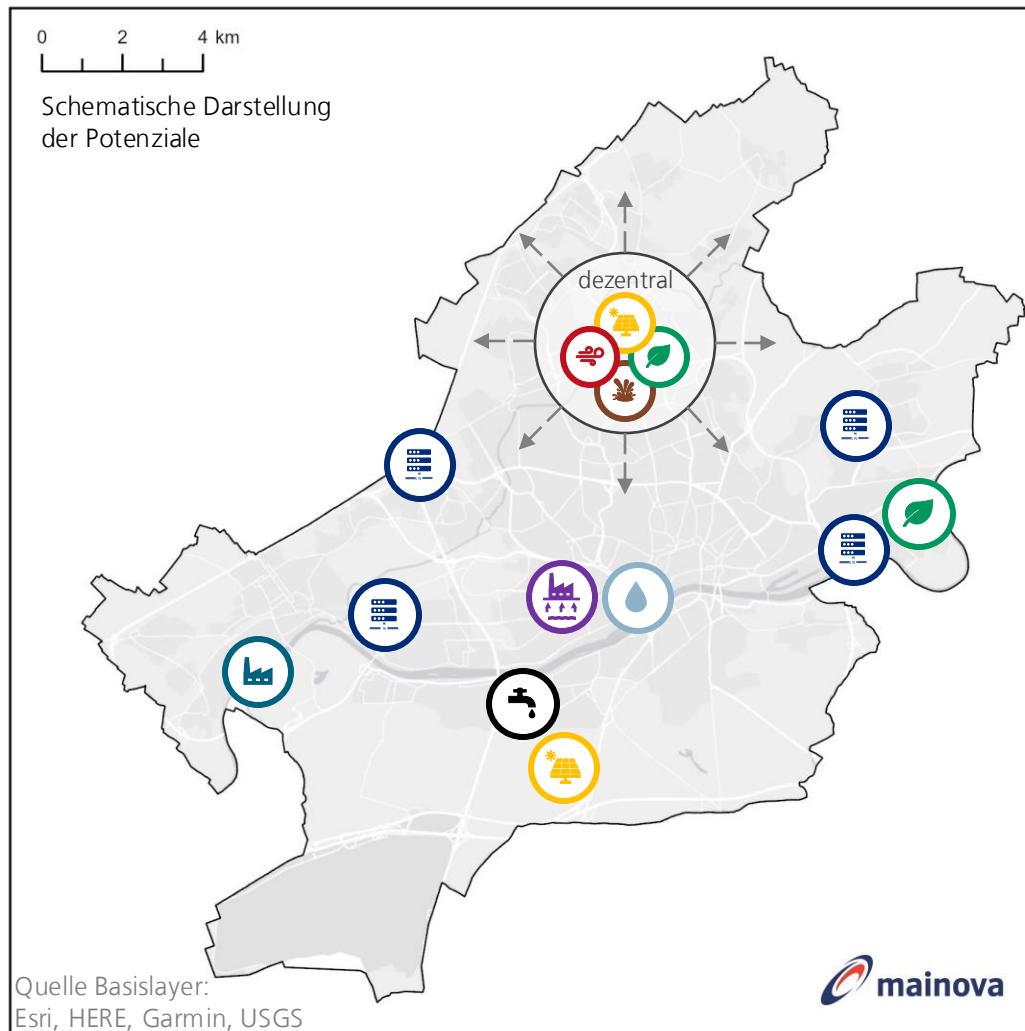


2: Potenziale zur Nutzung von Wärme aus erneuerbaren Energien

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

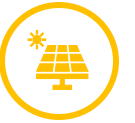
Frankfurt bietet gutes Potenzial für Tiefengeothermie; weitere Studien laufen (Standort für Fernwärmenetz z. B. HKW West, Nutzung für Nahwärmenetze auch möglich).



- 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.

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:

