Fraunhofer IFAM

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM

mainova

Karen Janßen, Dr. Lena Vorspel (Fraunhofer IFAM)
Florian Koch, Markus Noga, Christoph Tries (Mainova AG)

Kommunale Wärmeplanung Frankfurt am Main

Ergebnisse Potenzialanalyse

Ziel der Potenzialanalyse

Gemäß Leistungsverzeichnis

> Ermittlung der Potenziale zur Energieeinsparung für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme in den Sektoren Haushalte, Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (GHD), Industrie und öffentliche Liegenschaften sowie Erhebung der lokal verfügbaren Potenziale erneuerbarer Energien, einschließlich Geothermie, Abwärme und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).

Fraunhofer IFAM

1: Energieeinsparung / Energieeffizienz

Fraunhofer IFAM

Wärmeverbrauchsreduktion in Gebäuden: Drei Szenarien

Energieeinsparung / Energieeffizienz

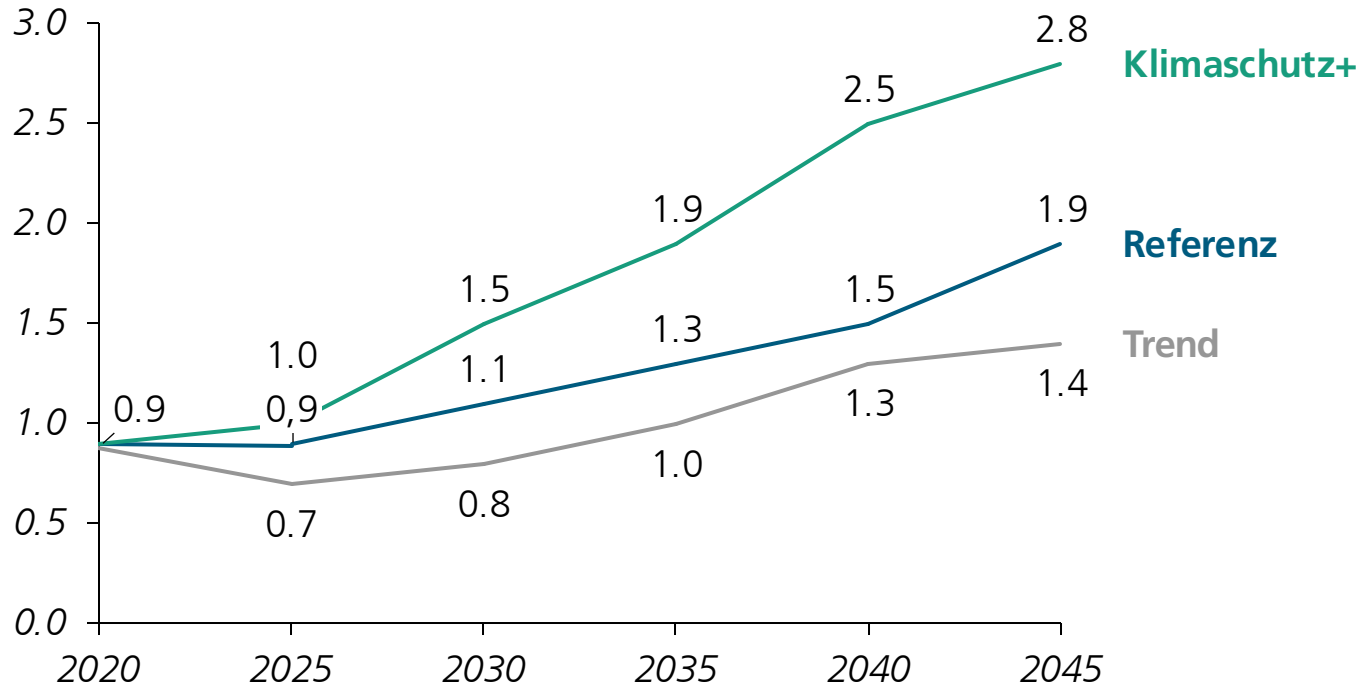
- **Trend:** Fortschreibung historischer Sanierungsaktivitäten, geringer Ambitionsgrad bei Steigerung.
- **Referenz:** Moderate Steigerung der Sanierungstätigkeit vor dem Hintergrund aktueller Ressourcenengpässe (Handwerker, Kapital).
- **Klimaschutz+:** Starke Intensivierung der Sanierungsanstrengungen; sehr ambitionierter Pfad, dennoch werden nicht alle Gebäude bis 2045 saniert.
- **Durchschnittliche Sanierungsraten 2025 bis 2045:**
  - Trend: 1,0 %
  - Referenz: 1,3 %
  - Klimaschutz+: 1,8 %
- Die durchschnittlichen Sanierungsraten liegen im gängigen Korridor von 1,0 bis 2,0 Prozent (vgl. Langfristszenarien T45 des BMWK[a)], Pfadoptionen zur Dekarbonisierung von Fraunhofer[b)]).

Für detaillierte Quellenangaben siehe Appendix:
a) Ifeu/Langfristszenarien (2022): Energienachfrage Gebäudesektor. Webinar.
b) Fraunhofer ISE/IEE (2022): Bottom-up Studie Dekarbonisierung Wärmesektor.

Wärmeverbrauchsreduktion in Gebäuden: Sanierungsraten

Energieeinsparung / Energieeffizienz

Sanierungsrate für Vollsanierungsäquivalente (KfW 55-Standard), in %



- Zur Vergleichbarkeit wird die Sanierungsrate für Vollsanierungsäquivalente (Sanierung auf KfW 55-Standard) angegeben.
- Für Frankfurt entspricht dies einer Sanierungstiefe von ca. 70 % (Durchschnitt unsanierter Gebäudebestand ca. 132 kWh/(m^2*a)).

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Wärmeverbrauchsreduktion in Gebäuden: Vier Parameter für Prognose

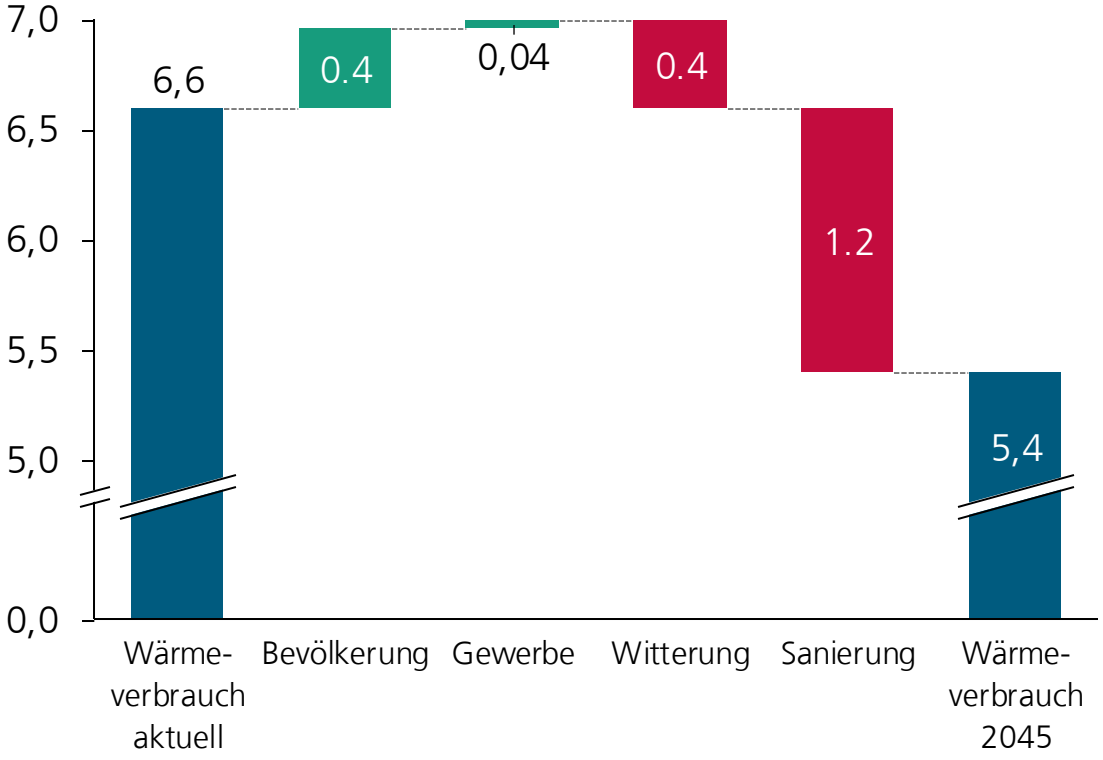
Energieeinsparung / Energieeffizienz

Prognose des Wärmeverbrauchs[1] durch vier Parameter:

- **Bevölkerung[2]:** Zunahme an Wohnflächen um ca. 5,5 %[c)] (+ 0,4 TWh/a)
- **Gewerbe- und Büroflächen[2]:** Zunahme Gewerbeflächen um ca. 0,6 %[d)] (+ 0,04 TWh/a)
- **Klimaeffekt[2]:** Lineare Abnahme der Gradtagszahlen bis zum Jahr 2045 um ca. 6 % (- 0,4 TWh/a)
- **Sanierung:** Abnahme des Wärmeverbrauchs durch Sanierung je nach Szenario (für Szenario Referenz: - 1,2 TWh/a)

Der Einfluss der Sanierung auf den Wärmeverbrauch ist im Vergleich zum Einfluss der Gradtagszahlen ca. dreimal so groß.

Wärmeverbrauch[1] für Szenario Referenz (in TWh/a)



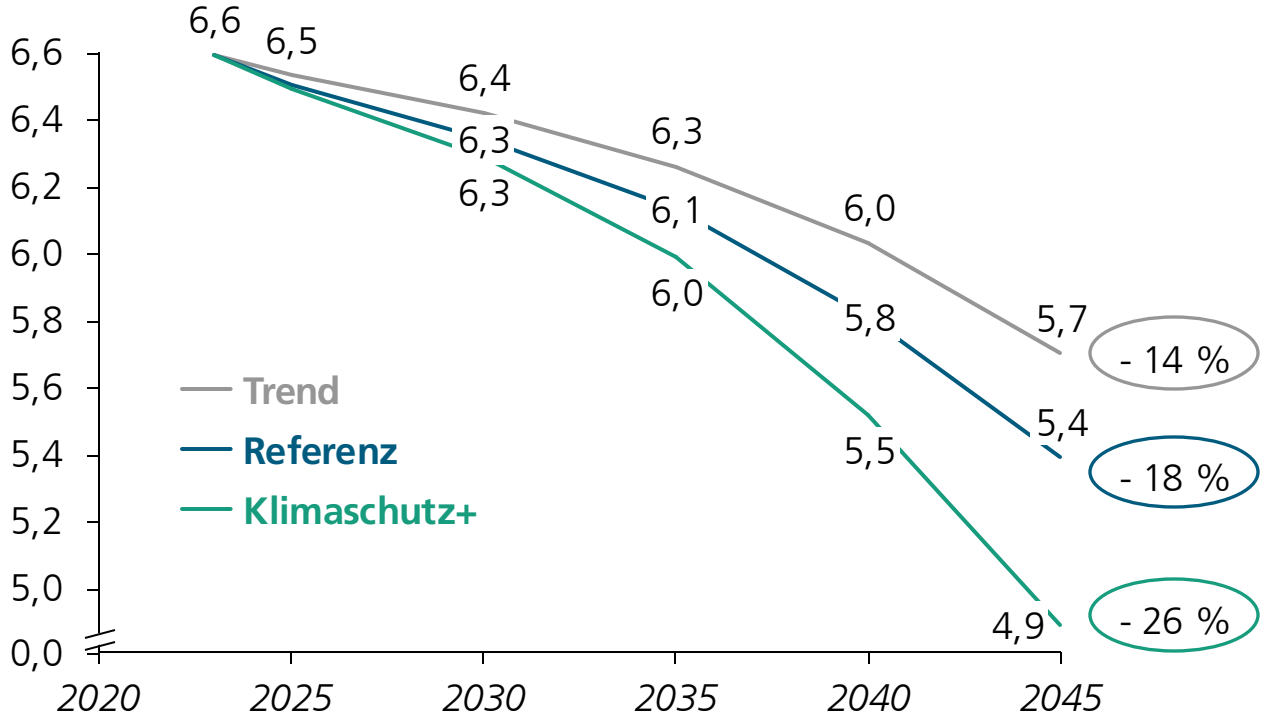
1 Für Heizung und Warmwasser 2 In allen drei Szenarien gleich angenommen
c) Stadt Frankfurt am Main (2023): Materialien zur Stadtbeobachtung 34.
d) Baasner Stadtplaner et al. (2020): Büroflächenstudie Frankfurt am Main 2019.

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Wärmeverbrauchsreduktion in Gebäuden: Energieeinsparung

Energieeinsparung / Energieeffizienz

Entwicklung Wärmeverbrauch[1] Frankfurt am Main (TWh/a)



Reduktion Wärmeverbrauch[1] bis 2045:

- Trend: - 14 %
- Referenz: - 18 %
- Klimaschutz+: - 26 %

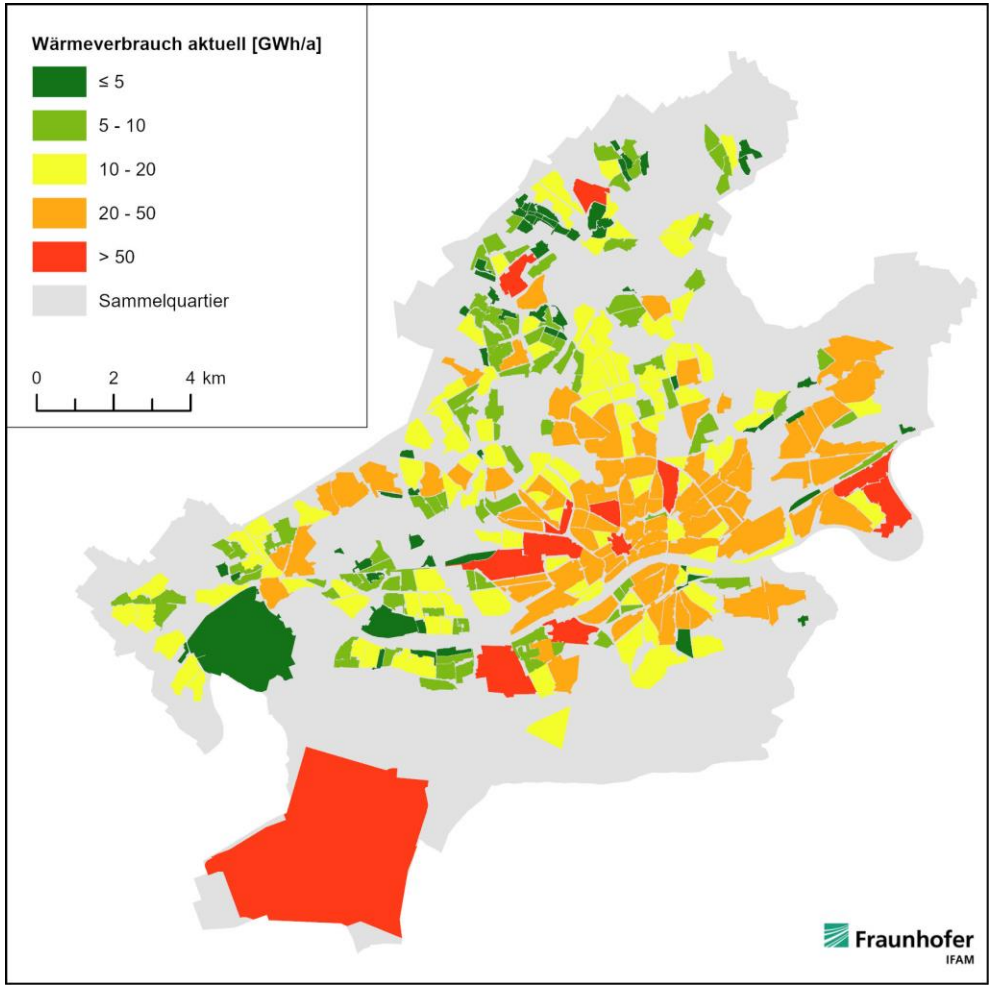
1 Für Anwendungen Heizung und Warmwasser

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Wärmeverbrauch[1] in Gebäuden

Energieeinsparung / Energieeffizienz

- Absoluter Wärmeverbrauch für Heizung und Warmwasser (in GWh/a) über das gesamte Stadtgebiet – als Ausgangsbasis zur Darstellung von Reduktionspotenzialen auf den folgenden Folien.

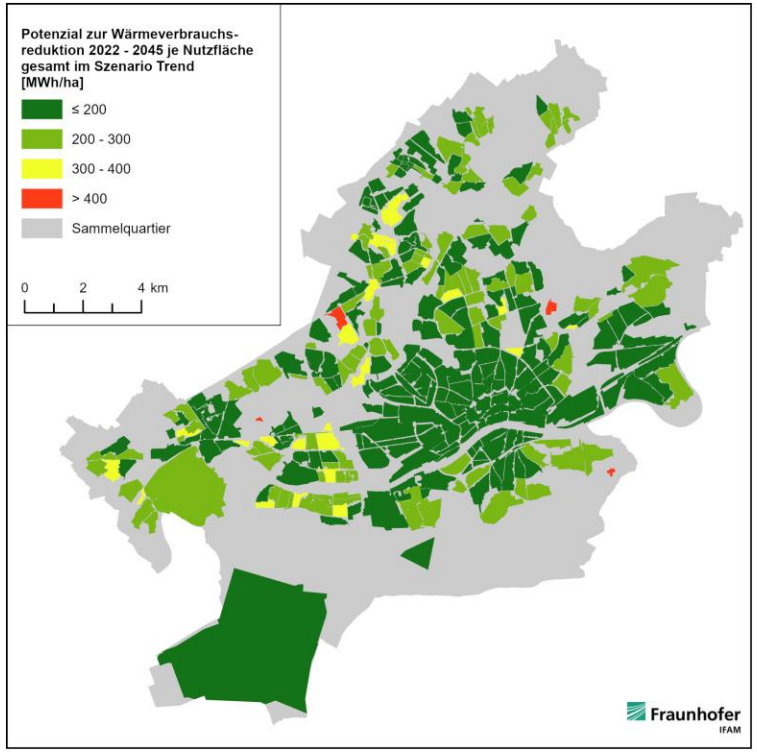


1 Für Anwendungen Heizung und Warmwasser

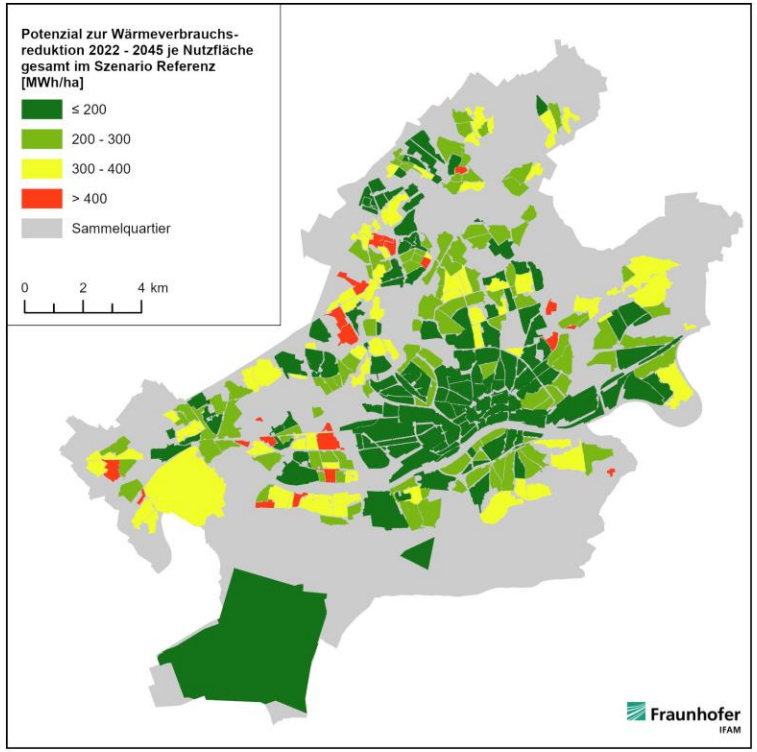
Potenziale zur Wärmeverbrauchsreduktion[1] bis 2045 (alle Gebäude)

Energieeinsparung / Energieeffizienz

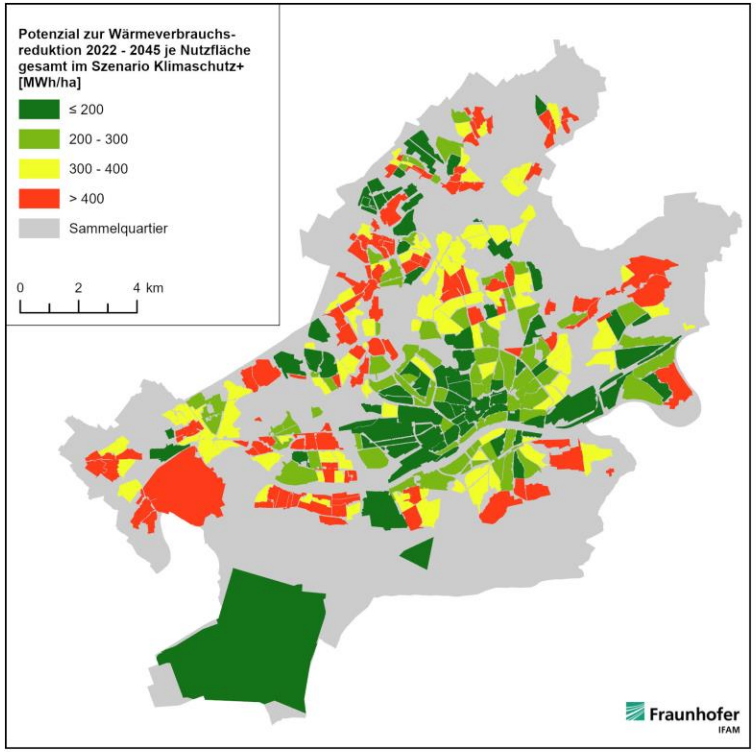
Szenario Trend



Szenario Referenz



Szenario Klimaschutz+



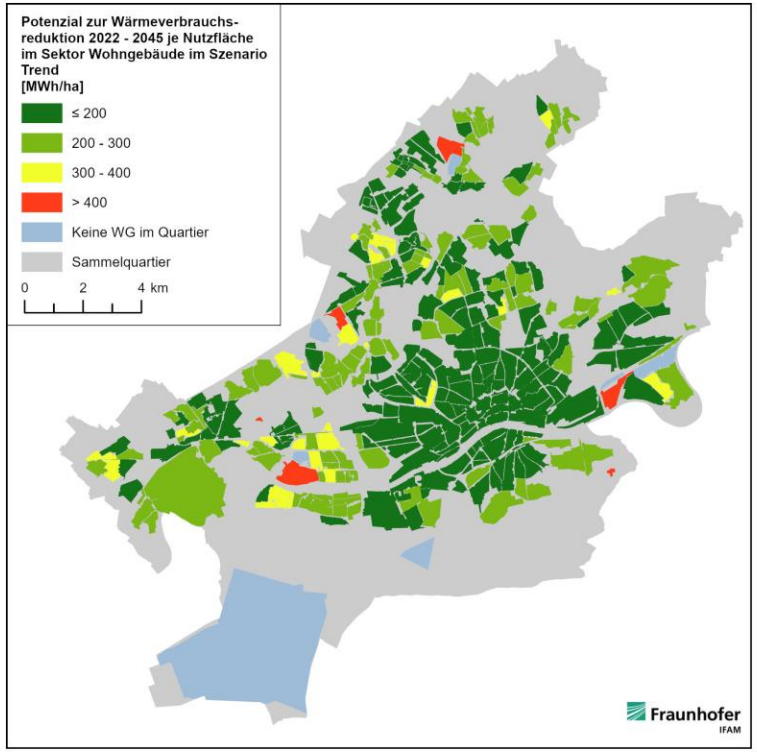
- Die größten Einsparpotenziale liegen in Stadtrandlagen; in der Innenstadt sind sie durch hohen Sanierungsstand und Denkmalschutz begrenzt.
- Je ambitionierter das Sanierungsszenario, desto größer sind die erzielbaren Einsparpotenziale.

