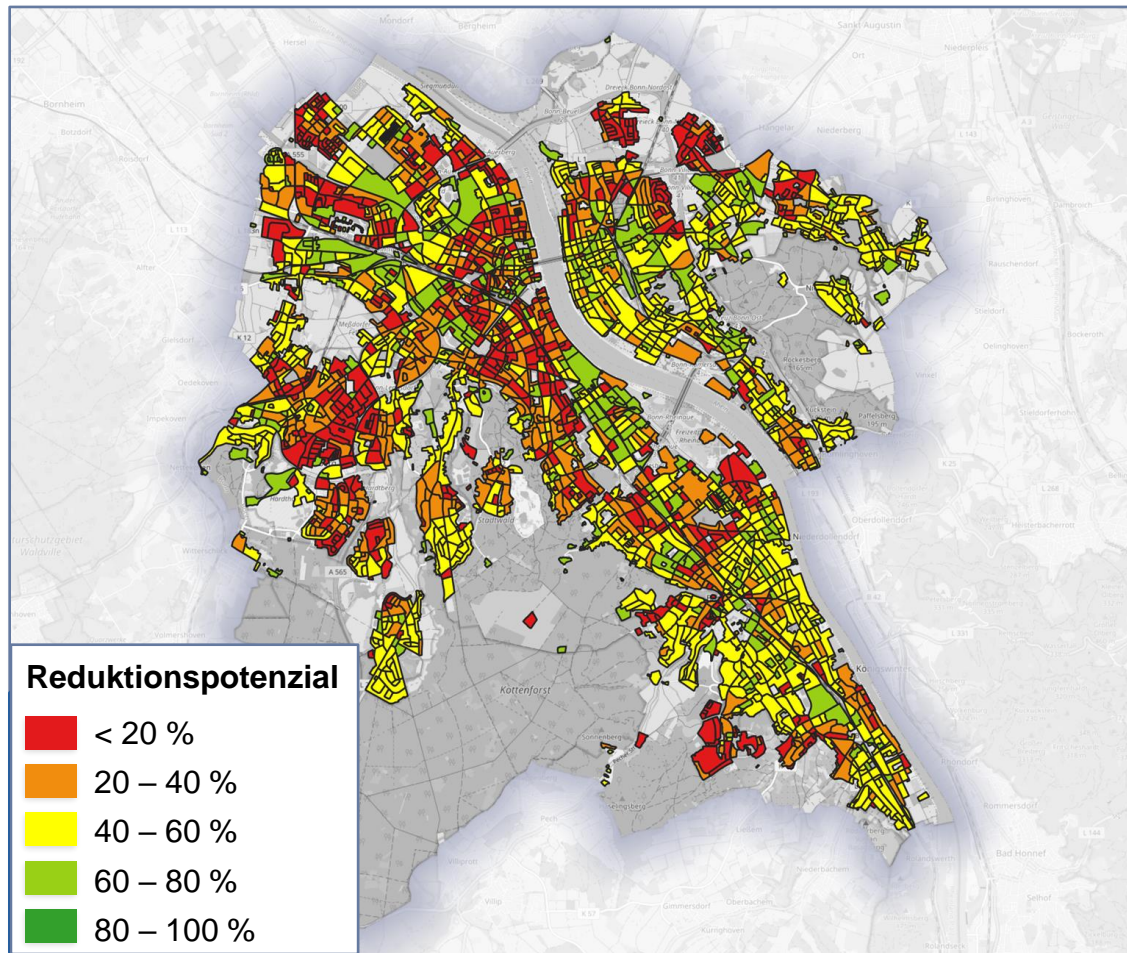
## Bewertung der Sanierungsmaßnahmen

- Insgesamt kann der Wärmeverbrauch der Stadt Bonn durch Vollsaniierungsmaßnahmen **um 49 % gesenkt** werden.
- Soll die Vollsaniierung schon bis 2035 umgesetzt werden, entspricht das einer **durchschnittlichen Sanierungsrate von 4,6 %**.
- Soll die Vollsaniierung bis 2045 umgesetzt werden, entspricht das einer **durchschnittlichen Sanierungsrate von 2,42 %**.
- Durch Sanierung der Gebäude mit Baujahr zwischen 1900 und 1985 können **etwa 95%** des gesamten Wärmeeinsparpotenzials realisiert werden.

**Hinweis:** Der unbekannte Wärmeverbrauch von 231 GWh/a ist hier nicht enthalten. Der Gesamtwärmeverbrauch der Stadt Bonn liegt bei 3.425 GWh/a. Siehe Folie 45

# Hohe Reduktionspotenziale bei der Raumwärme im Süden und im Osten des Stadtgebiets

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Methodik:

- Annahme maximale Sanierung
- Das Reduktionspotenzial ist der Wärmeverbrauch bei Vollsanierung referenziert auf den Wärmeverbrauch 2023

## Anmerkungen:

- **Bad Godesberg** weist ein gutes Reduktionspotenzial von **40-60 %** auf.
- Auch **Beuel** zeigt ein gutes Reduktionspotenzial von **40-60 %**.
- Im Westen liegen teilweise geringe Sanierungspotenziale vor.
- Die drastische Reduktion des Wärmebedarfs ist Voraussetzung dafür, dass das vorhandene EE-Potenzial für eine Wärmeversorgung ausreicht.
- Unabhängig von der Technologie hilft eine Sanierung die Größe, den Aufwand und damit die Kosten einer Wärmeversorgungs-lösung zu verringern.
- Weitere Informationen sind dem Klimaplan der Bundesstadt Bonn zu entnehmen (Quartierbüro, Fokusinitiative Unterstützung privater Vermieter\*innen und Wohneigentümergeinschaften, Förderprogramm für die sozialverträgliche energetische Altbaumodernisierung).

# Mithilfe von GIS-Analysen werden die technischen Potenziale erschließbarer Quellen konkretisiert





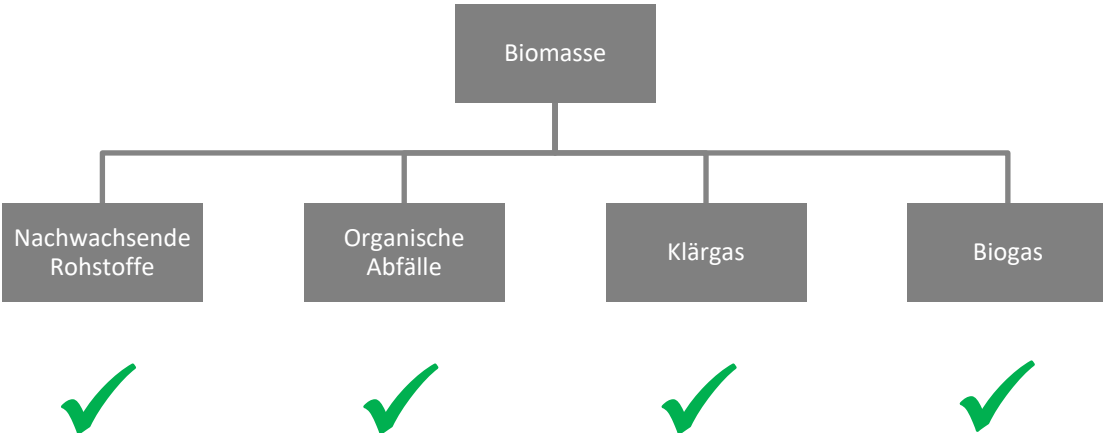
| Biomasse                                                                                                                                                                                        | Geothermie                                                                                                                             | Umweltwärme                                                                                              | Abwärme                                                                                                                                                                                                                                          | Solarthermie                                                                                                                                      | EE-Strom                                                                                                                                                     | Grüne Gase                                                                                                                                                       | Speicher                                                                                    |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Nachwachsende Rohstoffe</li> <li>Organische Abfälle</li> <li>Klärgas aus Kläranlagen</li> <li>Biogas aus Biogasanlagen</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-nah Geothermie</li> <li>Mitteltiefe Geothermie</li> <li>Tiefe Geothermie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-gewässer (Seen &amp; Flüsse)</li> <li>Luft</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie &amp; GHD</li> <li>Höchstleistungs-rechenzentren</li> <li>Abwasser</li> <li>Thermische Abfallverwertung</li> <li>Trinkwasser</li> <li>Anlagen zur Stromerzeugung</li> <li>Power-to-X</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen</li> <li>Dachflächen</li> </ul> <p>Hinweis: Solarthermie ist mit Speichern zu kombinieren.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen-PV</li> <li>Dachflächen-PV</li> <li>PV auf Verkehrswegen</li> <li>Agri-PV</li> <li>Windenergie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>-Kernnetz</li> <li>Erzeugung von Wasserstoff</li> <li>Infrastrukturnetz Wasserstoff</li> <li>HKWs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zentrale und dezentrale Speicher-lösungen</li> </ul> |  |
| <b>Sanierungspotenzial</b>                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                        |                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                             |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollsanierung<sup>1</sup> gilt als 100% saniert</li> <li>Teilsaniert<sup>2</sup> gilt als 50% saniert</li> <li>Unsanziert gilt als 0% saniert</li> </ul> |                                                                                                                                        |                                                                                                          | <p>Hinweis: Genauere Zuordnung von Potenzialen (Solarthermie, PV, mitteltiefe Geothermie, Speichern) zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief „Flächenanalyse“.</p>                                                                            |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                             |  |

<sup>1</sup>) Dach, Keller, Fenster und Fassade, <sup>2</sup>) Dach und Keller



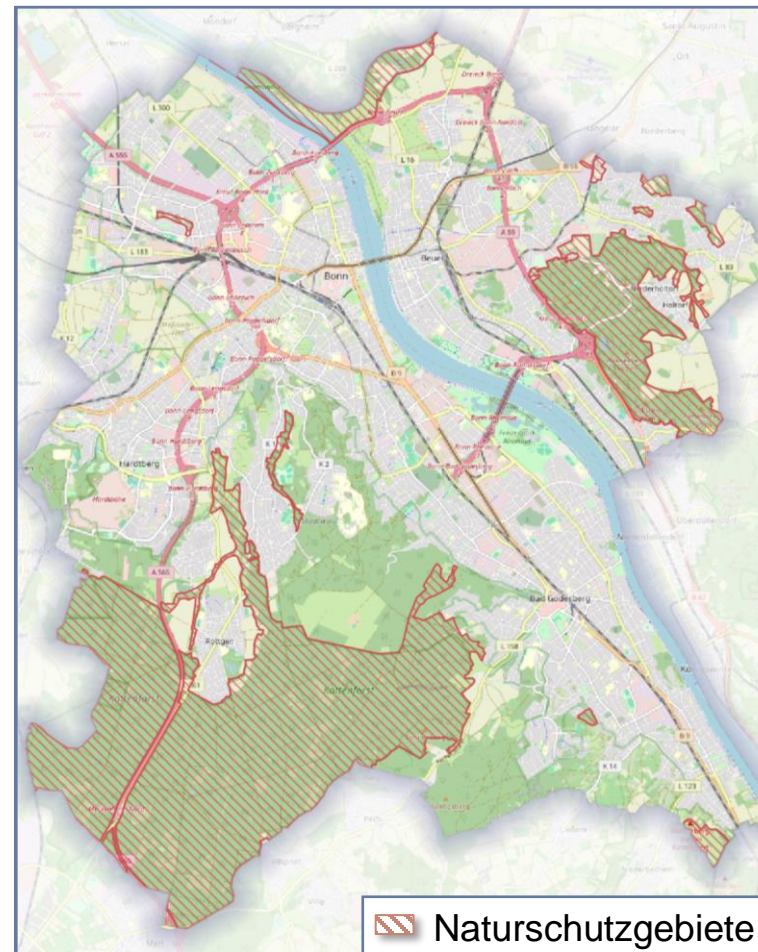
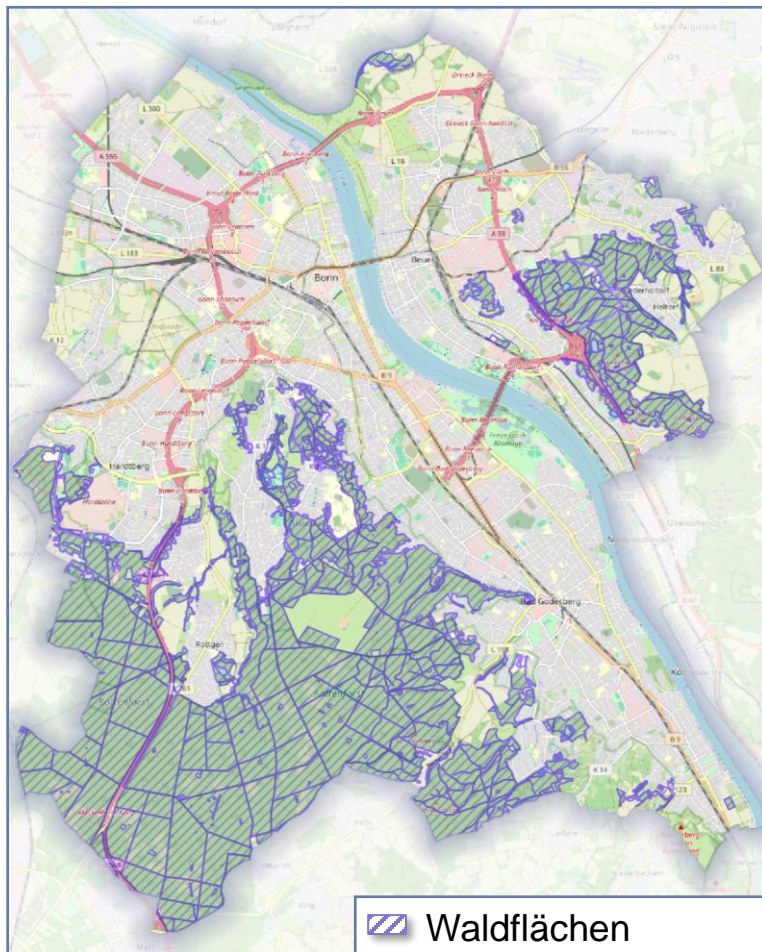
# Für Biomasse haben vor allem Bio- und Klärgas hohe Potenziale, falls diese nicht bereits erschlossen werden

Ergebnisse der Potenzialanalyse

| Kurzbeschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Wichtige Kennzahlen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Grundsätzlich überörtliche Nutzung unabhängig vom Standort</li><li>• Nachwachsende Rohstoffe (Reststoffe, Energiepflanzen)</li><li>• Organische Abfälle (Abfallwirtschaft)</li><li>• Klärgas aus Kläranlagen</li><li>• Biogasanlagen haben erhebliche Abwärmepotenziale</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Biogas und Klärgas bestehen zu 50 - 75% aus Methan</li><li>• Weitere Bestandteile sind Kohlendioxid, Wasserstoff und giftiger Schwefelwasserstoff</li><li>• Der Energiegehalt von Biogas und Klärgas liegt bei 5-7,5 kWh/m<sup>3</sup></li><li>• Der Energiegehalt von Erdgas liegt bei 8,6-11,4 kWh/m<sup>3</sup> (L- und H-Gas)</li></ul> |
| Anwendungsmöglichkeiten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Restriktionen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <br> <pre>graph TD; Biomasse --&gt; NR[Nachwachsende Rohstoffe]; Biomasse --&gt; OA[Organische Abfälle]; Biomasse --&gt; KG[Klärgas]; Biomasse --&gt; BG[Biogas];</pre>                                                                   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Begrenzte Potenziale</li><li>• Emissionen (Anlieferung, Verarbeitung,...)</li><li>• Konkurrenz durch stoffliche Nutzung und für Hochtemperaturanwendungen (Holz)</li><li>• Stoffliche Nutzung von Holz sollte Vorrang vor der energetischen Nutzung haben</li></ul>                                                                         |
| <b>Vorteile</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Ganzjährige Verfügbarkeit</li><li>• Hohe Temperaturen</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p>Hinweis: Biomasse weist insgesamt für Deutschland ein sehr begrenztes Potenzial auf, das trifft auch auf Bonn zu.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

# Im Süden von Bonn gibt es große Waldflächen, welche überwiegend als Naturschutzgebiete ausgewiesen sind

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Waldflächen in Bonn

- In Bonn liegt eine **Waldfläche** von rund **43 km<sup>2</sup>** vor.
- Die **größten Flächen** befinden sich im **Südwesten**.
- Dabei ist der **Kottenforst** das **größte Waldgebiet**.

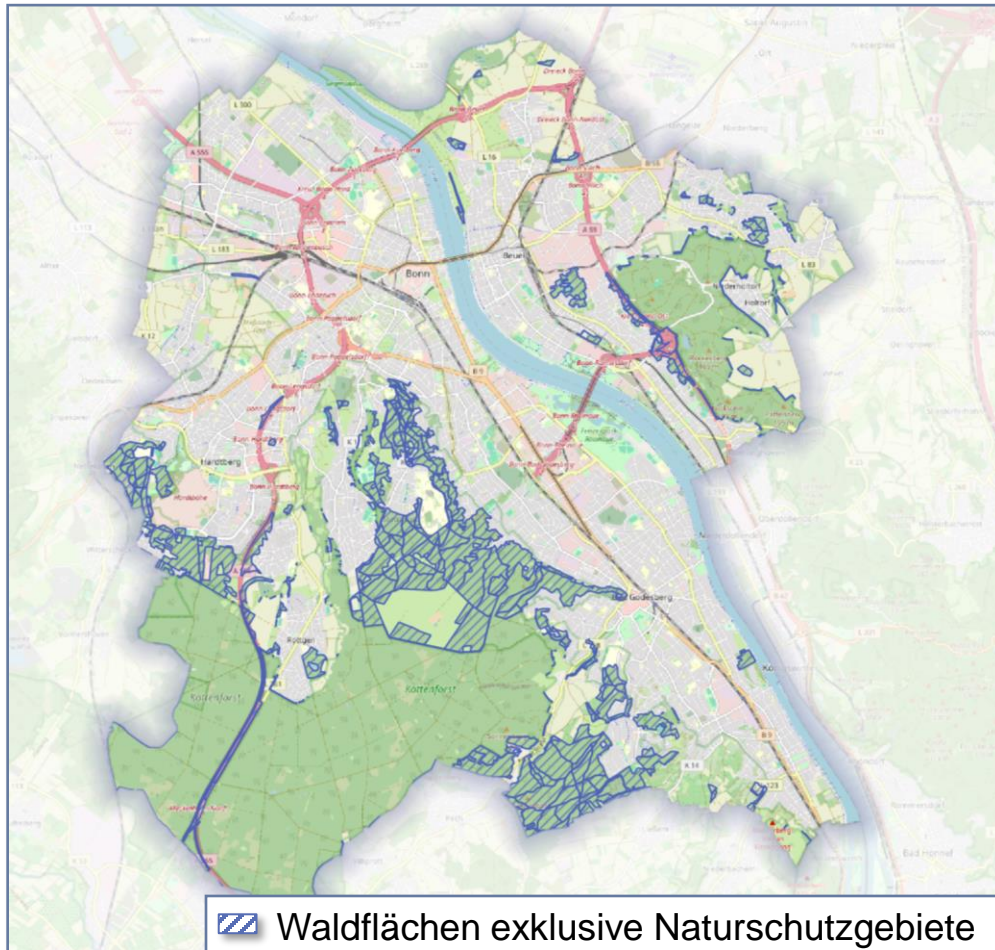
## Naturschutzgebiete in Bonn

- In Bonn liegt eine Fläche für **Naturschutzgebiete** von rund **33 km<sup>2</sup>** vor.
- Die **größten Flächen** befinden sich im **Südwesten**.



# Die Waldflächen können vor allem aufgrund des Naturschutzes nur eingeschränkt energetisch genutzt werden

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Bewertung der Waldfläche in Bonn

- In Bonn liegt nach Abzug der Naturschutzgebiete rund **10 km<sup>2</sup> Waldfläche** vor, die theoretisch **energetisch** genutzt werden könnte.
- Das Potenzial nachwachsender Rohstoffe wird mittels der thermischen Energie pro Hektar Waldfläche berechnet, diese wird gemäß KEA-BW\* Leitfaden zur kommunalen Wärmeplanung mit **4,3 MWh pro Hektar** (Waldrestholz) angenommen.
- Die Menge an Waldrestholz, die pro Hektar Waldfläche anfällt, ist abhängig von Baumart, Alter und Zustand des Waldes sowie der Art der Waldbewirtschaftung.
- Waldrestholz umfasst die bei der Holzernte zurückgebliebenen Äste, Zweige, Baumkronen und andere nicht nutzbare Teile des Baumes.
- Mit einer Waldfläche von rund 10 km<sup>2</sup>, welche in der Abbildung dargestellt ist, ergibt sich ein Potenzial von circa **4,3 GWh/a**.
- Im Vergleich zum Wärmeverbrauch sind die auf der Basis des KEA\*-Leitfadens ermittelten **4,3 GWh/a vernachlässigbar** gering.

\*Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH

1) KEA-Leitfaden

Quellen: [7] Digitales Basis-Landschaftsmodell DLM, [12] Regionalforstamt Rhein-Sieg-Erfurt

BonnNetz | Mai 2024 | kommunale Wärmeplanung für die Stadt Bonn



# Organische Abfälle werden in Bonn zur Kompostierung eingesetzt und spielen für die Wärmeerzeugung keine Rolle

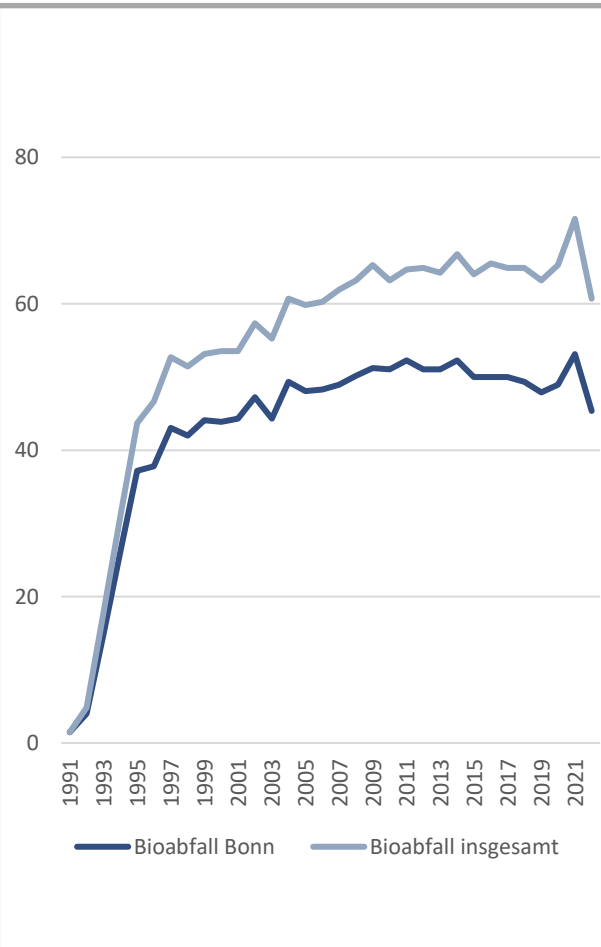
Ergebnisse der Potenzialanalyse

## Entwicklung der Bioabfallsammlung in Bonn 1991 – 2022




1991 – Pilotprojekt Biotonne in den Stadtbezirken Hardtberg und Beuel

Ab 1993 – flächendeckende Einführung der Biotonne im gesamten Stadtgebiet

2022 – pro Person wurden rund 49 Kilogramm Bioabfall gesammelt



## Organische Abfälle von Bonn in Zahlen

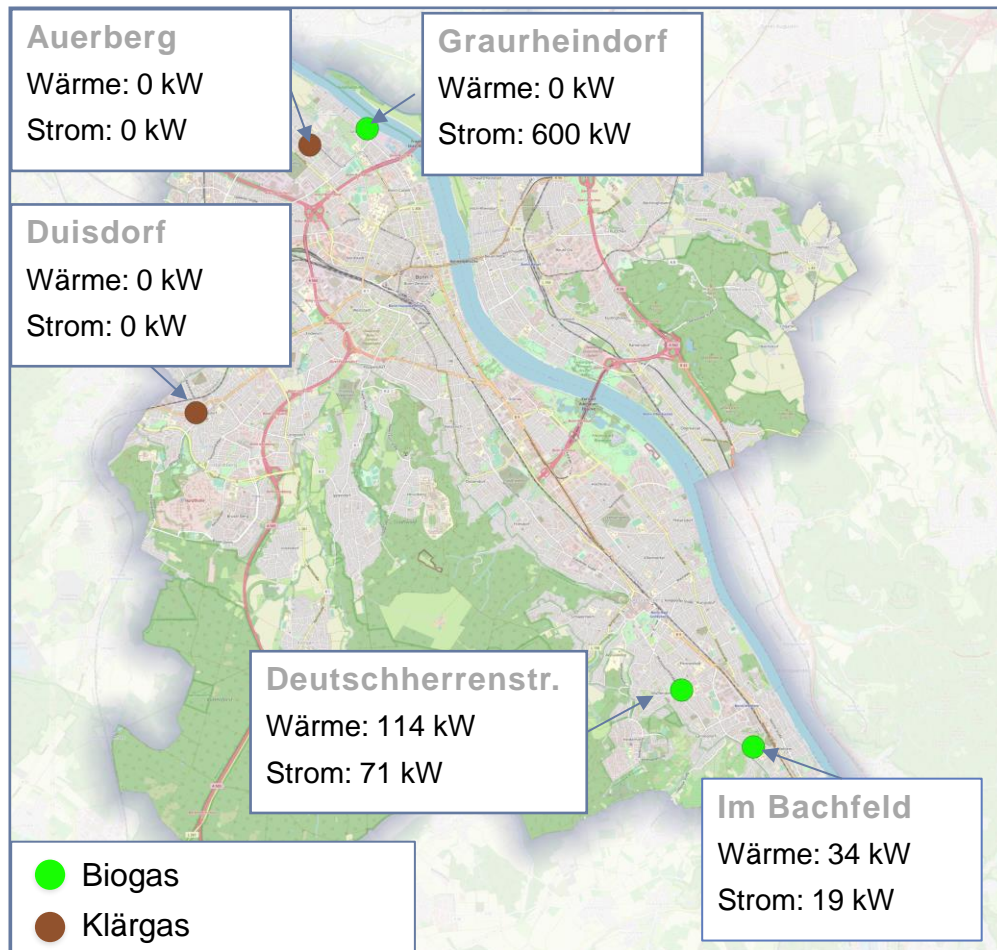
- 2022 hat jeder Bonner ca. **48,8 kg** Biomüll produziert. 
- Die gesamte Menge an organischen Abfällen liegt bei ca. 69 kg pro Kopf. 
- 57.500 Grüne Tonnen sind in Bonn verteilt. 
- In **2022** insgesamt **16.300 t Biomüll aus den Haushalten**. Das entspricht ca. 15,7 GWh an gewinnbarer Energie.
- Bis **2030** wird die gesamte Menge an Bioabfällen auf ca. **23.301 t** steigen, dies entspricht **6,7 GWh** zusätzlicher Energie.

## Offene Frage:

- Sind noch Projekte zur Verwertung von Bioabfällen in Planung?