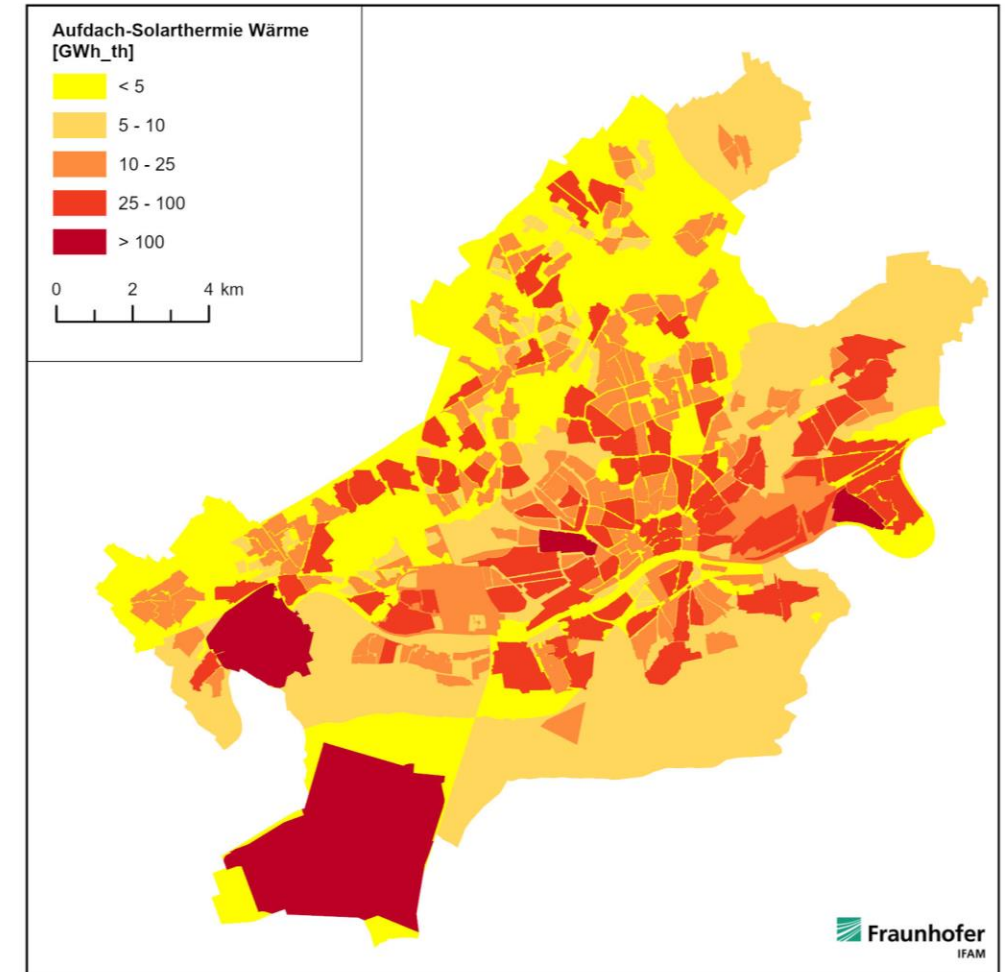
- Flachkollektoren dominieren im Aufdachbereich; Leistung: 490 kWh/(m²·a)^{g)}

	Alle Gebäude	Wohngebäude	Nichtwohngebäude
Modulfläche [Mio. m ²]	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:

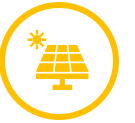
- Nur 3,5 % der potenziellen Modulfläche sind belegt.
- PV und Solarthermie konkurrieren um Dachflächen – PV ist meist wirtschaftlicher.

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



Freiflächen-Solarthermie

Potenziale für erneuerbare Wärme



Freiflächen Frankfurt für Solarthermie:

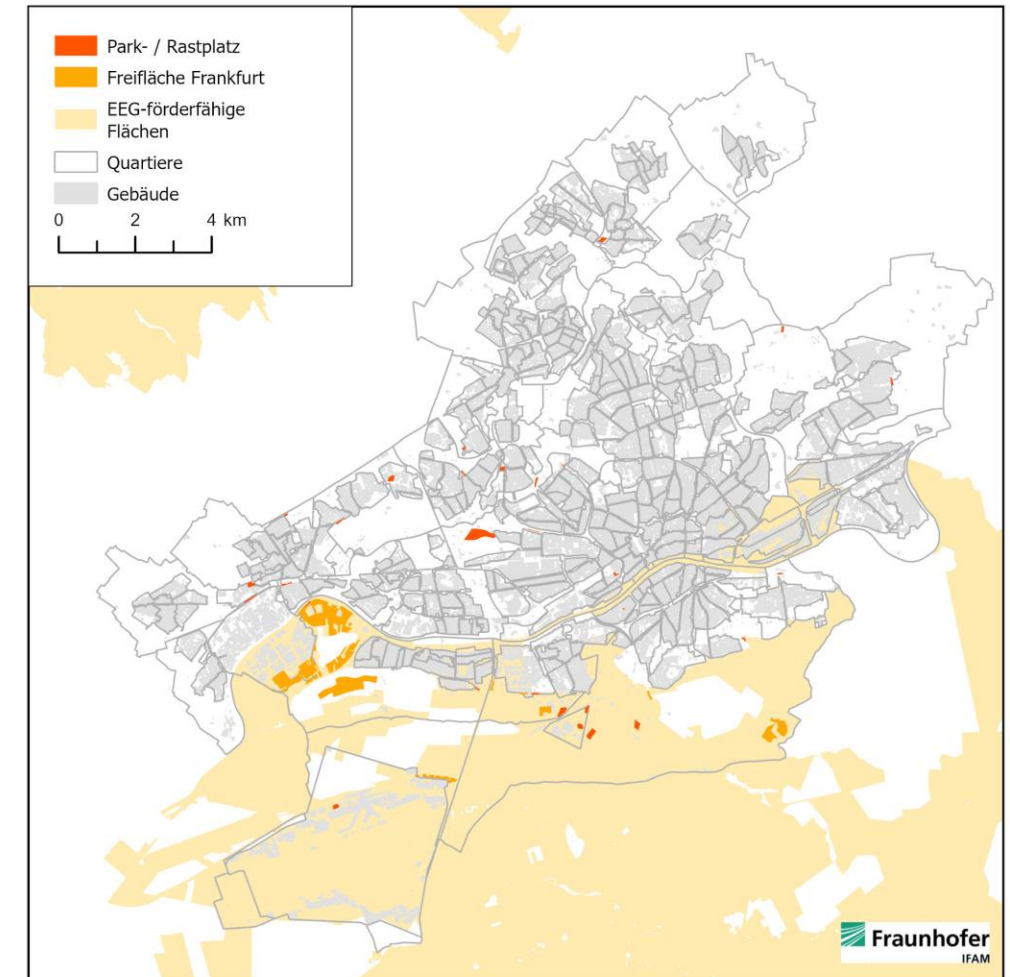
- Die EEG-förderfähigen Flächen für Solarthermie^{h)} wurden durch die Basis-DLM Daten bereinigt (entfernen z. B. von Wald, Wohngebieten, Straßen, Plätzen)
- Verhältnis von Land- zu Kollektorfläche: 2,5ⁱ⁾