1 Für Anwendungen Heizung und Warmwasser

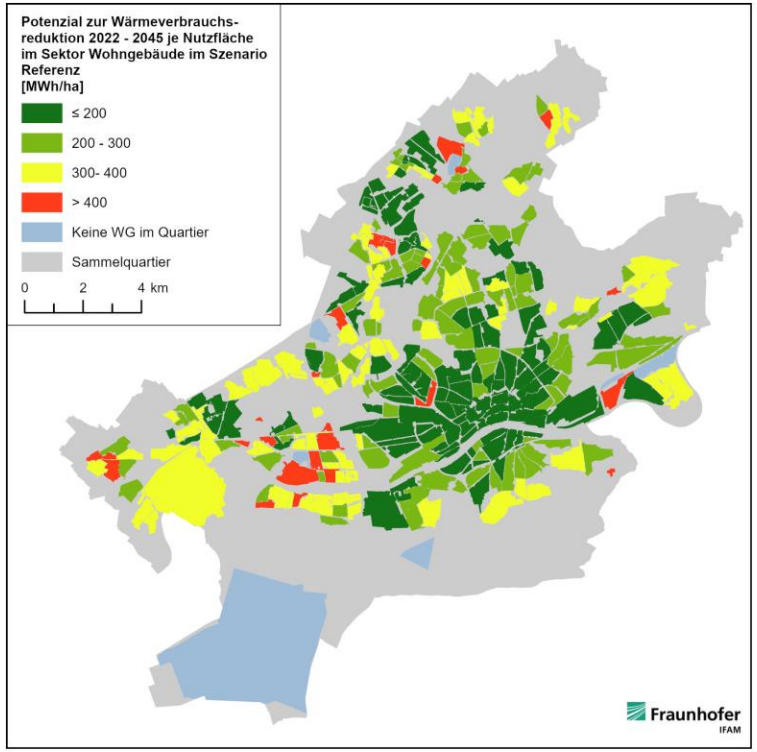
Potenziale zur Wärmeverbrauchsreduktion[1] bis 2045 (Wohngebäude)

Energieeinsparung / Energieeffizienz

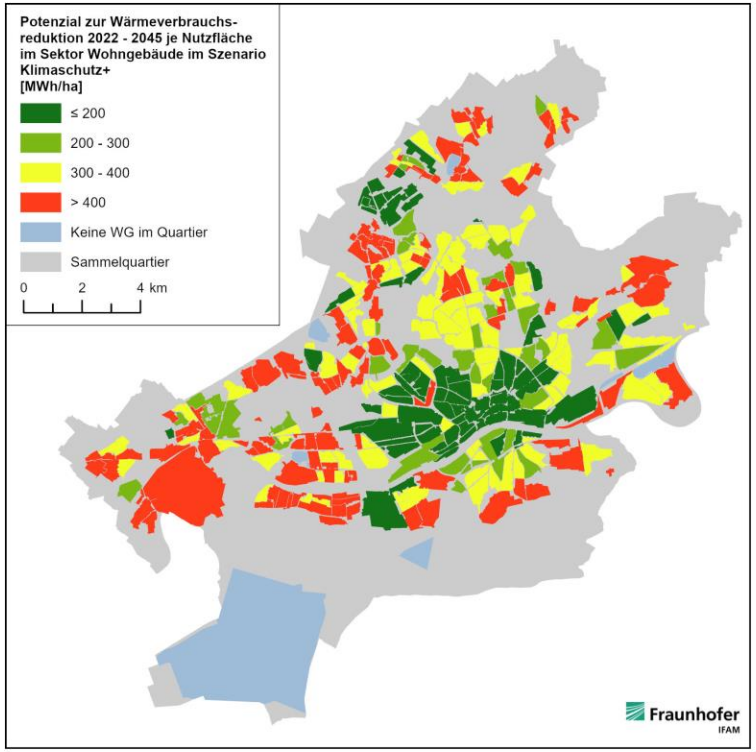
Szenario Trend



Szenario Referenz



Szenario Klimaschutz+



- Wohngebäude verursachen über die Hälfte des Wärmeverbrauchs (Heizung, Warmwasser) – entsprechend hoch sind hier die Einsparpotenziale.
- Aus diesen Ergebnissen könnten besonders effiziente Sanierungsfokusgebiete in ausgewählten Stadtrandlagen abgeleitet werden.

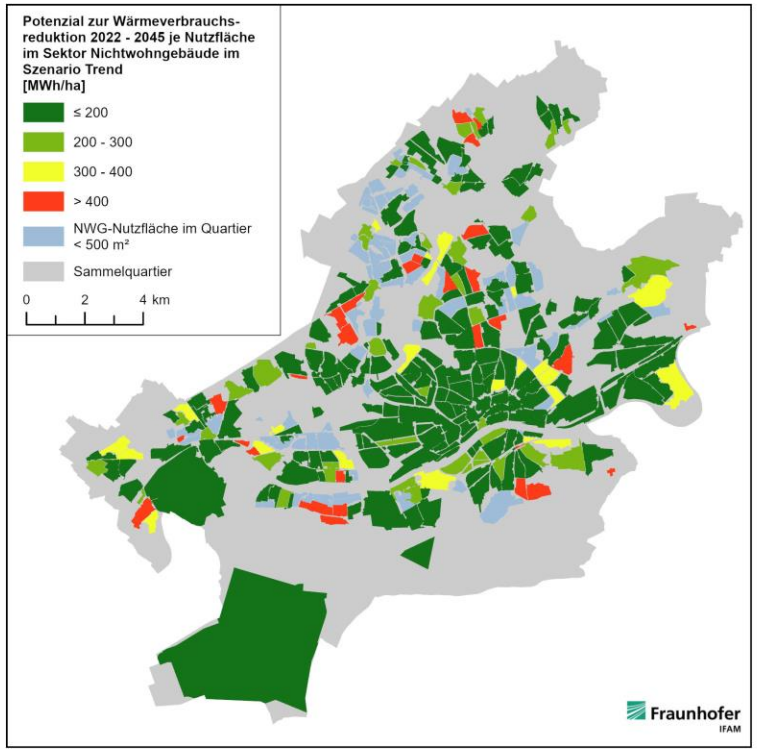
1 Für Anwendungen Heizung und Warmwasser

Fraunhofer IFAM

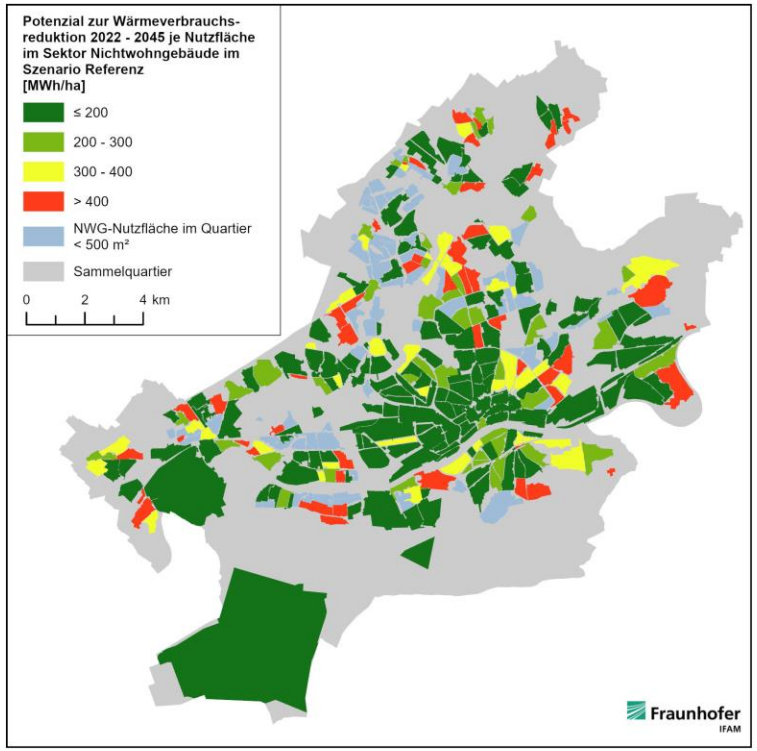
Potenziale zur Wärmeverbrauchsreduktion[1] bis 2045 (Nichtwohngebäude)

Energieeinsparung / Energieeffizienz

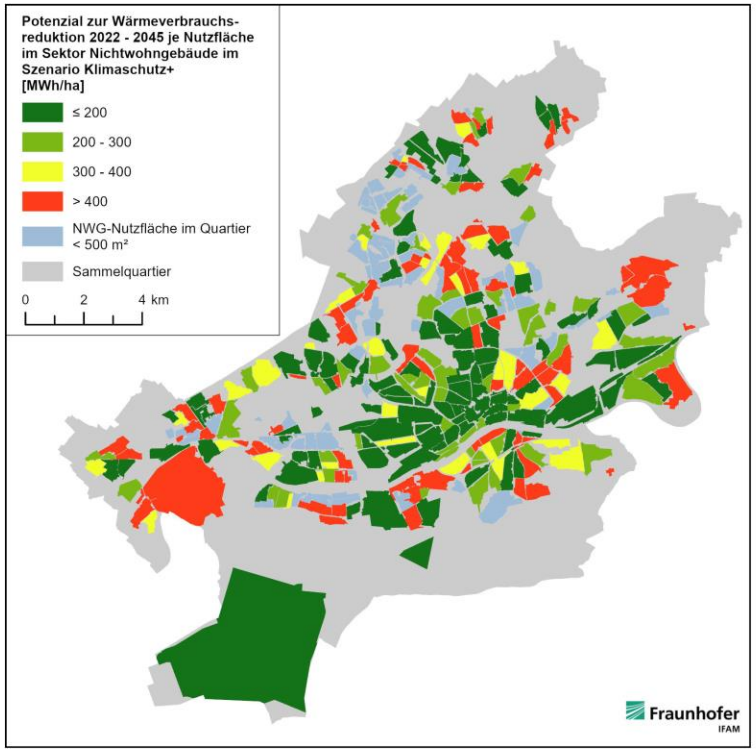
Szenario Trend



Szenario Referenz



Szenario Klimaschutz+



- Ein Großteil der Nichtwohngebäude weist bereits einen guten Sanierungsstand und entsprechend geringes Einsparpotenzial auf.
- Einzelne Gebäude oder Quartiere mit besonders hohem Einsparpotenzial für den Wärmeverbrauch könnten jedoch gezielt adressiert werden.

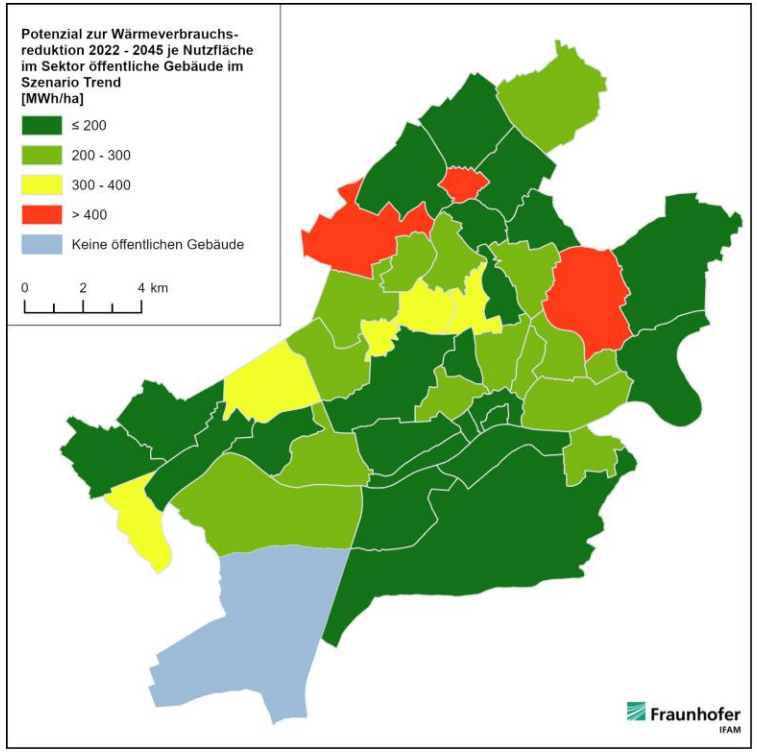
1 Für Anwendungen Heizung und Warmwasser

Fraunhofer IFAM

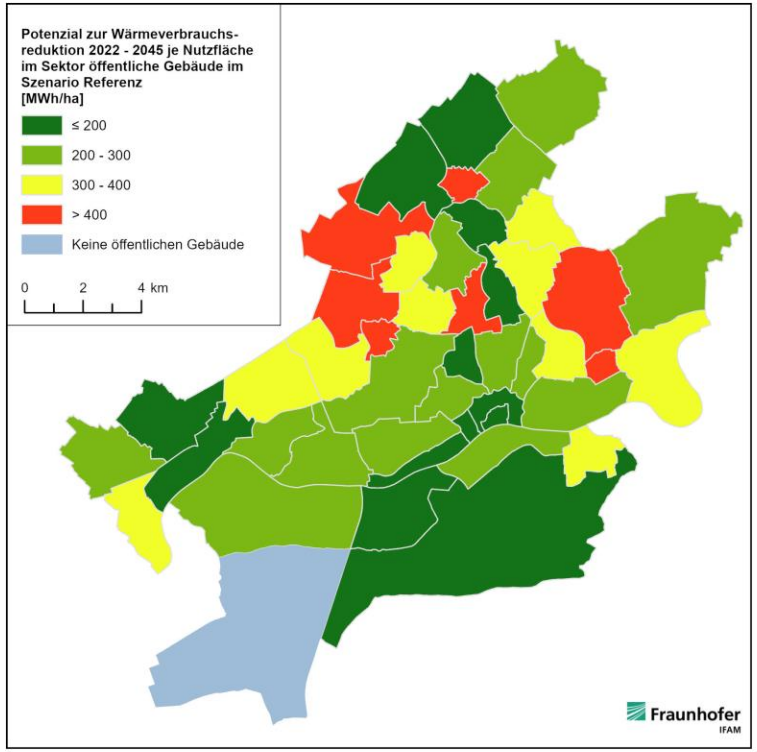
Potenziale zur Wärmeverbrauchsreduktion[1] bis 2045 (öffentliche Gebäude)

Energieeinsparung / Energieeffizienz

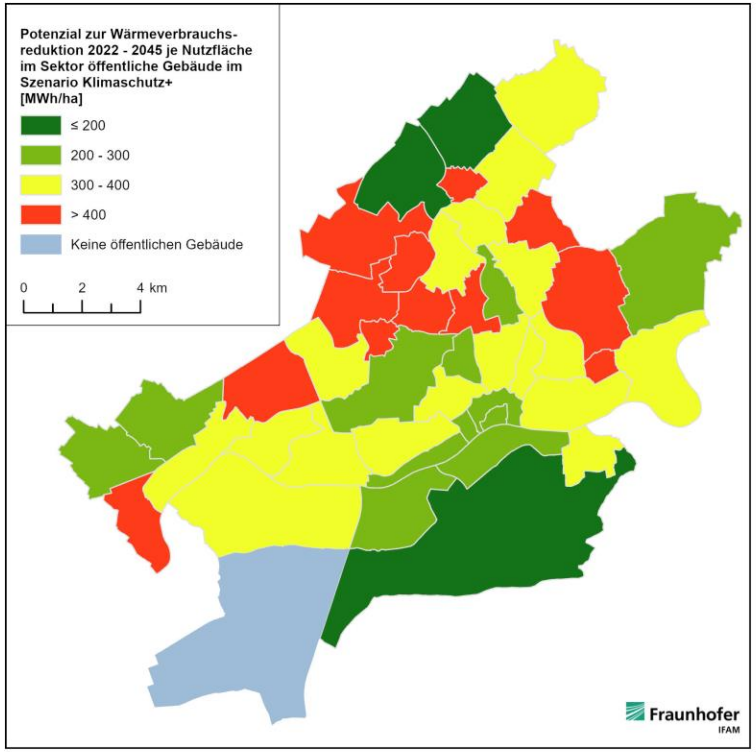
Szenario Trend



Szenario Referenz



Szenario Klimaschutz+



- Da öffentliche Gebäude nicht in jedem Quartier oder nur vereinzelt vorhanden sind, erfolgt die Darstellung nach Stadtteilen.
- Einzelne Gebäude oder Stadtteile weisen besonders hohe Einsparpotenziale auf, die fokussiert adressiert werden könnten.

1 Für Anwendungen Heizung und Warmwasser

Wärmeverbrauchsreduktion[1] in Industrie und Gewerbe: Effizienzsteigerung

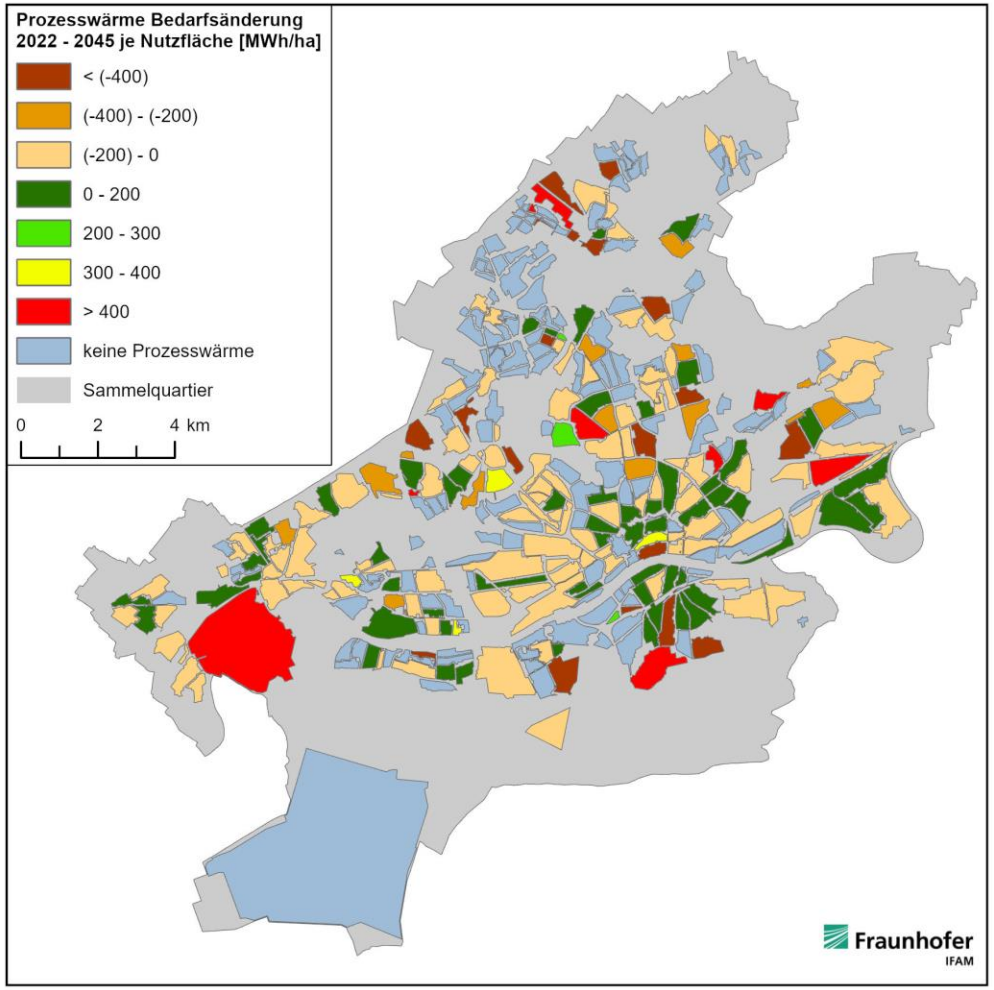
Energieeinsparung / Energieeffizienz

Prognose der Wärmeverbrauchsentwicklung für Prozesse:

- **Prozesswärme-Prognose:** Branchenspezifische Verbrauchsentwicklung entsprechend der T45-Langfristszenarien[e)] des Bundes.
  - T45-Szenarien berücksichtigen Effizienzpotenziale der Prozesse, ggf. notwendige Prozessumstellung diverser Branchen, Auswirkungen eines moderaten Wirtschaftswachstums sowie Zukunftsaussichten der unterschiedlichen Branchen.
  - Branchenspezifische Prognose wird auf alle Betriebe der jeweiligen Branche im Stadtgebiet verteilt, Aussagen zur Entwicklung von Einzelstandorten innerhalb einer Branche können nicht getroffen werden.

- **Prozesswärme-Verbrauch:** Bestimmt durch Prozesstyp, Branche und deutschlandweite Entwicklung innerhalb der Langfristszenarien, lokale Szenariorahmendaten haben keinen Einfluss.

- In einigen Fällen kann der Prozesswärmeverbrauch auch steigen (siehe negative Wärmeverbrauchsreduktion in Abbildung anbei), wenn beispielsweise das Branchenwachstum größer ist als die prognostizierten Effizienzpotenziale.



1 Für die Anwendung Prozesswärme

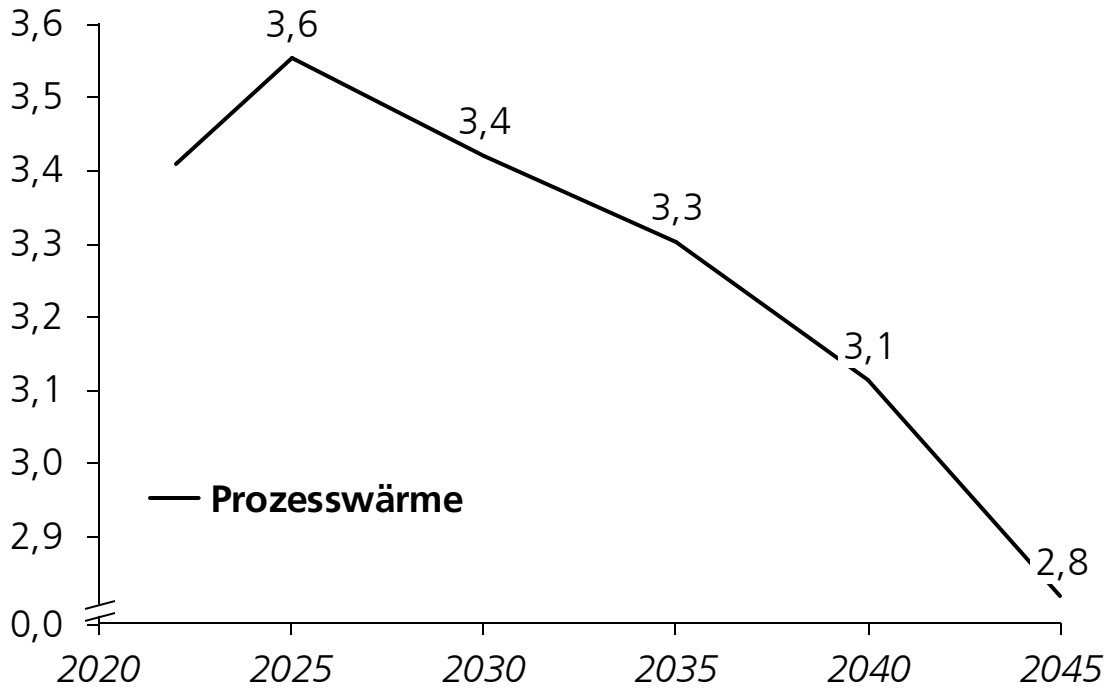
e) Consentec et al. (2023): Langfristszenarien T45-Szenarien. Modul Industriesektor.