# Biogas und Klärgas sind aktuell und wahrscheinlich in Zukunft für die Strom- und Wärmeerzeugung aufgrund der identifizierten Potenziale von geringer Bedeutung

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Bestandsanlagen

- Im nördlichen **Graurheindorf** befindet sich eine Biogas-Anlage mit einer elektrischen Leistung von **600 kW**.
- Im Süden befindet sich in der **Deutschherrenstr.** eine Biogas-Anlage mit einer thermischen Leistung von **114 kW** und einer elektrischen Leistung von **71 kW**.
- Im **Bachfeld** befindet sich eine Biogas-Anlage mit einer thermischen Leistung von **34 kW** und einer elektrischen Leistung von **19 kW**.
- Bei ca. **7000 Volllaststunden (VLH)** stehen dadurch **insgesamt ca. 1,04 GWh** Wärme aus Biogas zur Verfügung.
- Für die Energieversorgung spielt Klärgas aktuell keine Rolle.






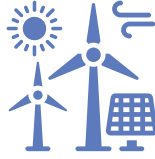


## Zusätzliche Potenziale

- **Biogas:** Bei einem angenommenen elektrischen Wirkungsgrad von 38 % und einem **Gesamtwirkungsgrad** von **90 %** könnte in Graurheindorf zusätzlich **821 kW** und mit **7.000 Volllaststunden 5,7 GWh** Wärme zur Verfügung stellen.
- **Klärgas:** Mit Stand 3/2025 sind zusätzliche BHKWs zur Strom- und Wärmeproduktion vorgesehen.  
Aktuell wird ein Großteil des erzeugten Faulgases der Kläranlage Salierweg für die Stützfeuerung der Mono-Klärschlamm-Verwertungsanlage (MKVA) benötigt. Ab 2029 soll die Verwertung des Bonner Klärschlammes in der neuen MKVA der KLAR in Köln erfolgen. Das dann nicht mehr für die Stützfeuerung benötigte Faulgas kann zur zusätzlichen Strom- und Wärmeerzeugung in BHKWs genutzt werden. Die dabei erzeugte Wärme wird anteilig den Wärmebedarf der KA Salierweg decken (Beheizung der technischen Anlagen und Betriebsgebäude). Zu welchen Anteilen Überschüsse in Wärmenetze eingespeist werden können, ist derzeit völlig unklar.  
Eine Einspeisung des Klärgases in das öffentliche Gasnetz wird bei der weiteren Anlagenplanung mit untersucht.“

Quelle: [1]; [17]

# Mithilfe von GIS-Analysen werden die technischen Potenziale erschließbarer Quellen konkretisiert



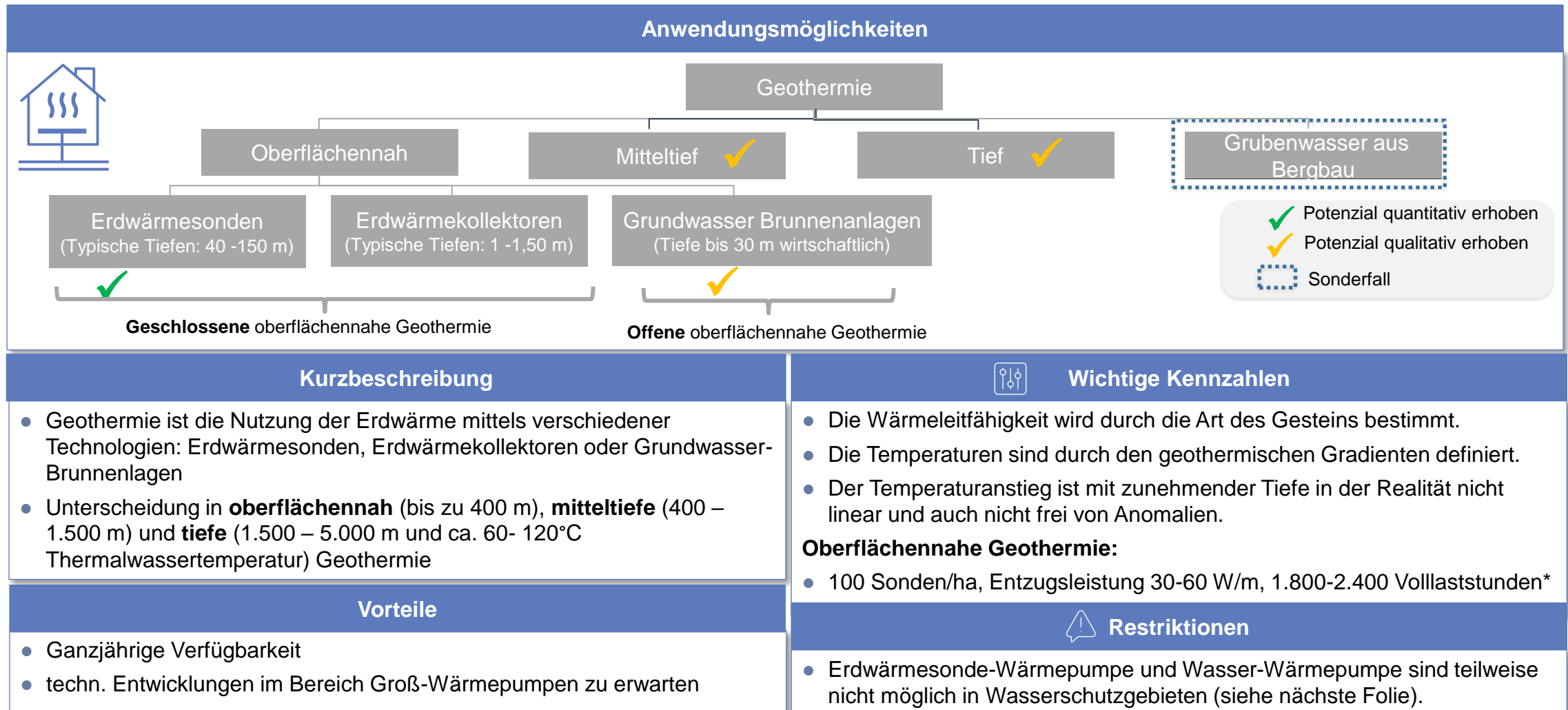
|                                                                                                                |                                                        |                         |                                                                                                                                                               |                                                                |                                                                           |                                                                               |          |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Biomasse                                                                                                                                                                                        | Geothermie                                                                                                                              | Umweltwärme                                                                                              | Abwärme                                                                                                                                                                                                                                          | Solarthermie                                                                                                                                      | EE-Strom                                                                                                                                                     | Grüne Gase                                                                                                                                                       | Speicher                                                                                    |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Nachwachsende Rohstoffe</li> <li>Organische Abfälle</li> <li>Klärgas aus Kläranlagen</li> <li>Biogas aus Biogasanlagen</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-nahe Geothermie</li> <li>Mitteltiefe Geothermie</li> <li>Tiefe Geothermie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-gewässer (Seen &amp; Flüsse)</li> <li>Luft</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie &amp; GHD</li> <li>Höchstleistungs-rechenzentren</li> <li>Abwasser</li> <li>Thermische Abfallverwertung</li> <li>Trinkwasser</li> <li>Anlagen zur Stromerzeugung</li> <li>Power-to-X</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen</li> <li>Dachflächen</li> </ul> <p>Hinweis: Solarthermie ist mit Speichern zu kombinieren.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen-PV</li> <li>Dachflächen-PV</li> <li>PV auf Verkehrswegen</li> <li>Agri-PV</li> <li>Windenergie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>-Kernnetz</li> <li>Erzeugung von Wasserstoff</li> <li>Infrastrukturnetz Wasserstoff</li> <li>HKWs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zentrale und dezentrale Speicher-lösungen</li> </ul> |  |
| <b>Sanierungspotenzial</b>                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                         |                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                             |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollsanierung<sup>1</sup> gilt als 100% saniert</li> <li>Teilsaniert<sup>2</sup> gilt als 50% saniert</li> <li>Unsaniiert gilt als 0% saniert</li> </ul> |                                                                                                                                         |                                                                                                          | <p>Hinweis: Genauere Zuordnung von Potenzialen (Solarthermie, PV, mitteltiefe Geothermie, Speichern) zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief „Flächenanalyse“.</p>                                                                            |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                             |  |

<sup>1)</sup> Dach, Keller, Fenster und Fassade, <sup>2)</sup> Dach und Keller



# Nach den Nutzungsmöglichkeiten gliedert sich die Geothermie in die oberflächennahe, mitteltiefe und die tiefe Geothermie

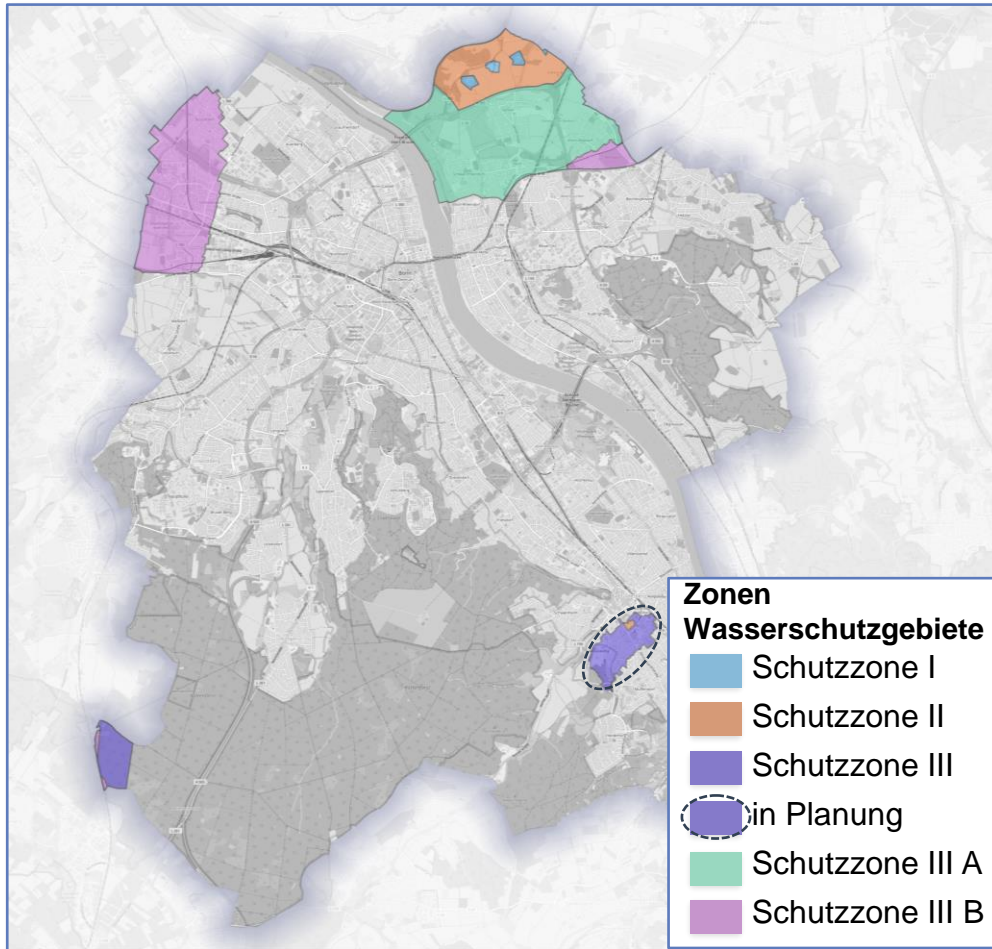
Ergebnisse der Potenzialanalyse



Quelle: Geologischer Dienst NRW, Stadt Bonn untere Umweltbehörde (UUB 67-7). \*Annahmen aus Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW. Teil 4 – Geothermie. LANUV-Fachbericht 40.

# Für die geothermische Nutzung ist die Einschränkung durch Wasserschutzgebiete in Bonn von geringer Bedeutung

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Wasserschutzgebiete:

- Die **Erdwärmennutzung** (Erdsonden- und Wasser-Wärmepumpen) ist mit dem hohen Schutzerfordernis in den **Wasserschutzzonen I und II** nicht vereinbar und aus Vorsorgegründen **zu unterlassen**.
- Im Einzelfall** ist eine Ausnahme in den **Wasserschutzzonen III, III A und III B möglich**, wenn zum Beispiel Bohrtiefenbeschränkungen eingehalten werden und in Erdwärmesonden ausschließlich Wasser ohne Zusatzstoffe als Wärmeträgermedium zum Einsatz kommt.
- Die Restriktionen sind abhängig von der jeweiligen individuellen Wasserschutzverordnung und dem lokalen Wasserwerksbetreiber.

## Heilquellenschutzgebiet in Planung:

- Es existiert noch keine Heilquellenschutzgebietsverordnung. Tiefenbohrungen über die Quartärbasis hinaus sind aber aus Vorsorgegründen nicht genehmigungsfähig. Im oberen Grundwasserstockwerk kann ausnahmsweise Erdwärmebohrungen und Grundwasserentnahmen zugestimmt werden. In der Regel eine Bohrtiefenbegrenzung auf 20 – 25 m.
- Grundwasser-Entnahmen sind lediglich bis 5.000 m<sup>3</sup>/a in Ausnahmefällen zulässig. Dies gilt sowohl für Wasser-Wasser-Anlagen als auch für Gartenbrunnen.

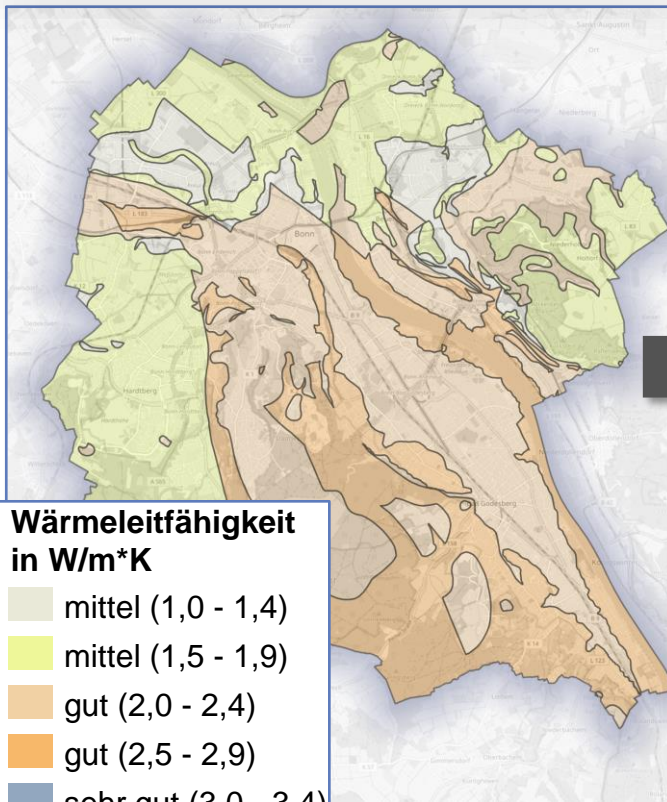
## Für Bonn

- Der Großteil Bonns ist nicht von Wasserschutzzonen betroffen.
- Zwei große Schutzgebiete liegen im Bonner Norden.
- In Bad Godesberg ist ein Heilquellenschutzgebiet „in Planung“.

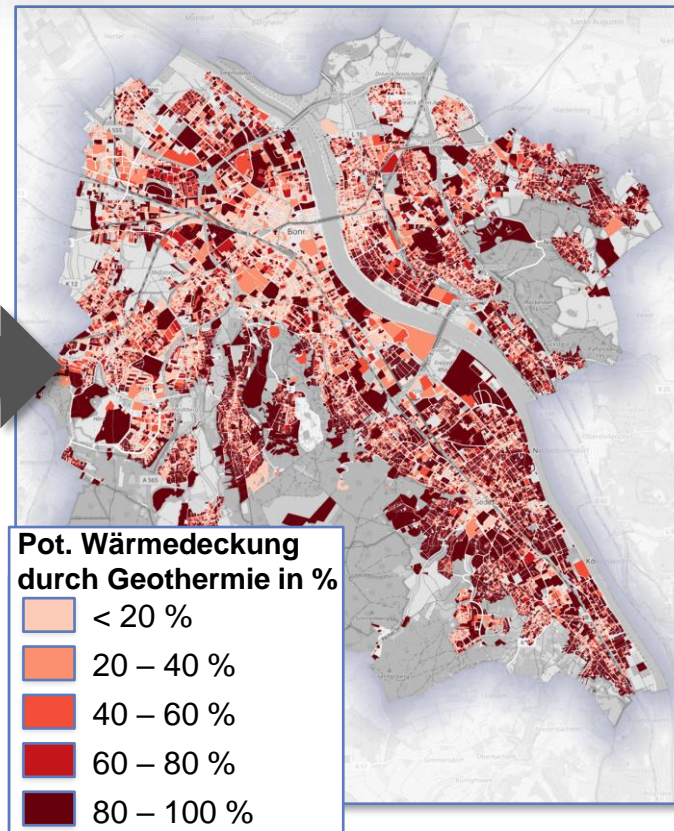
# Geschlossene oberflächennahe Geothermie zeigt in weiten Teilen Bonns großes Potenzial, um den Wärmeverbrauch zu decken

Ergebnisse der Potenzialanalyse

## Wärmeleitfähigkeit bei 80 Meter Tiefe



## Möglichkeit zur Deckung des Wärmeverbrauchs durch Geothermie



## Bewertung des geschlossenen Oberflächen-Geothermie-Potenzials

- In Bonn liegen überwiegend gute Wärmeleitfähigkeiten für die geschlossene oberflächennahe Geothermie vor.
- In einigen Gebieten wie Bad Godesberg kann mit der geschlossenen Oberflächen-Geothermie ein Großteil des Wärmeverbrauchs gedeckt werden.
- Im Stadtzentrum Bonn ist der durch Geothermie deckbare Wärmeanteil gering.
- Insgesamt beträgt das oberflächennahe Geothermie-Potenzial unter Berücksichtigung des Wärmeverbrauchs rund **1.251 GWh/a**.
- In vereinzelt Bereichen ist das Potenzial höher als der Wärmeverbrauch.
- Eine pot. Wärmedeckung durch Geothermie von **> 100 %** wurde an dieser Stelle nicht ausgewiesen. Es würden weitere **301 GWh/a** zur Verfügung stehen.
- Wird zur Nutzung des gesamten oberflächennahen Geothermie-Potenzials eine **Wärmepumpe** mit einer Jahresarbeitszahl von 3,8 eingesetzt, wird zusätzlich **329 GWh/a elektrische Leistung** benötigt.

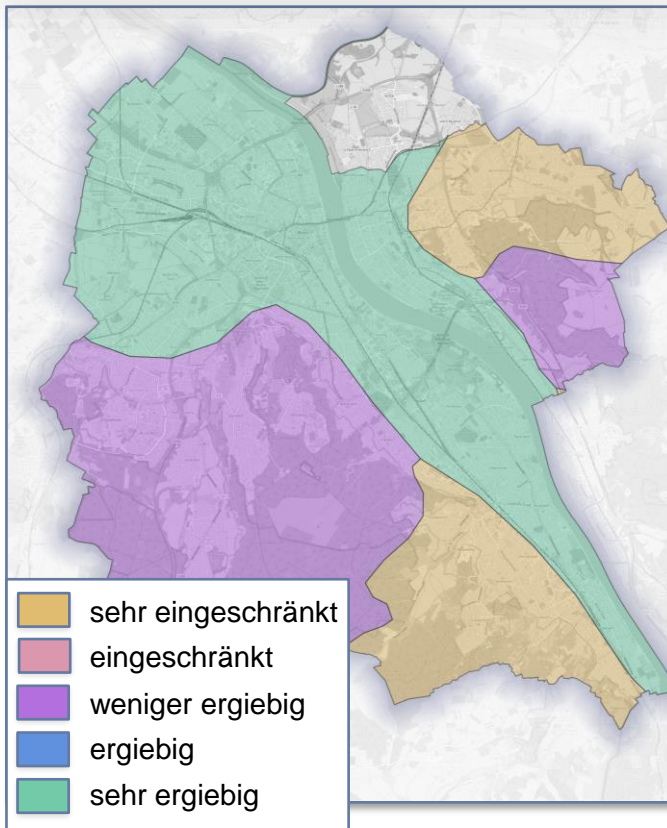
Quelle: [10] LANUV Potenzialstudie Geothermie NRW, Stand 2015; [14] WBG Potenzialstudie Geothermie der Stadt Bonn, von 2023.



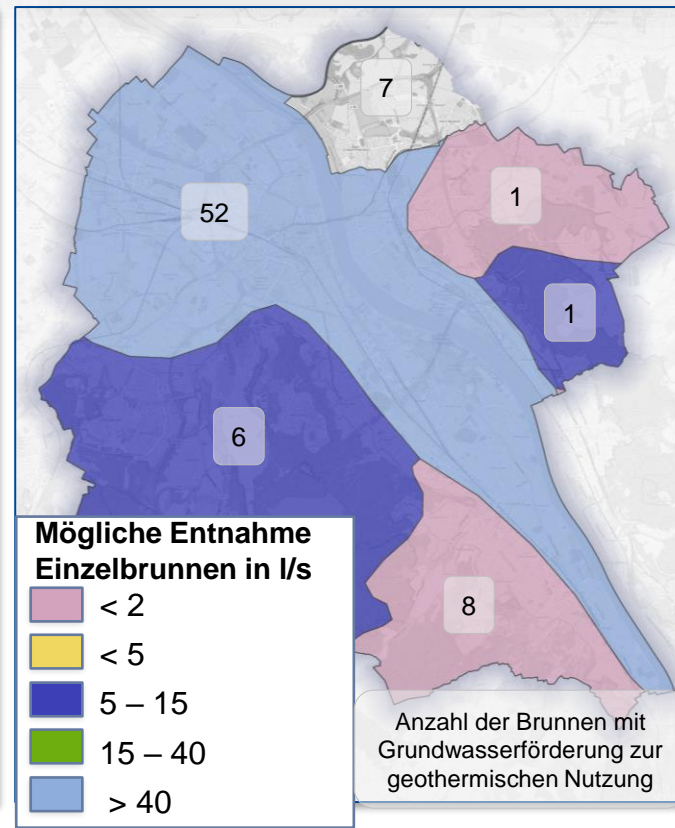
# Offene Oberfl.-Geothermie zeigt in den dicht besiedelten Teilen Bonns großes Potenzial, um den Wärmeverbrauch zu decken

Ergebnisse der Potenzialanalyse

## Ergiebigkeit Grundwasservorkommen



## Entnahme an Einzelbrunnen



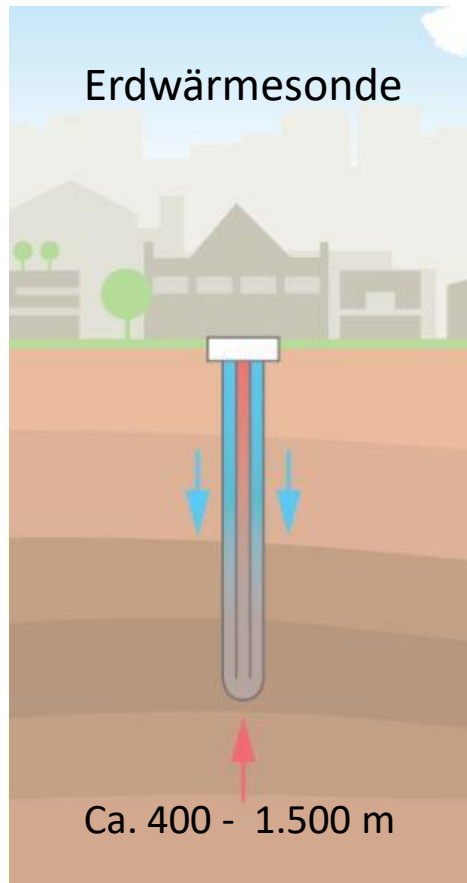
## Bewertung des offenen Oberflächen-Geothermie-Potenzials

- **Ergiebigkeit:** Ist das Volumen an Grundwasser, das durch eine Wasseraufnahme mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand auf Dauer gewinnbar ist.
- **Eingeschränkt:** Die Nutzung ist aus technischen und hygienischen Gründen eingeschränkt.
- **Sehr eingeschränkt:** Örtliche Vorkommen können für die Versorgung wichtig sein.
- Die Flächen um den Rhein und im Norden von Bonn sind bzgl. Grundwasser sehr ergiebig. In den Gebieten können durch einen Brunnen **> 40 l/s** genutzt werden.
- In den Gebieten südlich und westlich von Bonn sind die Entnahmemengen gering. Diese sind nur ggf. relevant.
- Die **Temperatur des Grundwassers** in Bonn liegt bei unbeeinflusstem Zustand zwischen **12-15 °C**.
- Diese darf zwischen Entnahme und Einleitung um maximal **±6°C** verändert werden. Die **Mindesttemperatur** bei **Wiedereinleitung** des Grundwassers beträgt 5°C. Die **Maximaltemperatur** (bei Gebäudekühlung) liegt bei 18°C.
- Berücksichtigung der Temperaturabsenkung im Grundwasser bei der Planung von Wasser-Wasser-Anlagen. Ggfs. Simulation notwendig.

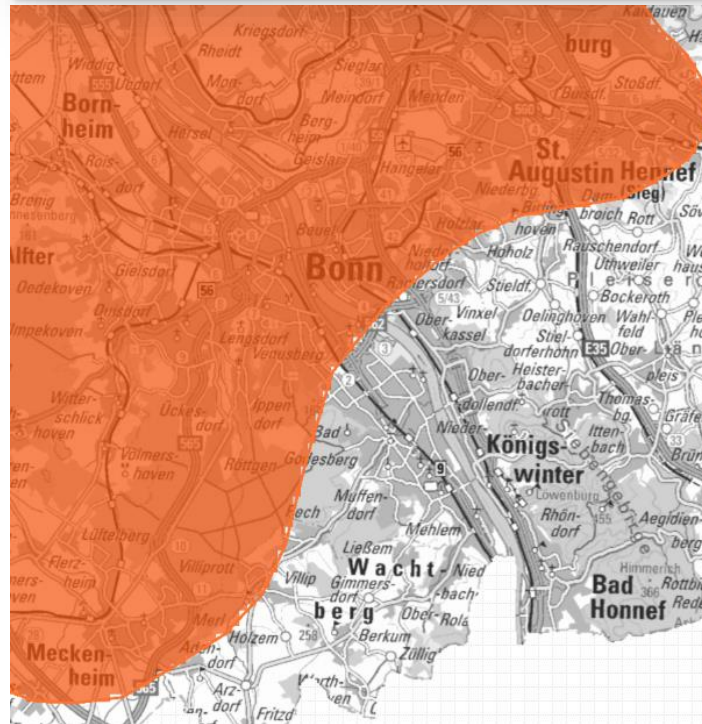
Quelle: [24] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): [BGR - Projekte - Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen von Deutschland](#). Anzahl der Brunnen: Mitteilung der Unteren Wasserbehörde der Stadt Bonn (Stand: April 2024).

# Laut dem geologischen Dienst hat die mitteltiefe Geothermie zum Teil ein sehr gutes Potenzial zur Nutzung mit Sonden

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Wärmeleitfähigkeit bei 1000 Meter Sondenlänge



## Bewertung der mitteltiefen Geothermie mittels Erdwärmesonden

- **Mitteltiefe Erdwärmesonden** können Wärme liefern für **Nahwärmenetze** oder – wenn das Temperaturniveau über Wärmepumpen weiter angehoben wird – auch für das **Fernwärmenetz**.
- Bei einer Sondenlänge von 500 bis 1.000 Metern liegt die Wärmeleitfähigkeit nordwestlich in Bonn bei 3,0 bis 3,4 W/m\*K.