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.



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**.

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 Kilometern¹⁾

- Die Abbildung rechts zeigt das theoretische Biomaspotenzial 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.

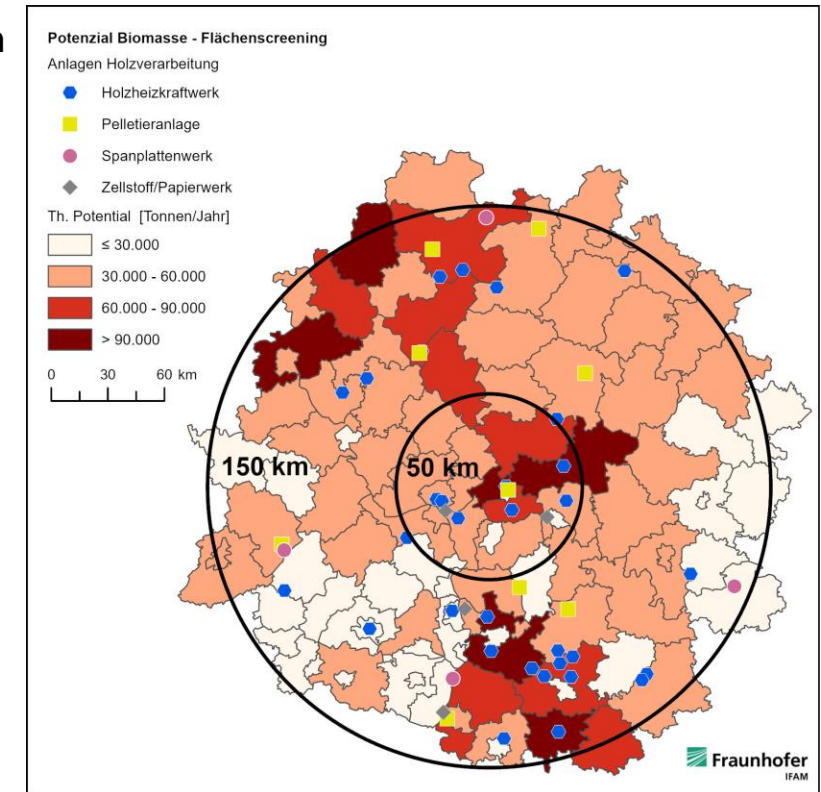


Abbildung: Theoretisches Potenzial von Altholz, Grünschnitt und Waldrestholz je Landkreis (Quelle: eigene Darstellung auf Basis von [1])