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Wärmeverbrauchsreduktion[1] in Industrie und Gewerbe: Energieeinsparung

Energieeinsparung / Energieeffizienz

Entwicklung der Prozesswärme (TWh/a)



Prognose der Wärmeverbrauchsentwicklung für Prozesse:

- **Prozesswärme in Frankfurt:** Stark geprägt durch die Chemieindustrie, mit Abstand folgen Ernährungsgewerbe und Maschinenbau.

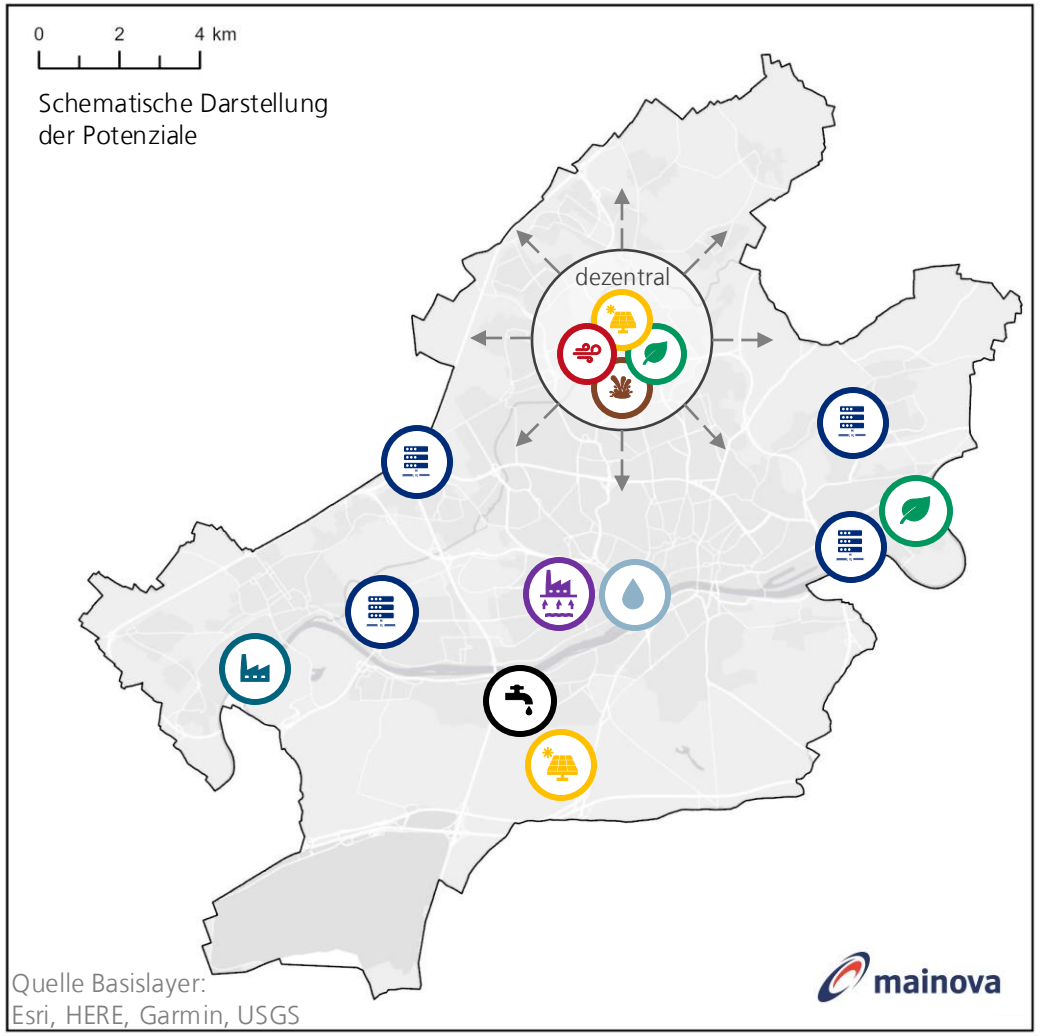
1 Für die Anwendung Prozesswärme

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

2: Potenziale zur Nutzung von Wärme aus erneuerbaren Energien

Fraunhofer IFAM

Potenziale für erneuerbare Wärme in Frankfurt



Umgebungswärme
Umgebungswärme lässt sich in ganz Frankfurt nutzen – von Luft-Wasser-Wärmepumpen für einzelne Gebäude bis zu Großwärmepumpen fürs Fernwärmenetz.

Solarthermie
Solarthermie ist auf Dächern stadtweit möglich; einzelne Park-/Rastflächen eignen sich für Freiflächenanlagen, z. B. am Waldstadion.

Biomasse
Biomasse wird aktuell im Biomassekraftwerk Fechenheim sowie einzelnen dezentralen BHKWs verwertet.

Abwärme Rechenzentren
Abwärme aus Rechenzentren kann mithilfe zusätzlicher Großwärmepumpen genutzt werden; z. B. in Rödelheim/Sossenheim, Griesheim oder Fechenheim/Seckbach.

Abwärme Industrie
Abwärme aus dem Industriepark Höchst kann künftig unter Einsatz von Großwärmepumpen ins Fernwärmenetz eingespeist werden.

Umweltwärme Flusswasser
Umweltwärme aus dem Main kann per Großwärmepumpe ins Fernwärmenetz eingespeist werden, z. B. am HKW West.

Abwärme Klärwasser
Abwärme aus Kläranlagen ist unter Einsatz von Großwärmepumpen nutzbar; ein Projekt am Klärwerk Niederrad befindet sich in konkreter Planung.

Oberflächennahe Geothermie
Erdwärme durch Sonden (ca. 100 m tief) ist dezentral nutzbar – mit Einschränkungen z. B. in Wasserschutz- oder Heilquellenschutzgebieten.

Tiefengeothermie
Frankfurt bietet gutes Potenzial für Tiefengeothermie; weitere Studien laufen (Standort für Fernwärmenetz z. B. HKW West, Nutzung für Nahwärmenetze auch möglich).

Fraunhofer IFAM

Umgebungswärme

Potenziale für erneuerbare Wärme

- Das **theoretisch-technische Potenzial** für Umgebungswärme ist **nach oben kaum abzugrenzen**: Luft-Wasser-Wärmepumpen sind grundsätzlich stadtweit einsetzbar, sowohl für Einzelobjekte als auch für Großanlagen. Das praktische Umsetzungspotenzial ist aber beschränkt.

- Für **Wärmepumpen zur Einzelobjektversorgung** ist u. a. zu berücksichtigen:
  - Platzbedarf: Begrenzter Platz auf der Grundstücksfläche kann die Installation von Außeneinheiten einschränken, insbesondere in dicht bebauten Stadtvierteln.
  - Mindestabstand: Landesvorgaben und kommunale Satzungen (z. B. Vorgartensatzung) können die Genehmigungsfähigkeit von Wärmepumpen beeinflussen.
  - Investitionskosten: Hohe Anfangsinvestitionen für Technik und ggf. Umbauten im Gebäude können die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigen.
  - Heizsystem im Gebäude: Der Betrieb ist umso effizienter, je niedriger die benötigte Vorlauftemperatur ist (besonders effizient z. B. durch Fußbodenheizung oder Niedertemperaturheizkörper). In vielen Gebäuden sind aber auch bestehende Heizkörper für die Versorgung mit einer Wärmepumpe geeignet.
- Für **Großwärmepumpen** in Nah- oder Fernwärmenetzen ist zu berücksichtigen:
  - Standortwahl und Platzbedarf: Großwärmepumpen benötigen ausreichend Platz (Luftansaugung, Technikcontainer, ggf. Pufferspeicher).
  - Lärmschutz: Geräuschentwicklung durch große Ventilatoren kann in dicht besiedelten Gebieten zu Problemen führen – ggf. Schallschutzmaßnahmen erforderlich.
  - Vorlauftemperaturanforderungen des Netzes: Luft-Wasser-Wärmepumpen liefern typischerweise max. 60–70 °C – für Wärmenetze mit >90 °C sind zusätzliche Wärmeerzeuger oder Hochtemperatur-Wärmepumpen nötig.
  - Genehmigungen und Umweltauflagen: Luftströmungen, Lärm und bauliche Eingriffe müssen genehmigt und mit Umweltauflagen abgestimmt werden.
  - Stromnetzanschlusskapazität: Die benötigte elektrische Anschlussleistung muss vom Netzbetreiber bereitgestellt werden – dies benötigt teilweise jahrelange Vorlaufzeiten und steht im Wettbewerb zu Strombedarf von anderen Stakeholdern (z. B. Elektromobilität, Rechenzentren).

- **Bewertung:** Umgebungswärme bietet technisch großes Potenzial und breite Anwendbarkeit, ist meist wirtschaftlich, aber praktisch durch die Stromnetzkapazität und teilweise einzelfallspezifische Einschränkungen begrenzt.

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Aufdach-Solarthermie

Potenziale für erneuerbare Wärme

Solar-Kataster Hessen:[f)]

- Solareignungsdaten für Gebäude:
  - Über 10 m² Grundfläche, Ausschluss von Tiefgaragen und Gewächshäusern
  - Mindest-Globalstrahlung > 850 kWh/(m²·a)
  - Modulfläche in m² → Dachfläche abzüglich pauschal 10 %

Aufdach-Solarthermie:

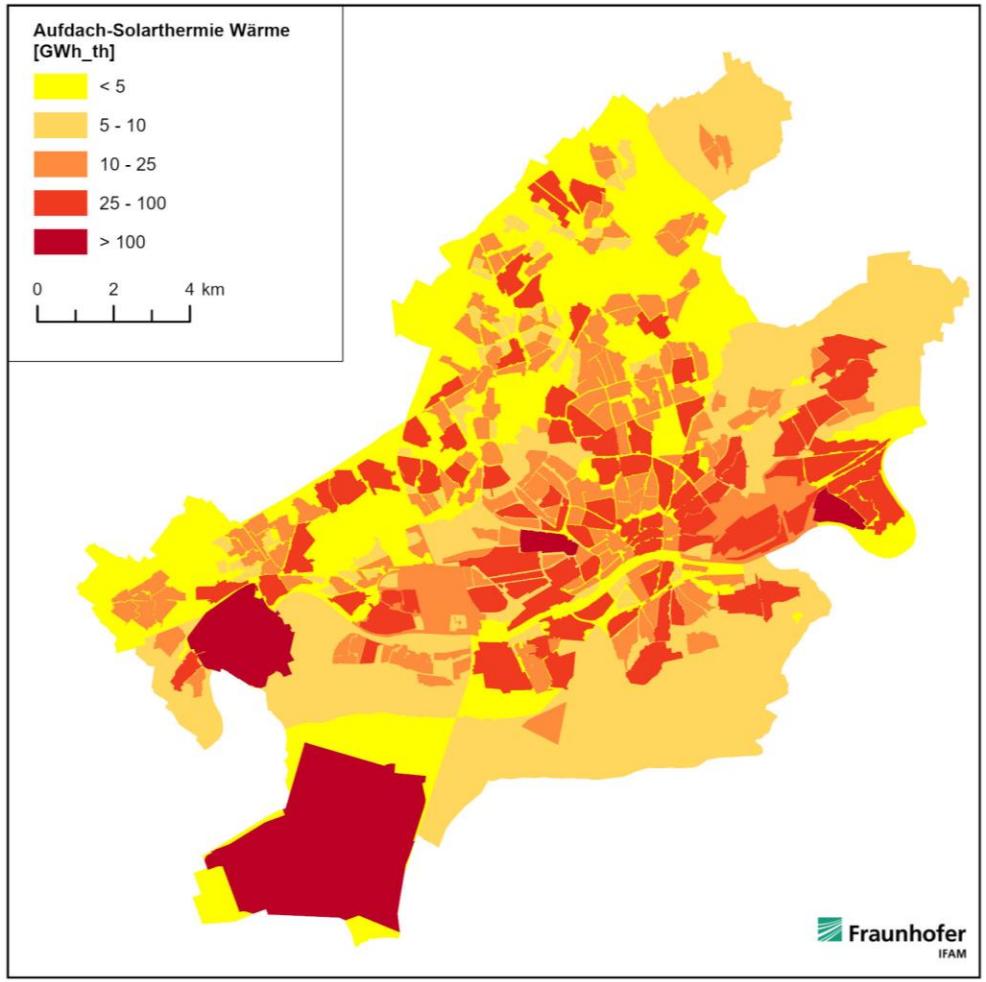
- Flachkollektoren dominieren im Aufdachbereich; Leistung: 490 kWh/(m²·a)[g)]

	Alle Gebäude	Wohngebäude	Nichtwohngebäude
Modulfläche [Mio. m²]	15,45	8,73 (57 %)	6,71 (43 %)
Solarthermie[1] [GWh_{th}/a]	**7.571**	4.279 (57 %)	3.292 (43 %)

Auswertung Marktstammdaten-Register für Photovoltaik (PV) und Solarthermie:

- Nur 3,5 % der potenziellen Modulfläche sind belegt.
- PV und Solarthermie konkurrieren um Dachflächen – PV ist meist wirtschaftlicher.

Bewertung: Aufdach-Solarthermie bietet großes Potenzial, konkurriert aber mit PV-Flächen. Primär als Ergänzung in der dezentralen Wärmeversorgung nutzbar.



1 Solarthermisches Potenzial = Modulfläche * flächenspezifische Leistung
f) LEA Hessen (ohne Jahresangabe): Solar-Kataster Hessen.
g) Langreder et al. (2024): Technikkatalog Wärmeplanung.

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Freiflächen-Solarthermie

Potenziale für erneuerbare Wärme

Freiflächen Frankfurt für Solarthermie:

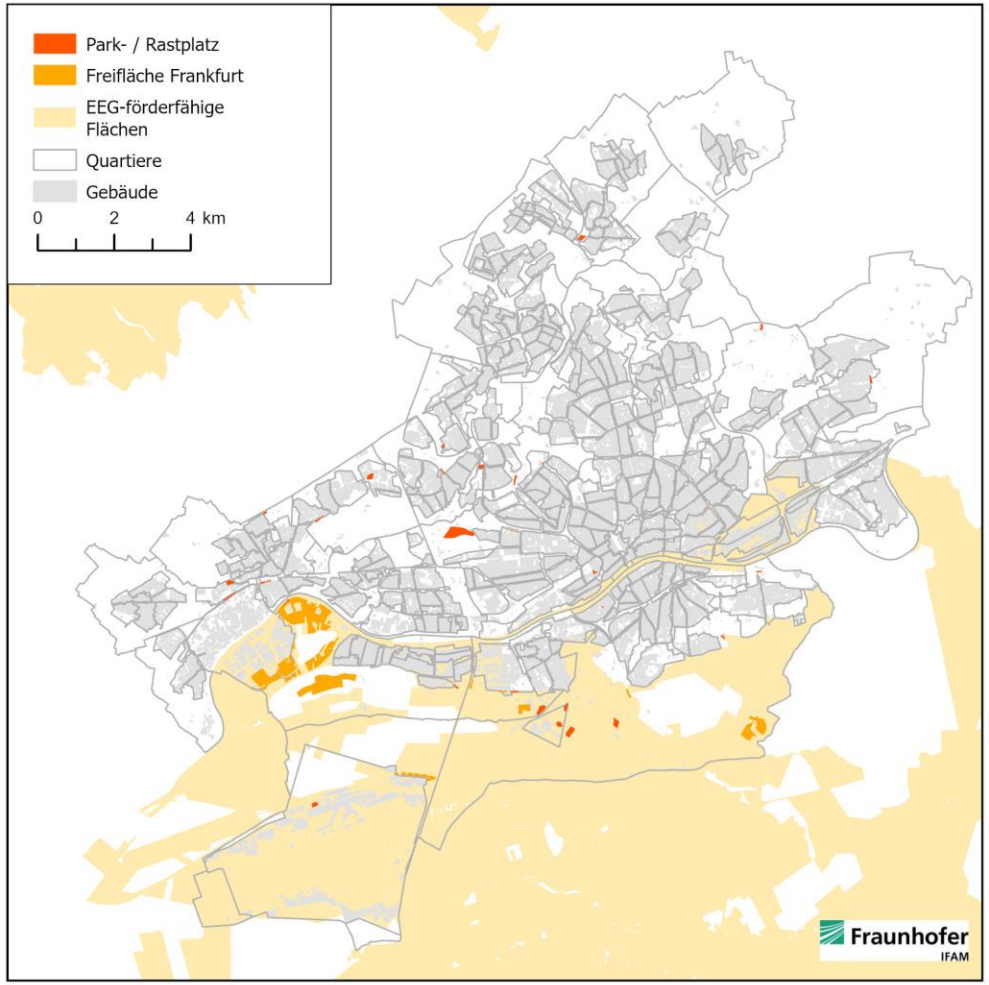
- Die EEG-förderfähigen Flächen für Solarthermie[h)] wurden durch die Basis-DLM Daten bereinigt (entfernen z. B. von Wald, Wohngebieten, Straßen, Plätzen)
- Verhältnis von Land- zu Kollektorfläche: 2,5[i)]

Park- und Rastplätze kommen zusätzlich infrage:

- Ausweisung geeigneter Park- und Rastplätze > 0,5 ha, die nicht vollständig im Baumschatten liegen (Überprüfung im Luftbild)
- Versiegelte Flächen, häufig nah an Wärmeverbrauchern
- In der Stadt fehlen Supermarkt- oder Firmenparkplätze (Potenzial unterschätzt)

	Alle Freiflächen	Freifläche	Park- und Rastplätze
Freiflächen [Mio. m^2]	2,64	2,11 (80 %)	0,53 (20 %)
Solarthermie [GWh_{th}/a]	**517**	416 (80 %)	101 (20 %)

Bewertung: Freiflächen-Solarthermie bietet ein relevantes Potenzial erneuerbarer Wärme. Punktuell könnten damit auch kleinere Nahwärmenetze ergänzt werden.



h) Landesplanung Hessen (ohne Jahresangabe): Daten für Freiflächensolaranlagen.
i) Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2019): Freiflächensolaranlagen. Handlungsleitfaden.

Biomasse – Lokale Verfügbarkeit auf dem Stadtgebiet

Potenziale für erneuerbare Wärme

Potenzial Stadt Forst[j)]

- Der Frankfurter Stadtwald bietet jährlich bis zu 23.000 Festmeter nachhaltig nutzbares Holz.
- Für die energetische Nutzung ist grundsätzlich nur nicht sägefähiges Industrieholz geeignet, sägefähiges Holz wird bevorzugt stofflich genutzt (z.B. Möbel).
- Auch bei nicht sägefähigem Industrieholz konkurriert die energetische Nutzung mit der stofflichen Verwertung von, z. B. für Spanplatten oder Hackschnitzeln.

Bewertung: Das **Potenzial** wird auf etwa 3.500 Raummeter pro Jahr geschätzt, dies entspricht **ca. 7 GWh/a** (bei einem typischen Heizwert von 4,0 kWh/kg und einer Dichte von 500 kg/m³).

Potenzial Grünpflege[k)]

- Unterschieden werden Krautiger Grünschnitt, verunreinigtes Grüngut und Grünabfall.
- Die erfasste Menge im Jahr 2024 betrug etwa 4.000 Tonnen.
- Krautiger Grünschnitt und verunreinigtes Grüngut eignen sich aufgrund von Erde, Wurzeln und Verunreinigungen nicht für die energetische Nutzung und werden i.d.R. kompostiert.
- Der Grünabfall wurde durch die Frankfurter Entsorgungs- und Service GmbH (FES) auf Eignung zur energetischen Verwertung untersucht, aber ebenfalls aufgrund von zu starker Verunreinigung ausgeschlossen.

Bewertung: Grünabfälle aus der Landschaftspflege sind **nicht geeignet** für die **energetische Nutzung**.

j) Stadt Frankfurt am Main (2025): Interne Anfrage zu Biomasse. Rückmeldung Grünflächenamt, Abteilung 67.4 StadtForst.
k) Stadt Frankfurt am Main (2025): Interne Anfrage zu Biomasse. Rückmeldung Grünflächenamt, Abteilung 67.32 Grünschnittentsorgung.

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Biomasse – Verfügbarkeit von Holzbrennstoffen bis 150 km Umkreis

Potenziale für erneuerbare Wärme

Hintergrund: Potenzialabschätzung der regionalen Verfügbarkeit von Holzbrennstoffen im Umkreis von 50 und 150 Kilometern[l)]

- Die Abbildung rechts zeigt das theoretische Biomassepotenzial je Landkreis sowie die Standorte bestehender Anlagen zur energetischen und stofflichen Nutzung in der Region.
- Unterscheidung der Holzbrennstoffe in **Altholz, Grünschnitt und Waldrestholz**.
- Ermittlung des Potenzials für Altholz und Grünschnitt in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte je Landkreis und dem spezifischen Aufkommen je Einwohner und Jahr.
- Der Anfall von Waldrestholz korreliert direkt mit dem Holzeinschlag. Da hierzu keine statistischen Daten vorliegen, erfolgt die Abschätzung über die Waldfläche je Landkreis und einem länderspezifischen Waldrestholzfaktor (z. B. Hessen: 0,5 t/ha).
- Das theoretische Gesamtpotenzial beträgt ca. 4,4 Mio. t/a (17,6 TWh/a, mit 4,0 kWh/kg).
- Im Einzugsgebiet leben 20 Mio. Menschen, demnach könnten Frankfurt knapp 4 % des Potenzials zugerechnet werden. Das entspricht **ca. 660 GWh/a**.
- Auch die Konkurrenz durch andere Holzverwendungen wie Spanplatten- und Papierwerke (siehe Abbildung) beeinflusst die Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Holzbrennstoffen.

Bewertung: Das regionale Potenzial ist hoch, aber durch Konkurrenz und unklare Wirtschaftlichkeit begrenzt; für Frankfurt ergibt sich ein relevantes, aber eingeschränkt nutzbares Angebot.

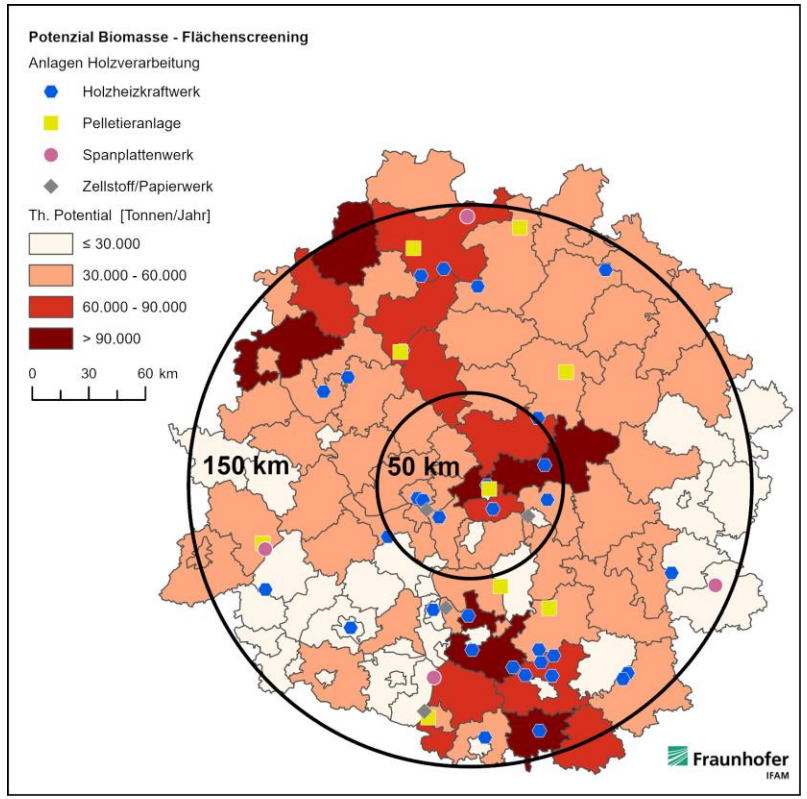


Abbildung: Theoretisches Potenzial von Altholz, Grünschnitt und Waldrestholz je Landkreis (Quelle: eigene Darstellung auf Basis von [l])

l) Mainova (2019): Abschätzung der Verfügbarkeit von Holzbrennstoffen.