## Potenzialschätzung:

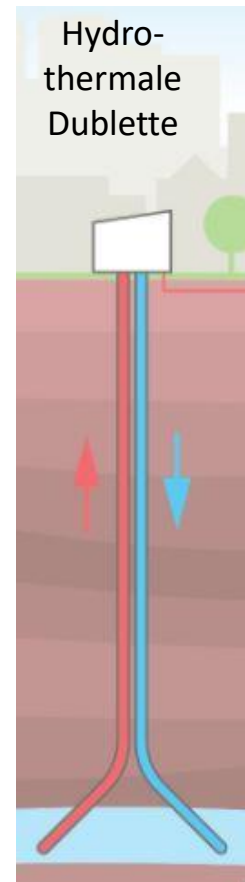
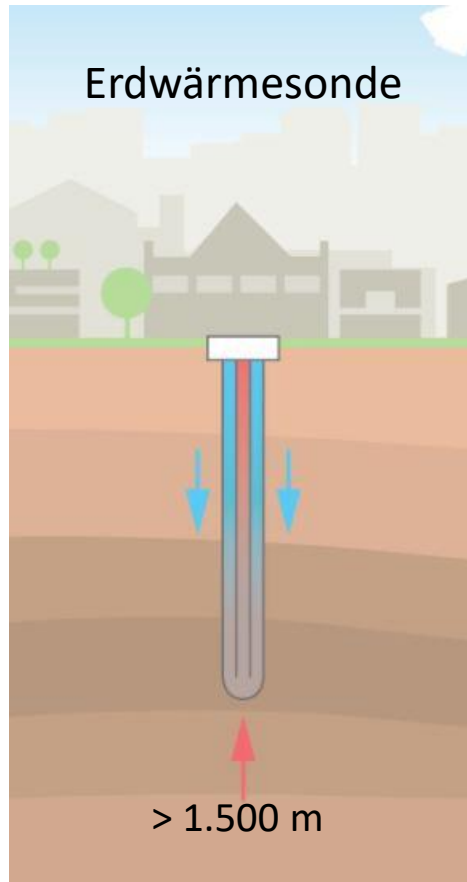
- Mögliche thermische Ergiebigkeit für eine **1.000 m** tiefe Erdwärmesonde: ca. **200 - 360 MWh/a** (bei 2.400 VLH).
- Mögliche thermische Ergiebigkeit für eine **1.500 m** tiefe Erdwärmesonde: ca. **300 - 540 MWh/a** (bei 2.400 VLH).
- Die Fläche mit sehr guter Wärmeleitfähigkeit in Bonn und unter Berücksichtigung der Restriktionsflächen beträgt **3.250 Hektar**.
- Das Potenzial beträgt für die gesamte Fläche mit Erdsonden in 1.000 Metern **650 – 1.170 GWh/a** und bei 1.500 Metern Tiefe liegt das Potenzial bei **975 – 1.755 GWh/a**.
- Die genehmigungsrechtlichen Rahmenbedingungen zur Erschließung mitteltiefer Geothermie sind zum aktuellen Zeitpunkt unklar.

Quelle: [25] Geothermie-Atlas des Geologischen Dienstes NRW  
Annahmen: Entzugsleistung 83 – 150 W/m, 1 Sonde/ha (Abstand zwischen den Sonden 100 m)  
BonnNetz | Mai 2024 | kommunale Wärmeplanung für die Stadt Bonn

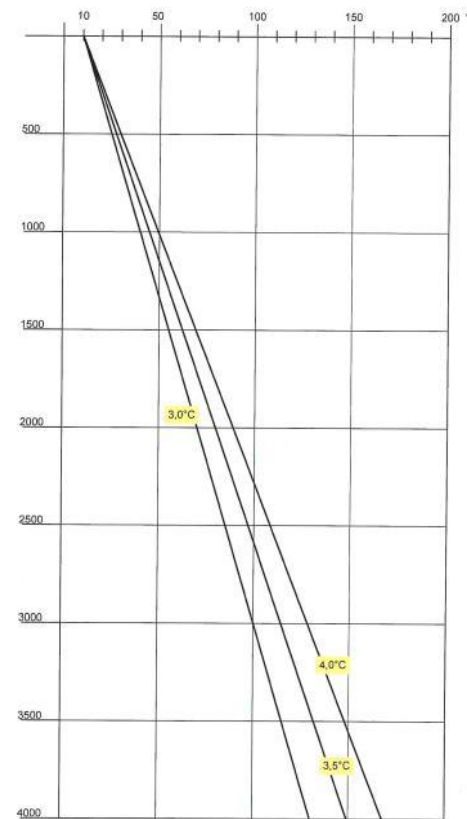
Genauere Zuordnung von Potenzialen zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief "Flächenanalyse"

# Tiefe Geothermie: gutes Potenzial für tiefe Erdwärmesonden; kein flächiges Potenzial für hydrothermale Dubletten ggfs. nur entlang geologischer Störungszonen

Ergebnisse der Potenzialanalyse



PROGNOSTIZIERTER GEOTHERMISCHER TEMPERATURGRADIENT



## Bewertung der tiefen Geothermie mittels Erdwärmesonden

### Tiefe Erdwärmesonden:

- Mögliche thermische Ergiebigkeit für eine 1.800 m tiefe Erdwärmesonde: ca. **360 - 650 MWh/a** (bei 2.400 VLH).
- Mögliche thermische Ergiebigkeit für eine 4.000 m tiefe Erdwärmesonde: ca. **1.500 - 1.900 MWh/a** (bei 2.000 VLH).






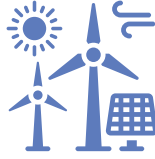


### Hydrothermale Dubletten:

- Kein flächiges Potenzial, da kaum Thermalwasser im wenig porösen devonischen Untergrund.
- Laut Geologen: Potenzial entlang geologischer Störungszonen (Rheintalstörung und Störung im Marienforster Tal): Aufsteigendes CO<sub>2</sub> aus Magma des Vulkanismus der Eifel und des Siebengebirges (CO<sub>2</sub>-Quellen und Mofetten) ist Indiz für Thermalwasser.
- 3D-Seismik und Probebohrungen erforderlich, Förderprogramme nutzbar (Bund, Land NRW).

Quelle: Quellen: Grafiken: [25] Geothermie-Atlas des Geologischen Dienstes NRW. Infos zu Tiefen Erdwärmesonden: [26] „Möglichkeiten der Geothermie im Bereich der Stadt Bonn“; Expertise zu Störungszonen durch Prof. Dr. Ulrich Schreiber (Geologe); [27] Machbarkeitsstudie Tiefengeothermie

# Mithilfe von GIS-Analysen werden die technischen Potenziale erschließbarer Quellen konkretisiert








|                                                                                                                |                                                       |                         |                                                                                                                                                               |                                                                |                                                                           |                                                                               |         |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| Biomasse                                                                                                                                                                                        | Geothermie                                                                                                                             | Umweltwärme                                                                                              | Abwärme                                                                                                                                                                                                                                          | Solarthermie                                                                                                                                      | EE-Strom                                                                                                                                                     | Grüne Gase                                                                                                                                                       | Speicher                                                                                   |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Nachwachsende Rohstoffe</li> <li>Organische Abfälle</li> <li>Klärgas aus Kläranlagen</li> <li>Biogas aus Biogasanlagen</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-nah Geothermie</li> <li>Mitteltiefe Geothermie</li> <li>Tiefe Geothermie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-gewässer (Seen &amp; Flüsse)</li> <li>Luft</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie &amp; GHD</li> <li>Höchstleistungs-rechenzentren</li> <li>Abwasser</li> <li>Thermische Abfallverwertung</li> <li>Trinkwasser</li> <li>Anlagen zur Stromerzeugung</li> <li>Power-to-X</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen</li> <li>Dachflächen</li> </ul> <p>Hinweis: Solarthermie ist mit Speichern zu kombinieren.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen-PV</li> <li>Dachflächen-PV</li> <li>PV auf Verkehrswegen</li> <li>Agri-PV</li> <li>Windenergie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>-Kernnetz</li> <li>Erzeugung von Wasserstoff</li> <li>Infrastrukturnetz Wasserstoff</li> <li>HKWs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zentrale und dezentrale Speicherlösungen</li> </ul> |  |  |
| <b>Sanierungspotenzial</b>                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                        |                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                            |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollsanierung<sup>1</sup> gilt als 100% saniert</li> <li>Teilsaniert<sup>2</sup> gilt als 50% saniert</li> <li>Unsanziert gilt als 0% saniert</li> </ul> |                                                                                                                                        |                                                                                                          | <p>Hinweis: Genauere Zuordnung von Potenzialen (Solarthermie, PV, mitteltiefe Geothermie, Speichern) zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief „Flächenanalyse“.</p>                                                                            |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                            |  |  |

<sup>1)</sup> Dach, Keller, Fenster und Fassade, <sup>2)</sup> Dach und Keller



# Insbesondere durch die thermische Energie von Flüssen wie dem Rhein kann Wärme energie- und kosteneffizient genutzt werden (1/2)







Ergebnisse der Potenzialanalyse

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <h3>Kurzbeschreibung</h3>  <ul style="list-style-type: none"><li>• Unter dem Begriff Umweltwärme wird die Erhebung aller Potenziale aus Oberflächengewässern mittels <b>Wasser-Wasser-Wärmepumpen</b> und der Luft mittels <b>Luft-Wasser-Wärmepumpen</b> beschrieben.</li><li>• Erfassung der Potenziale von Wärme aus Flüssen und Seen erfordert immer eine Einzelfallprüfung</li></ul> | <h3>Wichtige Kennzahlen</h3>  <ul style="list-style-type: none"><li>• Große Wasser-Wasser-Wärmepumpe JAZ* &gt; 4</li><li>• Große Luft-Wasser-Wärmepumpen JAZ = 3,5</li></ul> |
| <h3>Anwendungsmöglichkeiten</h3>  <pre>graph TD; A[Umweltwärme] --&gt; B[Oberflächengewässer]; A --&gt; C[Luft];</pre>                                                                                                                                                                                 | <h3>Restriktionen</h3> <ul style="list-style-type: none"><li>• Lärmemissionen</li><li>• Restriktionen aus der Gewässernutzung</li><li>• Wärmepumpen profitieren von niedrigen Versorgungstemperaturen</li></ul>                                                 |
| <h3>Vorteile</h3>  <ul style="list-style-type: none"><li>• Weitgehend ganzjährige Verfügbarkeit</li><li>• nicht/wenig fluktuierend</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <h3>Beispiel Rhein in NRW</h3> <ul style="list-style-type: none"><li>• Potenzial je Anlagenstandort: 30 MW, Anzahl der Standorte in NRW: 20</li><li>• Potenzial Rhein in NRW: 600 MW</li><li>• Annahme: nutzbarer Anteil des Volumenstroms: 1% je Anlage</li><li>• Geplante Flusswärmepumpe in Bonn: 20 MW<sub>th</sub> Heizleistung und einem Wärmepotenzial von 158 GWh ( bei 7.900 VLH)</li></ul>                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Quelle: [29] Handlungsleitfaden kommunale Wärmeplanung KEA-BW; [28] WÄRMESTUDIE NRW: Vorstellung Zwischenergebnisse. \*JAZ gibt an, wie viel Wärmeleistung im gesamten Jahr von der Wärmepumpe im Verhältnis zur aufgenommenen Energie abgegeben wurde.

# Insbesondere durch die thermische Energie von Flüssen wie dem Rhein kann Wärme energie- und kosteneffizient erzeugt werden (2/2)

Ergebnisse der Potenzialanalyse

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <h3>Kurzbeschreibung</h3> <ul style="list-style-type: none"><li>• Nahegelegenes Fließgewässer dient als Umweltwärmequelle, welchem einen Teil der gespeicherten Wärme entzogen wird</li><li>• Erfassung der Potenziale von Wärme aus Fließgewässern erfordert immer eine Einzelfallprüfung</li></ul> |  <h3>Wichtige Kennzahlen</h3> <ul style="list-style-type: none"><li>• Temperaturveränderung des Gesamtflusses durch den Wärmepumpenbetrieb abhängig vom Entnahmevolumen und Anzahl der Flusswärmepumpen am gleichen Fluss</li><li>• Abkühlung des Entnahmestroms: <math>\Delta T = 1,8 - 6 \text{ K}</math></li><li>• Derzeit sind in Mannheim, Berlin, Hamburg und Rosenheim Flusswärmepumpen geplant oder im Betrieb</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|  <h3>Anwendungsmöglichkeiten</h3> <pre>graph TD; FG[Fließgewässer] --&gt; F[Fluss]; FG --&gt; B[Bach];</pre>                                                                                                       |  <h3>Restriktionen</h3> <ul style="list-style-type: none"><li>• Kein Potenzial in Regionen mit unzureichend großen Fließgewässern</li><li>• Gesetze und Verordnungen zu Wasserrecht, Immissionsschutzrecht und Baurecht geben den Rahmen vor</li><li>• Auflagen und Genehmigungsbescheide hinsichtlich der Nutzung von Kältemitteln sind zu beachten</li><li>• Anforderungen der OGewV* sind abhängig vom Fischstand</li></ul>  <h3>Vorteile</h3> <ul style="list-style-type: none"><li>• Weitgehend ganzjährige Verfügbarkeit</li><li>• Vor Überhitzung gefährdeten Gewässern wird Wärme entzogen</li><li>• Förderungen durch BMWK-Reallabor</li></ul> |

# Die Nutzung der Flusswärme vom Rhein über Großwärmepumpen birgt ein großes Wärmepotenzial

Ergebnisse der Potenzialanalyse



Annahme Strompreis: ca. 20 ct/kWh (KEA-Leitfaden)

Quellen: [30] Informationsplattform Undine, Wikipedia, [29] KEA-Leitfaden, KuLaDig, [20] Untere Wasserbehörde der Stadt Bonn. Hinweis: Konkrete Konzepte zur Anlagenfahrweise der geplanten Flusswärmepumpe müssen noch erarbeitet werden  
BonnNetz | Mai 2024 | kommunale Wärmeplanung für die Stadt Bonn

## Flusswärme






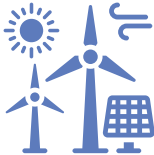


- Der Abfluss des Rheins liegt aktuell zwischen 1.000 - 1.500 m<sup>3</sup>/s (Juli 2023), historische Niedrigwasserstände waren immer oberhalb 500 m<sup>3</sup>/s.
- Für die geplante Flusswärmepumpe mit **20 MW<sub>th</sub>** Heizleistung werden Wasserströme von etwa 1.100 l/s benötigt. Die Quelltemperatur variiert jahreszeitlich, das wirkt sich auf die maximal mögliche Temperaturspreizung aus.
- Je nach Auslastung ergeben sich beträchtliche Wärmepotenziale von **158 GWh** (7.900 VLH) bzw. **70 GWh** (3.500 VLH).
- Die Nutzung der Flusswärme zum Einsatz von Großwärmepumpen bietet kostengünstige Wärmegestehungskosten von etwa 6 ct/kWh (ohne Fernwärmenetz).
- Für mögliche Entnahmestellen sind im Wesentlichen die Kriterien Wassertiefe, Anbindung zum Wärmenetz und Aufstellflächen zu klären.
- Mindestens eine weitere oder auch zwei weitere Flusswärmepumpen erscheinen realistisch. Damit könnten **474 GWh** (7900 VLH) bzw. **210 GWh** (3500 VLH) Wärme bereitgestellt werden.
- Für den **Einsatz einer Flusswasserwärmepumpe** bedarf es einer **wasserrechtlichen Erlaubnis** gemäß § 8 Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Weitere relevante Vorschriften des WHG sind der § 9 Abs.1 Nr.1 (Entnehmen und Ableiten von Wasser), § 9 Abs.1 Nr.4 (Einbringen von Stoffen in Gewässer) und § 9 Abs.2 Nr.2.
- Grundlegend darf der Einsatz einer Flusswasserwärmepumpe die Gewässereigenschaften nicht nachteilig verändern.

## Wärmenutzung von stehenden Gewässern

- Die stehenden Gewässer in Bonn erscheinen aufgrund der geringen Größen ungeeignet.

# Mithilfe von GIS-Analysen werden die technischen Potenziale erschließbarer Quellen konkretisiert








|                                                                                                                     |                                                             |                            |                                                                                                                                                                            |                                                                    |                                                                                     |                                                                                       |           |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Biomasse                                                                                                                                                                                             | Geothermie                                                                                                                                   | Umweltwärme                                                                                                 | Abwärme                                                                                                                                                                                                                                                       | Solarthermie                                                                                                                                          | EE-Strom                                                                                                                                                               | Grüne Gase                                                                                                                                                               | Speicher                                                                                     |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachwachsende Rohstoffe</li> <li>• Organische Abfälle</li> <li>• Klärgas aus Kläranlagen</li> <li>• Biogas aus Biogasanlagen</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächen-nah Geothermie</li> <li>• Mitteltiefe Geothermie</li> <li>• Tiefe Geothermie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächengewässer (Seen &amp; Flüsse)</li> <li>• Luft</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrie &amp; GHD</li> <li>• Höchstleistungsrechenzentren</li> <li>• Abwasser</li> <li>• Thermische Abfallverwertung</li> <li>• Trinkwasser</li> <li>• Anlagen zur Stromerzeugung</li> <li>• Power-to-X</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Freiflächen</li> <li>• Dachflächen</li> </ul> <p>Hinweis: Solarthermie ist mit Speichern zu kombinieren.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Freiflächen-PV</li> <li>• Dachflächen-PV</li> <li>• PV auf Verkehrswegen</li> <li>• Agri-PV</li> <li>• Windenergie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• H<sub>2</sub>-Kernnetz</li> <li>• Erzeugung von Wasserstoff</li> <li>• Infrastrukturnetz Wasserstoff</li> <li>• HKWs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zentrale und dezentrale Speicherlösungen</li> </ul> |  |
| <b>Sanierungspotenzial</b>                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          |                                                                                              |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollsanierung<sup>1</sup> gilt als 100% saniert</li> <li>• Teilsaniert<sup>2</sup> gilt als 50% saniert</li> <li>• Unsaniert gilt als 0% saniert</li> </ul> |                                                                                                                                              |                                                                                                             | <p>Hinweis: Genauere Zuordnung von Potenzialen (Solarthermie, PV, mitteltiefe Geothermie, Speichern) zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief „Flächenanalyse“.</p>                                                                                         |                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                          |                                                                                              |  |

<sup>1)</sup> Dach, Keller, Fenster und Fassade, <sup>2)</sup> Dach und Keller



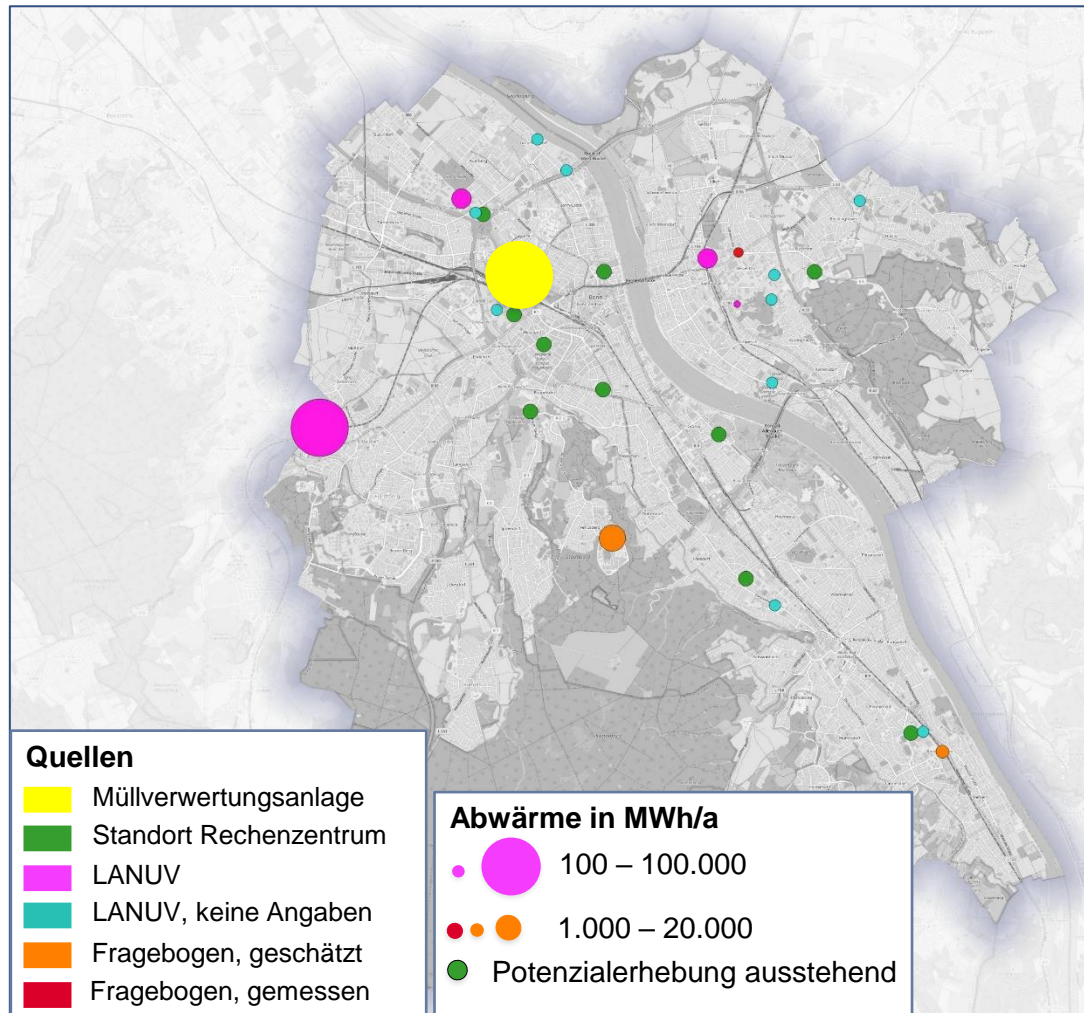
# Abwärme bietet, falls ausreichend vorhanden und noch nicht intern genutzt, hohe Potenziale für Wärmenetze

Ergebnisse der Potenzialanalyse

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <h3>Kurzbeschreibung</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht vermeidbare Abwärme, nicht innerbetrieblich nutzbar</li> <li>• Technisch-wirtschaftlich für Wärmenetz erschließbar</li> <li>• Industrie und GHD, Höchstleistungsrechenzentren, Abwasser aus Kläranlagen / Abwasserkanälen, Thermische Abfallverwertung, unterirdische Bauwerke (z.B. U-Bahntunnel)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                               |  <h3>Wichtige Kennzahlen</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Für Abwärme im nieder-/mittelkalorischen Bereich Groß-Wärmepumpe JAZ &gt; 4.</li> <li>• Abwärme aus Höchstleistungsrechenzentren: 1 kWel = 0,46 kWth</li> <li>• Energieangebot eines Abwasserkanals: Entzugsleistung in kW = Tagesmittelwert des Trockenwetterabflusses (l/s) mal Faktor 8.</li> <li>• Energieangebot in gereinigtem Abwasser: Entzugsleistung in kW = Tagesmittelwert des Trockenwetterabflusses (l/s) mal Faktor 16.</li> </ul> |
|  <h3>Anwendungsmöglichkeiten</h3> <div style="text-align: center;"> <p>Abwärme</p> <pre> graph TD     A[Abwärme] --&gt; B[Industrie und GHD]     A --&gt; C[Rechenzentren]     A --&gt; D[Abwasser]     A --&gt; E[Müllheizkraftwerke]     A --&gt; F[Unterirdische Bauwerke]     A --&gt; G[Biogas- oder KWK-Anlage]     A --&gt; H[Power-to-X]                     </pre> </div> <p> <span style="color: green;">✓</span> <span style="background-color: #ADD8E6; padding: 2px;">Anfrage in Planung</span> <span style="color: green;">✓</span> <span style="color: green;">✓</span> <span style="color: green;">✓</span> <span style="color: green;">✓</span> </p> |  <h3>Restriktionen</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Komplexität Akteure</li> <li>• Ggf. fluktuierend, je nach Abwärmequelle</li> <li>• Unsicherheit Verfügbarkeit Abwärmequelle</li> </ul><br> <h3>Vorteile</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oft niedrige Wärmebezugskosten</li> </ul>                                                                                                                     |

# Es existieren industrielle Abwärme-Quellen, die potenziell in das Fernwärmenetz einspeisen können

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Abwärmequellen nach Befragung der Akteure / Unternehmen

- Das genaue Potenzial der Wärmequellen wurde durch die Befragung von Unternehmen ermittelt, die als Großverbraucher\* identifiziert wurden.
- Zum aktuellen Zeitpunkt haben **24 Unternehmen** an der Umfrage teilgenommen.
- Insgesamt konnten 2 Unternehmen das Abwärmepotenzial schätzen und ein Unternehmen hat ein gemessenes Abwärmepotenzial genannt.
- Bei 6 Unternehmen bestand die Unsicherheit, ob ein Abwärmepotenzial vorliegt.
- Rechenzentren, die als Großverbraucher gelistet sind, wurden bei der Befragung berücksichtigt.
- Die **Befragung weiterer Rechenzentren ist geplant** sowie die Einbindung im Rahmen der Akteursbeteiligung.

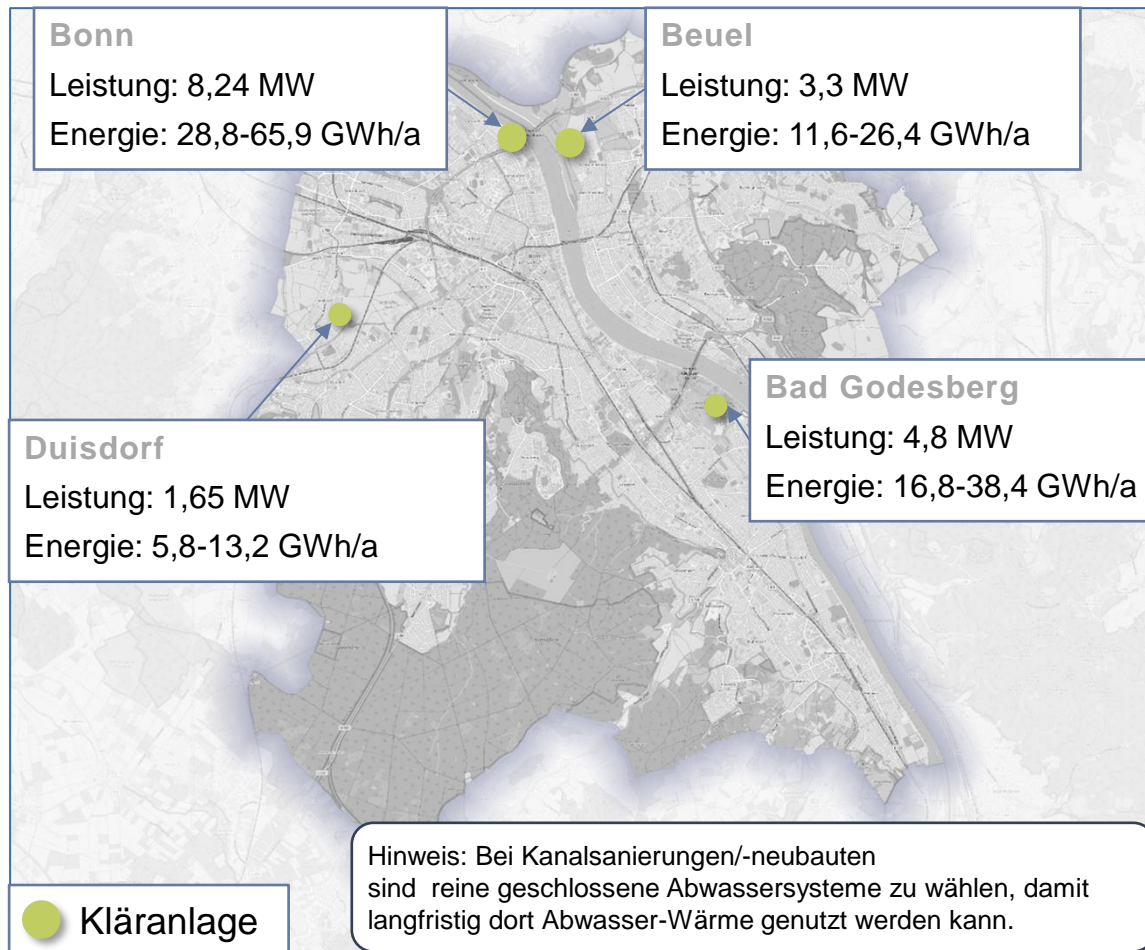
## Abwärmequellen gemäß LANUV

- Laut **Energieatlas NRW** beträgt das technisch verfügbare Abwärmepotenzial von Industrieunternehmen bis zu **132 GWh/a**.
- Die größte industrielle Abwärmequelle ist dem Weck Glaswerk GmbH zuzuordnen, gefolgt von der Aleris Extruded Products Germany GmbH, der Evonik Degussa GmbH und der SGL Carbon GmbH.
- Für die Weck Glaswerk GmbH ergibt sich mit einer Abwärmeleistung von bis zu 10 MW und bei angenommenen 8000 Volllaststunden ein Abwärmepotenzial von bis zu 80 GWh.