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

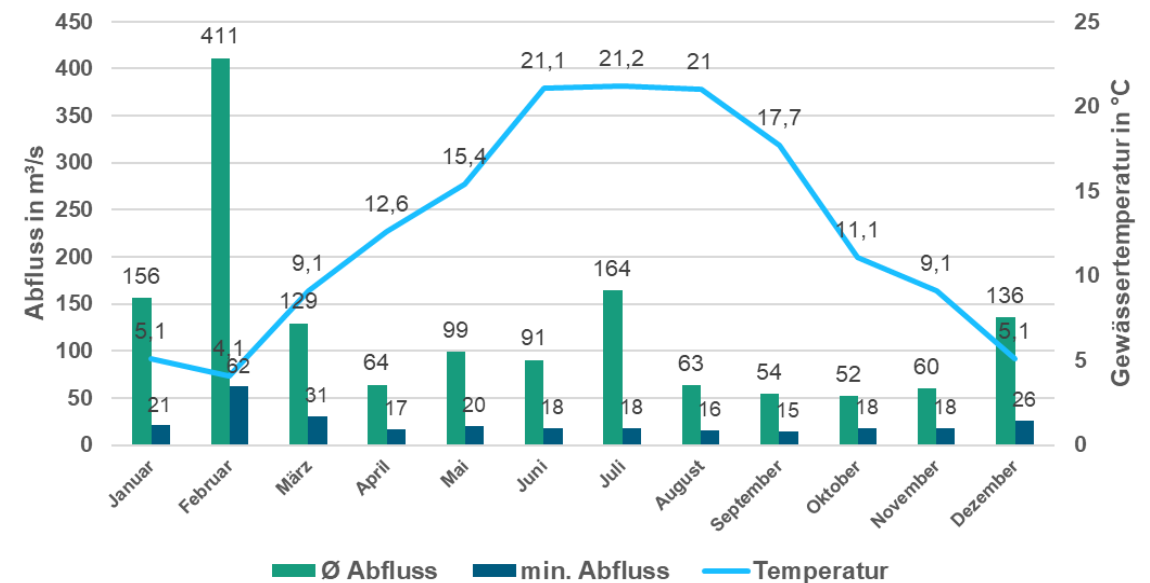


Abbildung: Parameter zu Abfluss und Temperatur des Mains an der Messstelle Osthafen^{m)} (gemittelte Monatswerte und niedrigste Durchschnittsstunde, beides aus dem Jahr 2021)

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 nutzbarⁿ⁾.
- 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)

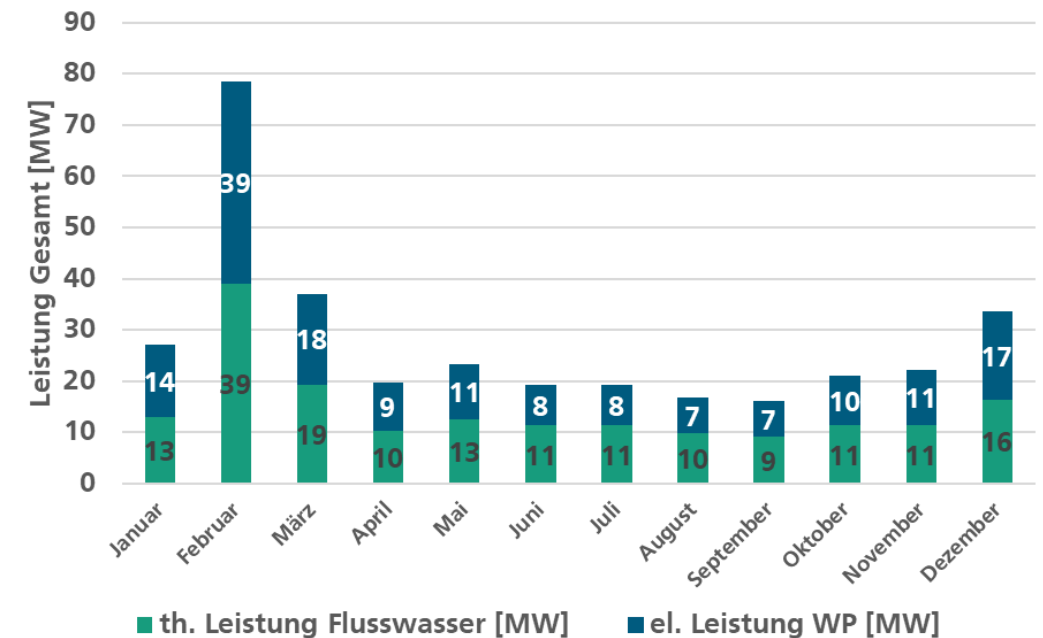


Abbildung: Gesamtwärmeleistung bei Entnahme von 10 % des minimalen Durchflusses im Jahr 2021 und Temperaturdifferenz von 1,5 K.

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	Menge
	[MW _{th}]	[GWh _{th} /a]
2021	37	74
2024	124	248

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

Jahr	Leistung	Menge
	[MW _{th}]	[GWh _{th} /a]
2021	55	220
2024	185	740

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

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.