Umweltwärme Flusswasser – Allgemein

Potenziale für erneuerbare Wärme

- Das thermische Potenzial der Flusswasser-Wärmepumpe ist abhängig von der Durchflussmenge und der (zulässigen) Abkühlung.
- Folgende Faktoren begrenzen die Leistungsfähigkeit der Wärmepumpe und den Einsatz im Fernwärmesystem:
  - Auflagen/Vorgaben zur maximalen Temperaturreduzierung bei Wiedereinleitung
  - Betriebseinschränkung durch Niedrigwasser oder sehr kaltes Wasser
  - Effizienz (COP) der Wärmepumpe hängt stark von der Gewässertemperatur und der erforderlichen Vorlauftemperatur für das angeschlossene Wärmenetz/die angeschlossenen Wärmesenken ab
  - Fisch- und Artenschutz
- Die durchschnittlichen Durchflussmengen im Main unterliegen jahresabhängigen Schwankungen (Extremwerte der vergangenen 5 Jahre: 125 m³/s im Jahr 2021 und 200 m³/s im Jahr 2024)
- Die Potenzialbewertung erfolgt auf Basis der Jahre 2021 und 2024 sowie unter Einbezug rechtlicher und technischer Rahmenbedingungen.
- Die Nutzung von Flusswasser-Abwärme ist auch an der Nidda denkbar – aber deutlich geringeres Potenzial wegen niedrigerem Durchfluss.
- Grundsätzlich bedarf es für den Betrieb einer Flusswasser-Wärmepumpe einer wasserrechtlichen Genehmigung zur Entnahme von Flusswasser.

Wassermenge und Temperatur des Mains im Jahr 2021

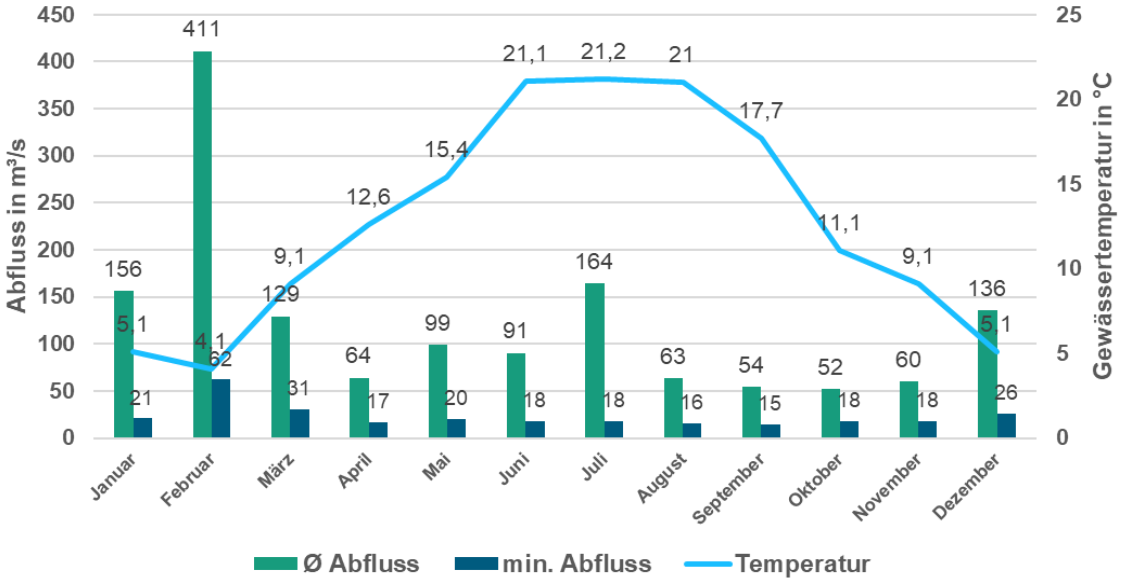


Abbildung: Parameter zu Abfluss und Temperatur des Mains an der Messstelle Osthafen[m)] (gemittelte Monatswerte und niedrigste Durchschnittsstunde, beides aus dem Jahr 2021)

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

m) Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2025): Gewässerkundliches Informationssystem, Messstelle Frankfurt Osthafen.

Umweltwärme Flusswasser – Theoretisches und nutzbares Potenzial

Potenziale für erneuerbare Wärme

- Die Abschätzung des nutzbaren Potenzials basiert auf den minimalen monatlichen Abflussraten (niedrigste Durchschnittsstunde).
- 10–20 % des vorhandenen Durchflusses sind im Regelfall für die Entnahme aus dem Fließgewässer nutzbar[n)].
- Die Temperaturänderung ist gesetzlich auf 1–3 K begrenzt[o)].
- Ø COP: 2,2 bei 100 °C Vorlauftemperatur für angeschlossenes Fernwärmenetz – abhängig von Gewässertemperatur[p)] (max. 2,5 bei Gewässertemperatur von 25 °C).
- Bei einem COP von ca. 2 ist mit einer elektrischen Anschlussleistung von etwa der Hälfte der thermischen Leistung zu rechnen.
- Zu Betriebsstunden liegen wenig Erfahrungswerte vor:
  - Schätzungen für eine Anlage zur Bereitstellung von Mittellast liegen zwischen 1.500 und 4.000 h/a.
  - Mannheim/MVV plant mit 2.000 h/a[p)].
- Die Leistung der Anlage wird auf einen durchschnittlichen Bedarf in der Heizperiode (Oktober bis März) ausgelegt.
- Beispiel in Abbildung (10 % Mindestdurchfluss in 2021, 1,5 K, 2.000 h/a): Für eine Leistung von 37 MW ergibt sich ein Wärmepotenzial von 74 GWh/a.

Leistung Flusswasser-Wärmepumpe (Beispiel für 2021)

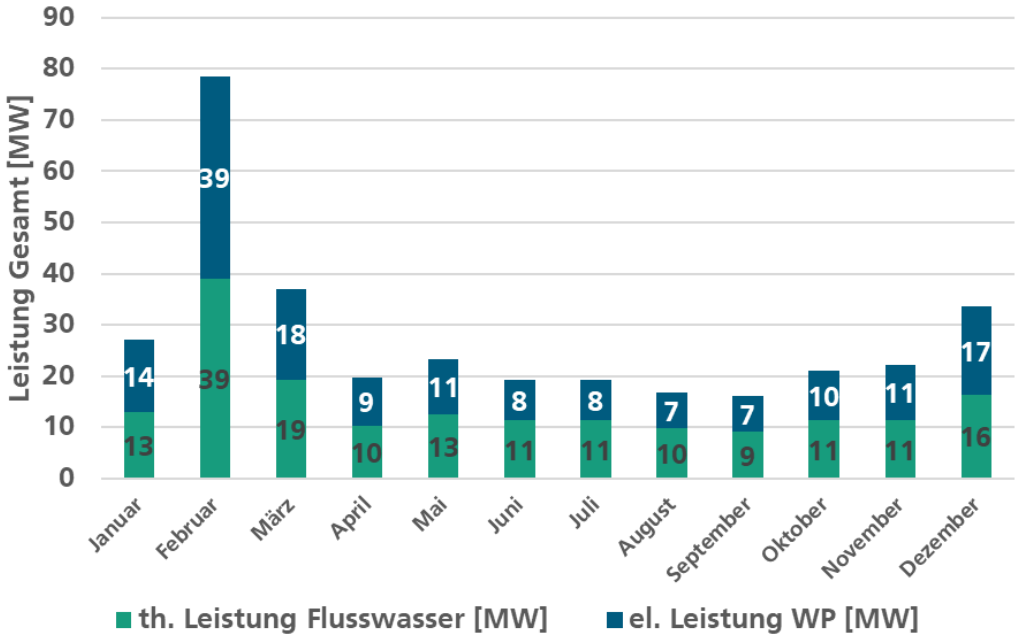


Abbildung: Gesamtwärmeleistung bei Entnahme von 10 % des minimalen Durchflusses im Jahr 2021 und Temperaturdifferenz von 1,5 K.

n) Seidel et al. (2025): Wärmegewinnung aus Flusswasser.
o) Oberflächengewässerverordnung (OGwV), Anlage 7.
p) FfE (2024): Wärmepumpen an Fließgewässern.

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Umweltwärme Flusswasser – Bewertung

Potenziale für erneuerbare Wärme

- Die Nutzung der Umweltwärme eines Fließgewässers in Verbindung mit einer Wärmepumpe bietet insbesondere am Main Potenzial für den Einsatz in der Fernwärmeerzeugung/-versorgung.
- Abhängig vom Betrachtungsjahr und Annahmen zu nutzbarem Durchfluss, Temperaturabsenkung und Betriebsstunden einer Flusswärmepumpe variieren die Ergebnisse deutlich (siehe Tabellen rechts).
- Kritisch zu sehen ist auch bei einer Flusswärmepumpe der notwendige Stromnetzanschluss. Nach aktueller Lage bei Netzanschlussbegehren wäre nur eine kleine Anlage im unteren zweistelligen MW-Bereich denkbar.

Bewertung: Flusswasser-Wärmepumpen bieten am Main ein großes Potenzial (**bis zu 740 GWh/a**). Ihre Umsetzung und Dimensionierung sind aber stark von regulatorischen Vorgaben und der Verfügbarkeit eines leistungsfähigen Stromanschlusses abhängig.

Jahr	**Leistung** [MW_{th}]	**Menge** [GWh_{th}/a]
2021	37	74
2024	124	248

Tabelle 1: Leistung und Erzeugungsmenge für 10 % Mindestdurchfluss, 1,5 K und 2.000 h.

Jahr	**Leistung** [MW_{th}]	**Menge** [GWh_{th}/a]
2021	55	220
2024	185	**740**

Tabelle 2: Leistung und Erzeugungsmenge für 20 % Mindestdurchfluss, 3,0 K und 4.000 h.

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Abwärme Ab-/Klärwasser – Hintergrund und Datengrundlage

Potenziale für erneuerbare Wärme

- Die vorliegenden Erkenntnisse zum theoretischen Potenzial der Abwasserwärmenutzung stützen sich im Wesentlichen auf die Studie "Klimaschutzteilkonzept für integrierte Wärmenutzung für die Stadt Frankfurt am Main" (Abwärmekataster)[q)] aus dem Jahr 2017.
- Ergänzend wurde eine aktuelle Studie der Mainova AG und der Stadt Frankfurt aus dem Jahr 2025 berücksichtigt[r)]. Diese untersucht die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der Nutzung von 30–60 MW Wärmeenergie aus der Abwasserreinigungsanlage (ARA) Niederrad.
- Die Bewertung des Abwärmepotenzials erfolgt auf Basis technischer Parameter wie der Nennweite des Kanals, dem mittleren Trockenwetterabfluss, der Abwassertemperatur, der Länge und Zugänglichkeit des Kanalabschnitts sowie der maximal zulässigen Temperaturabsenkung (ohne Beeinträchtigung der Klärprozesse).
- Grundsätzlich kann die Nutzung von Abwasserwärme an verschiedenen Stellen im Abwassersystem erfolgen – von Gebäuden über Kanäle und Pumpwerke bzw. Druckleitungen bis hin zu den Kläranlagen.
- Die Analyse untersucht zwei Quellen für die Abwasserwärmenutzung: das flächenhaft verfügbare Potenzial der Kanäle sowie die punktuell hohe Entzugsleistung an Klärwerken.
- Die Abwasserreinigung für Frankfurt sowie angrenzende Städte und Gemeinden erfolgt in den Abwasserreinigungsanlagen Sindlingen und Niederrad/Griesheim.

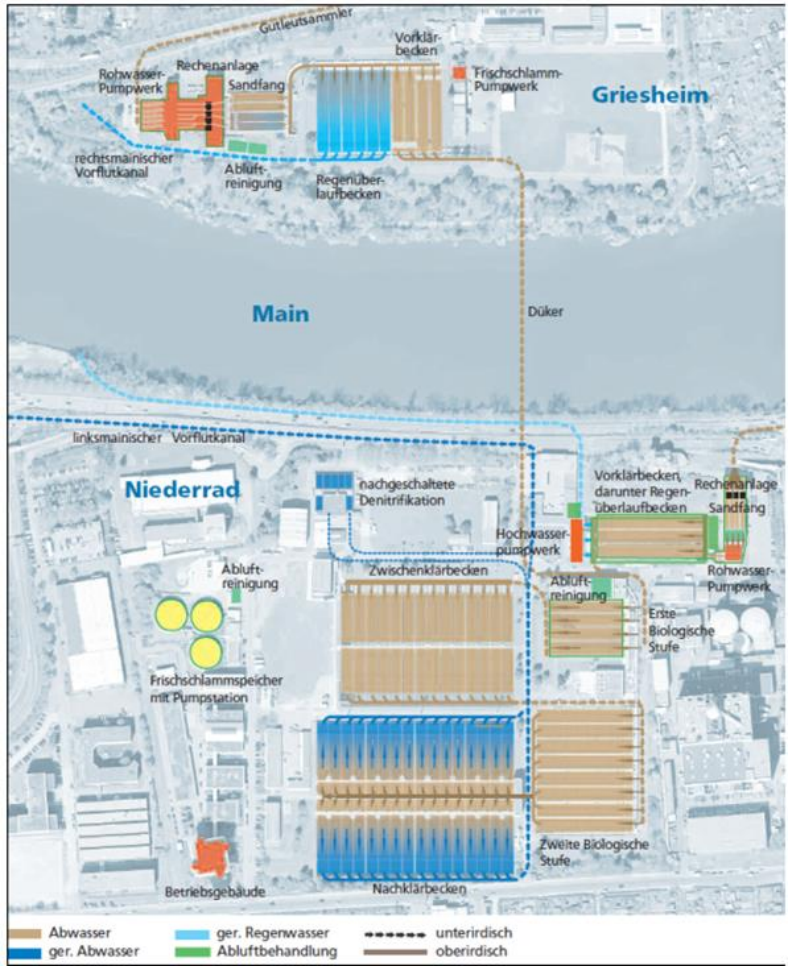


Abbildung: Kläranlage Niederrad/Griesheim, übernommen aus [q].

q) ECO.S & e.qua (2017): Klimaschutzteilkonzept Stadt Frankfurt am Main. Abwärmekataster.
r) Mainova (in Arbeit): Wastewater heat To District heat. Machbarkeitsstudie.

Abwärme Ab-/Klärwasser – Abwassernetz und -leitungen

Potenziale für erneuerbare Wärme

Technische Machbarkeit

- Der Einbau von Wärmeübertragern ist ab Nennweiten von DN 300–400 möglich. Bei hohen Leistungen ist eine Entnahme des Kanalwassers effizienter als der Einbau von Kanalwärmetauschern. Für eine wirtschaftlich sinnvolle Nutzung wurde die Analyse auf Kanalabschnitte ab DN 600 beschränkt.

Datengrundlage der Analyse

- Die Potenzialermittlung basiert auf Messwerten aus Durchleitstrecken (z. B. Offenbach, Kelkheim) und einer hydraulischen Kanalnetzberechnung.

Ergebnis

- Die Abbildung rechts zeigt die mögliche Entzugsleistung der Gefällekanäle mit einem mittleren Trockenwetterabfluss von 15 l/s (nach Leistungsstufen).

Bewertung

- Die Wärmenutzung im Abwassernetz ist technisch möglich, aber nur punktuell sinnvoll – zentrale Klärwerke bieten eine deutlich höhere Leistungsdichte.
- Neue Genehmigungen zur Abwasserwärmenutzung werden von der Stadtentwässerung Frankfurt (SEF) derzeit nur in Ausnahmefällen gewährt.
- Zudem sind Maßnahmen kostenintensiv und komplex. Eine wirtschaftliche Nutzung ist daher im Einzelfall zu prüfen.

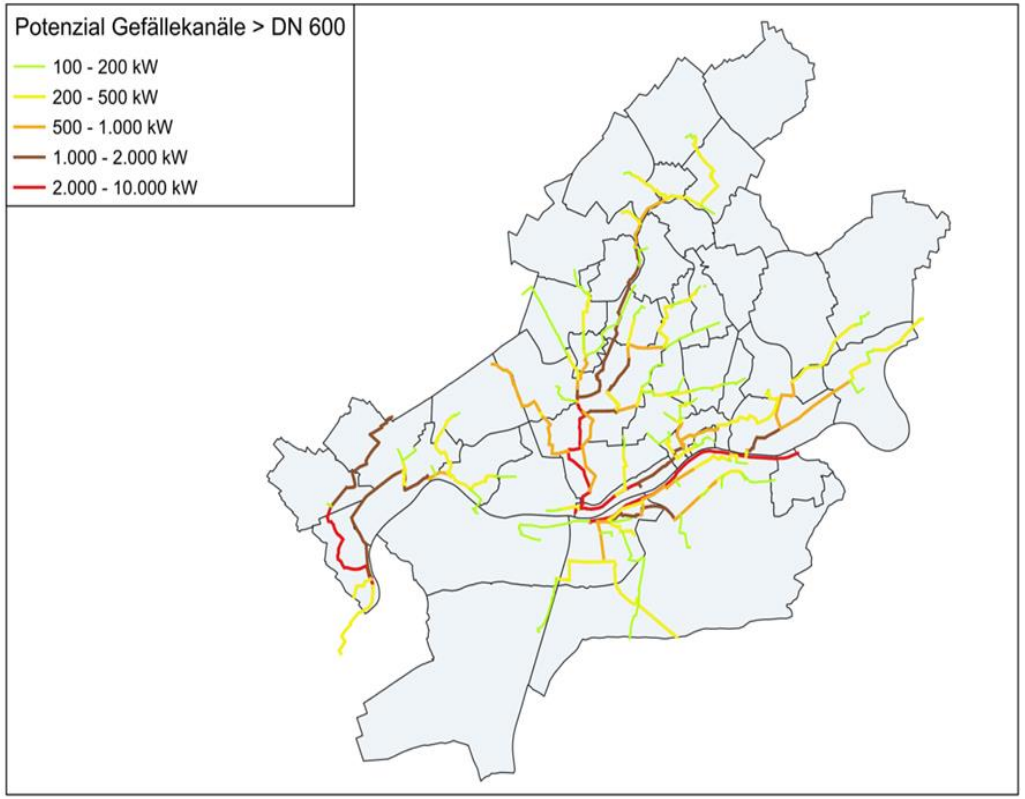


Abbildung: Potenzialkarte der Entzugsleistung in Gefällekanälen der Stadtentwässerung mit Nennweiten größer DN 600 (Quelle: eigene Darstellung auf Basis von [q]).

q) ECO.S & e.qua (2017): Klimaschutzteilkonzept Stadt Frankfurt am Main. Abwärmekataster.

Abwärme Ab-/Klärwasser – Abwasserreinigungsanlagen (ARA)

Potenziale für erneuerbare Wärme

Datengrundlage der Analyse

- Für die Potenzialbewertung wurden 2014–2015 stündliche Messdaten zu Durchfluss und Temperatur in Zu- und Ablaufkanälen zentraler Klärwerke analysiert.
- Trotz unterschiedlicher Durchflussmengen zeigen Zu- und Ablauftemperaturen der Klärwerke ein ähnliches Niveau zwischen 10 °C und 20 °C.
- Das vorhandene Temperaturniveau erlaubt eine Absenkung um bis zu 5 K – abhängig davon, ob die Wärme dem Zu- oder Ablauf entnommen wird.
- Die Berechnung der Wärmeentzugsleistung basiert auf dem täglichen Mindestdurchfluss, der um Mengenschwankungen – etwa in Folge von Niederschlägen – bereinigt wurde.

Ergebnis

- Die Tabelle rechts zeigt die potenzielle Wärmeentzugsleistung der ARA Sindlingen und Niederrad/Griesheim in Relation zu den jeweiligen Durchflussraten und Temperaturen.
- Die Nutzung von Abwärme sollte bevorzugt im Ablaufbereich der Klärwerke erfolgen, da dort höhere Abwassertemperaturen vorliegen und eine Temperaturabsenkung keine negativen Auswirkungen auf die Reinigungsprozesse hat.

Entnahme	Tagesmindest-durchfluss [l/s]	Potenzial Entzugsleistung [MW]
Griesheim-Zulauf[1]	1.200	12
Niederrad-Zulauf[1]	900	9
Niederrad-Ablauf[1]	1.800	30
Sindlingen-Zulauf	500	5
Sindlingen-Ablauf	400	7

Tabelle: Abwärmepotenzial basierend auf Tagesmindest-durchfluss und Temperaturabsenkung je Entnahmestelle.

1 ARA Griesheim und Niederrad haben einen gemeinsamen Ablauf in Niederrad

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Abwärme Ab-/Klärwasser – ARA – Einsatz in der Fernwärme

Potenziale für erneuerbare Wärme

Machbarkeitsstudie Abwasserwärmenutzung in Niederrad[r)]

- Gegenstand der Studie ist die Integration von Großwärmepumpen zur Nutzung von Klärwasser als regenerative Wärmequellen für die Einspeisung in das Fernwärmenetz.
- Die kombinierte Nutzung von Klär- und Flusswasser wurde ebenfalls untersucht, erweist sich aber aufgrund des erhöhten technischen Aufwands und geringen Zusatznutzens als nicht wirtschaftlich – empfohlen wird die alleinige Nutzung von Klärwasser, insbesondere aufgrund seiner höheren Temperatur im Winter.
- Der betrachtete Lastfall geht von einer durchschnittlichen Klärwassertemperatur von 17 °C und einem Mindestdurchfluss von 2.300 l/s aus.
- Zur Bewertung geeigneter Wärmepumpensysteme wurden verschiedene Varianten anhand von Herstellerangeboten analysiert und verglichen.
- Eine **kritische Voraussetzung** ist auch für die Nutzung von Klärwasserabwärme der **Stromnetzanschluss für die benötigte Wärmepumpe**.
- Die untersuchte Anlagenleistung von Abwasser und Wärmepumpe liegt – abhängig vom gewählten Anlagenkonzept – bei 30–60 MW_{th}.
- Ausgehend von 4.000 Vollbenutzungsstunden pro Jahr (Einsatz überwiegend in der Heizperiode) ergibt sich ein theoretisch-technisches Wärmepotenzial von **bis zu 270 GWh/a** für die Standorte **Niederrad/Griesheim.**
- Für eine ähnliche Anlage **in Sindlingen** ergäben sich weitere **bis zu 40 GWh/a**.

Bewertung: Die Nutzung von Klärwasser als Wärmequelle für Großwärmepumpen ist aufgrund höherer Wintertemperaturen und der damit verbundenen Wirtschaftlichkeit besonders attraktiv. Das technisch erschließbare Potenzial an den ARA-Standorten Niederrad/Griesheim und Sindlingen liegt insgesamt bei bis zu 310 GWh/a. Kritisch ist der erforderliche Stromnetzanschluss der Wärmepumpen.

r) Studie im Auftrag der Mainova AG (noch in Arbeit): Wastewater heat To District heat (WTD). Machbarkeitsstudie.

Geothermie – Allgemein

Potenziale für erneuerbare Wärme

Beschreibung der unterschiedlichen geothermischen Technologien gemäß Definition des Bundesverbandes Geothermie[s)]

- **Oberflächennahe Geothermie** nutzt den Untergrund bis etwa 400 m Tiefe und Temperaturen bis ca. 25 °C. Die Wärme wird aus Erdreich, oberflächennahem Gestein oder Grundwasser gewonnen und dient vor allem dem Heizen und Kühlen von Gebäuden oder technischen Anlagen. In der vorliegenden Analyse wurde das Potenzial über Erdwärmesonden ermittelt.

- **Mitteltiefe Geothermie** umfasst Tiefenbereiche von ca. 400 bis 1.000 m und Temperaturen zwischen etwa 40 und 60 °C. In diesem Bereich sind sowohl geschlossene Systeme (z. B. mitteltiefe Erdwärmesonden) als auch offene Systeme (z. B. Dubletten) möglich. Die Temperaturen reichen in der Regel nicht aus, um ohne Wärmepumpen genutzt zu werden.