Quelle: [17] LANUV NRW, Stand 2023; [16] Fragebogen der Stadt Bonn und BonnNetz, \*Großverbraucher: Wärmeverbrauch > 2,5 GWh/a

# Vor allem die Kläranlagen Bonn und Bad Godesberg können signifikante Mengen an Abwärme aus dem Ablauf zur Verfügung stellen

Ergebnisse der Potenzialanalyse



Quelle: [31] Tiefbauamt der Stadt Bonn, [17] Grundlagenbetrachtung der KA Bad Godesberg und Beuel zur Nutzung von Energie aus Abwasser, LANUV NRW

## Methodik

- Annahme Abwärmepotenzial:
  - Die Wärmepumpe wird im **Ablauf der Kläranlage** installiert
  - Dem Wasser wird eine Temperatur von durchschnittlich  $\Delta 6$  °C entzogen
  - Der Wirkungsgrad des Wärmetauschers liegt bei 80%
- Die Volllaststunden liegen im Bereich von **3.500 bis 8.000 h**.

## Ergebnisse

- Die Kläranlagen **Bonn** und **Bad Godesberg** weisen mit einer Abwärmeleistung von 8,24 MW und 4,8 MW ein hohes Potenzial in dicht bebauter Gegend auf.
- Bei einer vorsichtigen Abschätzung, mit gerade 3500 h nutzbarer Abwärme, ergibt sich ein **signifikantes Potenzial von 28,8 GWh/a und 16,8 GWh/a**.
- Die Kläranlage Beuel weist ebenfalls min. 11,6 GWh/a an Abwärme auf. Die Nähe zur Siedlungsfläche macht die Wärme leicht nutzbar.
- Die KA Duisdorf wird im Zeithorizont von ca.15 Jahren zur KA Salierweg überführt.

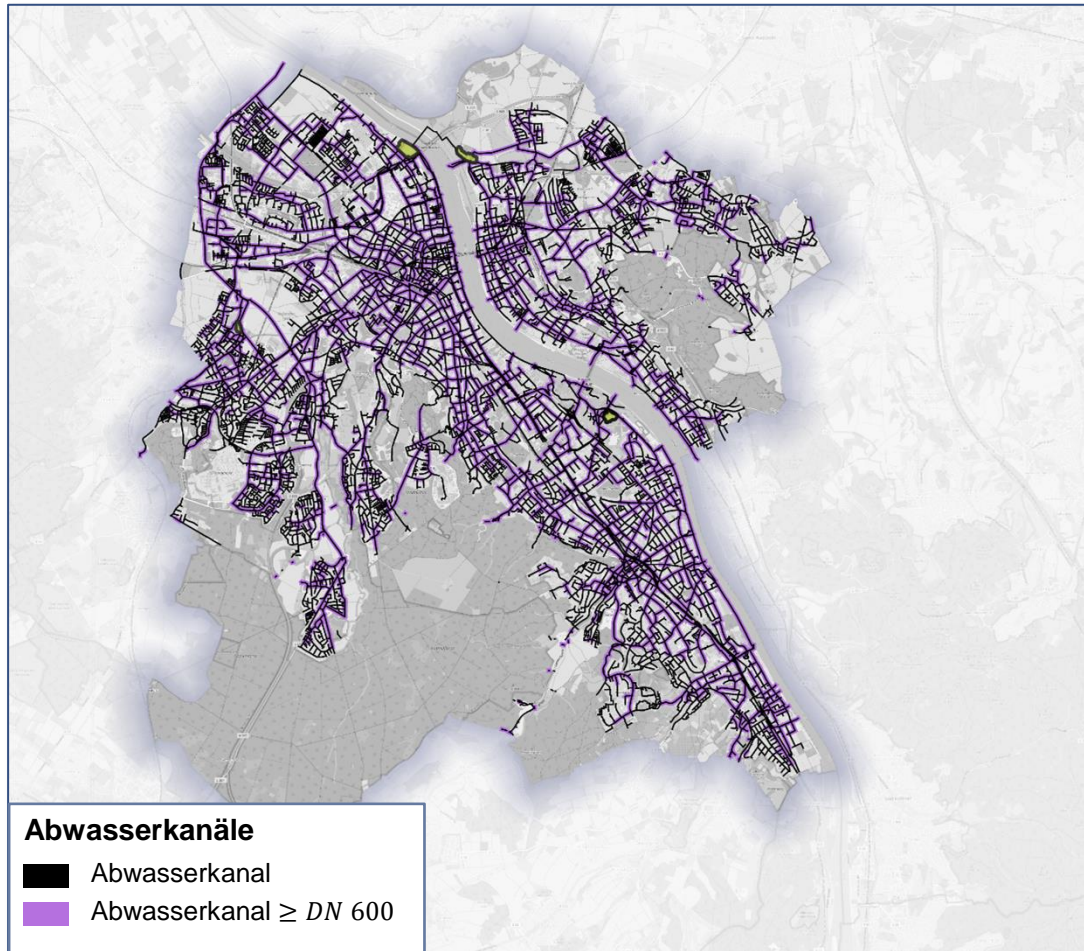
## Anmerkungen zur Umsetzung

- In der aktuell in Kraft getretenen EU-Kommunalabwasserrichtlinie KARL wird Energieautarkie von Kläranlagen gefordert. Aufgrund künftiger Anforderungen der KARL muss eine Wärmebedarfsermittlung mit Aufzeigung von Lösungen erstellt werden, so dass die Abwärme des Abwassers ggf. für den Eigenbedarf der Kläranlage eingesetzt werden sollte/muss. Ob dies vor Umsetzung der KARL in nationales Recht (innerhalb der nächsten 2 Jahre) sinnvoll erfolgen kann, muss geprüft werden.
- Technisch muss beachtet werden, dass die Ablaufleitungen der Kläranlagen in Abhängigkeit vom Rheinwasserstand teilweise bis vollständig eingestaut sind. Die nutzbare Abwasserwärme bzw. die Volllaststunden werden durch die Vermischung mit kaltem Rheinwasser vor allem im Winter herabgesetzt.
- Bei der KA Salierweg stehen nur sehr beengte Platzverhältnisse im Bereich der Ablaufleitung zur Verfügung.



# Die Abwasserwärme aus der Kanalisation erfordert einen technisch höheren Aufwand als für den Ablauf der Kläranlage

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Methodik

- Abwärme aus dem Abwasserkanal ist prinzipiell nutzbar, wenn:
  - Abwasserkanal  $\geq DN 600$  (Verbaubarkeit der Wärmepumpe)
  - Der Trockenwetterabfluss  $> 15 \text{ l/s}$
  - Wassertemperatur im Zulauf der Kläranlage sollte  $12^\circ\text{C}$  nicht unterschreiten






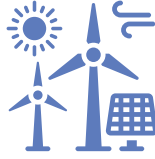


## Abwasserwärme (Kanalisation)

- Die Potenzialberechnung anhand der Einwohnerzahl, bei  $0,1 \text{ kW} / \text{EW}^*$  entspricht in Bonn einer Leistung von  $32,7 \text{ MW}$
- Das Abwassernetz besteht zu  $98\%$  aus einem Mischwassersystem. Bei Trockenwetter sind die Kanäle nur zu einem Bruchteil gefüllt. Durch die geringe Wärmeausbeute ist die Wirtschaftlichkeit daher in den überwiegenden Fällen nicht gegeben.
- Folgende Randbedingungen sind bspw. zu berücksichtigen: hydraulische Leistungsfähigkeit, Unterhaltungsmöglichkeiten, Zustand und Alter, rechtliche Aspekte (Zutritt zum Kanal für Dritte, Nutzungsentgelt, etc.)
- Die Abwasserwärme aus der Kanalisation erfordert einen technisch höheren Aufwand als für den Ablauf der Kläranlage, da höhere Verschmutzungsgrade vorliegen und eine höhere Verstopfungsgefahr vorliegt. Zudem besteht ein größere Korrosionsanfälligkeit.
- Insgesamt wird eine komplexere, robustere und kostenintensivere technische Lösung benötigt als bei geklärtem Abwasser.

Quelle: [31] Tiefbauamt der Stadt Bonn; [17] Grundlagenbetrachtung der KA Bad Godesberg und Beuel zur Nutzung von Energie aus Abwasser. \*EW = Einwohnerzahl

# Mithilfe von GIS-Analysen werden die technischen Potenziale erschließbarer Quellen konkretisiert



|                                                                                                                |                                                        |                        |                                                                                                                                                              |                                                                |                                                                           |                                                                               |         |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Biomasse                                                                                                                                                                                        | Geothermie                                                                                                                              | Umweltwärme                                                                                             | Abwärme                                                                                                                                                                                                                                         | Solarthermie                                                                                                                                      | EE-Strom                                                                                                                                                     | Grüne Gase                                                                                                                                                       | Speicher                                                                                   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Nachwachsende Rohstoffe</li> <li>Organische Abfälle</li> <li>Klärgas aus Kläranlagen</li> <li>Biogas aus Biogasanlagen</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-nahe Geothermie</li> <li>Mitteltiefe Geothermie</li> <li>Tiefe Geothermie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächengewässer (Seen &amp; Flüsse)</li> <li>Luft</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie &amp; GHD</li> <li>Höchstleistungsrechenzentren</li> <li>Abwasser</li> <li>Thermische Abfallverwertung</li> <li>Trinkwasser</li> <li>Anlagen zur Stromerzeugung</li> <li>Power-to-X</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen</li> <li>Dachflächen</li> </ul> <p>Hinweis: Solarthermie ist mit Speichern zu kombinieren.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen-PV</li> <li>Dachflächen-PV</li> <li>PV auf Verkehrswegen</li> <li>Agri-PV</li> <li>Windenergie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>-Kernnetz</li> <li>Erzeugung von Wasserstoff</li> <li>Infrastrukturnetz Wasserstoff</li> <li>HKWs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zentrale und dezentrale Speicherlösungen</li> </ul> |  |
| <b>Sanierungspotenzial</b>                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                         |                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                            |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollsanierung<sup>1</sup> gilt als 100% saniert</li> <li>Teilsaniert<sup>2</sup> gilt als 50% saniert</li> <li>Unsanziert gilt als 0% saniert</li> </ul> |                                                                                                                                         |                                                                                                         | <p>Hinweis: Genauere Zuordnung von Potenzialen (Solarthermie, PV, mitteltiefe Geothermie, Speichern) zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief „Flächenanalyse“.</p>                                                                           |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                            |  |

<sup>1)</sup> Dach, Keller, Fenster und Fassade, <sup>2)</sup> Dach und Keller

# Solarthermie wird dezentral für Warmwasser und zentral zur Einspeisung in Wärmenetze oder Speicher verwendet

Ergebnisse der Potenzialanalyse

## Kurzbeschreibung: Solarthermie



- Solarthermie wird dezentral für Warmwasser und Heizungsunterstützung sowie zentral zur Einspeisung in Wärmenetze oder saisonale Speicher verwendet
- Kollektoren: Flach- oder Röhrenkollektoren
- Einsatz in Deutschland zur Warmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung
- Heizungsunterstützende Solaranlagen: bei üblicher Dimensionierung ca. 10-30 % des Heizwärmebedarfs



## Weitere Kennzahlen und Details

- Röhrenkollektoren: höhere Betriebstemperaturen & Energieerträge gegenüber Flachkollektoren (aber: höhere Investitionskosten)
- Bei Niedrigenergiehäusern sogar > 50 % Wärmebedarfs solar abdeckbar
- Anlagen zur Trinkwassererwärmung: Kollektorfläche ca. 1-1,25 m<sup>2</sup>/Person
- Für Heizungsunterstützung: Kollektorfläche ca. 10 % der Wohnfläche
- Haushalte ohne zentrale Warmwasserbereitung sind für thermische Solaranlagen nicht interessant: D: ca. 42 % (In NRW > 50 %)
- Standardmodulgröße von 1.100 x 2.100 mm
- Mittlerer WW-Wärmebedarf pro Person: ca. 980 kWh/a
- Anzahl Personen je Haushalt werden über Wohnfläche und Gemeindebevölkerung ermittelt und nur für Wohngebiete betrachtet

Freifläche



Dachfläche



## Detailliertere Informationen

- Bislang 45 solarthermische Großanlagen deutschlandweit
- Auf Acker-/Grünland oder Konversionsflächen installiert
- Einspeisung auch in Nah-/Fernwärmenetz sinnvoll (im Gegensatz zu DF-Solarthermie)
- Aktuell kann hiermit solare Wärme für 40-70 €/MWh ohne Förderung bereitgestellt werden
- Mit saisonalen Wärmespeichern auf Quartiersebene kombinierbar

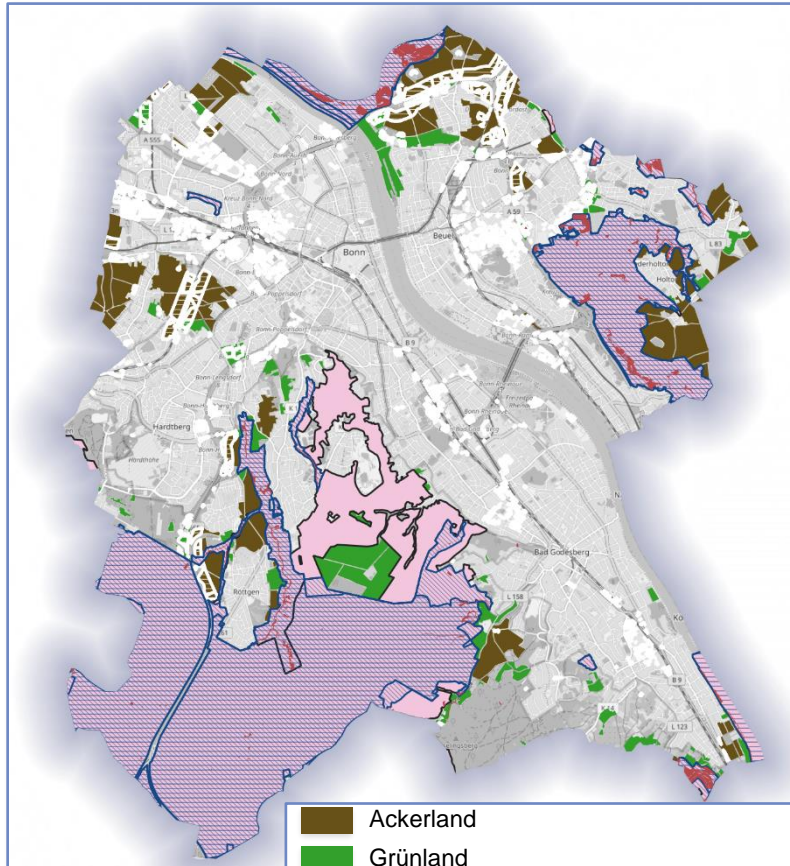
## Detailliertere Informationen

- Flachdächern mit Neigung < 10°: ST-Module werden mit Winkel von 35° aufgeständert
- Installierbare Modulfläche = 0,342 \* Dachfläche
- Mindestgröße für Anlage: 5 m<sup>2</sup>
- Ertragswert: 500 kWh/m<sup>2</sup>
- Typische Anlagenkonfiguration: Deckung von ca. 60 % des Warmwasserbedarfs eines Ein-/Zweifamilienhauses



# Es existieren einige Freiflächen, die für Solarthermie geeignet sind und erheblich zur Wärmeversorgung beitragen können

Ergebnisse der Potenzialanalyse



- Ackerland
- Grünland
- Biotopverbundflächen mit herausragender Bedeutung
- Gesetzlich geschützte Biotope
- ▨ Naturschutzgebiete
- ▨ Flora-Fauna-Habitat Schutzgebiete (Natura 2000)
- Privilegierte Freiflächen gem. §35 BauGB

## Methodik

- Betrachtet wurden **Grün, Acker- und Brachflächen**
- Ausschluss von Flora-Fauna-Habitat-Gebieten, Naturschutzgebieten, Biotopverbundflächen mit herausragender Bedeutung und gesetzlich geschützten Biotopen (Tabu-Flächen)
- Als **Mindestfläche** wurden **3.000 m<sup>2</sup>** definiert und **10 m** Randstreifen abgezogen
- Es wird ein Ertrag von 430 kWh/m<sup>2</sup> Kollektorfläche angenommen

## Ergebnisse

- Insgesamt könnten theoretisch 13 km<sup>2</sup> Acker- und Grünflächen in Bonn genutzt werden
- Gesamte Kollektorfläche von 10 km<sup>2</sup> (Verhältnis Fläche zu Kollektorfläche 1,3)
- Wärmespeicher für saisonale Nutzung notwendig
- Damit ergibt sich ein theoretisch **thermisches Potenzial** von **4.300 GWh/a**

## Anmerkung

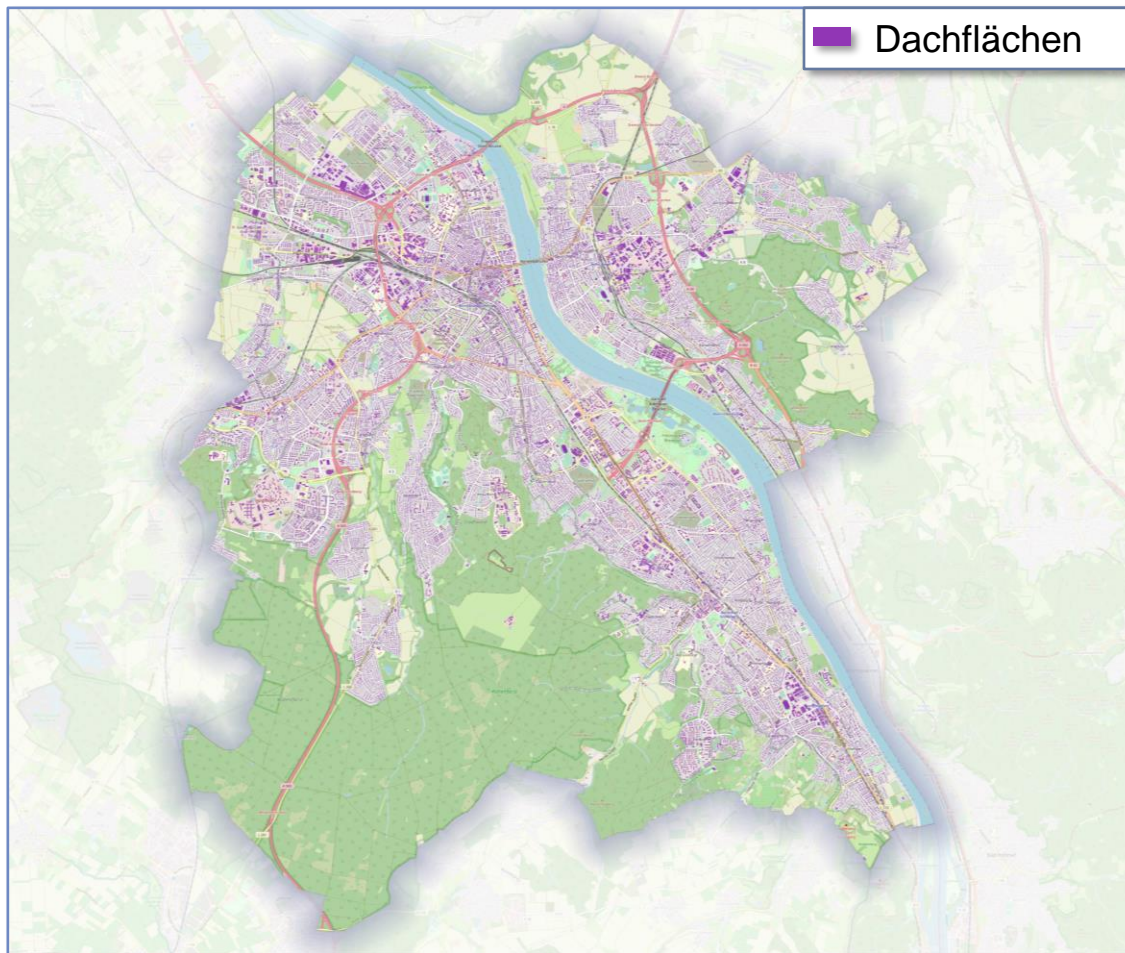
- Potenzialfläche und Wärmeeertrag reduzieren sich, wenn weitere Tabu-Kriterien oder stadtklimatisch relevante Restriktionsflächen (und ggf. auch weitere Restriktionsflächen wie z.B. Bodendenkmale) abgezogen werden. Solche Parameter werden im Rahmen der Flächenanalyse später genauer betrachtet.

Hinweis: Für die Nutzung des Solarthermie Freiflächen Potenzials ist eine Kombination mit einer saisonalen Wärme-Speicherung zu berücksichtigen. Zu beachten ist, dass die Speichertechnologien ebenfalls einen nicht unerlässlichen Flächenbedarf aufweisen

Genauere Zuordnung von Potenzialen zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief "Flächenanalyse"

# Die Dachflächen in Bonn weisen ein hohes Potenzial für Solarthermie auf

Ergebnisse der Potenzialanalyse











## Bewertung des Dachflächen-Potenzials

- Die installierbare Modulfläche auf den Dachflächen beträgt circa 7,54 km<sup>2</sup>
- Das technische Potenzial der Dachflächen für die Solarthermie Wärmeerzeugung beträgt **2.106 GWh<sub>th</sub>/a**
- In Bonn liegt das Solarthermiepotenzial zur Warmwassererzeugung bei **84,0 GWh/a**
- Dies entspricht in Bonn einer potenziellen Deckungsrate des Warmwasserbedarfs von **28,6 %**
- Laut Hersteller können bei einer **Kombination aus Wärmepumpe und Solarthermieanlage** bis zu **einem Drittel der elektrischen Antriebsenergie** und der entsprechenden Stromkosten durch Effizienzsteigerung eingespart werden.

Hinweis: Dachflächen können entweder für PV oder für Solarthermie genutzt werden. Die Potenziale der Technologien stehen in Konkurrenz. Sogenannte PVT-Module nutzen eine Kombination aus PV und Solarthermie.

# Mithilfe von GIS-Analysen werden die technischen Potenziale erschließbarer Quellen konkretisiert



|                                                                                                                |                                                        |                        |                                                                                                                                                              |                                                                |                                                                           |                                                                               |         |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Biomasse                                                                                                                                                                                        | Geothermie                                                                                                                              | Umweltwärme                                                                                             | Abwärme                                                                                                                                                                                                                                         | Solarthermie                                                                                                                                      | EE-Strom                                                                                                                                                     | Grüne Gase                                                                                                                                                       | Speicher                                                                                   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Nachwachsende Rohstoffe</li> <li>Organische Abfälle</li> <li>Klärgas aus Kläranlagen</li> <li>Biogas aus Biogasanlagen</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-nahe Geothermie</li> <li>Mitteltiefe Geothermie</li> <li>Tiefe Geothermie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächengewässer (Seen &amp; Flüsse)</li> <li>Luft</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie &amp; GHD</li> <li>Höchstleistungsrechenzentren</li> <li>Abwasser</li> <li>Thermische Abfallverwertung</li> <li>Trinkwasser</li> <li>Anlagen zur Stromerzeugung</li> <li>Power-to-X</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen</li> <li>Dachflächen</li> </ul> <p>Hinweis: Solarthermie ist mit Speichern zu kombinieren.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen-PV</li> <li>Dachflächen-PV</li> <li>PV auf Verkehrswegen</li> <li>Agri-PV</li> <li>Windenergie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>-Kernnetz</li> <li>Erzeugung von Wasserstoff</li> <li>Infrastrukturnetz Wasserstoff</li> <li>HKWs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zentrale und dezentrale Speicherlösungen</li> </ul> |  |
| <b>Sanierungspotenzial</b>                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                         |                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                            |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollsanierung<sup>1</sup> gilt als 100% saniert</li> <li>Teilsaniert<sup>2</sup> gilt als 50% saniert</li> <li>Unsanziert gilt als 0% saniert</li> </ul> |                                                                                                                                         |                                                                                                         | <p>Hinweis: Genauere Zuordnung von Potenzialen (Solarthermie, PV, mitteltiefe Geothermie, Speichern) zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief „Flächenanalyse“.</p>                                                                           |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                            |  |

<sup>1)</sup> Dach, Keller, Fenster und Fassade, <sup>2)</sup> Dach und Keller



# Die LANUV-Solarstudie erfasst PV-Potenziale auf Frei- und Dachflächen sehr detailliert

Ergebnisse der Potenzialanalyse

## Kurzbeschreibung: Photovoltaik (PV)



- PV-Module bestehen aus polykristallinem oder monokristallinem Silizium
- Wirkungsgrade von ca. 17-19 %
- Nennleistung: 170 WP - 190 WP pro m<sup>2</sup>
- Für 1 kWp werden somit ca. 5-6 m<sup>2</sup> Modulfläche benötigt

## Freifläche



## Dachfläche



## Weitere Kennzahlen und Details

- Wirkungsgrad Solarzellen aus polykristallinem Silizium 15-20 % und Zellen aus monokristallinem Silizium 18-22 % - Im Mittel steigt der Wirkungsgrad um ca. 0,3 – 0,5 %-Punkte pro Jahr (Forschung aktuell: 47 %!).
- Zu erwartende mittlere Produktion an elektrischer Energie von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen: ca. 700-1.200 kWh pro kWp (NRW: ca. 1.080 kWh pro kWp) – solare Einstrahlung je nach Region unterschiedlich.
- Ausschluss von Bereichen, mit Minderung der direkten Strahlung > 10 % (Richtungsabhängiger Puffer wegen Verschattung durch Bäume & Gebäude: 10 m in alle Richtungen; zusätzlich in Richtung Westen, Osten und Norden 20 m Puffer).
- Korrekturfaktor für Flachdächer 0,456; für horizontales Gelände 0,4