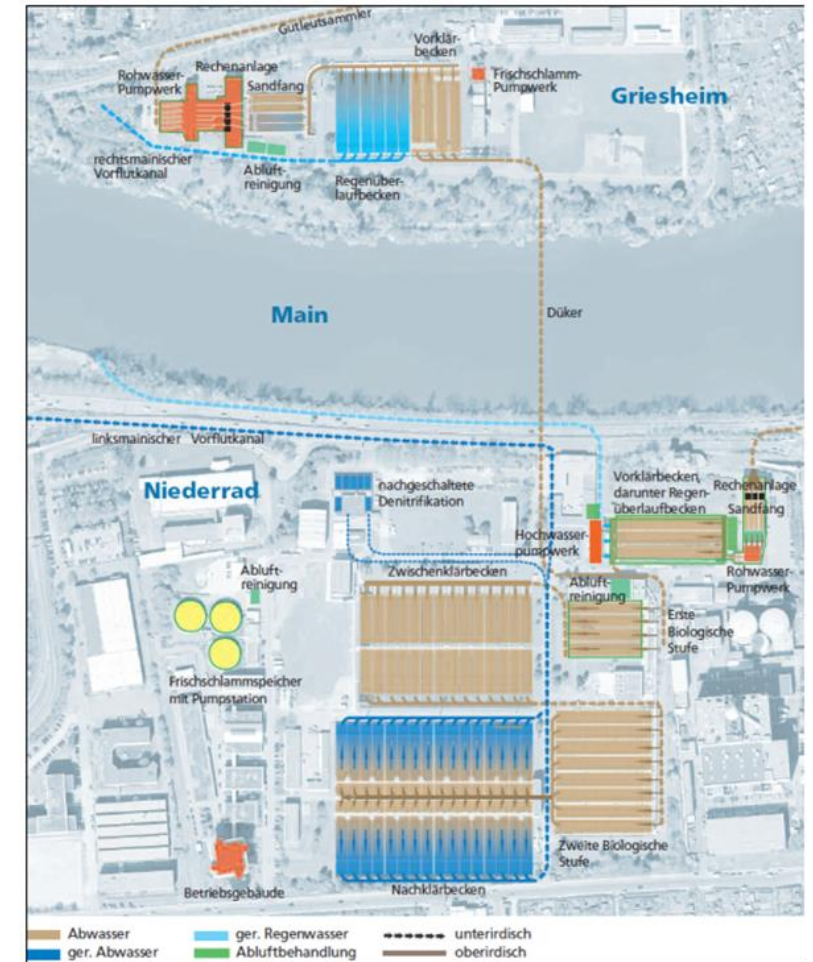


Abbildung: Kläranlage Niederrad/Griesheim, übernommen aus [q].

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.

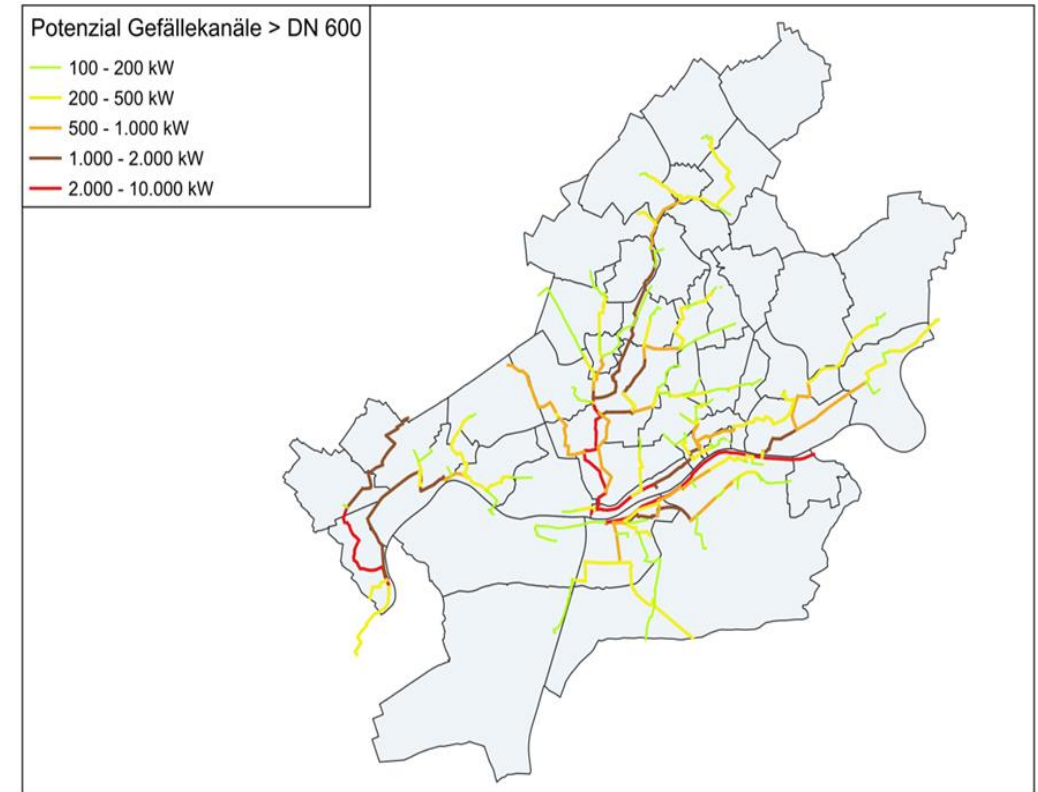


Abbildung: Potenzialkarte der Entzugsleistung in Gefällekanälen der Stadtentwässerung mit Nennweiten größer DN 600 (Quelle: eigene Darstellung auf Basis von [q]).