- **Tiefe Geothermie** beginnt definitionsgemäß ab Tiefen von über 400 m und Temperaturen über 20 °C. In der Praxis wird darunter meist die Nutzung von Reservoiren in Tiefen über 1.000 m mit Temperaturen über 60 °C verstanden, die eine direkte Nutzung ohne Wärmepumpe ermöglichen. Die Erschließung erfolgt über Tiefbohrungen.

s) Quelle: Bundesverband Geothermie: Bundesverband Geothermie: Geothermie, Tiefe

Fraunhofer IFAM

Oberflächennahe Geothermie – Vorgehensweise

Potenziale für erneuerbare Wärme

Flächenscreening zur Potenzialermittlung für Sole-Wasser-Wärmepumpen

- Es wurden unbebaute Grundstücksflächen analysiert, auf denen Bohrungen für Erdwärmesonden möglich sind.
- Flurstücke in Wasser- oder Heilquellenschutzgebieten wurden ausgeschlossen.
- Allgemeine bauliche und technische Einschränkungen wie Mindestabstände zur Grundstücksgrenze (5 m) und zu benachbarten Anlagen (10 m)[t)] wurden berücksichtigt, individuelle Einschränkungen wie Zufahrt oder Baumbestand jedoch nicht.

Annahmen

- Die Annahme zur spez. Wärmeentzugsleistung einer Erdwärmesonde unter Berücksichtigung von Regeneration beträgt 25 W/m (Sand/Kies) bei einer Betriebszeit von 1.800 Stunden.[u)]
- Für die Berechnung wurde ein durchschnittlicher COP der Wärmepumpe von 3,0 bei einer Heiztemperatur von 60 °C und Quelltemperatur von 20 °C ($\Delta T = 40$ K) angenommen.[v)]
- Der Flächenbedarf pro Sonde beträgt 20 m²; das Potenzial wurde für jedes Flurstück individuell und begrenzt auf den jeweiligen Wärmeverbrauch berechnet.

- Die **größte Herausforderung ist die Wirtschaftlichkeit** von Erdwärmesonden mit Sole-Wasser-Wärmepumpen im Vergleich zu Luft-Wasser-Wärmepumpen.

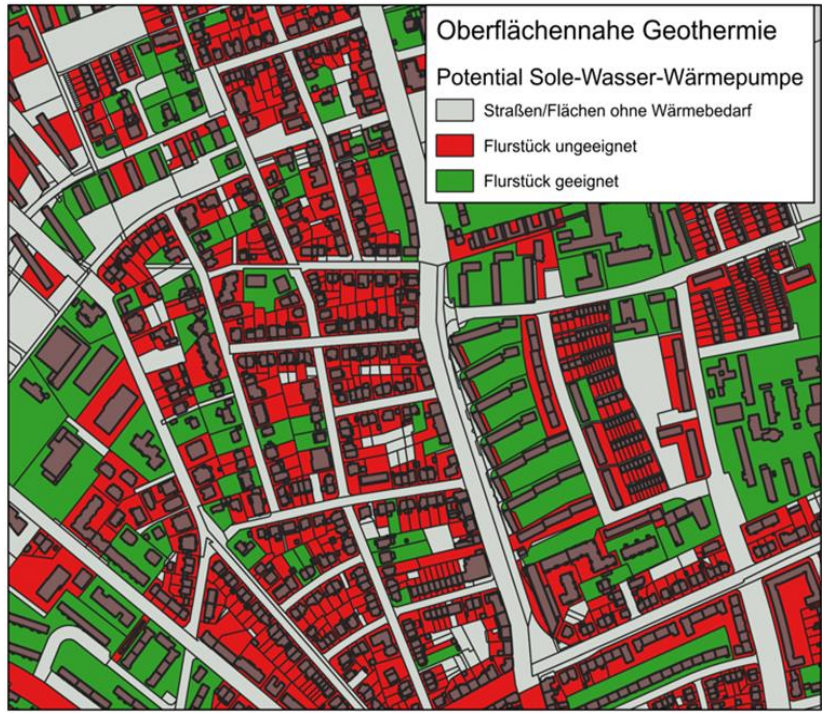


Abbildung: Exemplarische Darstellung des Flächenscreenings zum Potenzial von Sole-Wasser-Wärmepumpen (Ausschnitt einer Fläche im Stadtteil Dornbusch).

t) HLNUG (2019): Erdwärmenutzung in Hessen. Leitfaden Erdwärmesondenanlagen.
u) VDI (2020): VDI 4640 Blatt 5. Thermische Nutzung des Untergrunds.
v) GLU Freiberg (2024): Geothermische Potentialanalyse Frankfurt am Main.

Oberflächennahe Geothermie – Ergebnis

Potenziale für erneuerbare Wärme

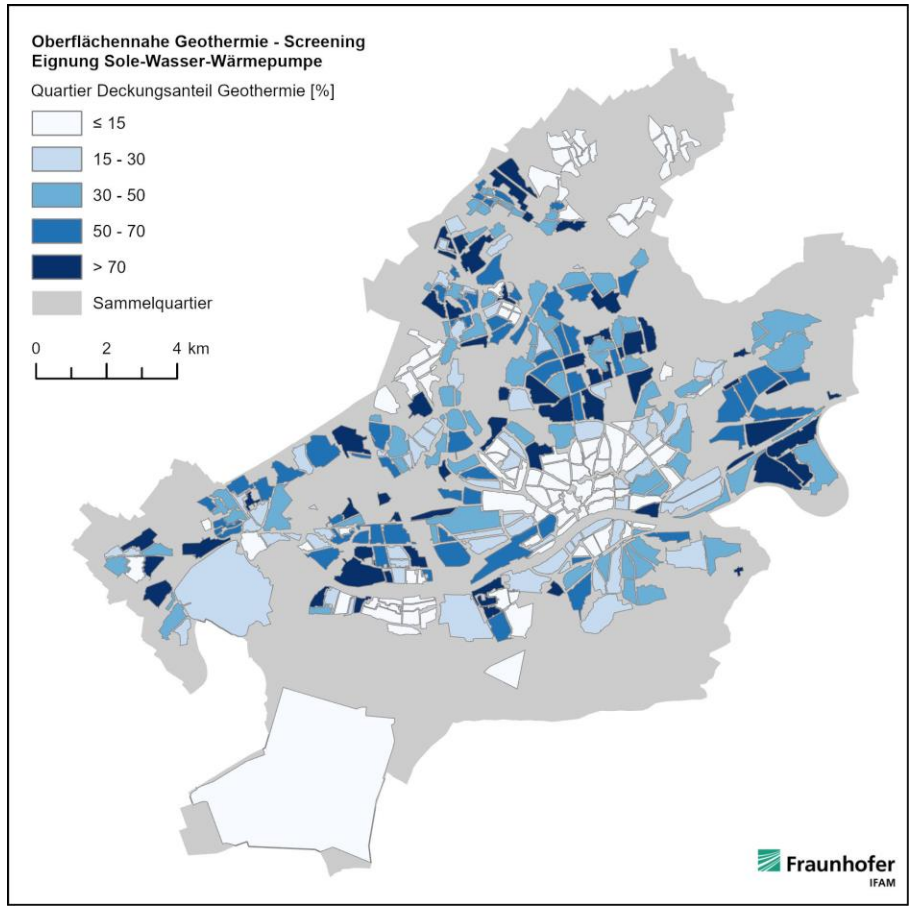
Ergebnis

- Das Potenzial beträgt für das gesamte Stadtgebiet **1.937 GWh/a**.
- Die Abbildung rechts zeigt den Anteil des Wärmeverbrauchs je Quartier, der durch oberflächennahe Geothermie gedeckt werden könnte.
- In der Innenstadt sind die Deckungsanteile wegen hoher Bebauungsdichte, wenig Freiflächen und hohem Wärmebedarf gering; in locker bebauten Quartieren mit Ein-/Zweifamilienhäusern ist das Potenzial für oberflächennahe Geothermie teils sehr hoch.

Bewertung: Das theoretische Potenzial oberflächennaher Geothermie ist beträchtlich. Für die Realisierbarkeit ist allerdings insbesondere die Wirtschaftlichkeit in der direkten Konkurrenz zu Luft-Wasser-Wärmepumpen kritisch zu bewerten.

Weitere Potenziale (in der quantitativen Analyse nicht berücksichtigt):

- Im Neubau sind Bohrungen unter Gebäuden zur Heizung und Kühlung möglich (z. B. Energiepfähle FOUR Frankfurt[w)], Erdsonden Stadtgärten am Henninger Turm[x)]).
- Unbebaute öffentliche Plätze könnten ebenfalls genutzt werden (z. B. Festplatz am Ratsweg (Dippemess-Gelände), Messeparkplatz am Rebstockpark).
- Die Nutzung von Grünflächen ist grundsätzlich auch möglich, unterliegt aber ggf. höheren Auflagen.

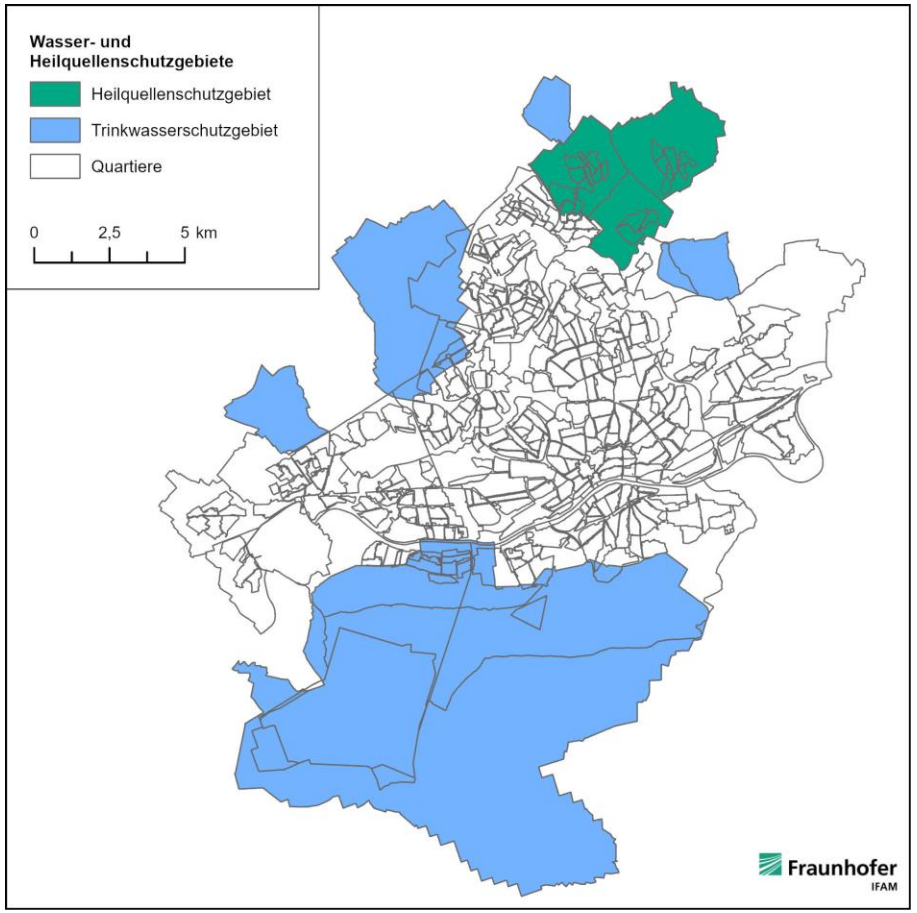


w) Gross & Partner (2022): FOUR Frankfurt nutzt Geothermie.
x) Greenhouse Media (ohne Jahresangabe): energie-experten.org. Stadtgärten am Henninger Turm heizen mit Solar- und Erdwärme.

Ausschlussgebiete – Wasser- und Heilquellenschutzgebiete

Potenziale für erneuerbare Wärme

- Wasserschutzgebiete liegen vor allem im Frankfurter Süden und Nordwesten vor.[y)]
- Im Norden (Nieder-Eschbach, Harheim, Nieder-Erlenbach) existieren Heilquellenschutzgebiete.[y)]
- In diesen Gebieten kann davon ausgegangen werden, dass Genehmigungen z. B. für Erdsonden zur Gewinnung oberflächennaher Geothermie nicht erteilt werden.



y) HLNUG (ohne Jahresangabe): Bewirtschaftungsgebiete Hessen.

Mitteltiefe Geothermie – Anwendungsfall Fernwärme

Potenziale für erneuerbare Wärme

Gutachten der GLU Freiberg zur Geothermienutzung für Fernwärme[v)]

- Die Abbildung rechts zeigt die untersuchten, ausreichend großen Produktionsstandorte im Stadtgebiet, die entsprechend ihrer Lage zu 13 Clustern zusammengefasst sind.
- Zur Erreichung der Systemtemperatur eignet sich die hydrothermale Dublette mit einer Förderbohrung zur Entnahme und einer Injektionsbohrung zur Rückführung des abgekühlten Thermalwassers (bis 1.250 m Bohrtiefe, ≥ 500 m Abstand).
- Das Erschließungsziel ist der Rotliegend-Sandstein, der im Stadtgebiet in mittlerer Zielteufe von 350–1.050 m liegt und eine Quelltemperatur von etwa 30–60 °C erwarten lässt.
- Bei 20 K Temperaturdifferenz und 8.000 h Betriebszeit ergibt sich je Standort eine Wärmeentzugsleistung **von 0,1–1,2 MW**.
- Der **Standort Rennbahnpark** bietet mit **1,2 MW** thermischer Leistung und **10.000 MWh/a** (bei ca. 60 °C Quelltemperatur) die besten Bedingungen.

Bewertung: Die Entzugsleistung auf Basis des GLU-Gutachtens reicht für eine sinnvolle Einbindung in das Frankfurter Fernwärmenetz nicht aus. Es bietet jedoch Potenzial für den Aufbau neuer Nahwärmesysteme. Für eine genauere Bewertung sind Machbarkeitsstudien und gezielte Aufsuchungen nötig.

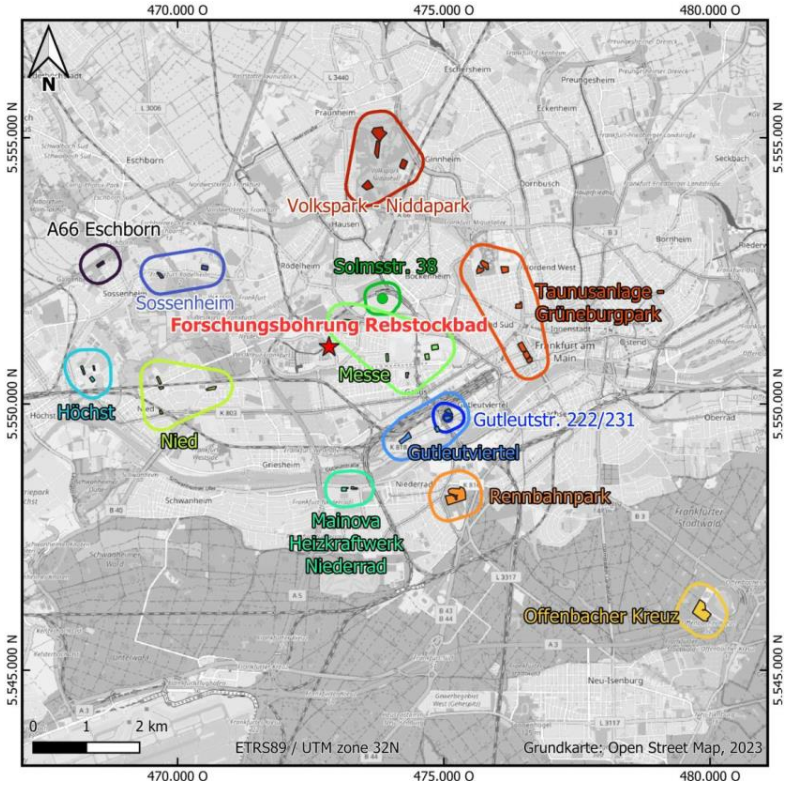


Abbildung: Untersuchungsstandorte im Stadtgebiet Frankfurt, übernommen aus [v].

v) GLU Freiberg (2024): Geothermische Potentialanalyse Frankfurt am Main.

Fraunhofer IFAM

Mitteltiefe Geothermie – Anwendungsfall Nahwärme

Potenziale für erneuerbare Wärme

Fallstudie Tropicarium Palmengarten[v)]

- Untersuchung der Nutzung eines Erdwärmesondenfeldes (EWS) für Nahwärme.
- Der in der Studie angenommene Wärmebedarf des Tropicarium beträgt 3.000 MWh/a.
- Angesetzt sind rund 50 Doppel-U-Erdwärmesonden mit 400 m Tiefe, einer Zieltemperatur von 38 °C und einer spezifischen Entzugsleistung von 90 W/m.
- Das EWS liefert ca. 2.300 MWh/a (1,5 MW thermisch), davon werden rund 700 MWh/a durch eine Wärmepumpe beigesteuert.
- Der Flächenbedarf liegt bei etwa 10.000 m² (≈ 1,5 Fußballfelder).
- Im Cluster „Taunusanlage – Grüneburgpark“(bester geothermischer Gradient) stehen geeignete Flächen z. B. im Grüneburgpark, der Taunusanlage und am Campus Westend zur Verfügung.

Bewertung: EWS-Felder sind eine interessante Option für Standorte mit lokal günstigen geothermischen Bedingungen (hoher Gradient und Entzugsleistung), etwa zur Versorgung von Gewerbeobjekten, Quartieren oder kalten Nahwärmenetzen. Einschränkungen ergeben sich durch den hohen Flächenbedarf (z. B. 10.000 m² für 1,5 MW) und die vergleichsweise hohen Erschließungskosten für Tiefenbohrungen und Sonden.

v) GLU Freiberg (2024): Geothermische Potentialanalyse Frankfurt am Main.

Tiefengeothermie – Geologie in der Region

Potenziale für erneuerbare Wärme

Tiefenbohrungen im Oberrheingraben:[z)]

- In einer Tiefe ab 3.000 m werden im Raum Frankfurt, am nördlichen Rand des Oberrheingrabens, Untergrundtemperaturen von 130–150 °C erwartet.[z)]
- Solche Temperaturen wären grundsätzlich geeignet, um einen wirtschaftlich relevanten Beitrag zur Fernwärmeversorgung zu leisten, da dafür mindestens 100 °C erforderlich sind.
- Die Erschließung dieses tiefengeothermischen Potenzials ist jedoch mit sehr hohen Bohrkosten sowie erheblichen Bohr- und Fündigkeitsrisiken[1] verbunden.

Geothermie-Erkundung per Gradiometrie-Befliegung:

- Ziel des Forschungsprojekts (Durchführung noch im Jahr 2025) ist die Erstellung eines 3D-Untergrundmodells für das hessische Erlaubnisfeld „ORG Plus“.
- Die flugzeuggestützte Messung soll geothermisch geeignete Strukturen bis 4.000 m Tiefe identifizieren und die Risikoabschätzung für künftige Projekte verbessern.

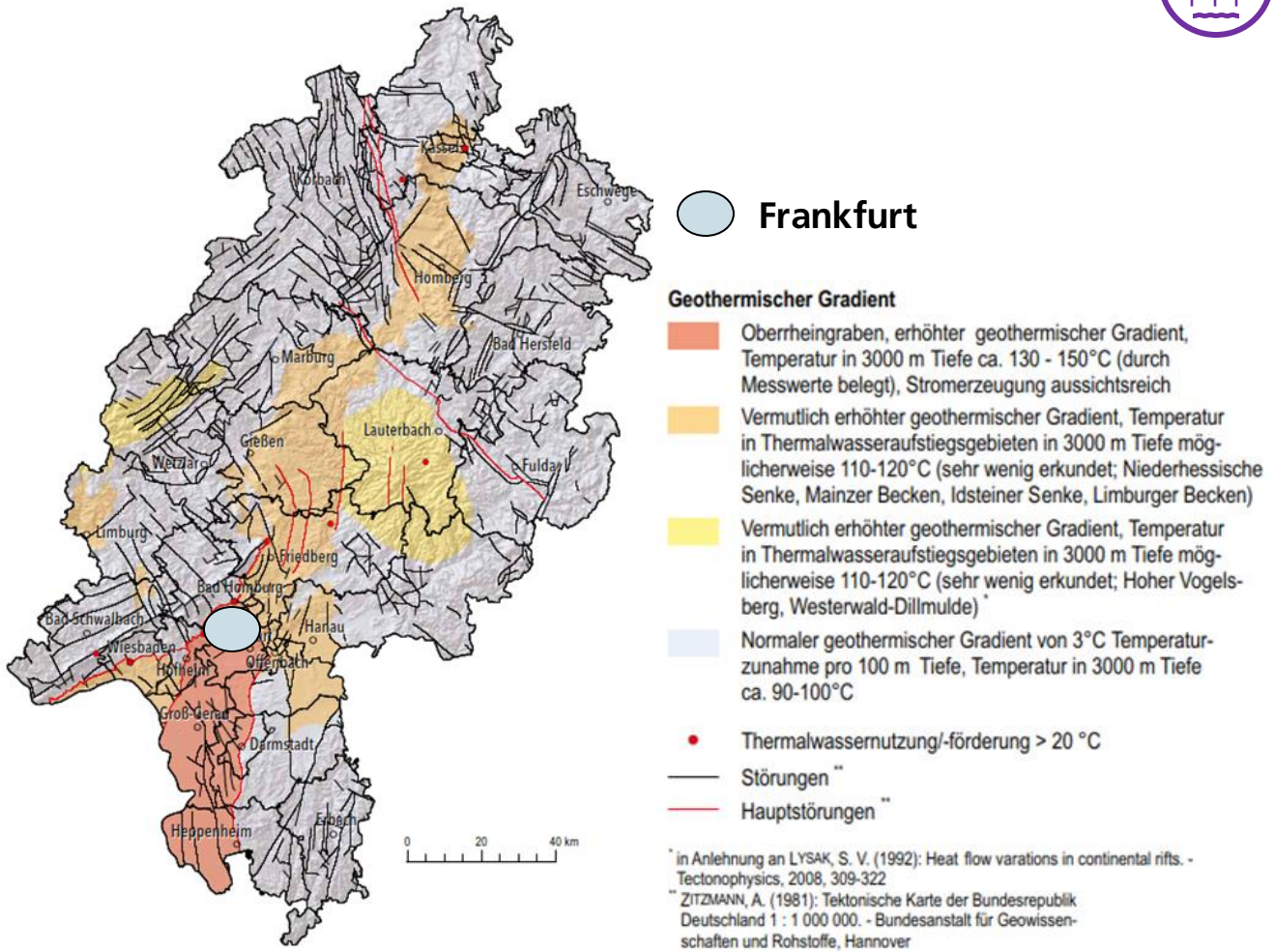


Abbildung: Geologische Strukturräume mit nachgewiesenem und vermutetem tiefengeothermischem Potenzial in Hessen, übernommen aus [aa].

1 Fündigkeit: Ergiebigkeit der Bohrung im Hinblick auf ausreichend hohe Temperaturen und Wassermenge (Leistung).

z) HLNUG (2010): Tiefengeothermisches Potenzial in Hessen.

aa) HLNUG (ohne Jahresangabe): Tiefe Geothermie.

Fraunhofer IFAM

Tiefengeothermie – Verfahren

Potenziale für erneuerbare Wärme

Zur Nutzung tiefer geothermischer Energie stehen zwei Verfahren zur Verfügung: die Gewinnung aus Thermalwasser und die Hot-Dry-Rock-Technologie, bei der Wärme aus heißem Tiefengestein erschlossen wird.

Thermalwasser-Verfahren:

- Funktionsweise: Nutzung von natürlich vorkommendem heißem Tiefenwasser (Sole), das über Bohrungen zur Wärmegewinnung genutzt wird.
- Vorteile: Bewährtes Verfahren, hohe Effizienz durch direkt nutzbare Wärmequelle (Sole).
- Nachteile: Abhängig von Vorkommen heißen Thermalwassers, hohe Fündigkeitsrisiken.