## Detailliertere Informationen

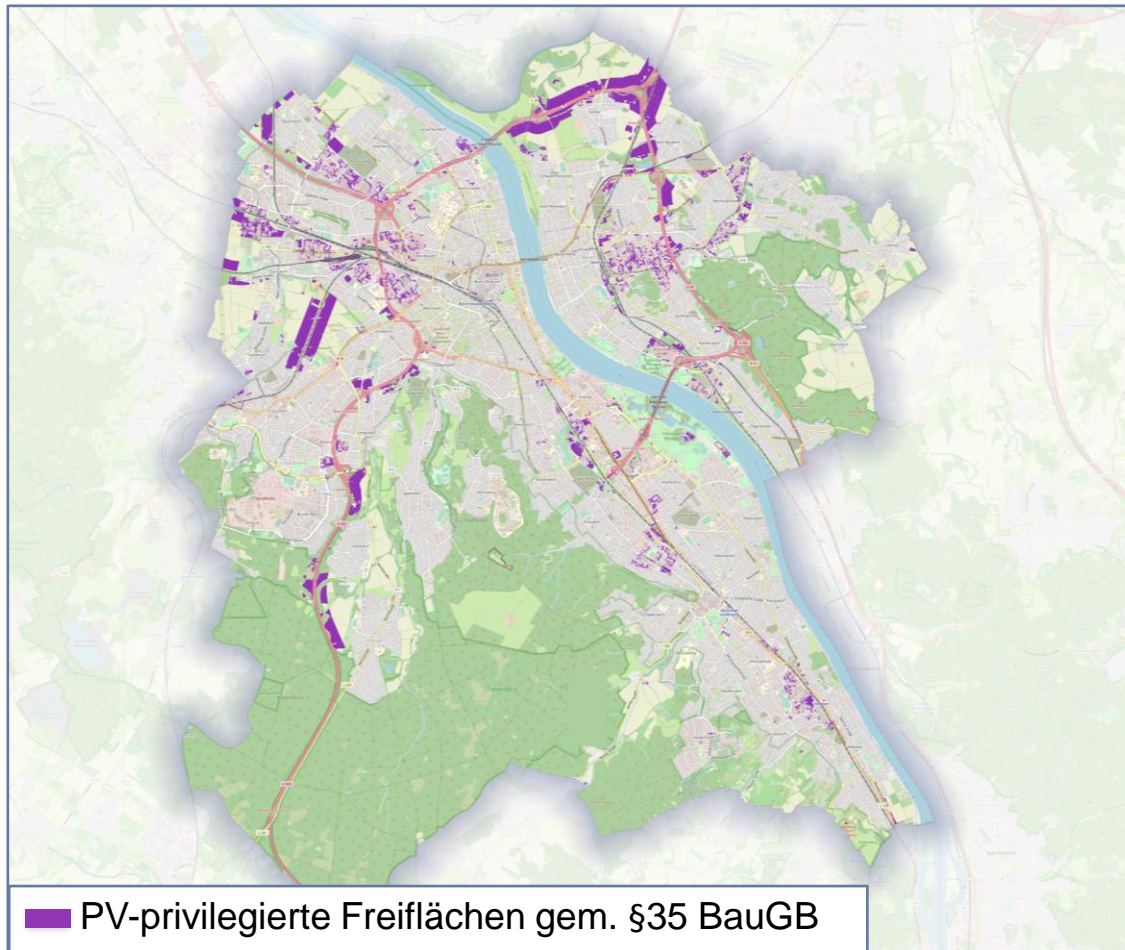
- Berücksichtigte Flächen nach EEG: Randstreifen an Autobahnen & Bahnstrecken, Deponien, Wirtschaftliche Konversionsflächen, ...
- Ausschluss von PV-Anlagen in geschützten Naturräumen
- Ungeeignet: nicht in SW, S, SO-Himmelsrichtung ausgerichtete und > 10° geneigte Flächen
- Mindestgröße: 0,5 ha in Ortslagen und 3 ha außerhalb

## Detailliertere Informationen

- Dächer mit Neigungen < 10° wurden als Flachdächer eingestuft, auf denen die Solarmodule nach Süden mit 20°-Neigung aufgeständert werden
- Dächern mit > 10° Neigung: Ausrichtung & Neigung der Dachfläche wird für PV-Module übernommen
- Mindestgröße: 20 m<sup>2</sup>

# In Bonn existieren viele potenzielle privilegierte Freiflächen, die für die PV-Stromerzeugung geeignet sind

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Abschätzung des privilegierten Freiflächen-Potenzials ohne Abzug von Restriktionsflächen

- Privilegierte Fläche gemäß §35 BauGB – keine Bauleitplanung erforderlich: 4,09 km<sup>2</sup> (409 ha).
- Die installierbare Modulfläche beträgt 2,04 km<sup>2</sup> (204 ha). (Verhältnis Freifläche zu Modulfläche 2).
- Bei einem Wirkungsgrad von 17% liegen die theoretisch installierbare PV-Leistung bei **350 MWp** und der mögliche Stromertrag bei **314 GWh/a**.

Hinweis: Freiflächen können entweder für PV oder für Solarthermie genutzt werden. Die Potenziale stehen somit in **Flächenkonkurrenz**.

Genauere Zuordnung von Potenzialen zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief "Flächenanalyse"

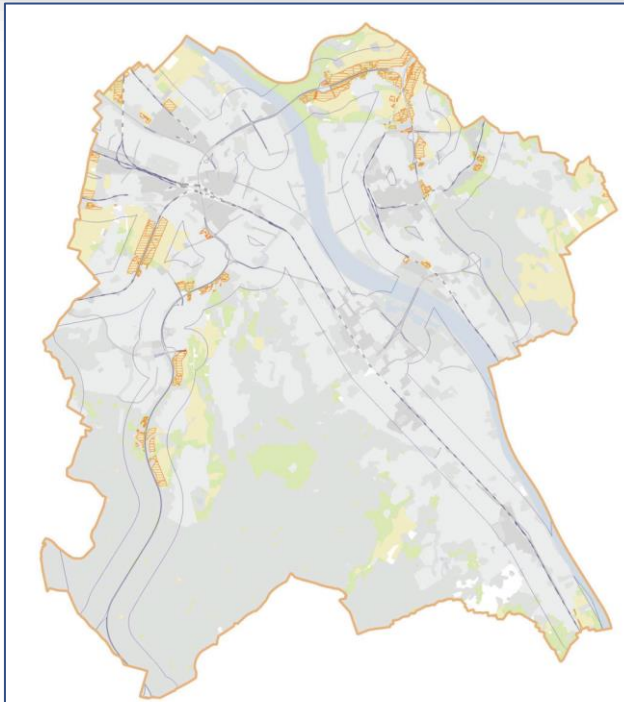


# In Bonn existieren viele potenzielle Freiflächen, die für die PV-Stromerzeugung geeignet sind – hier: konventionelle PV-Anlagen

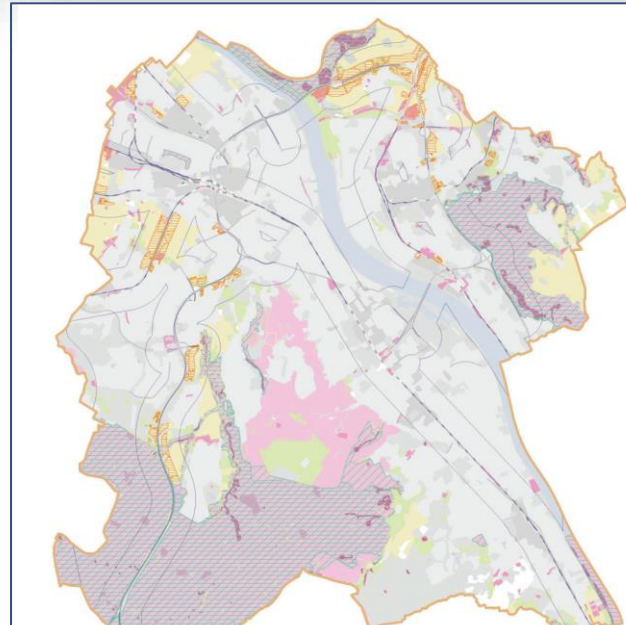
Hinweis: Freiflächen können entweder für PV oder für Solarthermie genutzt werden. Die Potenziale der Technologien stehen in **Flächenkonkurrenz**.

Genauere Zuordnung von Potenzialen zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief "**Flächenanalyse**"

## Photovoltaik Potenzialflächen nach Solarkataster NRW (Stand März 2023)



## Flächen mit hoher Wertigkeit für Natur (Tabuflächen)



- Privilegierte 200 m Korridore an Autobahn und Bahn
- 500 m Randstreifen Bundesautobahn und Bahn
- Acker in nicht-benachteiligtem Gebiet
- Grünland in nicht –benachteiligtem Gebiet

- Flora-Fauna-Habitat Schutzgebiete (Natura 2000)
- Naturschutzgebiete
- Biotopverbundfläche mit herausragender Bedeutung – Stufe 1
- Gesetzlich geschützte Quellbereiche
- Gesetzlich geschützte Biotope
- Festgesetzte Kompensationsflächen

## Bewertung des Freiflächen-Potenzials

- Die LANUV Potenzialflächen (Förderkulisse des EEG 2023) abzüglich von Tabu-Flächen (siehe rechte Abbildung) ergeben laut „Fachbeitrag Freiflächenphotovoltaik im Rahmen der Erstellung des gesamtstädtischen Freiraumplans“ eine PV-FFA-Potenzialfläche von **1.427 ha**
- Bei Nutzung konventioneller Freiflächen-PV sind darauf potenziell **1.427 MWp** installierbar (Annahme 1 MWp/ha, 900 VLH) – mit einem möglichen Stromertrag von **1.284 GWh/a**.
- Fügt man als zusätzliche Flächenrestriktion die bioklimatischen Ausgleichsräume hinzu (hier nicht kartiert), verbleibt laut o.g. Fachbeitrag eine Potenzialfläche von **569,49 ha** (davon sind 101,52 ha privilegiert nach §35 BauGB).
- Bei Nutzung konventioneller Freiflächen-PV sind darauf potenziell **569 MWp** installierbar (Annahme 1 MWp/ha, 900 VLH) – mit einem möglichen Stromertrag von **513 GWh/a**.

## Klimaplan 2035

- Der Klimaplan 2035 gibt für PV-Freiflächenanlagen ein Ausbauziel von **200 MWp** Leistung an.

## Wichtiger Hinweis:

- Grundsätzlich sind auch **außerhalb der EEG-Förderkulissen PV-Freiflächenanlagen realisierbar**, wenn dort Baurecht geschaffen werden kann und der PV-FFA-Betreiber über Stromlieferverträge (Public Purchase Agreements, PPAs) die Wirtschaftlichkeit auch ohne EEG-Förderung erzielen kann.



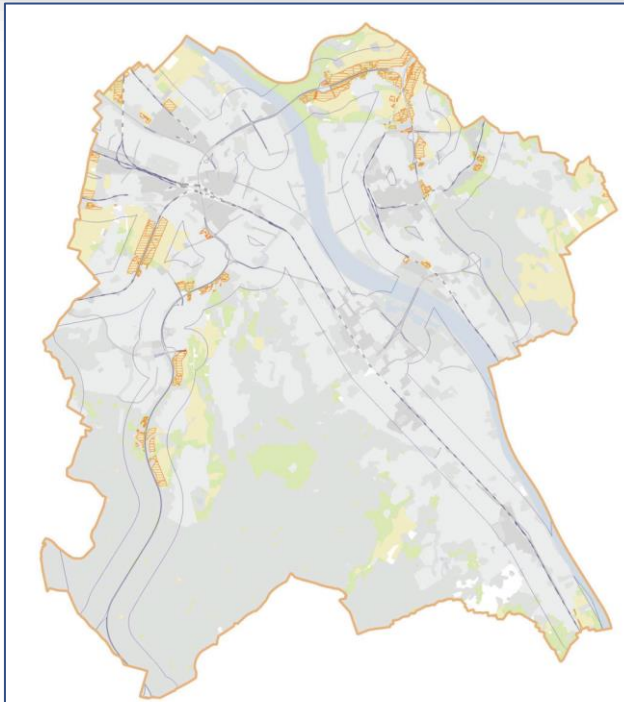
# In Bonn existieren viele potenzielle Freiflächen, die für die PV-Stromerzeugung geeignet sind – hier: Agri-PV (Flächendoppelnutzung Landwirtschaft + PV)

Hinweis: Freiflächen können entweder für PV oder für Solarthermie genutzt werden. Die Potenziale der Technologien stehen in **Flächenkonkurrenz**.

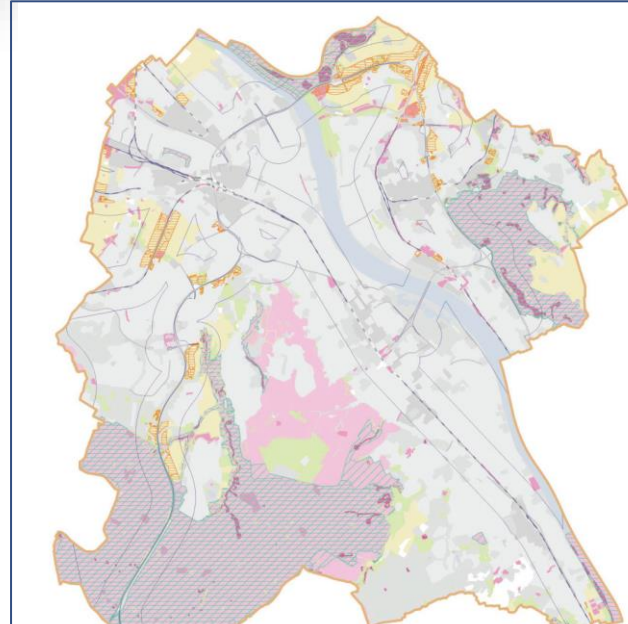
Genauere Zuordnung von Potenzialen zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief "**Flächenanalyse**"

Ergebnisse der Potenzialanalyse

## Photovoltaik Potenzialflächen nach Solarkataster NRW (Stand März 2023)



## Flächen mit hoher Wertigkeit für Natur (Tabuflächen)



- Flora-Fauna-Habitat Schutzgebiete (Natura 2000)
- Naturschutzgebiete
- Biotopverbundfläche mit herausragender Bedeutung – Stufe 1
- Gesetzlich geschützte Quellbereiche
- Gesetzlich geschützte Biotope
- Festgesetzte Kompensationsflächen

- Privilegierte 200 m Korridore an Autobahn und Bahn
- 500 m Randstreifen Bundesautobahn und Bahn
- Acker in nicht-benachteiligtem Gebiet
- Grünland in nicht-benachteiligtem Gebiet

## Bewertung des Freiflächen-Potenzials

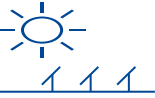



- Die LANUV Potenzialflächen (Förderkulisse des EEG 2023) abzüglich von Tabu-Flächen (siehe rechte Abbildung) ergeben laut „Fachbeitrag Freiflächenphotovoltaik im Rahmen der Erstellung des gesamtstädtischen Freiraumplans“ eine PV-FFA-Potenzialfläche von **1.427 ha**
- Bei Nutzung in Form von Agri-PV sind darauf **714 MWp** installierbar (Annahme 0,5 MWp/ha, 900 VLH) – mit einem möglichen Stromertrag von **642 GWh/a**.
- Fügt man als zusätzliche Flächenrestriktion die bioklimatischen Ausgleichsräume hinzu (hier nicht kartiert), verbleibt laut o.g. Fachbeitrag eine Potenzialfläche von **569,49 ha** (davon sind 101,52 ha privilegiert nach §35 BauGB).
- Bei Nutzung in Form von Agri-PV sind darauf **285 MWp** installierbar (Annahme 0,5 MWp/ha, 900 VLH) – mit einem möglichen Stromertrag von **256 GWh/a**.

### Wichtige Hinweise:

- In der „EEG-Förderkulisse für besondere Solaranlagen“ (§37 Abs. 1 Nr. 3 EEG 2023) sind nur Agri-PV-Anlagen bzw. Parkplatz-PV über das EEG förderfähig.
- Grundsätzlich sind auch **außerhalb der EEG-Förderkulissen PV-Freiflächenanlagen realisierbar**, wenn dort Baurecht geschaffen werden kann und der PV-FFA-Betreiber über Stromlieferverträge (Public Purchase Agreements, PPAs) die Wirtschaftlichkeit auch ohne EEG-Förderung erzielen kann.

# Agri-PV kann bei geeignetem technischem Design zu einem Anstieg der Resilienz und der landwirtschaftlichen Erträge führen

Ergebnisse der Potenzialanalyse

| Kurzbeschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Wichtige Kennzahlen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <ul style="list-style-type: none"><li>• Agri-Photovoltaik entschärft die Flächenkonkurrenz durch die gleichzeitige energetische und landwirtschaftliche Nutzung von Flächen</li><li>• Agri-PV bietet die Chance, erneuerbaren Strom für den dezentralen Eigenverbrauch von Landwirtschaftsbetrieben zu erzeugen.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  <ul style="list-style-type: none"><li>• In einer ersten Potenzialabschätzung des Fraunhofer ISE der Agri-PV beträgt dieses in Deutschland rund 1700 GWp.</li><li>• Bei einer Belegungsdichte von 0,25 MW pro Hektar eröffnet der Anbau von Futterpflanzen auf Dauergrünland ein Potenzial von weiteren 1200 GWp.</li><li>• Jährliche Produktion Mittelwert in Deutschland von 24 kWh pro Quadratmeter Grundfläche mit VLH von 950 kWh/kWp</li></ul> |
| Methodik zur Ermittlung der Potenziale                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Restriktionen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  <ul style="list-style-type: none"><li>• Die technischen Ansätze für Agri-PV können in offene und geschlossene Systeme eingeteilt werden:</li><li>• Geschlossen: PV-Gewächshaus</li><li>• Offen: Hoch aufgeständert (Kategorie 1), Bodennah (Kategorie 2)</li><li>• Die DIN-Spezifikation DIN SPEC 91434 soll dazu beitragen, Agri-PV-Anlagen von konventionellen PV-FFA klar zu unterscheiden.</li><li>• Der Flächenverlust durch die Installation der Anlage darf in Kategorie 1 max. 10 % der Gesamtprojektfläche und in Kategorie 2 max. 15 % betragen.</li><li>• Der landwirtschaftliche Ertrag muss nach dem Bau der Agri-PV-Anlage mind. 66 % des Referenzertrags betragen.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Hohe Investitionskosten</li><li>• Unklarheit über die notwendigen Schritte für eine Baugenehmigung</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Vorteile                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  <ul style="list-style-type: none"><li>• Riesiges Flächenpotenzial</li><li>• Geringere Stromgestehungskosten im Vergleich zu kleinen PV-Dachanlagen</li><li>• Zusatznutzen für die Landwirtschaft u. a. durch Schutz vor Hagel-, Frost- und Dürreschäden</li></ul>                                                                                                                                                                                  |

# Unterkonstruktion, Höhe und Ausrichtung der Agri-PV Anlage sollte an die Bewirtschaftung sowie Bedürfnisse der Pflanzen der angepasst werden

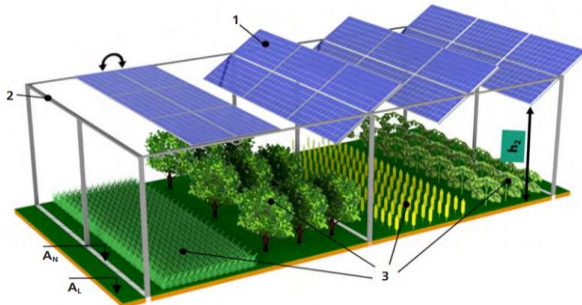
Ergebnisse der Potenzialanalyse

## Kurzbeschreibung der Agri-PV Technik und Anlagenkonstruktionen:

- Für die Doppelnutzung der Fläche werden Solarmodule **3 bis 5 m über dem Feld** installiert.
- Durch vergrößerte Reihenabstände zwischen den PV-Modulen bekommt die Pflanzen **ausreichend Licht und Niederschlag**.
- Bei der Verwendung nachgeführter PV-Module kann das Lichtmanagement spezifisch an den Entwicklungszustand und die Bedürfnisse der jeweiligen Kulturpflanzen angepasst werden
- Bei Ein- und Zweiachsigen Nachführsystemen wird die Ausrichtung der Solarmodule durch einen Mechanismus an den jeweiligen Stand der Sonne angepasst
  - Einachsig: Modulfeld der Sonne wird horizontal nach dem Höhenwinkel der Sonne (Elevation) oder vertikal nach der Sonnenbahn (Azimut) geführt
  - Zweiachsig: können beides und liefern daher den größten Solarstromertrag

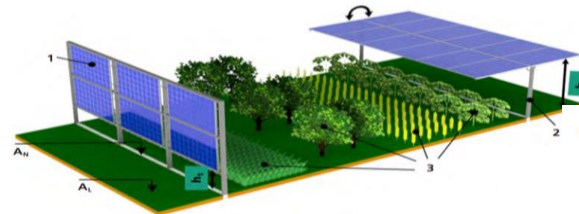
## Kategorie 1: Hochaufgeständerte Anlagen

- Hoch aufgeständerte Anlagen bergen **großes Potenzial für Synergieeffekte**



## Kategorie 2: Bodennahe Anlagen

- Synergieeffekte können auch bei bodennah montierten Modulen auftreten
- Die bifaziale Module werden senkrecht und in Ost-West Ausrichtung aufgestellt
- **Kostengünstiger** aufgrund niedrigeren Unterkonstruktion



## Legende:

AL: Landwirtschaftlich nutzbare Fläche

AN: Landwirtschaftlich nicht nutzbare Fläche

h1: Lichte Höhe unter 2,1 m

h2: Lichte Höhe über 2,1 m

1: Beispiele zu Solarmodulen






2: Aufständering

3: Beispiele landwirtschaftlichen Kulturen



# Agri-PV kann bei geeignetem technischem Design zu einem Anstieg der Resilienz und der landwirtschaftlichen Erträge führen

Ergebnisse der Potenzialanalyse

| Allgemeine Flächenbestimmung und FF-PV-Förderung:  |                                                                                                                                                         |                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                       | <b>Außerhalb des 500 m -Korridors entlang von Verkehrsstrassen</b> (§ 37 Abs.1 Satz 1 Nr. 2 c) EEG):                                                    | <b>Innerhalb des 500 m Korridors:</b>                                                                  | <b>Innerhalb des 200 m Korridors</b> (privilegierte Flächen) (§ 35 Abs. 1 Nr. 8 b) des BauGB):                                                                                                               | In Verbindung mit einer <b>landwirtschaftlichen Hofstelle</b> (§35 Abs.1 Satz 9 BauGB):                                                                                                                                                         |
| <b>Voraussetzung für Förderfähigkeit einer PV-Anlage mittels EEG</b>                                                                  | nur als Mehrfachnutzung in Form von <b>Agri-PV</b> , sofern die <b>Bodenwertzahl &lt; 55 (NRW)</b> ; Bauleitverfahren für PV-Anlagen ohne EEG zu prüfen | <b>auch ohne Doppelnutzung der Landwirtschaft</b> ; Bauleitverfahren für PV-Anlagen ohne EEG zu prüfen | <b>Flächen die nicht entwässerter, landwirtschaftlicher Moorboden sind auch ohne Doppelnutzung der Landwirtschaft</b>                                                                                        | <b>Je Betrieb: 2,5 ha für PV, wenn Fläche in einem räumlich-funktionalen Zusammenhang zu einem land- oder forstwirtschaftlichen Betrieb/ Betrieb der gartenbaulichen Erzeugung steht. Mehrfachnutzung in Form von Agri-PV ist erforderlich.</b> |
| <b>Bebauungsplan nötig?</b>                                                                                                           |                                                                       |                      | <br>(vereinfachtes Verfahren möglich, wenn keine öffentlichen Belange entgegenstehen und die Erschließung gesichert ist) |                                                                                                                                                             |

**Details zur Förderung von Agri-PV:**

Agri-PV (§85c EEG) ist förderfähig (§ 37 Abs. 1 S. 3 EEG):

- auf Ackerflächen, die kein Moorboden sind, mit gleichzeitigem Nutzpflanzenanbau auf derselben Fläche,
- auf Flächen, die kein Moorboden sind, mit gleichzeitiger landwirtschaftlicher Nutzung in Form eines Anbaus von Dauerkulturen oder mehrjährigen Kulturen auf derselben Fläche
- auf Grünland, das kein Moorboden ist, bei gleichzeitiger landwirtschaftlicher Nutzung als Dauergrünland, wenn es bestimmte naturschutzrechtliche Voraussetzungen erfüllt
- auf Moorböden, die entwässert und landwirtschaftlich genutzt worden sind, wenn die Flächen mit der Errichtung der Solaranlage dauerhaft wieder vernässt werden.

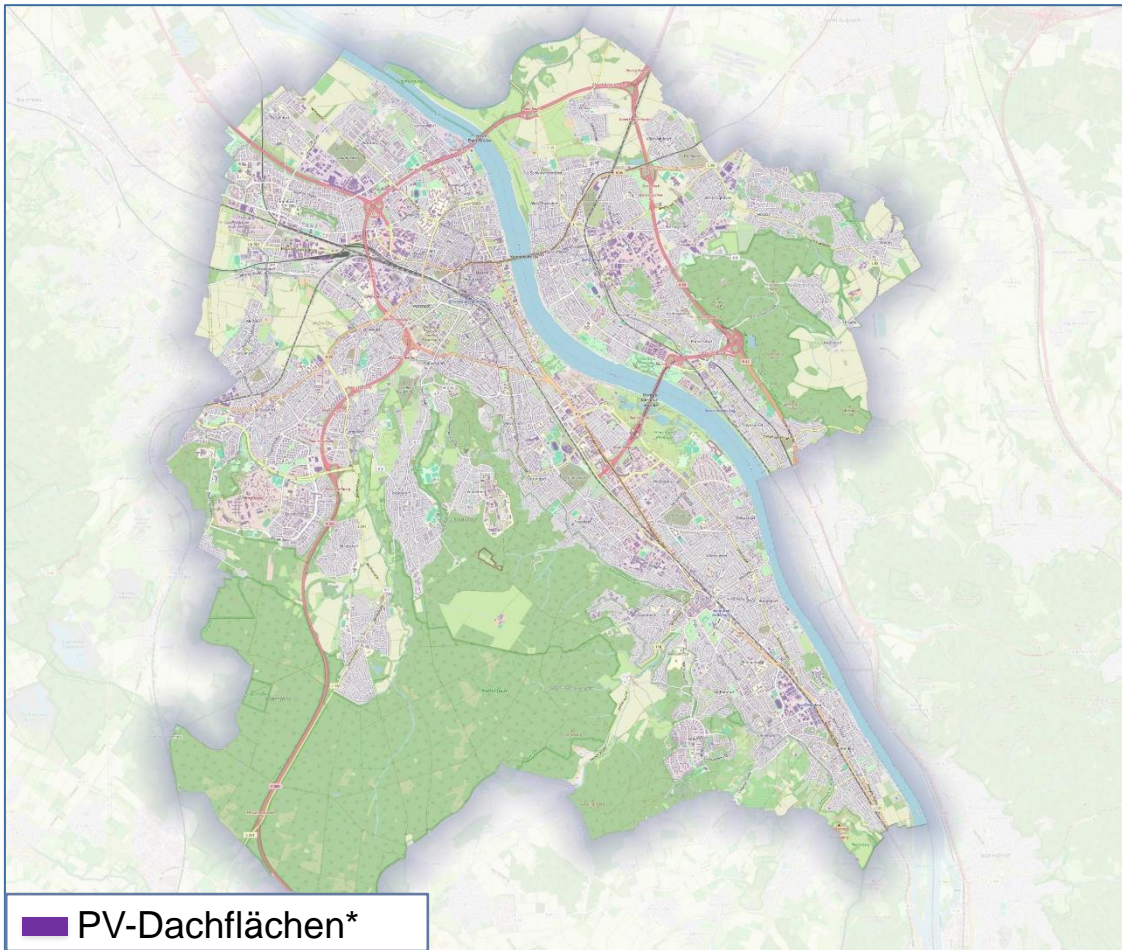
Mit Verzicht auf EEG-Förderung und Ausschreibungen bei der Bundesnetzagentur können über Stromlieferverträge (PPA) potenziell überall FF-PV gebaut werden (Durch Bauleitverfahren zu prüfen. Zulässig, wenn auf Planungsebene Baurecht geschaffen wird und eine Baugenehmigung erteilt wird).