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.

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.



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.

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.

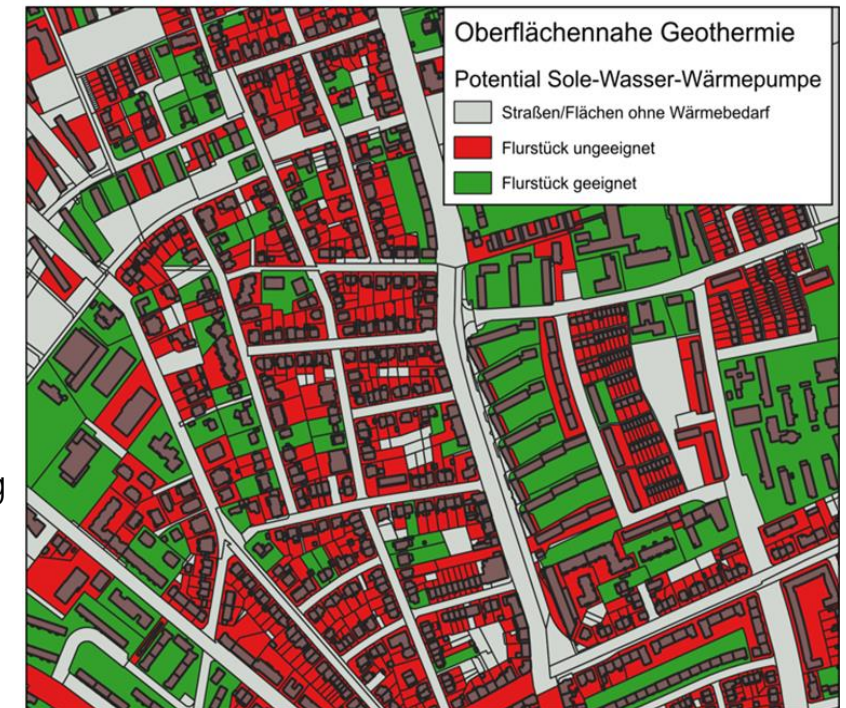


Abbildung: Exemplarische Darstellung des Flächenscreenings zum Potenzial von Sole-Wasser-Wärmepumpen (Ausschnitt einer Fläche im Stadtteil Dornbusch).

Oberflächennahe Geothermie – Ergebnis

Potenziale für erneuerbare Wärme



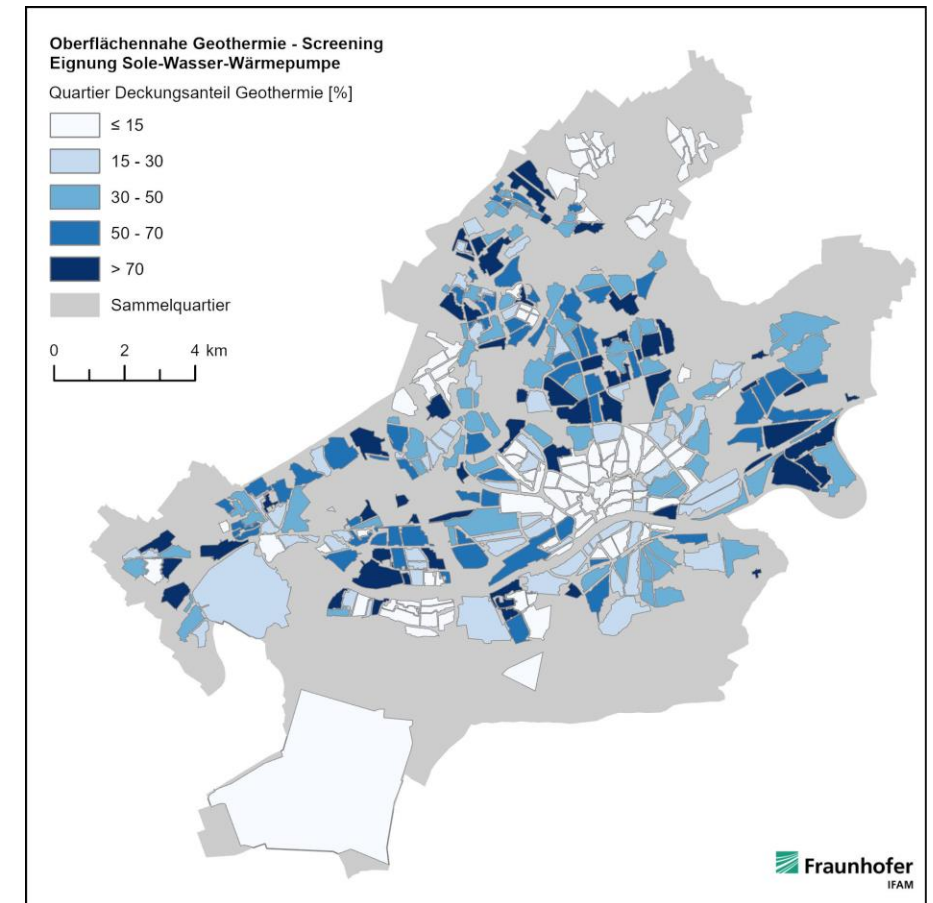
Ergebnis

- 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.