Hot-Dry-Rock (HDR)-Verfahren:

- Funktionsweise: Geschlossener Kreislauf mit vertikalen und horizontalen Bohrungen. Ein Arbeitsmedium (z. B. Wasser) zirkuliert und nimmt Wärme aus dem heißen Tiefengestein auf. Kein direkter Kontakt mit Tiefenwasser oder Interaktion mit Tiefengestein notwendig.
- Vorteile: Ohne Thermalwasser nutzbar, Nutzung tieferer (heißerer) Gesteinsschichten möglich.
- Nachteile: Technisch komplexer, höhere Investitionskosten, wenig Praxiserfahrung.
- Auswahl Praxisbeispiele:
  - Geretsried (bei München): Strom- und Wärmeerzeugung aus 4.500 m Tiefe.[ab)]
  - Hannover: Projekt zur Dekarbonisierung der Fernwärme gestartet.

Für Frankfurt ist die Mainova AG im Austausch mit einem Projektpartner zur Nutzung von Hot-Dry-Rock-Technologie für Tiefengeothermie. Hierfür wird zeitnah eine Machbarkeitsstudie durchgeführt. Potenzialbestimmungen oder Wirtschaftlichkeitsbewertungen liegen bisher nicht vor.

ab) BMWE (2024): Erfolgreicher Feldversuch zum Hot-Dry-Rock-Verfahren.

Fraunhofer IFAM

3: Potenziale zur Nutzung unvermeidbarer Abwärme

Fraunhofer IFAM

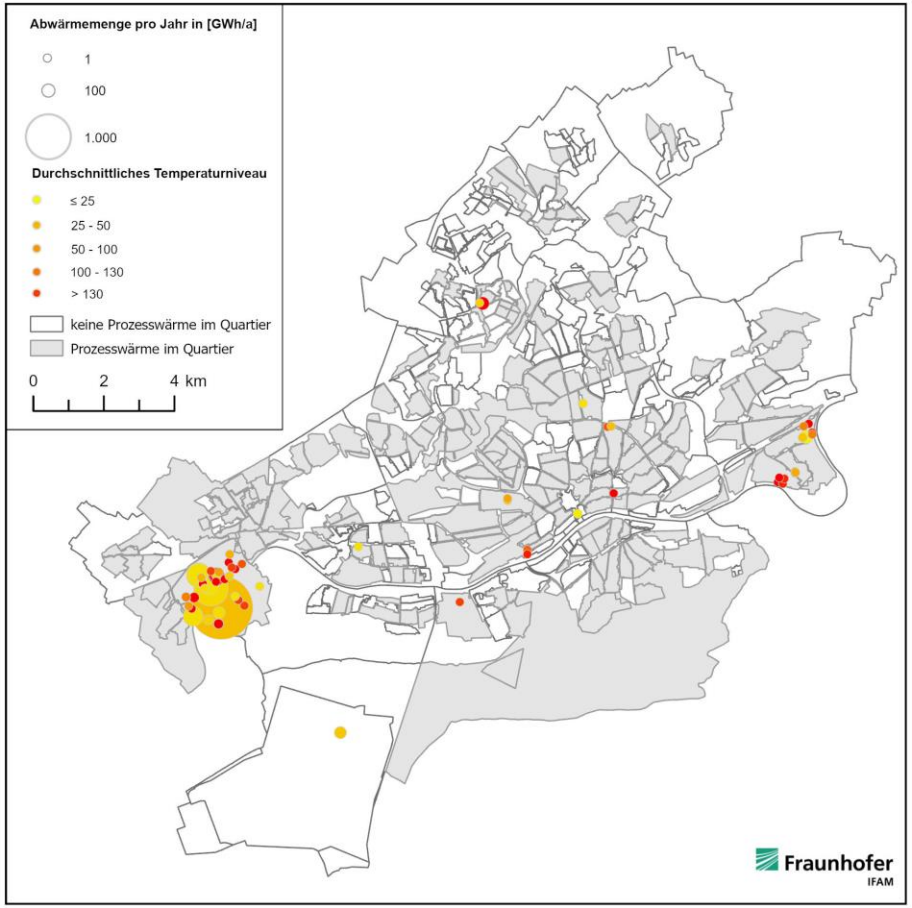
Abwärme Industrie

Potenziale zur Nutzung unvermeidbarer Abwärme

Abwärme Industrie

- Basierend auf der Abwärmeplattform des Bundes[ac)] und einer Unternehmensbefragung wurden in Frankfurt industrielle Abwärmepotenziale von **insgesamt 4.185 GWh/a** identifiziert – über 3.000 GWh/a davon entfallen auf den Industriepark Höchst.
- Dabei nicht erfasst: Kleinere Prozesswärmenutzer, die weder in der Plattform aufgeführt noch befragt wurden, könnten lokal Abwärme bereitstellen. Die KWP-Bestandsanalyse weist auf mehrere hundert GWh/a Prozesswärme hin, eine flächendeckende Quantifizierung der Abwärmepotenziale war jedoch nicht möglich.
- Die Energieversorger und Infraserv Höchst prüfen derzeit die Integration unvermeidbarer Abwärme aus dem Industriepark Höchst in die Fernwärmeversorgung – darunter auch Niedertemperaturquellen wie Rückkühlwerke und ein geplantes Rechenzentrum.[ad) ae)]
- Für die Nutzung industrieller Abwärme sind je nach Temperaturniveau Wärmepumpen erforderlich – ein Stromnetzanschluss ist daher ein zentrales Erschließungskriterium.
- Damit die Potenziale langfristig gesichert werden können, ist der Verbleib der Unternehmen am Standort entscheidend.

Bewertung: Frankfurt verfügt über ein sehr hohes industrielles Abwärmepotenzial, vor allem im Industriepark Höchst. Für die Nutzung sind großteils Wärmepumpen erforderlich – ein leistungsfähiger Stromnetzanschluss ist für die Erschließung entscheidend.



ac) BfEE (ohne Jahresangabe): Plattform für Abwärme.
ad) Mainova (2023): Mainova und Infraserv Höchst wollen Abwärme aus dem Industriepark Höchst nutzen.
ae) FAZ (2024): Süwag will Haushalte mit Wärme aus dem Industriepark versorgen.

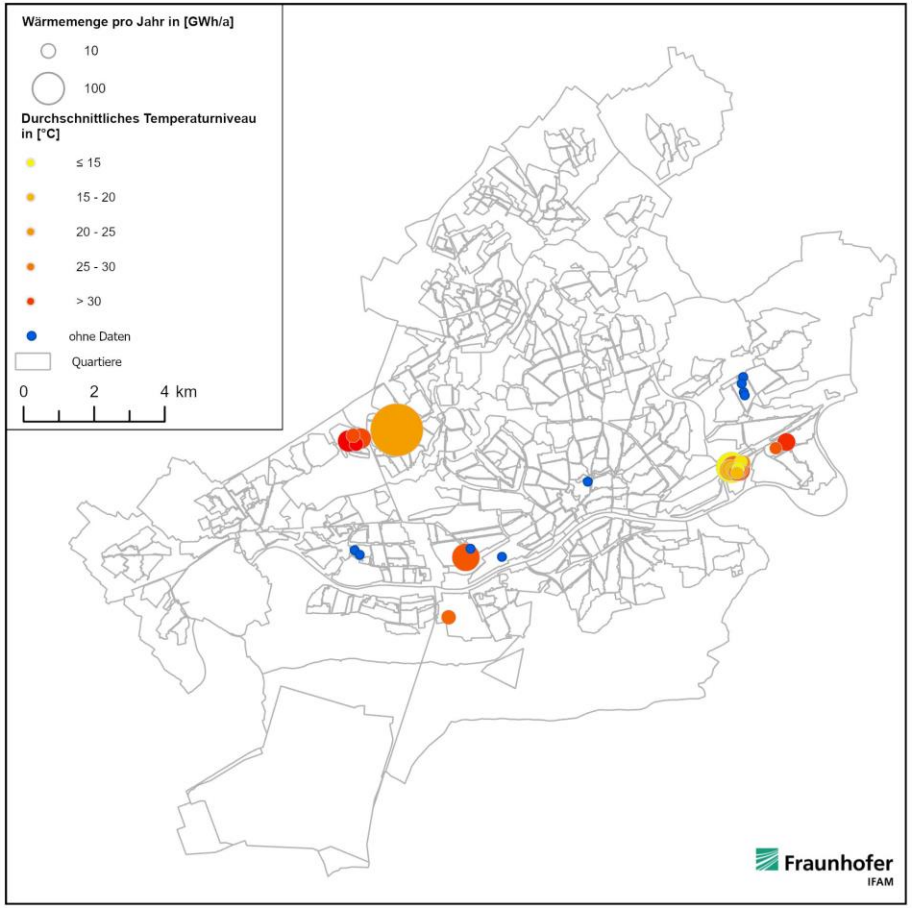
Abwärme Rechenzentren – Potenziale bestehender Rechenzentren

Potenziale zur Nutzung unvermeidbarer Abwärme

Abwärme Rechenzentren

- In Frankfurt wurden auf Basis der Abwärmeplattform und Betreiberbefragungen **951 GWh/a** Abwärme aus bestehenden Rechenzentren identifiziert.
- Nahe der Stadtgrenze kann es zu Konkurrenz um Rechenzentrumsabwärme mit Nachbarkommunen kommen – eine interkommunale Abstimmung ist entscheidend für die Sicherung und effiziente Nutzung der Potenziale.
- Frankfurt erwartet weiterhin ein starkes Wachstum bei Rechenzentren. Die im Flächenentwicklungsplan ausgewiesenen Eignungs- und Ausschlussgebiete für neue Rechenzentren zeigen zugleich, wo künftig zusätzliche Abwärmepotenziale entstehen können.
- Für die Nutzung der Abwärme aus Rechenzentren sind Wärmepumpen erforderlich, da es sich um Niedertemperaturquellen handelt. Ein **leistungsfähiger Stromnetzanschluss** ist daher hier ein **unabdingliches Erschließungskriterium**.
- Handelnde Akteure sind bislang zurückhaltend bei Rechenzentrumsabwärmenutzung. Die Stadt sollte rechtliche und planerische Hebel prüfen, um Anreize zu schaffen.

Bewertung: Frankfurt verfügt über ein schon heute relevantes und weiter wachsendes Abwärmepotenzial aus Rechenzentren. Für die Nutzung sind Wärmepumpen und eine leistungsfähige Stromnetzinfrastruktur erforderlich. Die Stadt sollte rechtliche oder planerische Hebel zur Erhöhung der Anreize prüfen.



Fraunhofer IFAM

Abwärme Rechenzentren – Standorte für zukünftige Rechenzentren

Potenziale zur Nutzung unvermeidbarer Abwärme

Abwärme Rechenzentren im Kontext der Stadtentwicklungsplanung

- Der Flächenentwicklungsplan der Stadt Frankfurt[af)] weist Eignungs- und Ausschlussgebiete für weitere Rechenzentren aus (siehe Abbildung rechts).
- Neue Rechenzentren sind demnach beschränkt auf Flächen in den Stadtteilen Sossenheim, Rödelheim, Griesheim, dem Gallus, dem Ostend, Fechenheim, Seckbach sowie rund um den Industriepark Höchst.

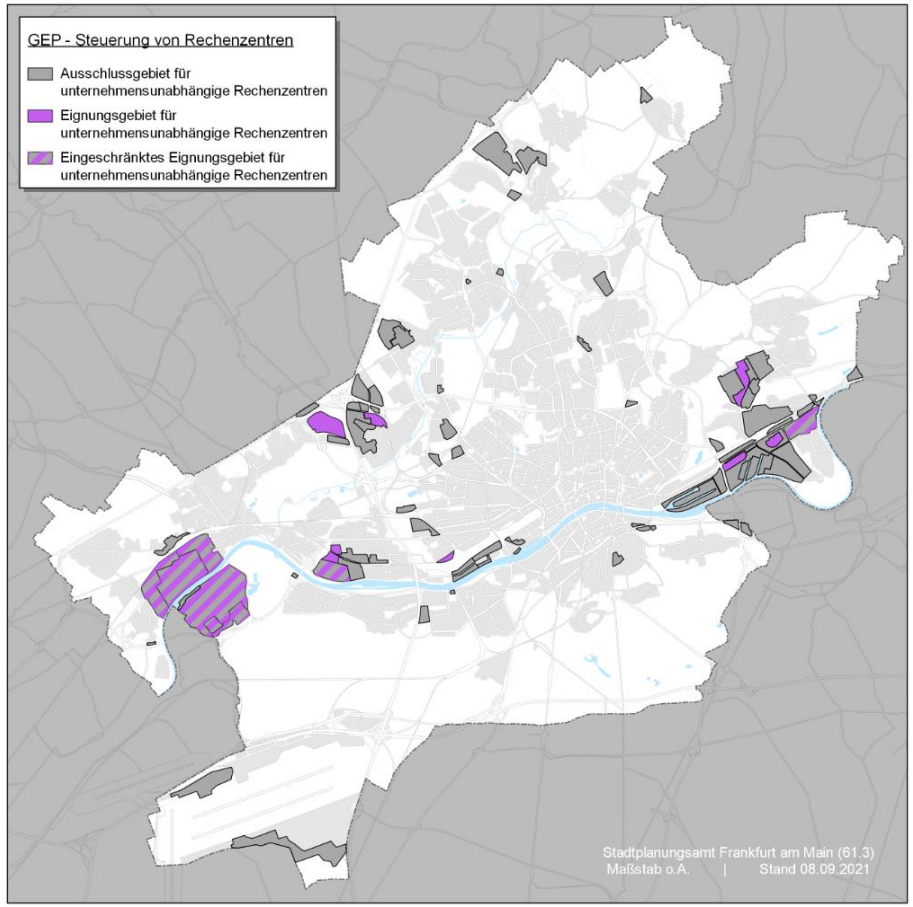


Abbildung: Eignungs- und Ausschlussgebiete für Rechenzentren in Frankfurt am Main, übernommen aus [af].

af) Stadtplanungsamt (ohne Jahresangabe): Steuerung von Rechenzentren.

Großverbraucherliste mit Potenzial zur Abwärmebereitstellung (1/4)

Potenziale zur Nutzung unvermeidbarer Abwärme

Nr.	Firmenname	Branche	Standort	Wärmemenge in GWh/a
1	Infraserv GmbH & Co.Höchst KG	Chemie	Industriepark Höchst	3250,6
2	Kuraray Europe GmbH	Chemie	Industriepark Höchst	438,4
3	Digital Realty Germany GmbH	Rechenzentrum	Hanauer Landstraße / Weismüllerstraße	370,7
4	NTT Global Data Centers FRA1 GmbH & Co. KG	Rechenzentrum	Eschborner Landstraße	210,1
5	Telehouse Deutschland GmbH	Rechenzentrum	Kleyerstraße	191,3
6	Prefere Melamines GmbH	Chemie	Alt-Fechenheim	114,2
7	MHKW Müllheizkraftwerk Frankfurt am Main GmbH	Müllheizkraftwerk	Heddernheimer Landstraße	102,8
8	Mainova AG	Energieversorgung	Hugo-Eckener Ring	76,6
9	Digital Greenfield B.V.	Rechenzentrum	Wilhelm-Fay-Straße	57,9
10	Digital Realty Germany GmbH	Rechenzentrum	Wilhelm-Fay-Straße	51,4

Quelle: ac) BfEE (ohne Jahresangabe): Plattform für Abwärme.

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Großverbraucherliste mit Potenzial zur Abwärmebereitstellung (2/4)

Potenziale zur Nutzung unvermeidbarer Abwärme

Nr.	Firmenname	Branche	Standort	Wärmemenge in GWh/a
11	Heubach Colorants Germany GmbH	Chemie	Brüningstraße	46,4
12	SOL S.p.A. Deutschland Zweigniederlassung der SOL S.p.A.	Chemie	Industriepark Höchst	36,4
13	Digital Realty Germany GmbH	Rechenzentrum	Hugo-Junkers-Straße	29,9
14	Sanofi Aventis Deutschland GmbH	Chemie	Industriepark Höchst	21,9
15	ITENOS GmbH	Rechenzentrum	Kleyerstraße	15,8
16	Clariant Plastics & Coatings (Deutschland) GmbH	Chemie	Brüningstraße	15,2
17	Städtische Bühnen Frankfurt	Kultur/Unterhaltung	Untermainanlage	14,4
18	KfW Kreditanstalt für Wiederaufbau AöR	Finanzdienstleistungen	Palmengartenstraße	12,4
19	Digital Realty Germany GmbH	Rechenzentrum	Lyoner Straße	12,1
20	Messe Frankfurt Venue GmbH	Eventveranstalter	Ludwig-Erhard-Anlage	9,3

Quelle: ac) BfEE (ohne Jahresangabe): Plattform für Abwärme.

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Großverbraucherliste mit Potenzial zur Abwärmebereitstellung (3/4)

Potenziale zur Nutzung unvermeidbarer Abwärme

Nr.	Firmenname	Branche	Standort	Wärmemenge in GWh/a
21	Colt Data Centre Services Germany GmbH	Rechenzentrum	Hanauer Landstraße	8,6
22	Cassella-Chemiepark Frankfurt GmbH	Chemie	Alt-Fechenheim	8,3
23	BASF Agricultural Solutions GmbH	Chemie	Industriepark Höchst	7,5
24	WeylChem Hoechst Intermediates GmbH	Chemie	Industriepark Höchst	6,2
25	Hessischer Rundfunk	Medien und Rundfunk	Bertramstraße	5,6
26	Mainova AG	Energieversorgung	Gutleutstraße	4,4
27	Deutsche Börse AG	Finanzdienstleistungen	Börsenplatz	3,0
28	NTT Global Data Centers EMEA GmbH	Rechenzentrum	Hanauer Landstraße	2,9
29	Mainova AG	Energieversorgung	Allerheiligenstraße	2,3
30	Glockenbrot Bäckerei GmbH & Co. oHG	Lebensmittel	Robert-Bosch-Straße	2,3

Quelle: ac) BfEE (ohne Jahresangabe): Plattform für Abwärme.

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Großverbraucherliste mit Potenzial zur Abwärmebereitstellung (4/4)

Potenziale zur Nutzung unvermeidbarer Abwärme

Nr.	Firmenname	Branche	Standort	Wärmemenge in GWh/a
31	Kaufland Vertrieb KDST GmbH & Co. KG	Lebensmittel	Mainzer Landstraße	1,4
32	DekaBank Deutsche Girozentrale	Finanzdienstleistungen	Lyoner Straße	1,1
33	Corden BioChem GmbH	Chemie	Brüningstraße	1,1
34	EUROAPI Germany GmbH	Chemie	Brüningstraße	1,0
35	Celanese Services Germany GmbH	Chemie	Brüningstraße	0,7
36	AllessaProduktion GmbH	Chemie	Alt-Fechenheim	0,7
37	Daikin Refrigerants Frankfurt GmbH	Chemie	Brüningstraße	0,5
38	Mainova AG	Energieversorgung	Lyoner Straße	0,2
39	Deutsche See GmbH	Lebensmittel	Ferdinand-Porsche-Straße	0,2
40	Bürgerhospital	Gesundheitswesen	Nibelungenallee	0,001

Quelle: ac) BfEE (ohne Jahresangabe): Plattform für Abwärme. Hinweis: Abweichend zur Abwärmeplattform werden die Abwärmemengen der Grillo Werke AG und Thermal Conversion Compund Industriepark Höchst GmbH nicht aufgeführt, da diese bereits bei Infraserv GmbH & Co. Höchst KG inkludiert sind.

Fraunhofer IFAM

4: Potenziale zur Wärmespeicherung

Fraunhofer IFAM

Kurzzeitwärmespeicher

Potenziale zur Wärmespeicherung

Kurzzeitwärmespeicher:

- Zur Speicherung der Wärme über mehrere Stunden werden überwiegend Behälterspeicher eingesetzt (Speicherung von bis zu 50.000 m³ Wasser).
- Zur Minimierung der Wärmeverluste sind die Behälter von außen gedämmt, um Heißwasser mit Temperaturen von über 100 °C für die Einspeisung in das Fernwärmesystem vorzuhalten.
- Behälterspeicher benötigen deutlich weniger Fläche als saisonale Erdbeckenspeicher und sind daher auch im urbanen Raum realisierbar.

Mainova plant Kurzzeitwärmespeicher am HKW West:

- Über 60 Meter Höhe und 30 Meter Breite (> 35.000 m³ nutzbares Speichervolumen) sowie einer Speicherkapazität von ca. 1.750 MWh.[ag)]
- Der Speicher flexibilisiert die KWK-Wärmeerzeugung und stärkt das Fernwärmenetz durch zusätzliche Pufferleistung.
- Der Speicher entkoppelt Wärmeerzeugung und -bedarf zeitlich, ermöglicht eine stärkere Einbindung der Müllverbrennungsanlage und trägt zur CO_2-Reduktion sowie zur Erschließung neuer Kundenpotenziale bei.

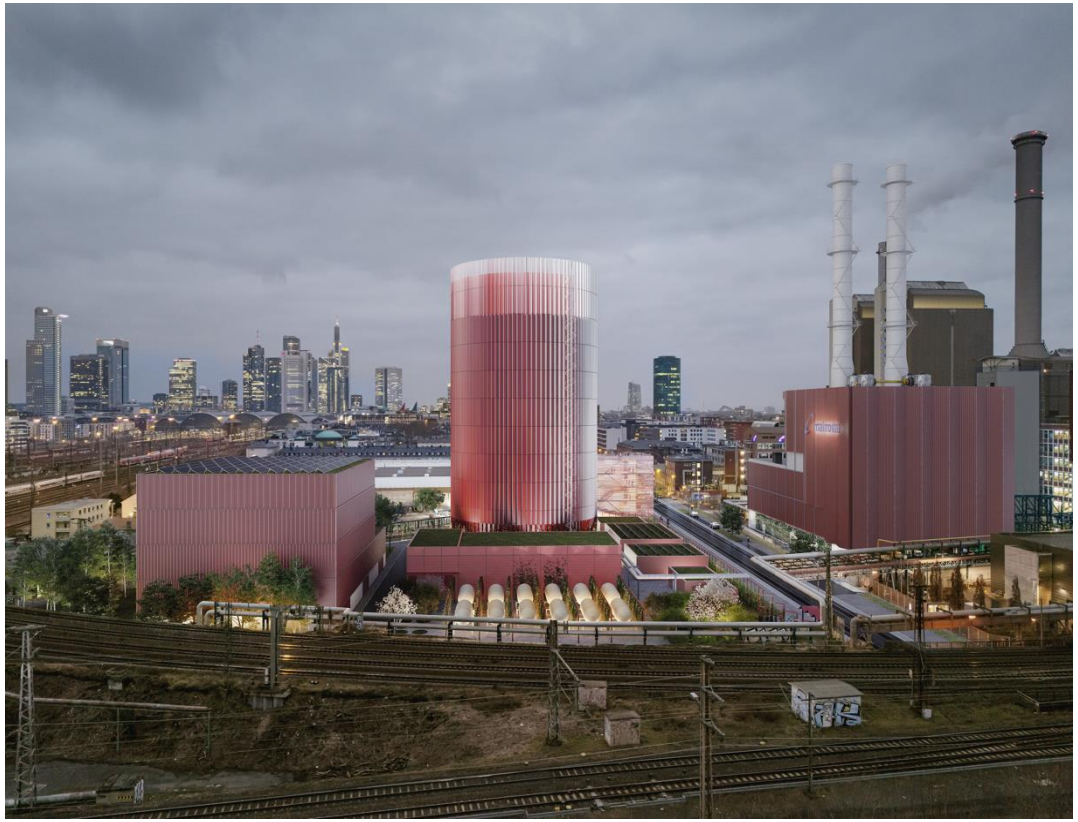


Abbildung: Geplanter Wärmespeicher am HKW West (Quelle für Bild: KÖLLING ARCHITEKTEN BDA)

ag) Mainova AG (2025): Mainova und Stadt präsentieren Entwurf für geplanten Wärmespeicher.