Anmerkung: Förderfähig sind nur Agri-PV-Flächen, deren (landwirtschaftlich) nutzbare Fläche nicht weniger als 85 % beträgt

Quelle: [55] Fraunhofer ISE, [56] Fachbeitrag Freiflächenphotovoltaik

# Auch für die Installation von Dachflächen-PV bestehen erhebliche Potenziale im gesamten Stadtgebiet

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Bewertung des PV-Dachflächen-Potenzials

- Die installierbare Modulfläche beträgt circa 6,83 km<sup>2</sup>
- Bei einem Wirkungsgrad von 17% beträgt die installierbare PV-Kapazität **810 MWp** und einem jährlichen Energieertrag von **673 GWh<sub>el</sub>/a**. Der Ertrag fällt somit höher aus als für die Freiflächen PV-Stromerzeugung.

## Bereits installierte PV-Anlagen

- Laut Marktstammdatenregister sind bereits **6.823** PV-Anlagen (inkl. Balkonkraftwerken) mit einer insgesamt elektrischen Leistung von **52 MWp** installiert.
- Bei circa 900 Volllaststunden werden **46,8 GWh/a** elektrische Energie erzeugt.

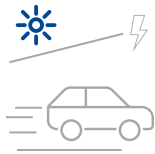
## Klimaplan 2035

- Bei der Bebauung aller nutzbaren Dachflächen Potenzialen kann das im Klimaplan gesteckte Ziele von **800 MWp** erreicht werden

# PV-Module finden sinnvolle Anwendung an Lärmschutzwänden von Autobahnen

Ergebnisse der Potenzialanalyse

## Kurzbeschreibung: PV auf Verkehrswegen



- Alle Verkehrswege in Deutschland zusammen bedecken ca. 5% der Fläche Deutschlands
- Aus den technologisch sinnvoll nutzbaren Flächen (z.B. Lärmschutzwände, Radwege, Seitenstreifen) ergibt sich ein Potenzial von ca. 72 GWp, das auf bereits bebauter Fläche erreicht werden kann



## Allgemeine Informationen:

### Vorteile:

- Nutzung bereits versiegelter Flächen
- Aufbau, Verlegung und Installationsaufwand sind im Vergleich zu zwei Einzelsystemen (nur Straße, nur PV-Kraftwerk) verringert
- Häufig kurze Anbindung für Netzanschluss

### Herausforderungen:

- sehr hohe Anforderungen an Modultechnologie (Stabilität, mechanische Belastung, Rutschfestigkeit, Lärmabsorption) und dadurch erhöhte Modulkosten
- effizientes Verlegungssystem für große Flächen erforderlich
- erhöhter Aufwand für Reinigung, Wartung

## Details/ Beispielprojekte:

- Für Integration in Lärmschutzwänden können Aufbauten mit bifazialen Solarmodulen verwendet werden (insbesondere für Nord-Süd-Straßen geeignet). Für Ost-West-Straßen können monofaziale Module an der Lärmschutzwand schräg installiert werden
- Projekt in Neuötting: 230 PV-Module in Lärmschutzwand verbaut: 64,4 kWp; ca. 50-60.000 kWh/a Ertrag
- Aschaffenburg: 1755 m<sup>2</sup> PV-Fläche in Lärmschutzwand: Ca. 150 kWp, 108.000 kWh/a
- Neumarkt in der Oberpfalz: PV- Lärmschutzwand bei Zug & Autobahn: 1.258 kWp, 1.221.800 kWh/a



# In Freiburg wurde Anfang 2023 im Rahmen eines Pilotprojektes der erste Solardach-Radweg Europas fertiggestellt

Ergebnisse der Potenzialanalyse

## Kurzbeschreibung: PV auf Radwegen



- Keine weitere Flächenversiegelung benötigt
- Noch in der Entwicklungsphase
- Zwei mögliche Konzepte: Solardach & Solarradweg
- Aktuell noch sehr hohe Kosten aufgrund kleiner Stückzahlen und individueller Planung

## Solardach



## Solarradweg



## Detaillierte Informationen:

### Solardach:

- Nutzung handelsüblicher Solarmodule möglich
- Herausforderungen:
  - Verschiedene Steigungen/Neigungen der Radwege, Wasserabfluss, zusätzliche Beleuchtungsinfrastruktur nötig

### Solarradweg:

- Sehr hohe Kosten: ca. 3 Mio. € für 70 m Radweg
- Haltbarkeit des Radweges inkl. Module ist zu gewährleisten (bei Pilotprojekt in Deutschland kam es zu ausgefallenen Modulen und Schließung innerhalb eines Jahres)
- Ausreichend Haftung bei verschiedensten Wetterbedingungen fraglich

## Beispielprojekt:

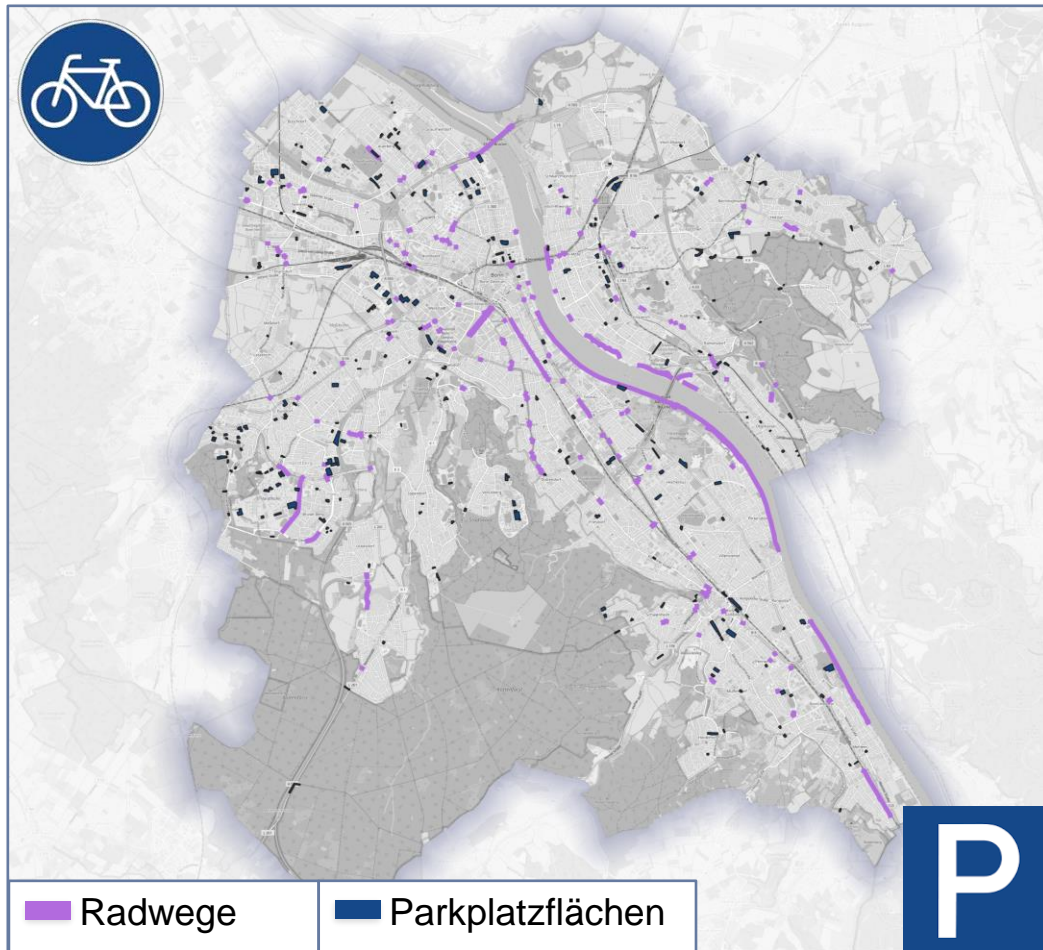
- Erstes Pilotprojekt in Freiburg Anfang 2023 gestartet
- Erzeugung: 280 MWh/a
- Länge: 300 m
- Anzahl PV-Module: 912
- 287,3 kWp Leistung
- Kosten: ca. 1 Mio. €
- [Video](#)

## Beispielprojekt:

- PV-Module sind im Fahrbahnbelag integriert
- 2 Projekte in den Niederlanden mit jeweils 1000 m<sup>2</sup> Fläche
- Aktuell ca. 120-150 Wp/m<sup>2</sup>
- Ziel aktuell: 160 Wp/m<sup>2</sup>
- Zum Vergleich: PV-Dachmodule liefern aktuell ca. 170 – 190 Wp/m<sup>2</sup>

# Auf Parkplätzen und Radwegen steht ein PV-Potenzial von bis zu 200 GWh/a zur Verfügung

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Methodik:

- Auf Bodenflächen wird eine **nutzbare solare Strahlung von 171 W/m<sup>2</sup>\*** angenommen.
- Jährlich steht die Strahlungsleistung bei **920 Volllaststunden** zur Verfügung.
- Die Breite von Radwegen wird durchschnittlich mit 2 m abgeschätzt

## Parkplätze

- Laut dem Geoportal Bonn liegt eine Parkplatzfläche von 0,84 km<sup>2</sup> vor.
- Die installierbare Modulfläche beträgt 0,42 km<sup>2</sup>\*\*
- Dies entspricht einer jährlichen verfügbaren Energie von **66 GWh/a**.

## Radwege

- Die mit OpenStreetMap bestimmten Fahrradkilometer betragen ca. 95 km, mit einer Fläche von 0,19 km<sup>2</sup>.
- Die installierbare Modulfläche beträgt 0,095 km<sup>2</sup>\*\*
- Laut der Stadt verfügt Bonn über fast 300 km Radwege. Dies würde einer Fläche von 0,6 km<sup>2</sup> entsprechen.
- Die installierbare Modulfläche beträgt 0,3 km<sup>2</sup>\*\*
- Dadurch steht eine Energie von **15 – 47,2 GWh/a** zur Verfügung.

Quellen: [7] Geoportal Bonn, OpenStreetMap, <https://www.bonn.de/bonn-erleben/aktiv-und-unterwegs/radrouten-radtouren.php>; [https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund\\_26012001\\_S3236420014.htm](https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26012001_S3236420014.htm); \*Modulfläche m<sup>2</sup>, \*\*Verhältnis Fläche zu Modulfläche 2

# Impuls: Die Power Road als Quelle für bisher ungenutzte Wärmeenergie

Ergebnisse der Potenzialanalyse

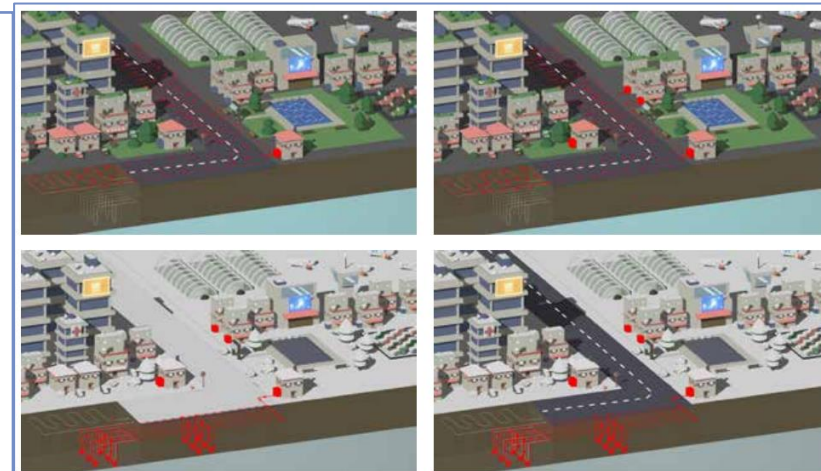
## Kurzbeschreibung

- Fahrbahnen und Straßen speichern Energie von der Sonneneinstrahlung, mithilfe von Wärmetauscher in den oberen Fahrbahnschichten
- Dieser besteht aus Röhren, in denen ein Wärmeträger zirkuliert
- Reversibel: Es kann im Sommer Sonnenwärme gewinnen und speichern und im Winter Wärme abgeben, um die Straße von Eis und Schnee zu befreien

## Vorteile

- Nachhaltige Energieversorgung
- Energiespeicherung
- Reduzierung der Energiekosten
- Verminderung von Baumaßnahmen
- Langfristige Rentabilität
- Abschwächung städtischer Wärmeinseln
- Von lokalen Unternehmen umgesetzt
- Mehrwert der Verkehrsfläche
- Keine architektonischen Auswirkungen

- Im „Sommermodus“ wird (überschüssige) Energie gespeichert und im Winter zum Beheizen von Gebäuden und weiteren Infrastrukturen genutzt werden
- Im „Wintermodus“ wird die Straße mit der gespeicherten Wärme schnee- und eisfrei gehalten (→Verzicht auf Streusalz)



### 100 % des Heizbedarfs einer 70 m<sup>2</sup>-Wohnung



**BEDARF:** 2.100 kWh/Jahr.

**LÖSUNG:** – 1 Erdwärmesonde bis 55 m Tiefe mit Wärmepumpe.  
– 25 m<sup>2</sup> Fahrbahn (2 Parkplätze oder 5 m Fahrbahn mit 5 m Breite).

### 100 % des Heiz- und Warmwasserbedarfs einer 70 m<sup>2</sup>-Wohnung



**BEDARF:** 4.000 kWh/Jahr.

**LÖSUNG:** – 1 Erdwärmesonde bis 75 m Tiefe mit Wärmepumpe.  
– 30 m<sup>2</sup> Fahrbahn (1 Parkplatz und 5 m Fahrbahn mit 5 m Breite).

### 100 % des Heiz- und Warmwasserbedarfs eines Neubaugebiets mit 20 Einfamilienhäusern à 120 m<sup>2</sup>



**BEDARF:** 6.900 kWh/Jahr/EFH

**LÖSUNG:** – 20 Erdwärmesonden in 75 m Tiefe mit Wärmepumpe.  
– 1 000 m<sup>2</sup> Fahrbahn:

- ♦ 500 m<sup>2</sup> Parkplätze, das entspricht 2 Parkplätzen pro EFH.
- ♦ 500 m<sup>2</sup> Fahrbahn (100 m Fahrbahn mit 5 m Breite).

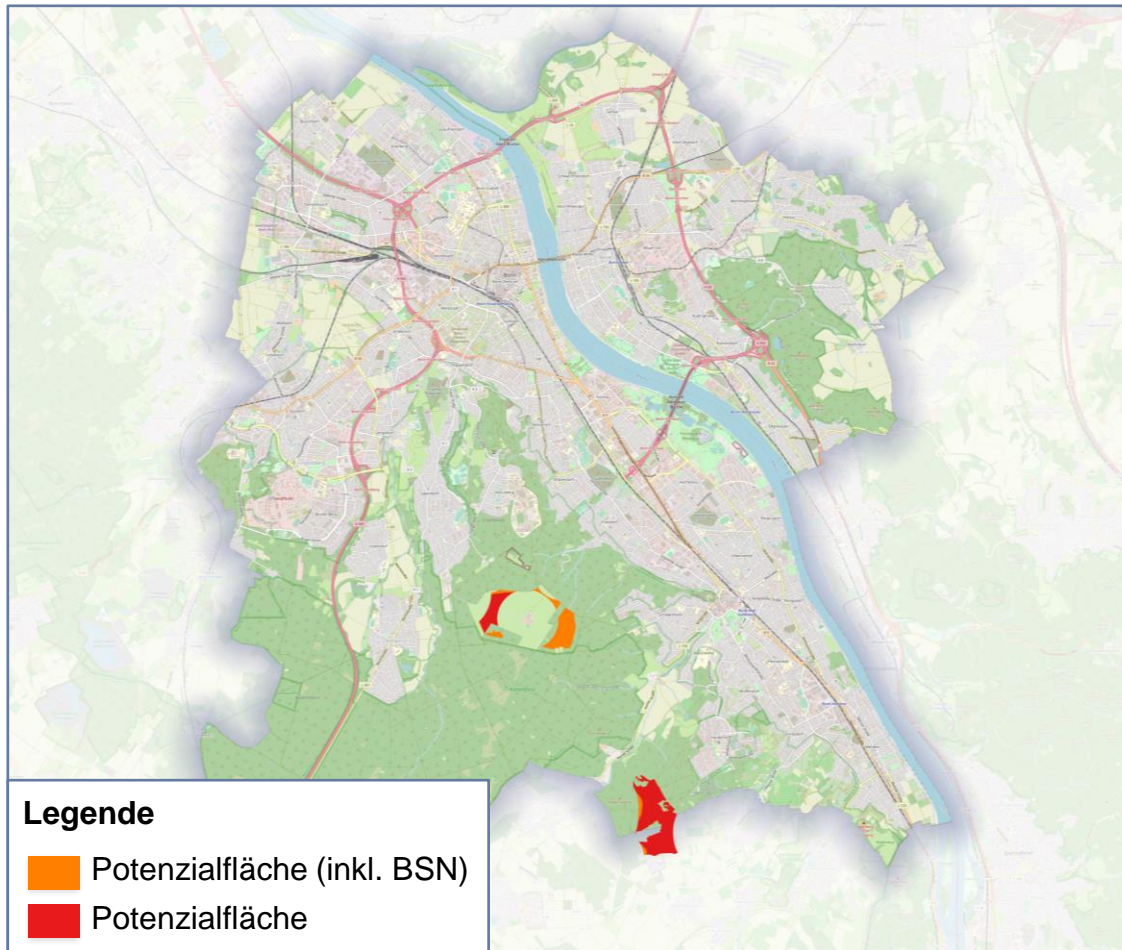
## Praxisbeispiele (Auszug)

Anmerkung: Für Neubaugebiete oder bei anstehenden Straßenbauarbeiten



# Das Flächenpotenzial für die Installation von Windenergieanlagen fällt in Bonn gering aus

Ergebnisse der Potenzialanalyse






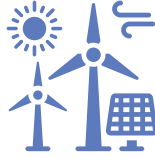




## Bewertung des Wind-Freiflächen-Potenzials

- ✓ Es wurden **zwei Szenarien** berechnet: Einmal wurden die **Bereiche für den Schutz der Natur (BSN)** als **Ausschlussflächen** definiert, einmal wurden sie für die Potenzialberechnung berücksichtigt.
- ✓ Das Flächenpotenzial unter Ausschluss der BSN beträgt rund **77 ha**.
- ✓ Das Flächenpotenzial einschließlich der BSN beläuft sich auf **110 ha**.
- ✓ Mit einer installierbaren Leistungsdichte von circa 26 W/m<sup>2</sup> und 2.550 Volllaststunden resultiert ein technisches Potenzial von **51 GWh/a** bzw. **73 GWh/a (mit BSN)**.
- ✓ Der Eigentümer der Potenzialfläche am **Annaberger Hof** hat eine Verpachtung für WEA abgelehnt.

# Mithilfe von GIS-Analysen werden die technischen Potenziale erschließbarer Quellen konkretisiert



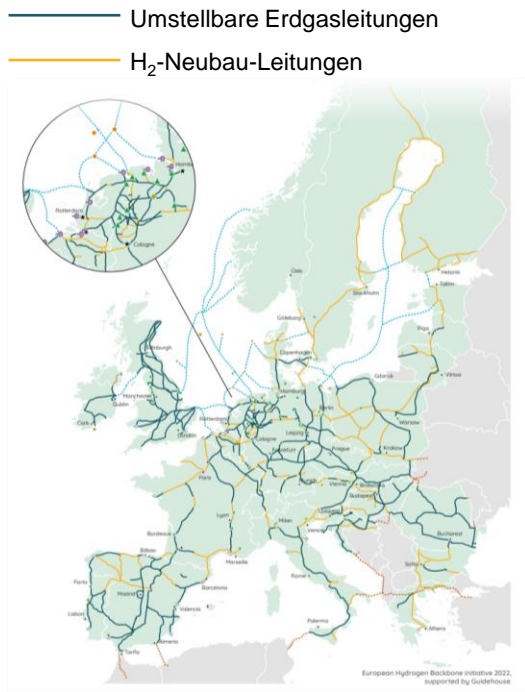
|                                                                                                                |                                                       |                         |                                                                                                                                                               |                                                                |                                                                           |                                                                               |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biomasse                                                                                                                                                                                        | Geothermie                                                                                                                             | Umweltwärme                                                                                              | Abwärme                                                                                                                                                                                                                                          | Solarthermie                                                                                                                                      | EE-Strom                                                                                                                                                     | Grüne Gase                                                                                                                                                       | Speicher                                                                                   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Nachwachsende Rohstoffe</li> <li>Organische Abfälle</li> <li>Klärgas aus Kläranlagen</li> <li>Biogas aus Biogasanlagen</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-nah Geothermie</li> <li>Mitteltiefe Geothermie</li> <li>Tiefe Geothermie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-gewässer (Seen &amp; Flüsse)</li> <li>Luft</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie &amp; GHD</li> <li>Höchstleistungs-rechenzentren</li> <li>Abwasser</li> <li>Thermische Abfallverwertung</li> <li>Trinkwasser</li> <li>Anlagen zur Stromerzeugung</li> <li>Power-to-X</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen</li> <li>Dachflächen</li> </ul> <p>Hinweis: Solarthermie ist mit Speichern zu kombinieren.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen-PV</li> <li>Dachflächen-PV</li> <li>PV auf Verkehrswegen</li> <li>Agri-PV</li> <li>Windenergie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>-Kernnetz</li> <li>Erzeugung von Wasserstoff</li> <li>Infrastrukturnetz Wasserstoff</li> <li>HKWs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zentrale und dezentrale Speicherlösungen</li> </ul> |
| <b>Sanierungspotenzial</b>                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                        |                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollsanierung<sup>1</sup> gilt als 100% saniert</li> <li>Teilsaniert<sup>2</sup> gilt als 50% saniert</li> <li>Unsanziert gilt als 0% saniert</li> </ul> |                                                                                                                                        |                                                                                                          | <p>Hinweis: Genauere Zuordnung von Potenzialen (Solarthermie, PV, mitteltiefe Geothermie, Speichern) zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief „Flächenanalyse“.</p>                                                                            |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                            |

<sup>1)</sup> Dach, Keller, Fenster und Fassade, <sup>2)</sup> Dach und Keller

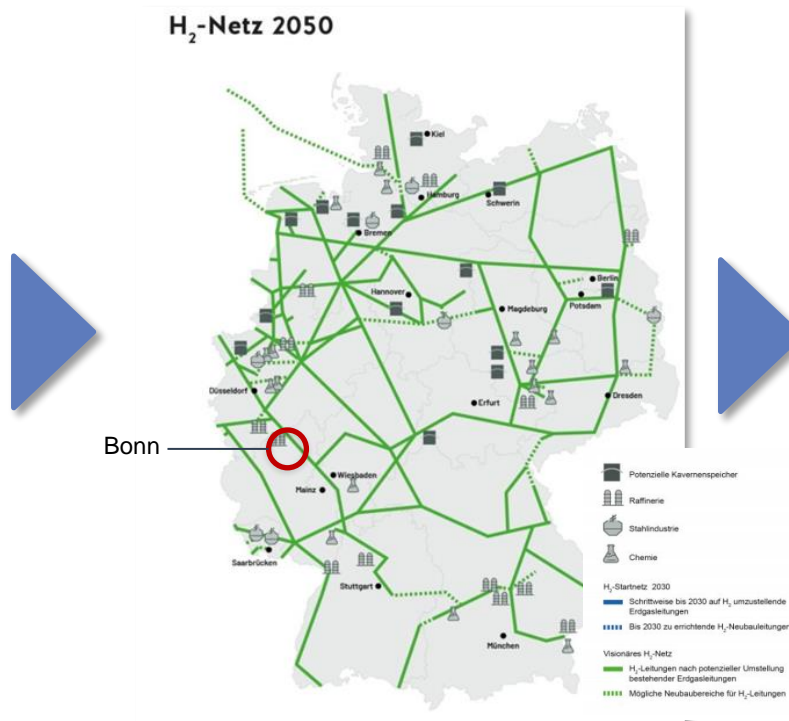
# Eine H<sub>2</sub>-Infrastruktur wird derzeit auf europäischer und bundesdeutscher Ebene entwickelt

Ergebnisse der Potenzialanalyse

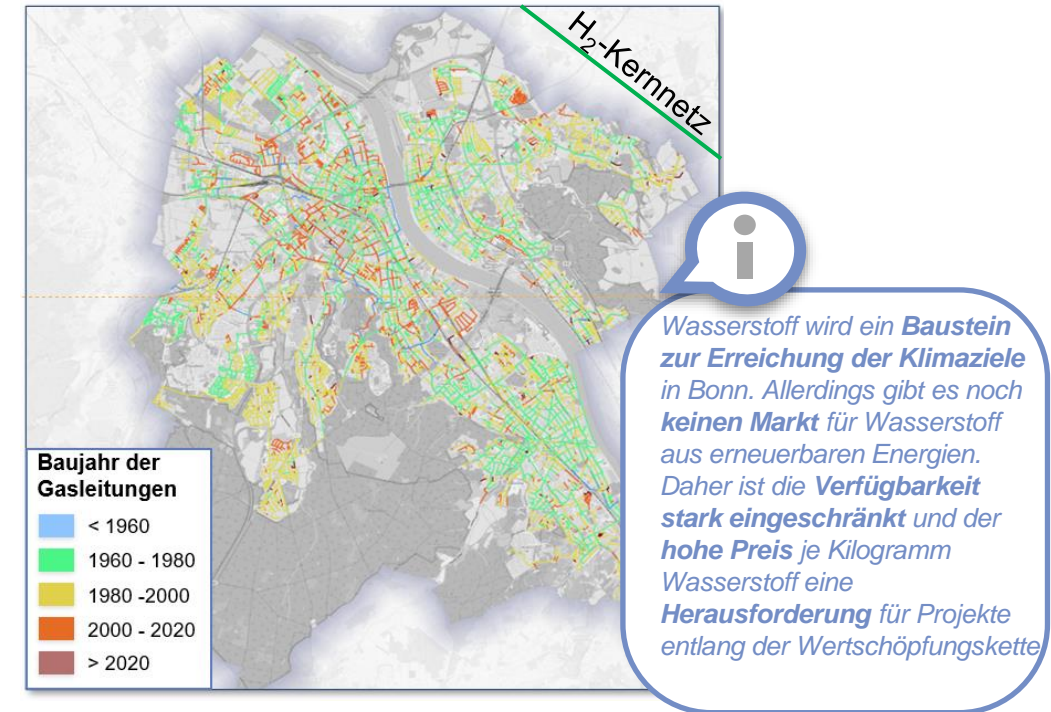
## International Europäisches H<sub>2</sub>-Netz



## National Deutsches H<sub>2</sub>-Netz



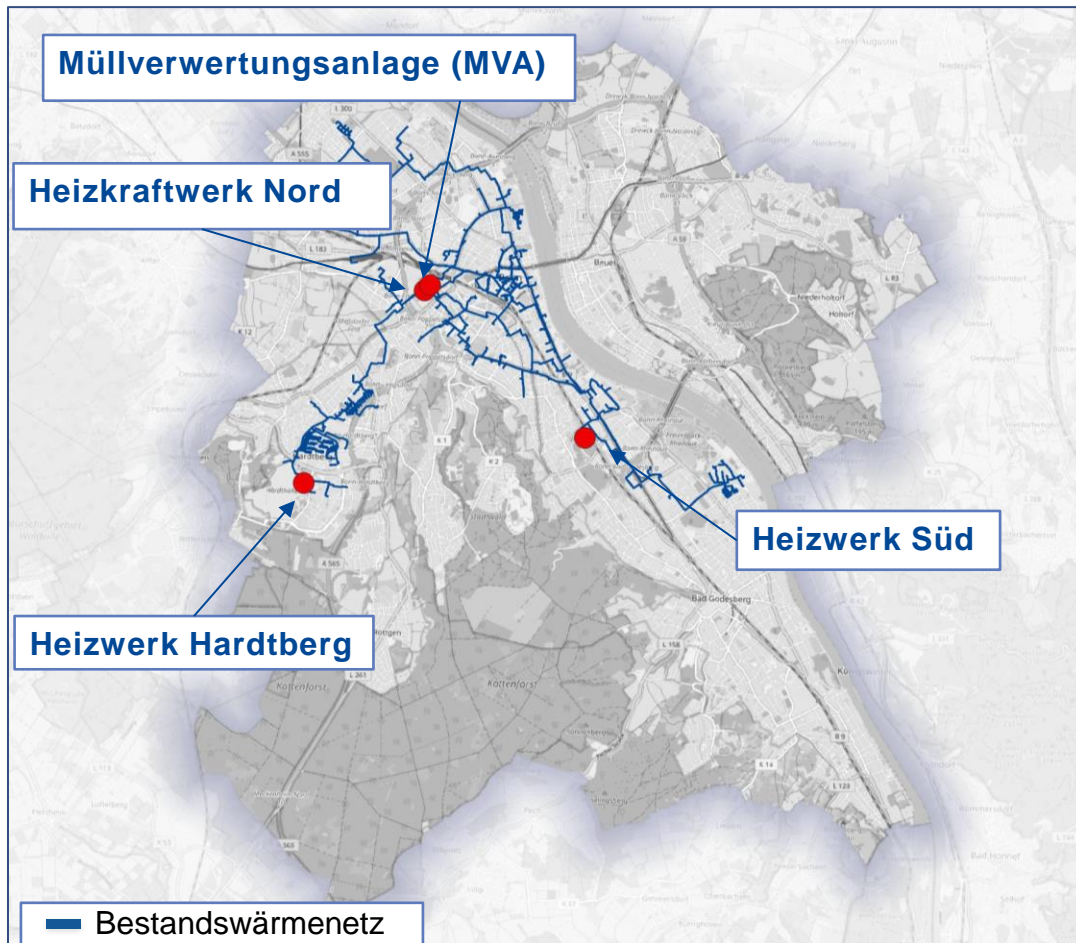
## Regional Region Bonn





# Exkurs: Wesentliche Erzeugungsstandorte in Bonn von morgen

Ergebnisse der Potenzialanalyse



GuD Anlage = Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk.