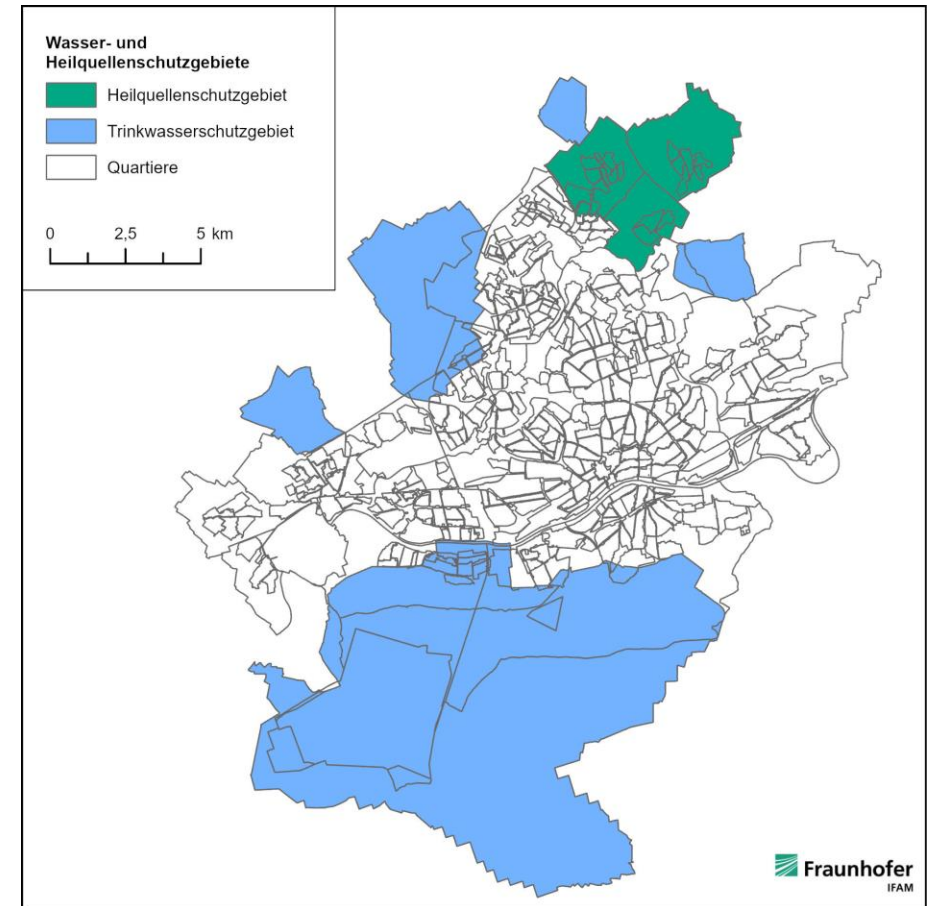


Ausschlussgebiete – Wasser- und Heilquellenschutzgebiete

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.



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.

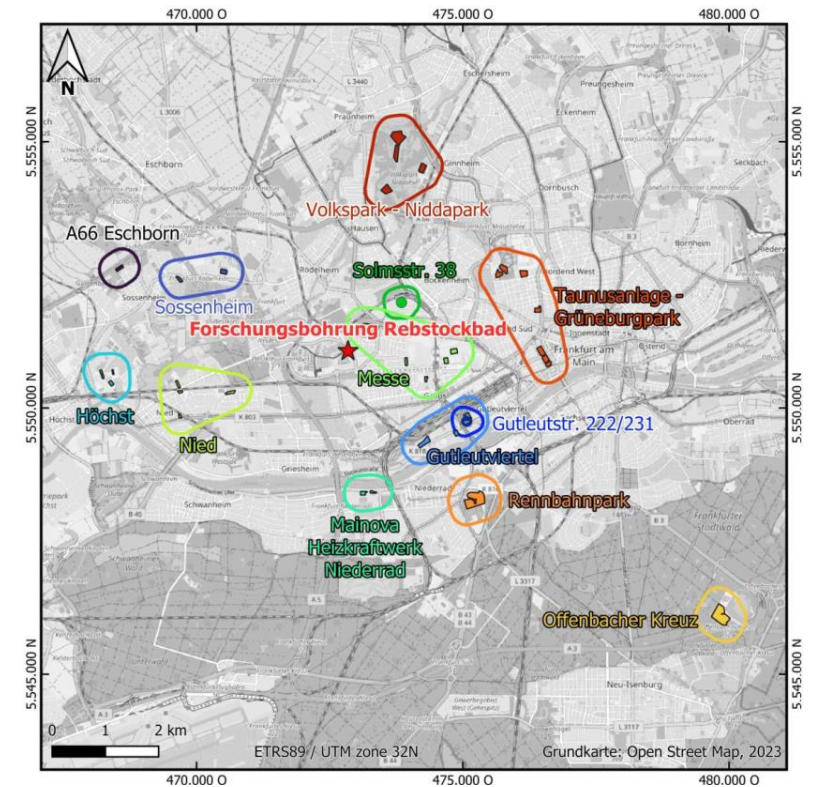


Abbildung: Untersuchungsstandorte im Stadtgebiet Frankfurt, übernommen aus [v].