Fraunhofer IFAM

Saisonale Wärmespeicher – Arten

Potenziale zur Wärmespeicherung

- Thermische Wärmespeicher unterscheiden sich nach Speicherdauer: Kurzzeitspeicher (z. B. Heizwasserbehälter am HKW West) puffern Wärme für Stunden oder Tage. Saisonale Speicher überbrücken sommerliche Überschüsse bei der Wärmeerzeugung bis zur Heizperiode.
- Die Wärme wird im saisonalen Speicher über mehrere Wochen oder sogar Monate bis zum Einsatz in der Heizperiode für das Fernwärmesystem gespeichert – abhängig vom Speichertyp ist eine Anhebung der Temperatur über Wärmepumpe notwendig
- Die Typen saisonaler Speicher sind in der Tabelle rechts dargestellt.

Technologie	Prinzip	Vorteile	Nachteile
ATES (Aquifer-speicher) Aquifer Thermal Energy Storage	Wärme wird in Grundwasserleitern gespeichert	Gute Energiedichte (hohe Temperaturen), effizient	Geologisch anspruchsvoll (Tiefen von min. 1.500 m), hohe Anforderungen für Genehmigung
BTES (Erdsonden) Borehole Thermal Energy Storage	Wärme wird über Bohrungen in den Boden gespeichert	Platzsparend, bewährt	Geringe Leistung (niedrige Temperaturen), träge Reaktion
PTES (Erdbecken-speicher) Pit Thermal Energy Storage	Großes Wasserbecken speichert Wärme	Hohe Kapazität, einfache Technik	Sehr großer Flächenbedarf
Sorptionsspeicher	Wärme wird chemisch gebunden (z.B. mit Zeolith)	Nahezu verlustfreie Langzeitspeicherung	Geringe Leistung, komplexe Technik

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Saisonale Wärmespeicher – Bewertung

Potenziale zur Wärmespeicherung

Technische Analyse

- Nur **ATES** und **PTES** erreichen relevante Temperaturen über 85 °C für die Fernwärmeversorgung.
- Aufgrund der geologischen Rahmenbedingungen wird für Frankfurt nur **PTES** betrachtet – mit Vorteilen wie hoher Speicherkapazität, einfacher Bauweise und starker Ladeleistung.
- Konkrete Projektbeispiele (z. B. aus Dänemark und Schleswig-Holstein/Meldorf) liefern für die Bewertung konkrete Hinweise auf Dimensionierung und Kapazität.

Bewertungsannahmen:

- Fernwärmeerzeugung: 1.700 GWh/a (5-Jahres-Ø), davon 70 % in der Heizperiode (Okt.–März).
- Ziel: Speicherung von 10 % der Heizperiodenmenge ≈ 120.000 MWh.
- Flächenbedarf: ca. 360.000 m² (bei 3 m²/MWh[1]), Volumen: ca. 3,5 Mio. m³

Potenzielle Standorte:

- Unbebaute Flächen dieser Größe im Fernwärmenetzgebiet finden sich nur im **Niddapark**, bei **Niederursel** und im **Stadtwald**. Die Flächenkonkurrenz zu Naherholungsgebieten ist dabei sehr hoch.

Bewertung: Ein Erdbeckenspeicher kann die Fernwärme sinnvoll ergänzen, ist aber wegen des hohen Flächenbedarfs im Frankfurter Stadtgebiet kaum umsetzbar. Eine Wirtschaftlichkeitsbewertung liegt bislang nicht vor.

Abbildung:[2] Exemplarische Darstellung des Flächenbedarfs für saisonalen Speicher im Niddapark (Tiefe: 10 m).

1 Eigene Auswertung von Projektbeispielen zu Erdbeckenspeichern in Deutschland und Dänemark auf Basis des Speichervolumens und einem Delta T von 30-40 K
2 Quelle für Hintergrundkarte: Ortophoto Mainova.

Fraunhofer IFAM

5: Einwertung der Potenziale aus erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Technologiepotenziale und Bewertung (1/2)

Einwertung der Potenziale aus erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme

- **Gleichzeitigkeit:** Ist die Wärmequelle zur gleichen (Jahres-)Zeit verfügbar zu der der Wärmebedarf anfällt – insbesondere in der Heizperiode?
- **Stromnetzanschlusskapazität:** Wenn relevant, wie ist die Erfolgsaussicht für Stromnetzanschlussanfragen?
- **Temperaturniveau:**
  - Niedrig: geeignet für dezentrale Versorgung oder kalte Nahwärmenetze
  - Hoch: geeignet für Einspeisung in größere Nah- und Fernwärmenetze
- **Wirtschaftlichkeit:** Kann das Potenzial wirtschaftlich nutzbar gemacht werden? (grobe Abschätzung)

	Theoretisch-technisches Potenzial (in GWh/a)	Realisierbarkeit insgesamt	Gleichzeitigkeit	Stromnetzanschluss-kapazität	Temperaturniveau	Wirtschaftlichkeit
Umgebungswärme (Außenluft für WP)	Keine Abschätzung	**Gut** – sehr breite Anwendbarkeit	Grundsätzlich hoch (ggf. eingeschränkt bei Extremtemperaturen)	Moderat – Privatkunden prioritär behandelt, aber Menge insg. knapp	Abhängig von WP-Einsatz	Gut bis sehr gut
Solarthermie	**8.088**	**Eingeschränkt** – Potenziale stark dezentral, Konkurrenz zu PV und bei Aufdach sehr viele Akteure	Stark eingeschränkt – (saisonaler) Speicher notwendig für maximales Potenzial	–	Niedrig	Stark abhängig von lokalen Gegebenheiten
Biomasse	**667**	**Eingeschränkt** – begrenzte lokale Verfügbarkeit, stoffliche Konkurrenz	Sehr hoch	–	Hoch	Aktuell abhängig von Fördermitteln (KWKG-Förderung)
Abwärme Rechenzentren	**951** (in bereits gebauten RZ)	**Mittel** – Wärmequelle und Wirtschaftlichkeit gut, Stromanschluss und RZ-Interesse herausfordernd	Sehr hoch – Grundlast ausreichend für Bedarfsabdeckung	Kritisch – Anschluss oft erst in > 10 Jahren möglich	Niedrig – aber für Fernwärmenetz mit Einsatz von GWP gut zu erhöhen	Gut – abhängig von Vertrags-gestaltung mit RZ-Betreibern

WP = Wärmepumpe; GWP = Großwärmepumpe; RZ = Rechenzentrum

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Technologiepotenziale und Bewertung (2/2)

Einwertung der Potenziale aus erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme

	Theoretisch-technisches Potenzial (in GWh/a)	Realisierbarkeit insgesamt	Gleichzeitigkeit	Stromnetzanschluss-kapazität	Temperaturniveau	Wirtschaftlichkeit
Abwärme Industrie	**4.185**	**Gut bis sehr gut** – bei kontinuierlicher Produktion	Sehr hoch – Grundlast im Industriepark Höchst ausreichend für Bedarfsabdeckung	Herausfordernd – tw. über Industriepartner verfügbar, ansonsten auch kritisch (s. o.)	Mittel bis Hoch (ggf. zusätzlich WP-Einsatz)	Stark abhängig von der Abwärmequelle und Vertragsgestaltung
Umweltwärme Flusswasser	bis zu **740**	**Gut** – vorzugsweise zentrale Nutzung	Grundsätzlich hoch (ggf. eingeschränkt bei Extremtemperaturen)	Kritisch – Anschluss oft erst in > 10 Jahren möglich	Abhängig von WP-Einsatz	Gut
Umweltwärme Abwasser	bis zu **310**	**Sehr gut** – vorzugsweise zentrale Nutzung an Klärwerken	Sehr hoch – kontinuierlich verfügbar	Kritisch – Anschluss oft erst in > 10 Jahren möglich	Abhängig von WP-Einsatz	Sehr gut
Geothermie oberflächennah	**1.937**	**Eingeschränkt** – Potenziale dezentral, viele Akteure und Wirtschaftlichkeit herausfordernd	Hoch – kontinuierlich verfügbar, auch Möglichkeit zur Kühlung	Moderat – Privatkunden prioritär behandelt, aber Menge insg. knapp	Niedrig	Herausfordernd aufgrund hoher Bohrkosten
Geothermie mitteltief	Keine Abschätzung	**Möglich** – abhängig von geothermischem Gradienten und Genehmigungen	Sehr hoch – kontinuierlich verfügbar	–	Mittel	Stark abhängig von Geologie und Bohrungserfolg
Tiefengeothermie	Keine Abschätzung	**Möglich** – abhängig von geothermischem Gradienten und Genehmigungen	Sehr hoch – kontinuierlich verfügbar	–	Hoch	Stark abhängig von Geologie und Bohrungserfolg

WP = Wärmepumpe

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

6: Potenziale zur Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien

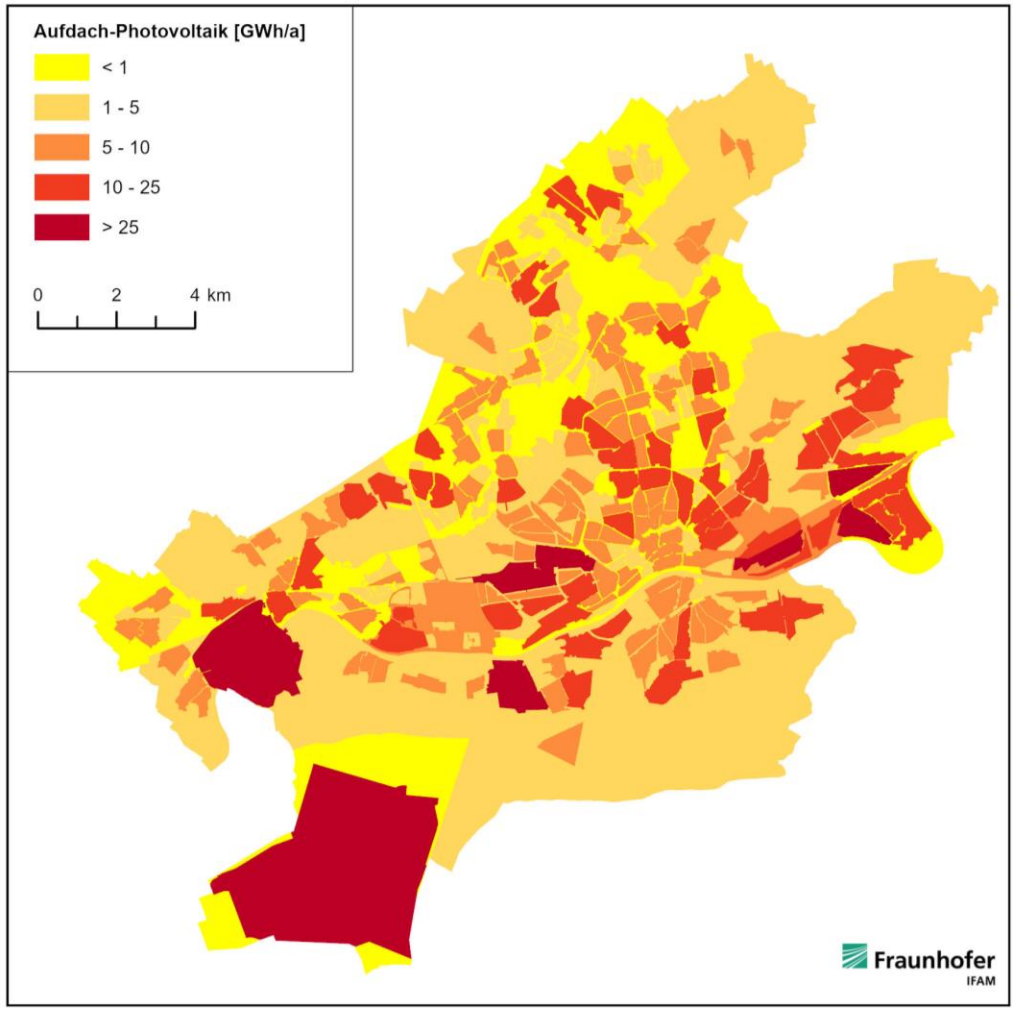
Fraunhofer IFAM

Aufdach-Photovoltaik – Allgemein

Potenziale zur Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien

Solar-Kataster Hessen[f)]

- Veröffentlicht März 2024
- Solareignungsdaten für Gebäude im Shapeformat
- Relevante Gebäude
  - Über 10 m² Grundfläche
  - Ausschluss von Tiefgaragen und Gewächshäusern
  - Mindest-Globalstrahlung > 850 kWh/(m²·a)
- Ausgegebene Daten für Photovoltaik:
  - Modulfläche in m² → Dachfläche abzüglich pauschal 10 %
  - Anlagenleistung in kWp → Modulwirkungsgrad 20 %, Performance Ratio 80 %
  - Stromertrag in kWh → Anlagenleistung und Globalstrahlung



f) LEA Hessen (ohne Jahresangabe): Solar-Kataster Hessen.

Aufdach-Photovoltaik – Potenzial

Potenziale zur Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien

	Alle Gebäude	Wohngebäude		Nichtwohngebäude	
Modulfläche [m²]	15.450.299	8.732.967	57 %	6.719.332	43 %
Leistung [GWp]	2,47	1,40	57 %	1,07	43 %
Strom [GWh/a]	**2.540**	1.433	56 %	1.106	44 %

Auswertung eingetragener Anlagen „Solare Strahlungsenergie“ im Marktstammdaten-Register (Stand 30.06.2025):

- 8.642 Anlagen in Betrieb, 205 weitere in Planung
  - davon 1.873 Balkon-PV-Anlagen in Betrieb, 13 weitere in Planung
- Nettonennleistung in Betrieb: 86 MW; weitere 2,4 MW in Planung → 3,5 % des Potenzials in Betrieb, weitere 0,1 % in Planung
  - davon entfallen 1,3 MW auf Balkon-PV-Anlagen, weitere 8 kW Balkon-PV-Anlagen in Planung (sogenannte „Balkonkraftwerke“ werden i.d.R. erst nach Installation ins Marktstammdaten-Register eingetragen, nicht bereits in der Planungsphase)

➢ Marktstammdaten-Register entspricht zwar unterer Abschätzung (nicht alle tragen Anlagen korrekt ein), doch Ausbaupotenzial ist als sehr groß einzustufen

© Fraunhofer IFAM | KWP Frankfurt am Main | Ergebnisse Potenzialanalyse

Aufdach-Photovoltaik – Ertragswerte in Frankfurt

Potenziale zur Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien

Auswertung der Ertragswerte von Photovoltaik

- Zufällig ausgewählte Dachflächen aus dem Solar-Kataster
  - 70 Stichproben aus 5 Größenbereichen der Modulflächen (> 20.000 m²; 10–15.000 m²; 7.000 m²; 40 m²; 1 m²)
  - Division von Strom durch installierte Peakleistung
- Werte bis 1.114 kWh/(a·kWp) werden erreicht
- Große Modulflächen liefern über 1.000 kWh/(a·kWp), nur bei unrealistisch kleinen Modulflächen sinken Ertragswerte auf 875 kWh/(a·kWp)

➢ In Frankfurt ist die Globalstrahlung im deutschlandweiten Vergleich gut bis sehr gut, dementsprechend fallen auch die Ertragswerte von Photovoltaik hoch aus

Fraunhofer IFAM

Freiflächen-Photovoltaik – Verfügbare Flächen

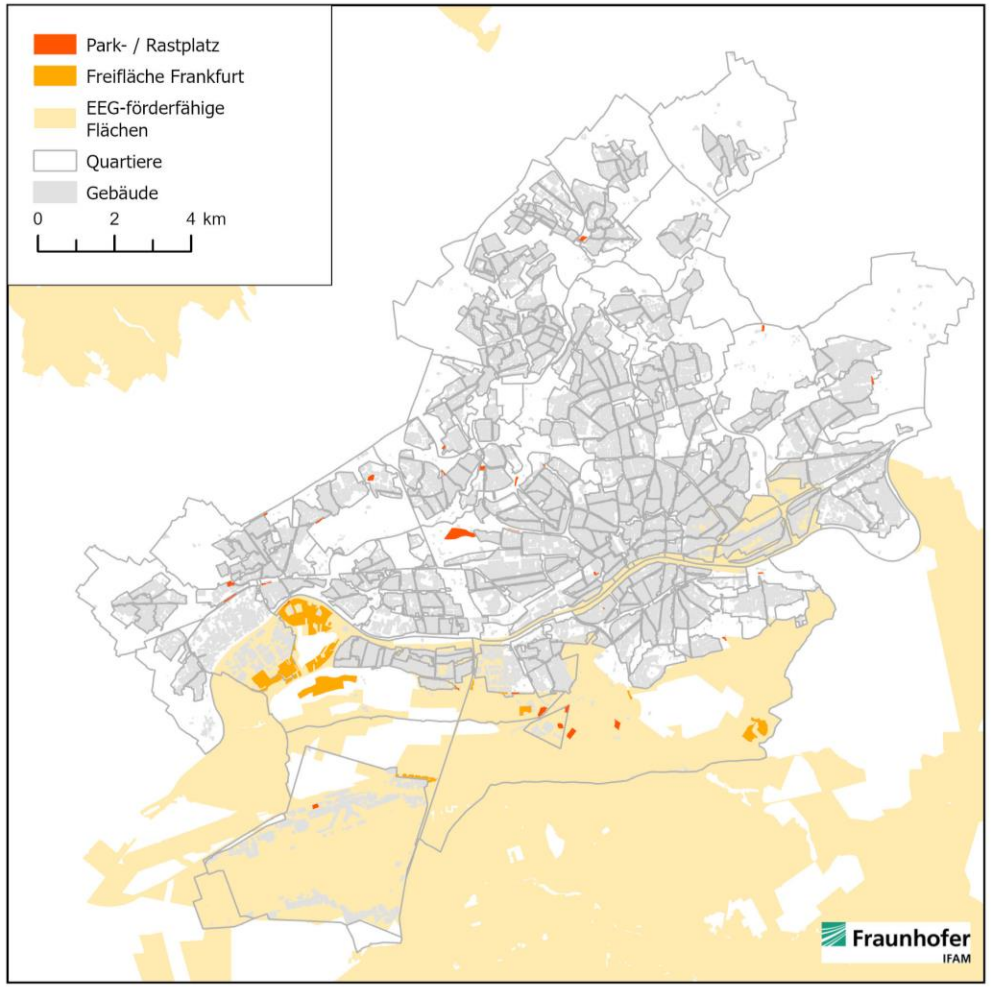
Potenziale zur Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien

Flächen für Freiflächen-Photovoltaik:

- Die EEG-förderfähigen Flächen für Solarthermie[1] wurden durch die Basis-DLM Daten bereinigt (entfernen z. B. von Wald, Wohngebieten, Straßen, Plätzen)
- In Summe **2,11 Mio. m² Freiflächen**.

Park- und Rastplätze kommen zusätzlich infrage:

- Teilmenge von Basis-DLM „Plätze“ (wurde zunächst bereinigt)
- Versiegelte Flächen, häufig nah an Wärmeverbrauchern
- In der Stadt fehlen Supermarkt- oder Firmenparkplätze (Potenzial unterschätzt)
- Ausweisung geeigneter Park- und Rastplätze > 0,5 ha, die nicht vollständig im Baumschatten liegen (Überprüfung im Luftbild)
- In Summe **0,53 Mio. m² an Park- und Rastplätzen**.



Freiflächen-Photovoltaik – Potenzial

Potenziale zur Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien

Photovoltaik

- Flächenbedarf: 1 ha/MWp
- Annahme: 90 % der Flächen können für Module genutzt werden
- Ertragswerte bei Freiflächen-Photovoltaik liegen in Deutschland zwischen 800.000–1.050.000 kWh/MWp[ah)]
- Frankfurt hat eine vergleichsweise gute bis sehr gute Globalstrahlung:
  - Auswertung der Aufdach-Photovoltaik hat hohe Ertragswerte bis zu 1.114 kWh/kWp ergeben
  - ➢ Angesetzt werden 950.000 kWh/MWp → eher konservative Abschätzung des Potenzials

	Alle Freiflächen	**Freifläche**		**Park- und Rastplätze**	
Freiflächen [Mio. m²]	**2,64**	2,11	80 %	0,53	20 %
Strom [GWh/a]	**226**	182	80 %	44	20 %

- **Bewertung:** Nutzung für Photovoltaik steht in Flächenkonkurrenz mit der Nutzung für Solarthermie; im direkten Vergleich wird Photovoltaik aber allgemein als effizienter/ertragreicher angesehen.

ah) NRW.Energy4Climate (2023): Photovoltaik auf Freiflächen.

Fraunhofer IFAM

Photovoltaik – Flughafen

Potenziale zur Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien

PV-Bahnsystem

- Senkrecht montierte Module entlang der Startbahn West
- Testfläche wurde 2022 gebaut: 125 m² mit 20 Solarmodulen und 8,4 kWp
- Ausbauziel: auf 2,8 km Länge entlang der Startbahn West; insgesamt 37.000 Solarmodule mit einer **Spitzenleistung von 17,4 MWp**

Dachanlagen

- Erstes Dach erschlossen: 13.000 m² mit 4.368 Solarmodulen und 1,6 MWp; der Stromertrag liegt bei **1,5 GWh/a**
- Weitere Dächer sollen bis 2026 erschlossen werden, so dass der Stromertrag auf **9,1 GWh/a** steigt

- Im Zusammenspiel des PV-Bahnsystems mit Aufdachanlagen soll von Sonnenauf- bis -untergang ein hoher solarer Deckungsgrad erzielt werden
- Hoher Eigenbedarf → Potenziale auf Flughafengelände nicht zur Einspeisung vorgesehen

Bild entnommen aus „Sonnenstrom aus eigener Produktion“ Faktenblatt Photovoltaik, Fraport (abgerufen März 2025): https://www.fraport.com/content/dam/fraport-company/documents/newsroom/infografiken/de/online/Faktenblatt%20Photovoltaik.pdf/_jcr_content/renditions/original./Faktenblatt%20Photovoltaik.pdf

Fraunhofer IFAM

Windkraft

Potenziale zur Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien

Windenergie in Großstädten ist schwierig:

- Standortsuche für Windenergieanlagen in Stadtgebieten ist aufgrund von Abstandsregelungen herausfordernd.
- Wenige technisch geeignete Flächen und Flächennutzungskonkurrenz erschweren die Standortfindung.
- Hohe Kosten für Flächen in Stadtgebieten; insbesondere wenn auf mögliche Umwidmung zu Bauflächen spekuliert wird.
- In Frankfurt gibt es laut Teilplan Erneuerbare Energien (TPEE) 2019 keine Vorranggebiete oder bestehenden Windenergieanlagen.
- Der Masterplan 100% Klimaschutz schließt Windnutzung im Ballungsgebiet Frankfurt/Offenbach aus.

Aber:

- Onshore-Windenergieanlagen bieten niedrige Stromgestehungskosten, vergleichbar mit Photovoltaik.
- Windreiche Jahreszeiten fallen mit Heizperiode zusammen → im Zusammenhang der KWP interessant.
- Deutsche Großstädte mit Flughafen haben erfolgreich Windenergieanlagen (WEA) installiert (Stand Mai 2025), z. B.:

Bremen		Hamburg		Berlin		München	
92 WEA	202 MW	71 WEA	125,5 MW	6 WEA	16,57 MW	2 WEA	5 MW

- Weitere Großstädte prüfen Standorte und führen Raumplanungsverfahren diesbezüglich durch (Düsseldorf, Köln).
- In Frankfurt wurden vier neue Windenergieanlagen am Stadtrand genehmigt, davon drei im Stadtgebiet, eins direkt an der Grenze. Die Umsetzung ist zeitnah geplant. Geplant werden Anlagen mit einer Nennlast von 7 MW je Anlage.
- In Hessen kann für neu installierte WEA von 2.500 Volllaststunden im Jahr ausgegangen werden[ai)], damit können 70 GWh/a am ausgewiesenen Standort erwartet werden.

Deshalb: Potenzial für Windenergie in Frankfurt regelmäßig überprüfen.

ai) Deutsche Windguard (2020): Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land.