Quelle: [1] Bonn Netz / Stadtwerke Bonn; [4] H<sub>2</sub> Machbarkeitsstudie SWB. \*Annahmen: 5000 Volllaststunden, Wirkungsgrad 70 %

## Heizkraftwerk Nord

- Die Stadtwerke Bonn betreiben in Bonn das Heizkraftwerk Nord zur Strom- und Fernwärmeproduktion. Dafür wird aktuell Erdgas eingesetzt. An der Umstellung auf klimafreundlichen Wasserstoff arbeiten wir. Dafür liegt ein Beschluss vor. Bis 2035 soll der Standort vollständig auf Wasserstoff umgerüstet werden. Ein Meilenstein wird der Testbetrieb im Jahr 2025. Die Wasserstoffbeimischung von 15. vol. % wird auf einer Turbine getestet.

## Müllverwertungsanlage

- Durch die thermische Verwertung entsteht unvermeidbare Abwärme. Die Energie wird in Kombination mit dem gegenüberliegenden HKW Nord im KWK-Prozess zur Fernwärmeproduktion genutzt. Eine Option am Standort ist der Neubau eines Müllheizkraftwerkes. Folgende Punkte sind hierbei wesentlich:

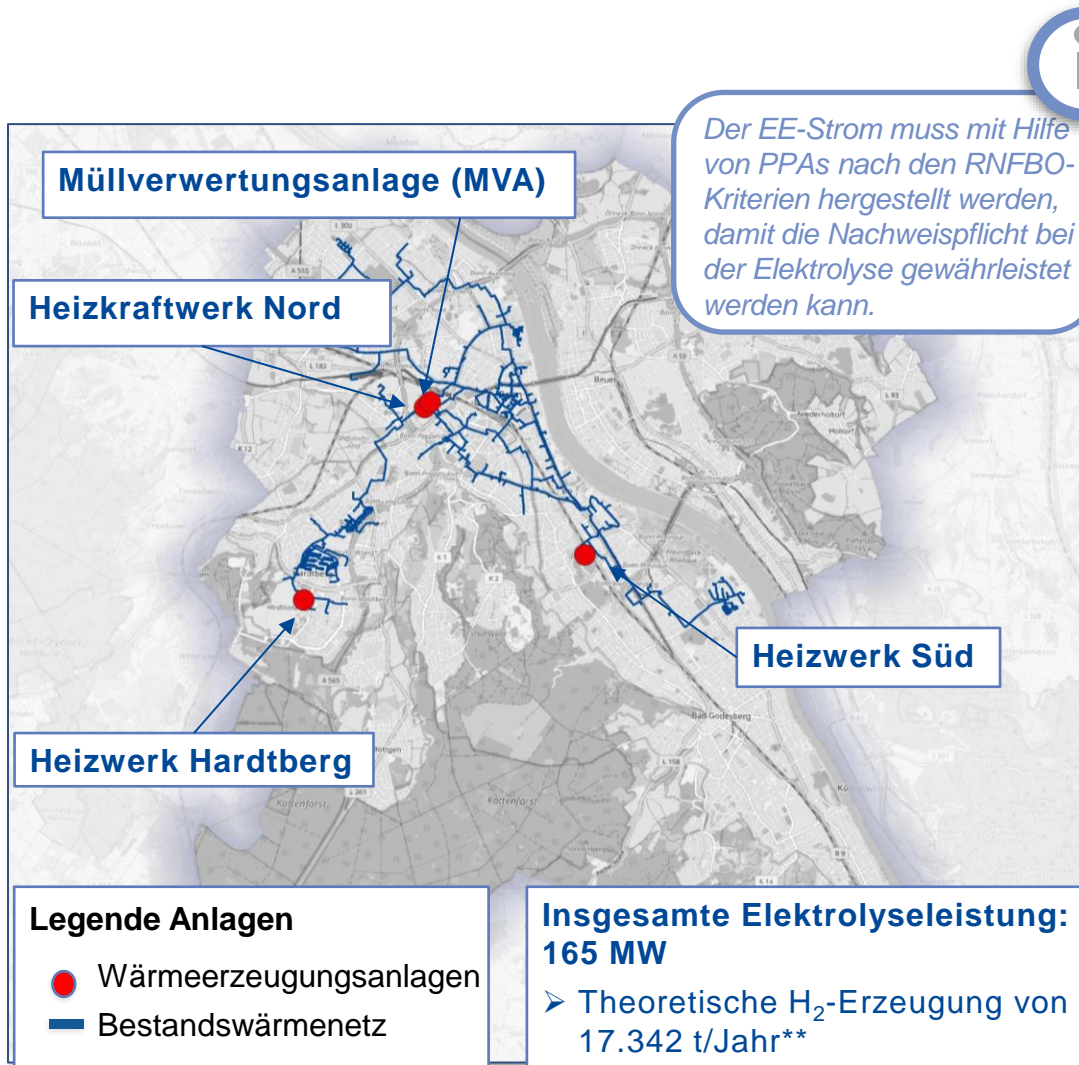
- Effizienzsteigerung durch moderne Kesselanlage und Rauchgasreinigung in Kombination mit Prozesswärmepumpe.
- Abscheidungsrichtung für CO<sub>2</sub> (Nutzung des Wärmeüberschusses in den warmen Monaten)
- Veredelung des Rohstoffes CO<sub>2</sub> je nach Anwendung

## Heizwerke Süd und Hardtberg

- Auch diese Standorte werden defossilisiert. Wasserstoff ist eine Option. Die aktuellen Planungen sind nur am HKW Nord und der MVA konkret.

# Für die Dekarbonisierung der Fernwärme werden Elektrolysekapazitäten an den Standorten der Heizkraftwerke aufgebaut

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Heizkraftwerk Nord

- Eine Elektrolyseleistung von ca. 40 MW nach aktuellem Flächenplan theoretisch möglich.
- Ein fiktiver Erzeugungsfahrplan für 2032 hat einen H<sub>2</sub>-Einsatz in der GuD Anlage von 92,8 GWh ergeben.
- Das Elektrolysepotenzial am HKW Nord kann den Bedarf 2035 nicht decken.

## Die neue Müllverwertung-Anlage

- Der fiktive Erzeugungsfahrplan für die neue MVA geht von einem durchschnittlichen Zuwachs der Wärmeerzeugungskapazität von jährlich 6,25 MW ab 2025 bis 2032 aus.
- Die H<sub>2</sub>-Nachfrage HKW und MVA 2025: Wintermonaten 12 t/d H<sub>2</sub>-Bedarf, Sommermonaten Bedarf etwa 5,4 t/d H<sub>2</sub>. H<sub>2</sub> Nachfrage HKW und MVA 2035: Wintermonaten bis zu 177 t/d H<sub>2</sub>-Bedarf.

## Heizkraftwerk Hardtberg

- Basierend auf den freien Flächen wäre der Bau von etwa 25 MW Elektrolyse möglich\*.

## Heizkraftwerk Süd

- Insgesamt sind genug Freiflächen für eine 100 MW Wasserelektrolyse inkl. Speicher verfügbar.

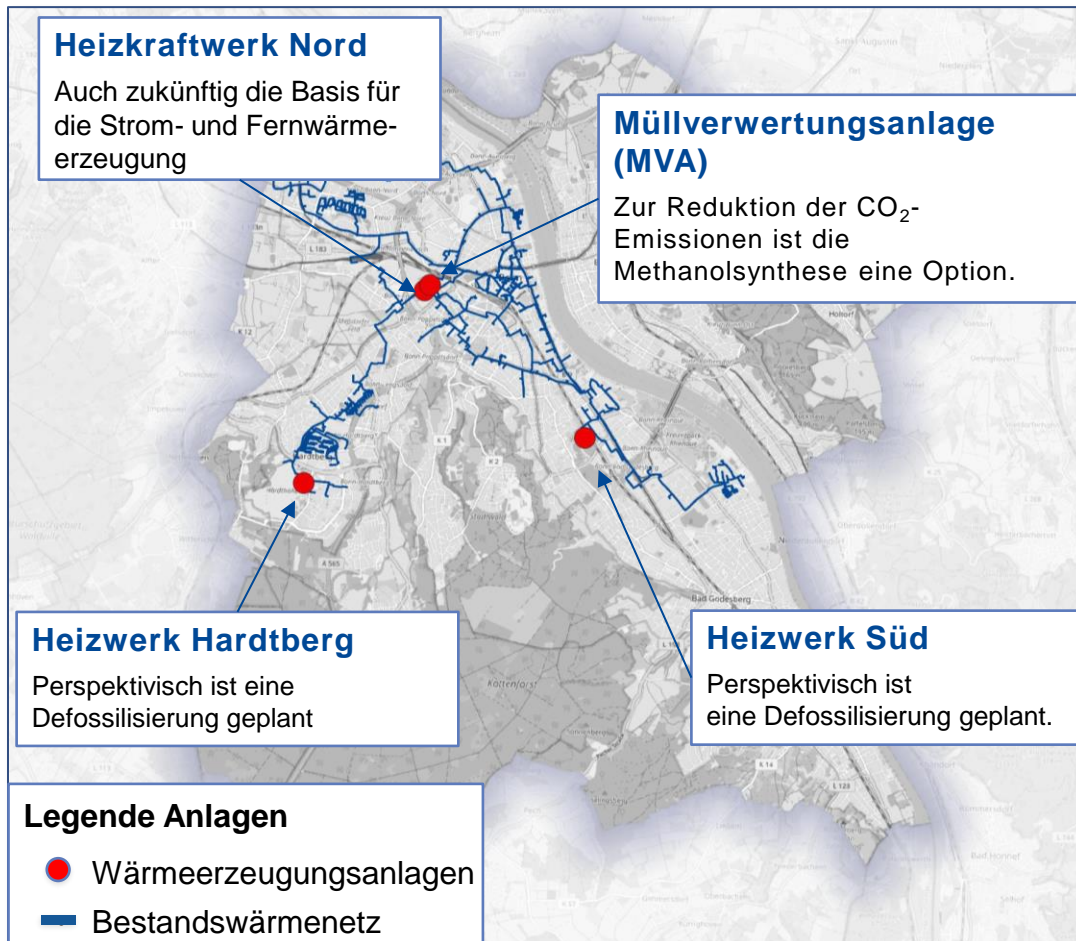
\*Unter Berücksichtigung der Peripherie, ohne Einbezug der Flächen für Speicher

Hier werden theoretische Potenziale behandelt.

GuD Anlage = Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk. PPA = Power Purchase Agreement (Stromkaufvereinbarung), RNFBOKriterien = Renewable Fuels of Non-Biological Origins (Erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs), GWP = Großwärmepumpe Quelle: [1] Bonn Netz / Stadtwerke Bonn; [4] H<sub>2</sub> Machbarkeitsstudie SWB. \*\*Annahmen: 5000 Vollaststunden, Wirkungsgrad 70 %

# Die Stadtwerke Bonn führen Gespräche mit den Fernleitungsnetzbetreibern zum Anschluss an das H<sub>2</sub>-Kernnetz

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Heizkraftwerk Nord

- Statt Erdgas soll **grüner Wasserstoff** an dem Standort zur Fernwärmeerzeugung genutzt werden.
- Dafür werden die Gasturbinen am HKW Nord **bis 2035 auf 100 % Wasserstoff** umgerüstet.
- **Kurzfristig** ist die H<sub>2</sub>-Versorgung für den Testbetrieb via Trailer oder Flaschenbündel möglich.
- **Langfristig** muss das Heizkraftwerk Nord über eine **Pipelineinfrastruktur** versorgt werden, da große Wasserstoffmengen benötigt werden.

## Die Müllverwertungs-Anlage

- Für die Methanolsynthese einer neuen Anlage wird Wasserstoff benötigt.
- Ein Projekt im Labormaßstab wurde in 2022 beendet.
- Unter der Annahme, dass die Kosten für CO<sub>2</sub>-Emissionen steigen, wird die **Methanolsynthese** nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus ökonomischer Sicht **attraktiver**.

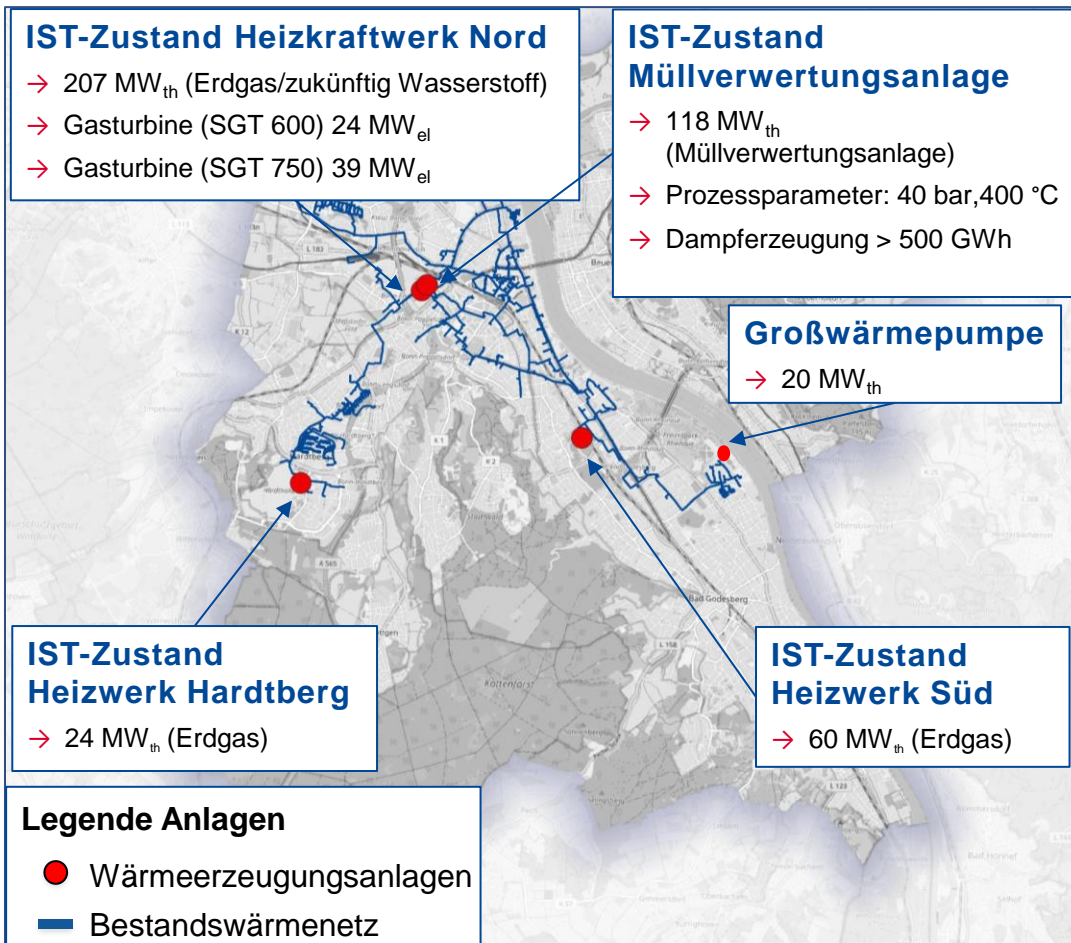
## H<sub>2</sub>-Infrastruktur

- Es ist **sehr unwahrscheinlich**, dass das bestehende Erdgasnetz dafür genutzt wird, um **private Haushalte mit Wasserstoff zu versorgen**.
- Auch eine **Beimischung von Wasserstoff** in das Erdgasnetz wird aktuell als **sehr unwahrscheinlich betrachtet**.



# Das größte Erzeugungspotenzial bietet die MVA, gefolgt von den Kraftwerken sowie einer Großwärmepumpe

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Bestandswärmenetz

- Eine Verdoppelung der aktuellen Netzlänge von circa 127 km auf rund 250 km ist geplant.

## Müllverwertungsanlage

- Eine neue Kesseltechnologie sowie eine hoch effiziente Rauchgasreinigung führt zu einer Effizienzverbesserung von bis zu 90 %.
- Die Niedertemperaturwärme (Kondensat Wärme bei 40-50 °C) am Prozessende kann mithilfe einer Wärmepumpe weiter genutzt werden.

## Heizkraftwerk Nord

- Aktuell wird das HKW Nord auf die Verbrennung von Wasserstoff technisch vorbereitet.
- Ein Testbetrieb mit bis zu 15 vol. % Wasserstoff ist im Jahr 2025 geplant.
- Das Ziel ist es, bis 2035 vollständig auf fossile Energieträger zu verzichten und die Umrüstung auf grüne Gase voranzutreiben.

## Heizwerk Süd und Hardtberg

- Potenziale für PV, Solarthermie und Geothermie sind sehr gering.
- Großes Potenzial einer HT-Großwärmepumpe zur Versorgung eines Sekundärnetzes aus dem Fernwärme-Rücklauf des Primärnetzes.

## Großwärmepumpe

- Die SWB plant eine Flusswasserwärmepumpe am Rhein
- Eine Inbetriebnahme ist nach 2027 zu rechnen

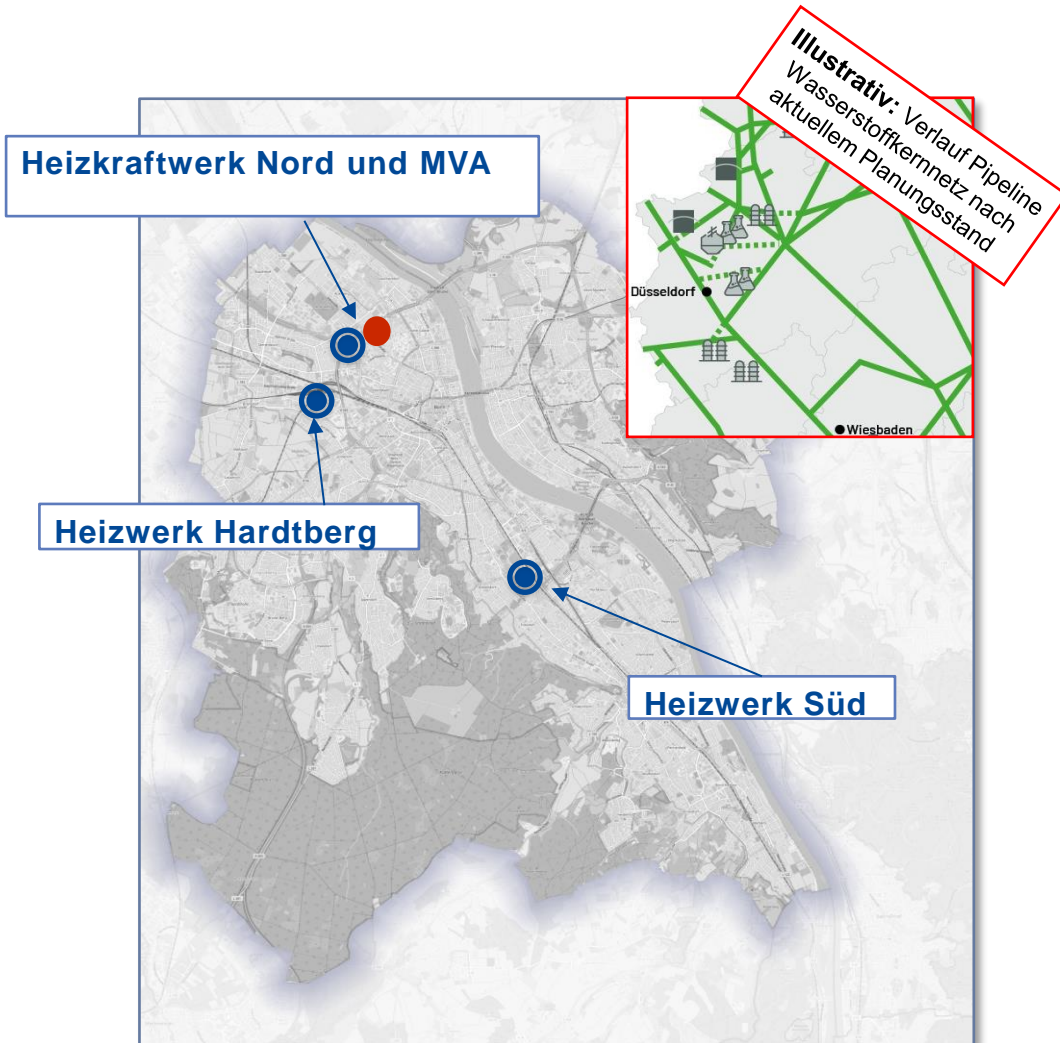
Hier werden theoretische Potenziale behandelt.








Abkürzungen: PV: Photovoltaik, HT: Hochtemperatur, MVA: Müllverwertungsanlage

Quellen: [1] Bonn Netz; [42] SWB-Verwertung; [41] Potenzialstudie EMCEL 2022; [9] Klimaneutrale Fernwärme; [40] Konzeptstudie Wasserstoffverbrennung am Standort HKW Nord

# Die vier größten H<sub>2</sub>-Aktivitäten in der Region Bonn belaufen sich auf die Erzeugungsstandorte der Stadtwerke Bonn

Ergebnisse der Potenzialanalyse






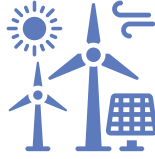




|                     |                                                                                                                                                  |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>every inputs</b> |  • Regulatorische Rahmenbedingungen                           |
|                     |  • Treiber des H <sub>2</sub> -Marktes & Zahlungsbereitschaft |
|                     |  • European Hydrogen Backbone                                 |
| <b>Bonn Studien</b> |  • H <sub>2</sub> im HKW Nord / Süd                           |
|                     |  • H <sub>2</sub> Machbarkeitsstudie SWB                      |
|                     |  • H <sub>2</sub> Bonner Hafen                                |
|                     |  • Energie- und Klimaschutzkonzept (Stadt Bonn)               |

|                   |                                                                                                                                              |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Next Steps</b> | <b>1</b> Erstellung einer H <sub>2</sub> -Roadmap, um H <sub>2</sub> -Aktivitäten in der Region Bonn zu bündeln                              |
|                   | <b>2</b> Frühzeitiges Sichern von H <sub>2</sub> -Quellen (Import/Produktion) und forcieren einer Anbindung an das H <sub>2</sub> -Kernnetz  |
|                   | <b>3</b> Prüfen des Geschäftsmodells H <sub>2</sub> in der Wärme auf der Zeitachse und Erstellung eines Zeitplans für eine FEED-Studie / FID |

# Mithilfe von GIS-Analysen werden die technischen Potenziale erschließbarer Quellen konkretisiert



|                                                                                                                |                                                        |                         |                                                                                                                                                               |                                                                |                                                                           |                                                                               |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biomasse                                                                                                                                                                                        | Geothermie                                                                                                                              | Umweltwärme                                                                                              | Abwärme                                                                                                                                                                                                                                          | Solarthermie                                                                                                                                      | EE-Strom                                                                                                                                                     | Grüne Gase                                                                                                                                                       | Speicher                                                                                   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Nachwachsende Rohstoffe</li> <li>Organische Abfälle</li> <li>Klärgas aus Kläranlagen</li> <li>Biogas aus Biogasanlagen</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-nahe Geothermie</li> <li>Mitteltiefe Geothermie</li> <li>Tiefe Geothermie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächen-gewässer (Seen &amp; Flüsse)</li> <li>Luft</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie &amp; GHD</li> <li>Höchstleistungs-rechenzentren</li> <li>Abwasser</li> <li>Thermische Abfallverwertung</li> <li>Trinkwasser</li> <li>Anlagen zur Stromerzeugung</li> <li>Power-to-X</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen</li> <li>Dachflächen</li> </ul> <p>Hinweis: Solarthermie ist mit Speichern zu kombinieren.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freiflächen-PV</li> <li>Dachflächen-PV</li> <li>PV auf Verkehrswegen</li> <li>Agri-PV</li> <li>Windenergie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>-Kernnetz</li> <li>Erzeugung von Wasserstoff</li> <li>Infrastrukturnetz Wasserstoff</li> <li>HKWs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zentrale und dezentrale Speicherlösungen</li> </ul> |
| <b>Sanierungspotenzial</b>                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                         |                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Vollsanierung<sup>1</sup> gilt als 100% saniert</li> <li>Teilsaniert<sup>2</sup> gilt als 50% saniert</li> <li>Unsanziert gilt als 0% saniert</li> </ul> |                                                                                                                                         |                                                                                                          | <p>Hinweis: Genauere Zuordnung von Potenzialen (Solarthermie, PV, mitteltiefe Geothermie, Speichern) zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief „Flächenanalyse“.</p>                                                                            |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                            |

<sup>1)</sup> Dach, Keller, Fenster und Fassade, <sup>2)</sup> Dach und Keller



# Eine Form der saisonalen Wärmespeicherung ist die Speicherung von erhitztem Wasser in abgeschlossenen Volumina

Ergebnisse der Potenzialanalyse

## Kurzbeschreibung:



- Meist **> 1.000 m<sup>3</sup> groß**, um die **Wärmeverluste durch das bessere Verhältnis von Oberfläche zum Volumen zu minimieren** (entspricht ca. Wasserinhalt eines typischen 25m-Schwimmbeckens)
- Durch **Skaleneffekte kostengünstiger** als einzelne Speicher in Einfamilienhäusern