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 ($\approx$ 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.

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 Fündigkeitsrisiken¹ 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.

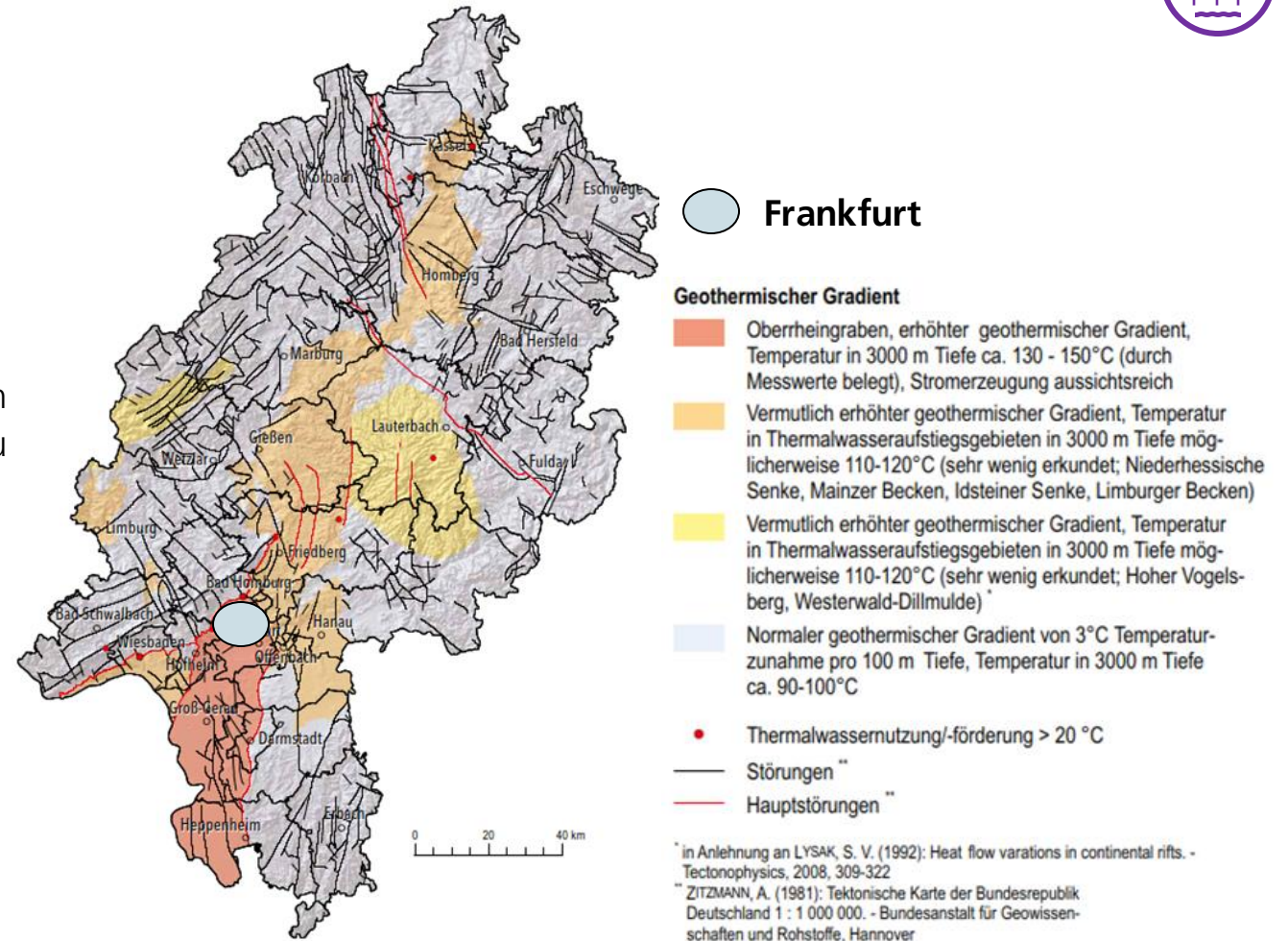


Abbildung: Geologische Strukturräume mit nachgewiesenem und vermutetem tiefengeothermischem Potenzial in Hessen, übernommen aus [aa].

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.](#)

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.