Fraunhofer IFAM

Wasserkraft – Laufwasserkraftwerk

Potenziale zur Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien

Staustufe Griesheim[aj)]

- Dreimal 40 m, Fallhöhe 4,49 m
- Ausgerüstet mit einer Fischtreppe
- 3 vierflügelige Kaplan-Turbinen
- Nennleistung gesamt: 4,9 MW
- Regelarbeitsvermögen: **35 GWh/a**

Staustufe Offenbach[ak)]

- Dreimal 44,5 m, Fallhöhe 3,18 m
- Ausgerüstet mit einer Fischtreppe
- 2 vierflügelige Kaplan-Turbinen
- Nennleistung gesamt: 4,1 MW
- Regelarbeitsvermögen: **22,7 GWh/a**

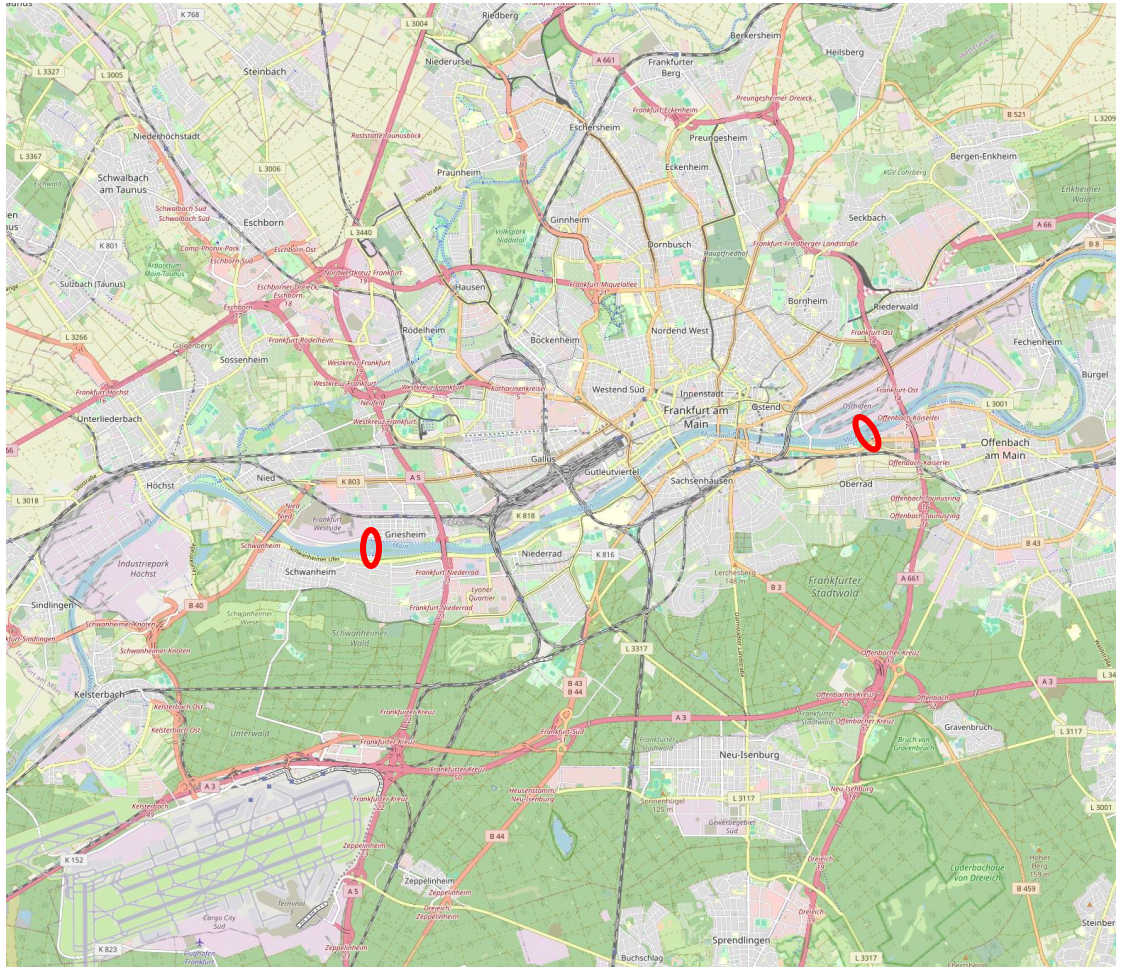


Abbildung: Standorte der Laufwasserkraftwerke in Frankfurt am Main.

Karte: © OpenStreetMap-Beitragende (Abgerufen am 27.06.2025)

aj) Wikipedia (2025): Staustufe Griesheim.
ak) Wikipedia (2025): Staustufe Offenbach.

Fraunhofer IFAM

Tiefengeothermie

Potenziale zur Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien

- Tiefengeothermie zur Stromerzeugung hat geringe Systemwirkungsgrade: Geringe Temperaturen der Wärmequelle im Vergleich zu fossilen Kraftwerken limitieren den Wirkungsgrad.
- In einer Studie der TU München (2017) wird der elektrische Netto-Systemwirkungsgrad in Abhängigkeit von der Thermalwassertemperatur angegeben.[al)]
- Berechnung des Wirkungsgrades unter der Annahme, dass der Thermalwasser-Massenstrom auf 10 °C abgekühlt werden kann.
- Netto-Systemwirkungsgrad berücksichtigt den internen Strombedarf der Geothermie-Anlage; erst ab 100 °C ist eine Anlage einspeisefähig.
- In Frankfurt am Main gibt es zwar eine Temperaturanomalie mit hohem Temperaturgradienten (bis zu 9 K/100 m, deutschlandweiter Durchschnitt sind 3 K/100 m); dennoch werden in rund 1.000 m Tiefe Temperaturen über 60 °C nicht überschritten.

➢ Erwartbare Thermalwassertemperaturen in Frankfurt sind deutlich unterhalb der Temperaturen von Bestandsanlagen (siehe Abbildung).

➢ Niedriger elektrischer Netto-Systemwirkungsgrad für Thermalwassertemperatur unter 100 °C macht.

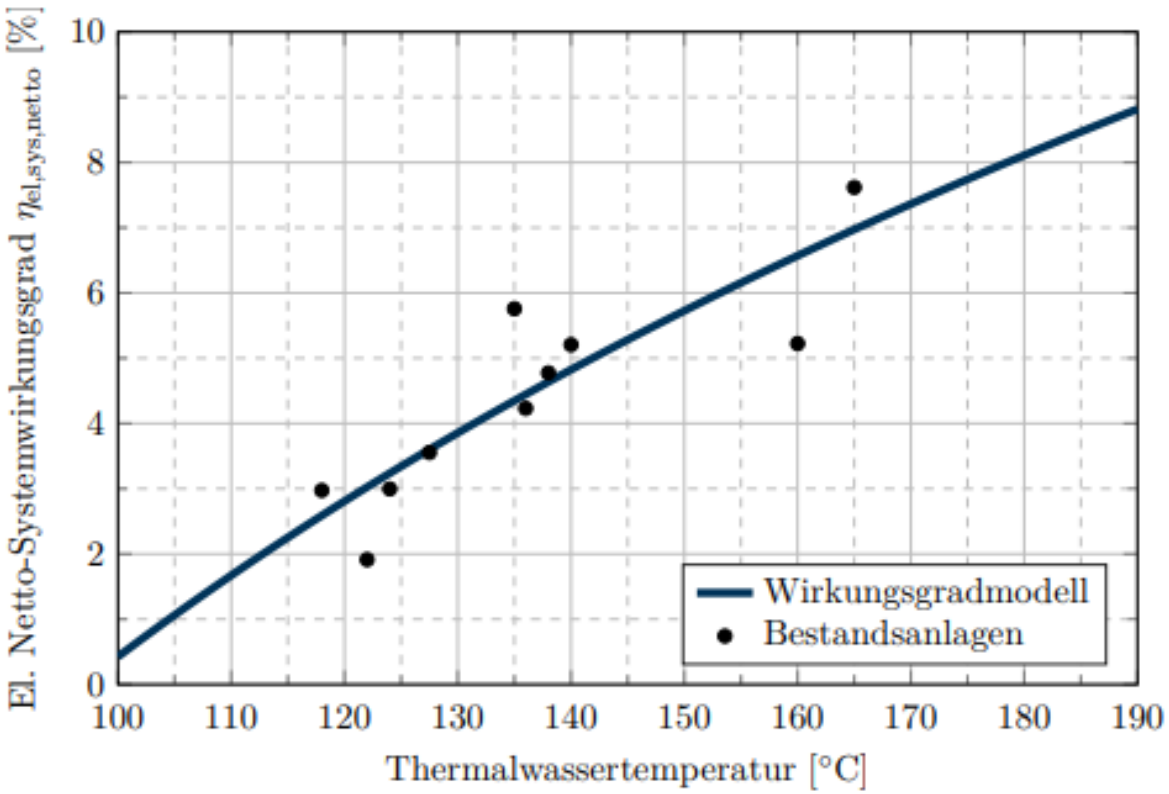


Abbildung: Elektrische Systemwirkungsgrade bestehender Anlagen und davon abgeleitetes Wirkungsgradmodell, übernommen aus [al].

➢ **Fazit: Nutzung von Geothermie zur Stromerzeugung ist in Frankfurt vernachlässigbar**.

al) TU München (2017): Potential der hydrothermalen Geothermie zur Stromerzeugung in Deutschland.

Quellen

#	Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Online verfügbar
a)	Ifeu/Langfristszenarien (2022): Energienachfrage Gebäudesektor. Webinar.	Ifeu/Langfristszenarien (2022): Energienachfrage Gebäudesektor. Treibhausgasneutrale Szenarien T45. Webinar 17.11.2022. Gehalten von Mellwig, P. Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung.	https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/20221117_LFS3_Webinar_Gebaeude_Geraete_PHH_GHD.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
b)	Fraunhofer ISE/IEE (2022): Bottom-up Studie Dekarbonisierung Wärmesektor.	Thomsen, J.; Fuchs, N.; Meyer R.; Wanapinit, N.; Ulffers, J.; Bavia Bampi, B.; Lohmeier, D.; Prade, E.; Gorbach, G.; Sanina, N.; Engelmann, P.; Herkel, S.; Kost, C.; Braun, M.; Lenz, M. (2022): Bottom-Up Studie zu Pfadoptionen einer effizienten und sozialverträglichen Dekarbonisierung des Wärmesektors. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Freiburg, Kassel: Fraunhofer ISE, Fraunhofer IEE (Hrsg.)	https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/221222_Bottom_Up_Studie_final-1.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
c)	Stadt Frankfurt am Main (2023): Materialien zur Stadtbeobachtung 34.	Stadt Frankfurt am Main (2023): Materialien zur Stadtbeobachtung. Heft 34. Regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung bis 2045.	https://statistikportal.frankfurt.de/download/MSBBevoelkerungsprognose/MSB_34_Bevoelkerungsprognose.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
d)	Baasner Stadtplaner et al. (2020): Büroflächenstudie Frankfurt am Main 2019.	Baasner Stadtplaner, bulwiengesa, complan Kommunalberatung (2020): Büroflächenstudie Frankfurt am Main 2019. Auftraggeber: Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Stadtplanungsamt Abteilung Stadtentwicklung.	https://www.stadtplanungsamt-frankfurt.de/show.php?ID=20450, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
e)	Consentec et al. (2023): Langfristszenarien T45-Szenarien. Modul Industriesektor.	Consentec, Fraunhofer ISI, ifeu, TU Berlin (2023): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3. T45-Szenarien. Modul Industriesektor. Auftraggeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).	https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS3_T45-Bericht_Szenarien_Industrie_final.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
f)	LEA Hessen (ohne Jahresangabe): Solar-Kataster Hessen.	Landesenergieagentur Hessen (ohne Jahresangabe): Solar-Kataster Hessen.	https://www.lea-hessen.de/buergerinnen-und-buerger/sonnenenergie-nutzen/solar-kataster-hessen/, zuletzt geprüft am 26.09.2025.

Fraunhofer IFAM

Quellen

#	Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Online verfügbar
g)	Langreder et al. (2024): Technikkatalog Wärmeplanung.	Langreder, N.; Lettow, F.; Sahnoun, M.; Kreidelmeyer, S.; Wünsch, A.; Lengning, S. et al. (2024): Technikkatalog Wärmeplanung. Hg. v. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Öko-Institut e.V., IER Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker Büttner Held PartGmbB, Prognos AG, et al.	https://www.kww-halle.de/praxis-kommunale-waermewende/bundesgesetz-zur-waermeplanung, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
h)	Landesplanung Hessen (ohne Jahresangabe): Daten für Freiflächensolaranlagen.	Landesplanung Hessen (ohne Jahresangabe): Daten für Freiflächensolaranlagen. Landesplanungsportal Startseite. Geodaten. Freiflächensolaranlagen.	https://landesplanung.hessen.de/geodaten/freiflaechensolaranlagen, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
i)	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2019): Freiflächensolaranlagen. Handlungsleitfaden.	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2019): Freiflächensolaranlagen. Handlungsleitfaden.	https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Handlungsleitfaden_Freiflaechensolaranlagen.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
j)	Stadt Frankfurt am Main (2025): Interne Anfrage zu Biomasse. Rückmeldung Grünflächenamt, Abteilung 67.4 StadtForst.	Stadt Frankfurt am Main (2025): Interne Anfrage. Informationen zur vorhandenen Biomasse in Frankfurt. Rückmeldung Grünflächenamt, Abteilung 67.4 StadtForst. 04.03.2025.	–
k)	Stadt Frankfurt am Main (2025): Interne Anfrage zu Biomasse. Rückmeldung Grünflächenamt, Abteilung 67.32 Grünschnittentsorgung.	Stadt Frankfurt am Main (2025): Interne Anfrage. Informationen zur vorhandenen Biomasse in Frankfurt. Rückmeldung Grünflächenamt, Abteilung 67.4 StadtForst. 11.03.2025.	–
l)	Mainova (2019): Abschätzung der Verfügbarkeit von Holzbrennstoffen.	Mainova AG (2019): Abschätzung der Verfügbarkeit von Holzbrennstoffen für ein geplantes Biomasseheizkraftwerk in Frankfurt.	Interne Studie

Fraunhofer IFAM

Quellen

#	Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Online verfügbar
m)	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2025): Gewässerkundliches Informationssystem. Messstelle Frankfurt Osthafen.	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2025): PegelOnline. Gewässerkundliches Informationssystem. Messstelle FRANKFURT OSTHAFEN. Messstellennummer 24700404.	https://www.pegelonline.wsv.de/gast/stammdaten?pegelnr=24700404, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
n)	Seidel et al. (2025): Wärmegewinnung aus Flusswasser.	Seidel, C., Ostermann, L. & Clausen, J. (2025). Eine Einführung in die Wärmegewinnung aus Flusswasser. Berlin. Borderstep Institut.	https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2025/05/29-05-2025-Flusswasserwaermepumpen.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
o)	Oberflächengewässerverordnung (OGweV), Anlage 7.	Oberflächengewässerverordnung (OGweV), Anlage 7, Pkt. 2.1. Anforderungen an den guten ökologischen Zustand von Fließgewässern.	https://www.gesetze-im-internet.de/ogewv_2016/anlage_7.html, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
p)	FfE (2024): Wärmepumpen an Fließgewässern.	FfE (2024): Wärmepumpen an Fließgewässern. Analyse des theoretischen Potenzials in Bayern.	https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2024/04/Waermepumpen-an-Fliessgewaessern.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
q)	ECO.S & e.qua (2017): Klimaschutzteilkonzept Stadt Frankfurt am Main. Abwärmekataster.	ECO.S & e.qua (2017): Klimaschutzteilkonzept für integrierte Wärmenutzung für die Stadt Frankfurt am Main. Abwärmekataster.	–
r)	Mainova (in Arbeit): Wastewater heat To District heat. Machbarkeitsstudie.	Mainova AG (in Arbeit): Wastewater heat To District heat (WTD). Machbarkeitsstudie.	Interne Studie

Fraunhofer IFAM

Quellen

#	Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Online verfügbar
s)	Bundesverband Geothermie (2025): Lexikon der Geothermie.	Bundesverband Geothermie (2025): Bibliothek. Lexikon der Geothermie. Geothermie.	https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/g/geothermie, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
t)	HLNUG (2019): Erdwärmenutzung in Hessen. Leitfaden Erdwärmesondenanlagen.	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2019): Erdwärmenutzung in Hessen. Leitfaden für Erdwärmesondenanlagen zum Heizen und Kühlen. 6., überarbeitete Auflage.	https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/geologie/erdwaerme/Leitfaden_Erdwaerme_6._Auflage_gesamt.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
u)	VDI (2020): VDI 4640 Blatt 5. Thermische Nutzung des Untergrunds.	VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (2020): VDI 4640 Blatt 5. Thermische Nutzung des Untergrunds – Thermal-Response-Test (TRT).	https://www.vdi.de/mitgliedschaft/vdi-richtlinien/details/vdi-4640-blatt-5-thermische-nutzung-des-untergrunds-thermal-response-test-trt, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
v)	GLU Freiberg (2024): Geothermische Potentialanalyse Frankfurt am Main.	Geologische Landesuntersuchung GmbH Freiberg (2024): Geothermische Potentialanalyse für das Stadtgebiet Frankfurt am Main. Auftraggeber: Mainova AG.	Interne Studie
w)	Gross & Partner (2022): FOUR Frankfurt nutzt Geothermie.	Groß & Partner Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH (2022): FOUR Frankfurt nutzt Geothermie. Nachhaltige Energie aus der Tiefe.	https://www.gross-partner.de/nachhaltige-energie-aus-der-tiefe/, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
x)	Greenhouse Media (ohne Jahresangabe): energie-experten.org. Stadtgärten am Henninger Turm heizen mit Solar- und Erdwärme.	Greenhouse Media GmbH (ohne Jahresangabe): energie-experten.org. Stadtgärten am Henninger Turm heizen mit Solar- und Erdwärme.	https://www.energie-experten.org/projekte/stadtgaerten-am-henninger-turm-heizen-mit-solar-und-erdwaerme, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
y)	HLNUG (ohne Jahresangabe): Bewirtschaftungsgebiete Hessen.	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (ohne Jahresangabe): Bewirtschaftungsgebiete Hessen. Geoportal Hessen.	https://www.geoportal.hessen.de/spatial-objects/272, zuletzt geprüft am 26.09.2025.

Fraunhofer IFAM

Quellen

#	Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Online verfügbar
z)	HLNUG (2010): Tiefengeothermisches Potenzial in Hessen.	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2010): Geologische Strukturräume mit nachgewiesenem und vermutetem tiefengeothermischem Potenzial in Hessen 1 : 300 000.	https://www.hlnug.de/fileadmin/img_content/geologie/erdwaerme/tiefe_geothermie/tiefegeothermie_potenziale.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
aa)	HLNUG (ohne Jahresangabe): Tiefe Geothermie.	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (ohne Jahresangabe): Geologie. Erdwärme. Geothermie. Tiefe Geothermie.	https://www.hlnug.de/themen/geologie/erdwaerme-geothermie/tiefe-geothermie, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
ab)	BMWE (2024): Erfolgreicher Feldversuch zum Hot-Dry-Rock-Verfahren.	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2024): Erfolgreicher Feldversuch zum Hot-Dry-Rock-Verfahren. Geothermie.	https://www.energieforschung.de/de/aktuelles/news/2022/erfolgreicher-feldversuch-zum-hot-dry-rock-verfahren, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
ac)	BfEE (ohne Jahresangabe): Plattform für Abwärme.	Bundesstelle für Energieeffizienz im Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (ohne Jahresangabe): Plattform für Abwärme.	https://www.bfee-online.de/BfEE/DE/Effizienzpolitik/Plattform_fuer_Abwaerme/plattform_fuer_abwaerme_node.html, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
ad)	Mainova (2023): Mainova und Infraserv Höchst wollen Abwärme aus dem Industriepark Höchst nutzen.	Mainova AG (2023): Mainova und Infraserv Höchst wollen Abwärme aus dem Industriepark Höchst nutzen. Presse-Information.	https://www.mainova.de/resource/blob/131354/98e2ccadf0ef8f5fbf0a2bf1da3abdd7/15112023-pm-abwaerme-loi-infraservhoechst-data.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
ae)	FAZ (2024): Süwag will Haushalte mit Wärme aus dem Industriepark versorgen.	Frankfurter Allgemeine Zeitung (2024): Süwag will Haushalte mit Wärme aus dem Industriepark versorgen. Heizen ohne Erdgas. Von Janovic, I. 02.02.2024.	https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/wirtschaft/heizen-ohne-erdgas-suewag-will-im-frankfurter-westen-fernwaerme-einfuehren-19493423.html, zuletzt geprüft am 26.09.2025.

Fraunhofer IFAM

Quellen

#	Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Online verfügbar
af)	Stadtplanungsamt (ohne Jahresangabe): Steuerung von Rechenzentren.	Stadtplanungsamt Frankfurt am Main (ohne Jahresangabe): Steuerung von Rechenzentren. Startseite. Stadtentwicklung. Industrie & Gewerbe-Entwicklungsprogramm. Steuerung von Rechenzentren.	https://www.stadtplanungsamt-frankfurt.de/steuerung_von_rechenzentren_22137.html, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
ag)	Mainova AG (2025): Mainova und Stadt präsentieren Entwurf für geplanten Wärmespeicher.	Mainova AG (2025): Mainova und Stadt präsentieren Entwurf für geplanten Wärmespeicher. Presse-Information.	https://www.mainova.de/resource/blob/151260/d8abd041656836782a441b154c15e27b/20250514-pm-gestaltungswettbewerb-waermespeicher-data.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
ah)	NRW.Energy4Climate (2023): Photovoltaik auf Freiflächen.	NRW.Energy4Climate GmbH (2023): Photovoltaik auf Freiflächen. Leitfaden. Landesgesellschaft für Energie und Klimaschutz.	https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/energiewirtschaft/freiflaechen-pv-publikation-cr-nrwenergy4climate.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
ai)	Deutsche Windguard (2020): Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land.	Deutsche Windguard (2020): Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land – Entwicklung, Einflüsse, Auswirkungen. Auftraggeber: Bundesverband WindEnergie e.V., Landesverband Erneuerbare Energien NRW e.V.	https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/veroeffentlichungen/2020/Volllaststunden%20von%20Windenergieanlagen%20an%20Land%202020.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
aj)	Wikipedia (2025): Staustufe Griesheim.	Wikipedia (2025): Staustufe Griesheim. Zuletzt bearbeitet: 25. September 2025.	https://de.wikipedia.org/wiki/Staustufe_Griesheim, zuletzt geprüft am 26.09.2025.
ak)	Wikipedia (2025): Staustufe Offenbach.	Wikipedia (2025): Staustufe Griesheim. Zuletzt bearbeitet: 25. September 2025.	https://de.wikipedia.org/wiki/Staustufe_Offenbach, zuletzt geprüft am 26.09.2025.

Fraunhofer IFAM

Quellen

#	Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Online verfügbar
al)	TU München (2017): Potential der hydrothermalen Geothermie zur Stromerzeugung in Deutschland.	Eyerer, S.; Schifflechner, C.; Hofbauer, S.; Wieland, C.; Zosseder, K.; Bauer, W.; Baumann, T.; Heberle, F.; Hackl, C.; Irl, M. & Spliethoff, H. (2017): Potential der hydrothermalen Geothermie zur Stromerzeugung in Deutschland. Hg. v. Geothermie-Allianz Bayern. TU München, FAU Erlangen-Nürnberg, Uni Bayreuth, Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst.	https://www.epe.ed.tum.de/fileadmin/w00bzo/es/pdf/Potential_der_hydrothermalen_Geothermie_zur_Stromerzeugung_in_Deutschland.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2025.

Fraunhofer IFAM

Ihre zentrale Anlaufstelle zu allen Klimafragen der Stadt Frankfurt am Main: Das Klimareferat

Klimareferat Stadt Frankfurt am Main
Solmsstraße 18
60486 Frankfurt am Main
kwp@stadt-frankfurt.de
069 212 39193
frankfurt.de/klimareferat
https://klimaschutz-frankfurt.de/kommunale-waermeplanung