Erdbeckenspeicher



Behälterspeicher



## Weitere Informationen:

### Erdbeckenspeicher:

- 5-15 m tief in den Untergrund eingegraben, eher flach und weisen eine große Oberfläche auf
- Größen > 200.000 m<sup>3</sup> bereits in Dänemark realisiert
- Unterscheidung in Deutsche (Dach des Speichers tragend & nutzbar) und Dänische Bauform (Dach des Speichers nicht tragend & nicht nutzbar)

### Behälterspeicher:

- In Ober- oder Untergrund integrierte Stahlbetonbehälter mit Volumen von bis zu 230.000 m<sup>3</sup>
- Schichtbeladung innerhalb des Speichers zur Minimierung von Wärmeverlusten (weniger Durchmischung der Temperaturschichten)

## Details:

### Wärmedichte: 30-60 kWh/m<sup>3</sup>

- Speichermedium meist Wasser-(Kies)-Gemisch je nach Leistung/absoluter Speichermenge
- Temperaturen bis ca. 80 °C
- Direkte/indirekte Beladung möglich
- Einfach & kostengünstig\*: ca. 30-250 €/m<sup>3</sup>
- Sehr große Speichervolumen wurden in Dänemark sogar ohne Wärmedämmung realisiert

## Details:

### Wärmedichte: 40-80 kWh/m<sup>3</sup>

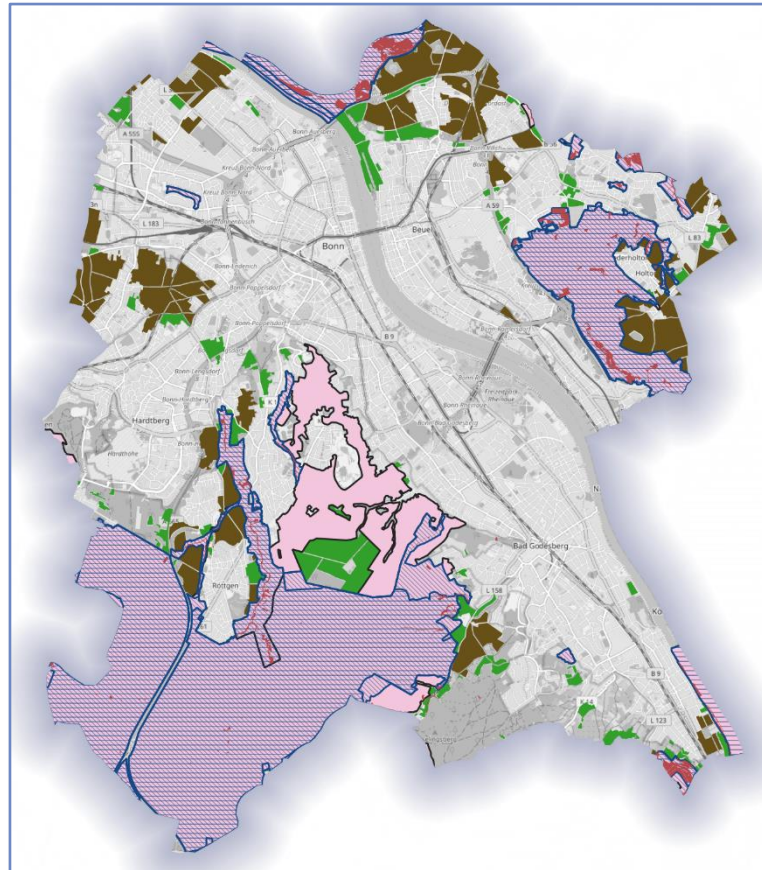
- Teils mit höheren Drücken um Speichertemperaturen von ca. 120 °C zu erreichen
- Drucklos bis ca. 95 °C
- Geringe Trägheit, sehr leistungsfähig
- Möglichst kein Grundwasser bei unterirdischer Installation
- Kosten bei Atmosphärendruck: 300-700 €/m<sup>3</sup>
- Druckspeicher: 800-1.200 €/m<sup>3</sup>

\*im Vergleich zu Behälterspeichern

Quelle: [43] Saisonalspeicher; [44] DLR [45] Kraft [2015]; Solarthermalworld.org

# Für Erdbeckenspeicher kommen grundsätzlich dieselben Flächen wie für die Freiflächen-Solarthermie in Frage

Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Methodik







- Betrachtet wurden **Grün, Acker- und Brachflächen**
- Als **Mindestfläche** wurden **3.000 m<sup>2</sup>** definiert und **10 m** Randstreifen abgezogen.
- Abzug von Biotopverbundflächen mit herausragender Bedeutung und Naturschutzgebieten.

## Ergebnisse

Insgesamt könnten theoretisch 13 km<sup>2</sup> Acker- und Grünflächen in Bonn genutzt werden.

## Offene Punkte

- Weitere Ausschlusskriterien wie z.B. Schutzwürdigkeit der Böden sind zu prüfen.

|                                                                                       |                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|  | Ackerland                                         |
|  | Grünland                                          |
|  | Biotopverbundflächen mit herausragender Bedeutung |
|  | Gesetzlich geschützte Biotope                     |
|  | Naturschutzgebiete                                |
|  | Flora-Fauna-Habitat Schutzgebiete (Natura 2000)   |

Genauere Zuordnung von Potenzialen zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief "Flächenanalyse"

# Aus der Potenzialanalyse lassen sich vier Kernerkenntnisse ableiten

Ergebnisse der Potenzialanalyse

**1** Das **oberflächennahe Geothermie-Potenzial** kann über Erdwärmesonden-Wärmepumpen rund **1.250 GWh/a** Wärme bereitstellen und ist grundlastfähig. Das entspricht etwa 1/3 des Wärmeverbrauchs in Bonn. Das **mitteltiefe Geothermie-Potenzial** fällt mit **1.170 GWh/a** ebenfalls hoch aus.

**2** Das **maximale Sanierungspotenzial** liegt bei **49 %**. Praktisch wird dieser Sanierungsstand in Bonn schwer umsetzbar sein.

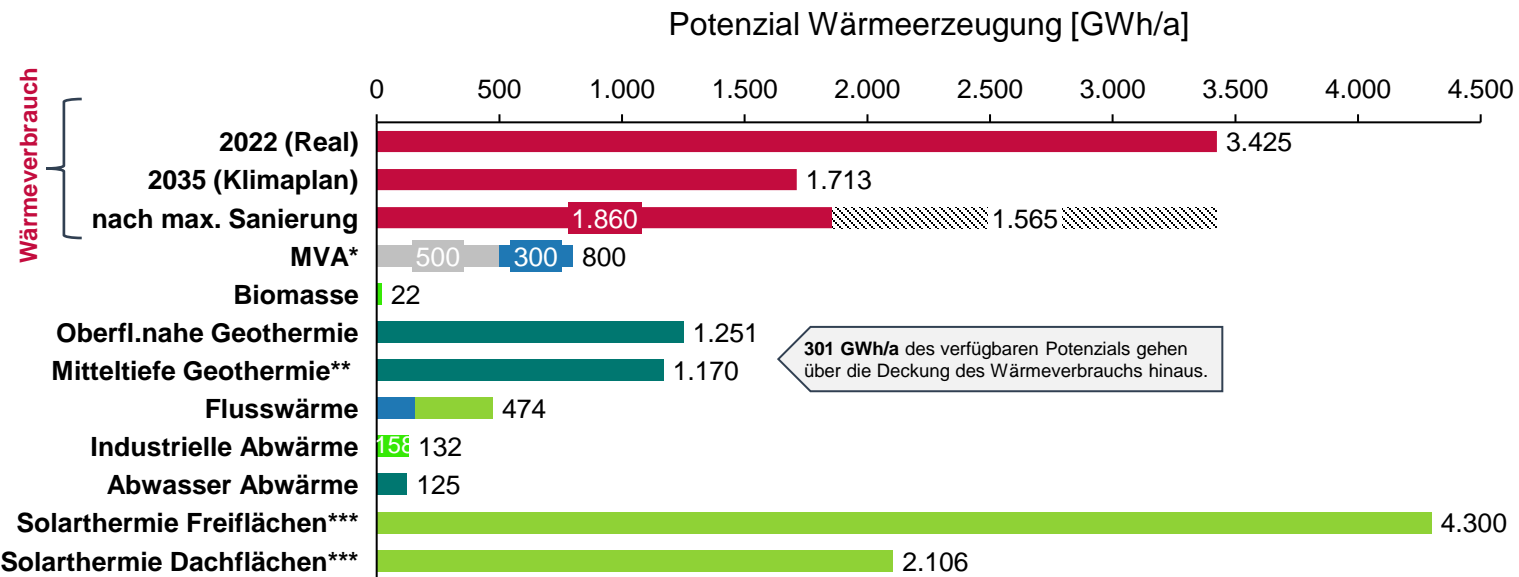
**3** Die **Freiflächen-Solarthermie** kann rund **4.300 GWh/a** Wärme bereitstellen, ist jedoch nicht grundlastfähig und muss daher zwischengespeichert werden.

**4** **Großwärmepumpen**, welche die sensible Wärme des **Rheins** oder aus dem sauberen **Ablauf von Kläranlagen** nutzen, haben nicht zu vernachlässigende Potenziale die **energie-** und **kosteneffizient** genutzt werden können.



# Im gesamten Stadtgebiet liegen nach der Potenzialanalyse ausreichend Potenziale zur Wärmeversorgung vor

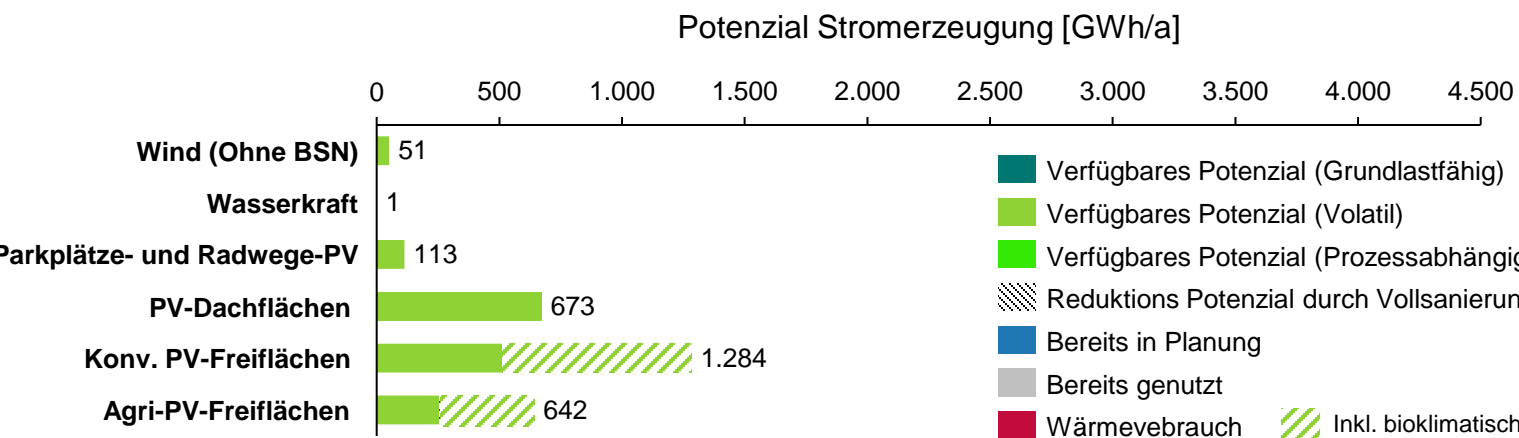
Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Fazit:

- Im **Bonner Klimaplan** ist das Ziel formuliert den Wärmebedarf bis 2035 zu halbieren.
- Das technische Potenzial der **Solarthermie** für **Freiflächen** beträgt 4.300 GWh/a.
- Für die Nutzung des Solarthermie Freiflächen Potenzials ist eine Kombination mit einer **saisonalen Wärme-Speicherung** zu berücksichtigen. Zu beachten ist, dass die Speichertechnologien ebenfalls einen nicht unerlässlichen Flächenbedarf aufweisen.
- Erhebliche Einsparungspotenziale durch **Sanierungsmaßnahmen**.
- Technisches Potenzial der **Agri-PV** für Photovoltaik-Stromerzeugung beträgt 1.023 GWh/a.
- Die Freiflächenpotenziale stehen in **Flächenkonkurrenz** zueinander.
- Zur Nutzung des oberfl. Geothermie-Potenzials mithilfe von Wärmepumpen wird zusätzlich elektrische Energie benötigt.
- Die Wärme aus Flüssen und Abwasser kann als Wärmequelle für Wärmepumpen dienen

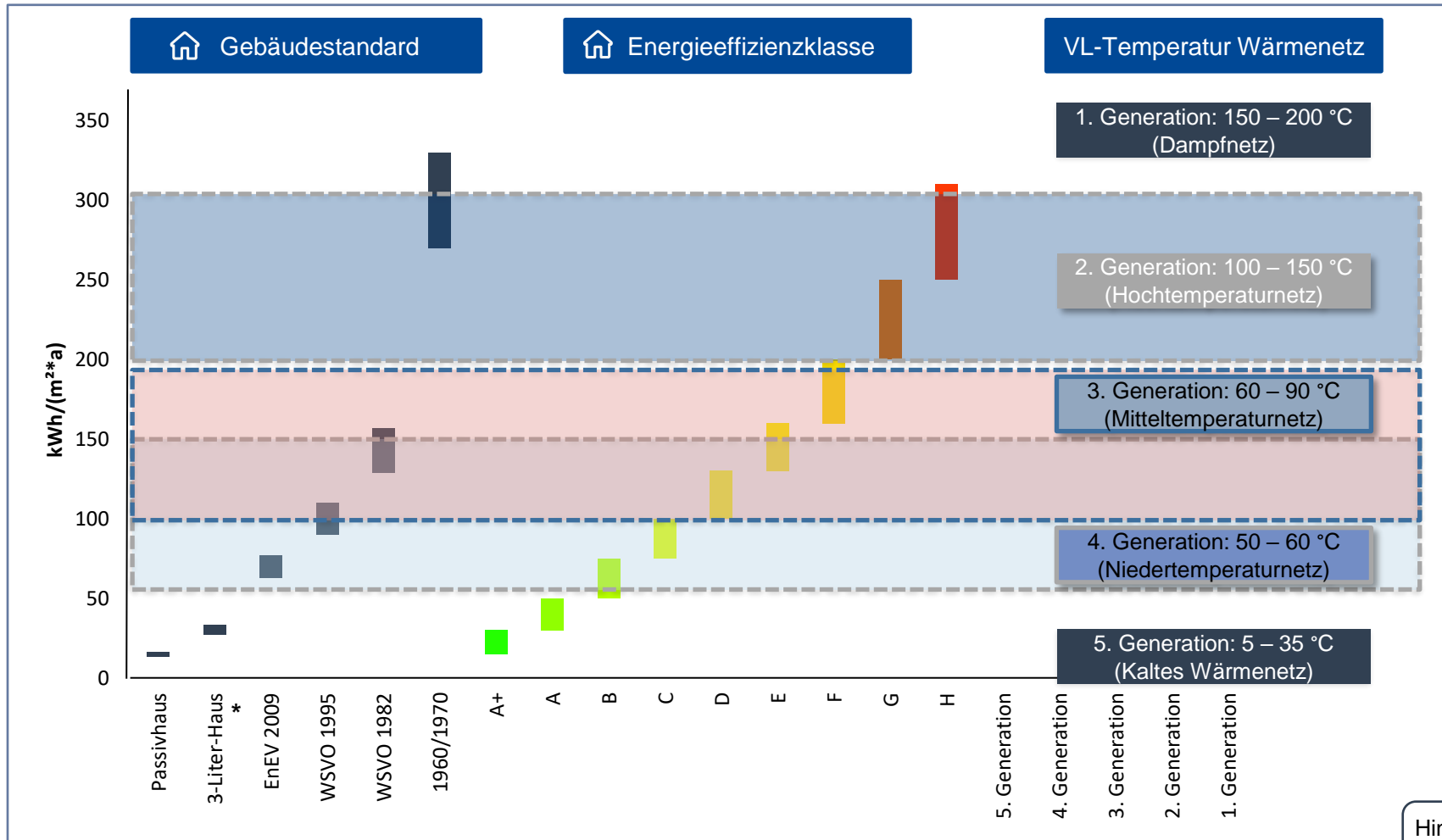
Genauere Zuordnung von Potenzialen zu Flächen erfolgt im Klimaplan-Steckbrief "Flächenanalyse"



\*MVA = Müllverwertungsanlage, Angaben beziehen sich auf die Dampfmengen, die zur Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden. Die 300 GWh/a beziehen sich auf den Neubau des Müllheizkraftwerks  
 \*\* Bei einer Sondenlänge von 1.000 Metern und unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen. Anmerkung: Für die Tiefen-Geothermie wird kein flächiges Potenzial ausgewiesen. In Kombination mit Speichertechnologien können volatile Erneuerbare Energien grundlastfähig sein. \*\*\*Unter Annahme ausreichend großer Speicherkapazitäten zur saisonalen Speicherung.  
 BonnNetz | Mai 2024 | kommunale Wärmeplanung für die Stadt Bonn

# Die Korrelation von Energieverbrauch und VL-Temperatur im Wärmenetz ist eine Indikation für die Planung des Wärmenetzes

Weitere Ergebnisse der Potenzialanalyse



## Erkenntnisse

### Dampfnetz (1. Generation)

- Ist theoretisch in der Lage jeden Gebäudetyp zu versorgen - aus Effizienzgründen hat dies in Zukunft aber keine praktische Bedeutung.

### Wärmenetze der 5. Generation

- Ermöglicht eine effiziente Einspeisung von erneuerbaren Energien (z.B. Solarthermie) sowie von Abwärme.
- Können sowohl zur Kühlung als auch zur Beheizung eingesetzt werden (Erhöhte Flexibilität).
- In Gebäuden mit niedrigeren Effizienzklassen ist aber ein sekundäres Heizsystem (WP, Direktheizung) nötig, um die erforderlichen VL-Temperaturen zu erreichen.

Hinweis: Ab der 3. Generation können EE-Wärmequellen in das Wärmenetz eingebunden werden.

\*EnEV 2009 (low-energy building)

Quellen: [49]; [50]; [51] 4th Generation District Heating; [52] Wärmenetze der 5. Generation

# INHALT

---

1. Einführung
2. Eignungsprüfung (§ 14 Wärmeplanungsgesetz)
3. Bestandsanalyse (§ 15 Wärmeplanungsgesetz)
4. Potenzialanalyse (§ 16 Wärmeplanungsgesetz)

Quellenverzeichnis





# Quellenverzeichnis

|     |                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1] | <b>Bonn-Netz und Stadtwerke Bonn, Datensatz zu Bestandswärmenetzen &amp; Gasnetze, Gasanschlüsse, Gas Stationen, StromHausanschluss, Strom Station, Fernwärme Hausanschluss, Speicher, PV-Anlagen, Nachtspeicherheizungen, Wärmepumpen</b> |
| [2] | <b>Bonn-Netz, Liste Gasgroßverbraucher</b>                                                                                                                                                                                                 |
| [3] | <b>Stadtwerke Bonn, Angaben zur Nutzung von Bioenergie (<a href="https://www.swb-verwertung.de/umweltschutz/stoffbilanz">https://www.swb-verwertung.de/umweltschutz/stoffbilanz</a>)</b>                                                   |
| [4] | <b>Umlaut energy ,2021, H2 Machbarkeitsstudie SWB-Ergebnisse, Workshop und Endpräsentation</b>                                                                                                                                             |
| [5] | <b>THG-Bilanz der Stadt Bonn, 2021</b>                                                                                                                                                                                                     |
| [6] | <b>Stadt Bonn, 2024, Klimaneutraler Konzern Stadt Bonn</b>                                                                                                                                                                                 |
| [7] | <b>OpenGeoDataBonn, 2024, DLM 50 Datensatz</b>                                                                                                                                                                                             |

## Quellenverzeichnis

|      |                                                                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [8]  | <b>Wohnungsmarktprofil Stadt Bonn, 2022, Wärmeverbrauch</b>                                                                       |
| [9]  | <b>VPC GmbH, 2022, Konzeptstudie „Klimaneutrale Fernwärme Bonn 2035“</b>                                                          |
| [10] | <b>LANUV, 2015, Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 4 - Geothermie</b>                                                  |
| [11] | <b>Digitales Basis Landschaftsmodell, DLM, 2024</b>                                                                               |
| [12] | <b>Regionalforstamt Rhein-Sieg-Erft (Christian Langfeldt), 2024</b>                                                               |
| [13] | <b>Wärmeplanungsgesetz, 2024: Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (Wärmeplanungsgesetz – WPG)</b> |
| [14] | <b>WBG GmbH, 2023, Möglichkeiten der Geothermie im Bereich der Stadt Bonn</b>                                                     |

## Quellenverzeichnis

|      |                                                                                  |
|------|----------------------------------------------------------------------------------|
| [15] | <b>digikoo, 2024, NEXiGA Datensatz und Berechnungen digikoo/evety</b>            |
| [16] | <b>evety, Stadt Bonn, 2024, Abwärmefragebogen</b>                                |
| [17] | <b>Energieatlas NRW, 2023</b>                                                    |
| [18] | <b>Excel Tabelle zu den LANUV-Potenzialstudien, 2024</b>                         |
| [19] | <b>Geologischer Dienst NRW, 2022, Wasserschutzgebiete</b>                        |
| [20] | <b>Untere Wasserschutzbehörde Bonn, 2024, Übersicht über Wasserschutzgebiete</b> |
| [21] | <b>digikoo, 2024, Eigene Berechnung der Wärmedichten</b>                         |



## Quellenverzeichnis

|      |                                                                                                                                                     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [22] | EnBW, 2020, Photovoltaik und Solarthermie im Vergleich <a href="#">Photovoltaik und Solarthermie im Vergleich I EnBW</a>                            |
| [23] | bonnorange, 2023, Die Geschichte der Biotonne                                                                                                       |
| [24] | Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 1983                                                                                             |
| [25] | Geologischer Dienst NRW, 2024, Geothermie-Atlas ( <a href="https://www.geothermie.nrw.de/mitteltief">https://www.geothermie.nrw.de/mitteltief</a> ) |
| [26] | WBG GmbH, 2023, „Möglichkeiten der Geothermie im Bereich der Stadt Bonn“ im Auftrag der SWB EnW                                                     |
| [27] | Willy Kuhlmann, 2009, „Machbarkeitsstudie Tiefengeothermie“, im Auftrag der SWB EnW                                                                 |

## Quellenverzeichnis

|      |                                                                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [28] | LANUV, 2024, Wärmestudie NRW: Vorstellung der Zwischenergebnisse                                                                  |
| [29] | Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg, 2020, Handlungsleitfaden Kommunale Wärmeplanung                                |
| [30] | Undine, 2024, Informationsplattform Hydrologie                                                                                    |
| [31] | Stadt Bonn, 2024, Tiefbauamt                                                                                                      |
| [32] | LANUV, 2018, Solarstudie                                                                                                          |
| [33] | Website: Solare Wärmenetze ( <a href="http://www.solare-waermenetze.de">Solarthermie Wärmenetze - www.solare-waermenetze.de</a> ) |
| [34] | OpenGeoDataNRW, 2024, Solarkataster                                                                                               |

## Quellenverzeichnis

|      |                                                                                                                                           |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [35] | Fraunhofer ISE, 2024, Fakten zu PV in Deutschland                                                                                         |
| [36] | Website: Netzwelt, 2023, Solardach Radweg ( <a href="#">Einzigartig: In Freiburg gibt es nun den ersten Solardach-Radweg   NETZWELT</a> ) |
| [37] | Website: badenova, 2024 Solarradweg ( <a href="#">Solar-Radwegüberdachung (badenovawaermeplus.de)</a> )                                   |
| [38] | LANUV, 2023, Potenzialstudie Windenergie                                                                                                  |
| [39] | Deutsche Windguard, 2020, Vollaststunden von Windenergieanlagen an Land                                                                   |
| [40] | VPC, 2020, Konzeptstudie Wasserstoffverbrennung am Standort HKW Nord                                                                      |
| [41] | EMCEL, 2022, Potenzialstudie Wasserstoffnutzung                                                                                           |



## Quellenverzeichnis

|      |                                                                                                                     |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [42] | Stadtwerke Bonn, Heizkraftwerke und Verwertung ( SWB-Verwertung.de)                                                 |
| [43] | Website, Saisonalspeicher, Saisonale Wärmespeicher (Saisonalspeicher.de)                                            |
| [44] | DLR, 2012, Wärmespeicher und Energieeffizienz                                                                       |
| [45] | Enerko, 2020, Projektreferenzen Wärmespeicher                                                                       |
| [46] | Bundesstadt Bonn, 2022, Bevölkerungsstatistik                                                                       |
| [47] | Nationaler Wasserstoffrat, 2024, Treibhausgaseinsparungen und der damit verbundene Wasserstoffbedarf in Deutschland |
| [48] | European Hydrogen Backbone, 2024, (ehb.eu)                                                                          |
| [49] | Website: Effizienzhaus online.de                                                                                    |
| [50] | Website: Verbraucherzentrale NRW.de                                                                                 |

# Quellenverzeichnis

|      |                                                                                                                                                                                                        |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [51] | Lund Hendrik, 2014, 4th Generation District Heating ( <a href="#">4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems – ScienceDirect</a> ) |
| [52] | TU-Dresden, 2022, Wärmenetze der 5. Generation                                                                                                                                                         |
| [53] | Ariadne Report, 2021, Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045                                                                                                                                |
| [54] | Stadt Bonn Amt für Umwelt und Stadtgrün Grundwasser- und Bodenschutz                                                                                                                                   |
| [55] | Fraunhofer ISE, 2024, Agri Photovoltaik: Chancen für Landwirtschaft und Energiewende                                                                                                                   |
| [56] | Bundesstadt Bonn Amt für Umwelt und Stadtgrün, 2023, Fachbeitrag Freiflächenphotovoltaik im Rahmen der Erstellung des gesamtstädtischen Freiraumplans                                                  |
| [57] | Marktstammdatenregister, Datenabfrage am 27.05.2024 <a href="#">MaStR</a>                                                                                                                              |
| [58] | Verband der Bayerischen Energie- und Wasserwirtschaft (VBEW) e.V., 2024, Wärmepumpen an Fließgewässern                                                                                                 |
| [59] | <a href="#">Photovoltaic Geographical Information System</a> , Globalstrahlung monatlich abgerufen für Bonn im Jahr 2020                                                                               |

## Quellenverzeichnis

|      |                                                                                                                                                    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [60] | Solare Wärmenetze als eine Lösung für den kommunalen Klimaschutz, 2021 <a href="https://www.agfw.de/solnetplus">https://www.agfw.de/solnetplus</a> |
| [61] | <a href="https://solarthermalworld.org">solarthermalworld.org</a>                                                                                  |
| [62] | <a href="https://www.oekofen.com/de-at/hybrid-waermepumpe-solar/">https://www.oekofen.com/de-at/hybrid-waermepumpe-solar/</a>                      |
| [63] | Klimaplan 2035 der Stadt Bonn                                                                                                                      |
|      |                                                                                                                                                    |
|      |                                                                                                                                                    |
|      |                                                                                                                                                    |
|      |                                                                                                                                                    |
|      |                                                                                                                                                    |
|      |                                                                                                                                                    |