

Entwicklung einer Indikator-basierten Methode zur Erhebung und Bewertung lokaler Wärmequellenpotentiale

Nicolas Fuchs, Guillermo Yanez, Jessica Thomsen (Fraunhofer ISE)
IEWT 2023
TU Wien, 15-17.02.2023

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FernWP:
FKZ 03EN4015A

Problem

Kommunale Energieplanung

- Eine verpflichtende kommunale Wärmeplanung in DE ist geplant¹
- Unter anderem in Baden-Württemberg ist die Aufgabe schon gesetzlich verpflichtend
- Erste Leitfäden beschreiben den Umfang² in den die Durchführung einer Potentialanalyse gehört

Aber:

- Berechnungshilfen zur Erstellung von Potentialanalysen bisher für Kommunen nicht verfügbar
- Informationen sind für die Ausführung nicht gebündelt genug und die Regulatorik ist z.T. nicht eindeutig oder fehlt
- Wärmepotential Erhebungsmethoden unvollständig für die Anwendung in kommunaler Wärmeplanung



Mit der Regelung der kommunalen Wärmeplanung als strategischen Planungs- und Transformationsprozess betreten wir gemeinsam Neuland...«

Franz Untersteller MdL
Minister für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft des Landes
Baden-Württemberg

Forschungsfragen

Zu einer allgemeinen Wärmequellen Potential Methodik

1

Welche lokalen Niedertemperatur Wärmequellen stehen einer Stadt, Kommune oder Industrieliegenschaft zur Verfügung?

2

Wie können Wärmequellen anhand von öffentlich-verfügbaren Daten zur Verwendung in der kommunalen Wärmeplanung für Wärmenetze sinnvoll abgeschätzt werden?

3

Wie ist das techno-ökonomische Potential lokaler Wärmequellen einzuschätzen und auf welche Quellen sollten sich lokale Planer fokussieren?

Fokus Wärmequellen für GWP

Luft-basiert

- Luft
- Abwärme

Wasser-basiert

- Oberflächengewässer (Flüsse, Seen, Ozeane, Reservoirs)
- Abwasser
- Grundwasser, Minen

Erd-basiert

- Oberflächennahe Geothermie
- Tiefengeothermie

Solarthermie

Biomasse

- Abfälle, Klär-/Biogas
- Feststoffe

Methode

Zur Bewertung von lokalen Wärmequellen Potentialen für die kommunale Wärmeplanung

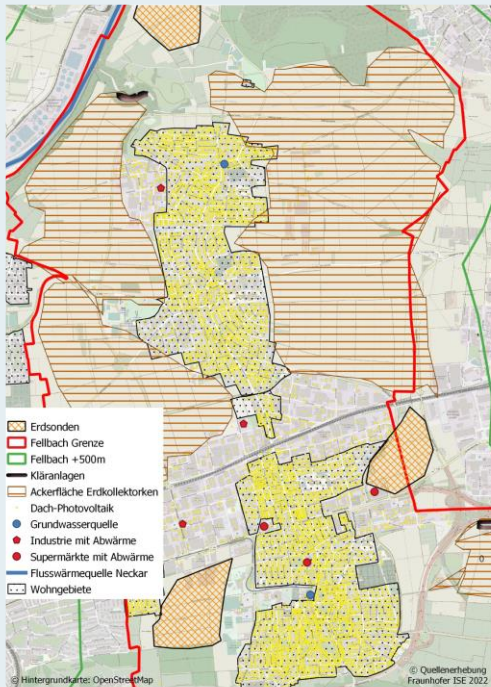
3 Schritte

- 1. Identifikation möglicher Wärmequellen.**
- 2. Evaluierung der Quellen anhand von technischen, ökonomischen, regulatorischen und ökologischen Indikatoren.**
 - Indikatoren bedürfen einer detaillierten open-source Datenerhebung
 - Abschätzung der technisch realisierbaren Potentiale unter Limitierungen bzw. Grenzkriterien
 - Berücksichtigung der Orts- und Zeitabhängigkeit der Indikatoren
- 3. Abschätzung und Vergleich der Wärmequellen zur Entscheidungshilfe für vertiefende Untersuchung oder Erschließung.**

Methode

Identifikation

Datenerhebung in geografisch begrenztem Gebiet.



Screening von möglichen Flächen und Standorten.

- Siedlungs-, Wald-, Frei-, Schutz-, Ackerflächen
- Gebäude-, Industriestandorte, Kläranlagen, Minen, Grundwasserbrunnen, Flüsse, Seen, Meer
- Detailrecherche zu Abwärmequellen, Population, Untergrund, etc.

Datenerhebung

- OSM-Mapping, Online-Portale, Kataster, Atlanten, Geoinformations-DB
- Sammlung relevanter sowie zeitabhängiger Parameter aus Messdaten
- Grenzkriterien anhand von empirischen Studien, VDI Vorgaben, Erfahrungswert und Richtlinien

Methode

Indikatoren

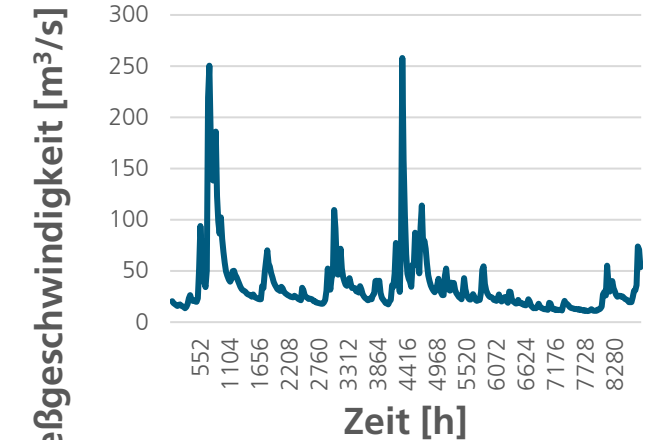
□ Technische Indikatoren

△ Regulatorische Indikatoren

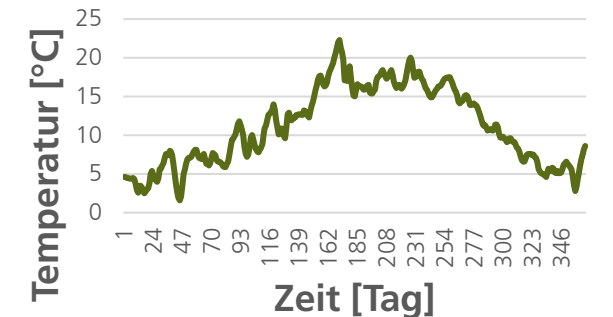
◇ Ökonomische Indikatoren

○ Ökologische Indikatoren

Water quantity	Groundwater quantity (m ³ /h) Surface water volume (m ³) or flow rate (l/s)
Water quality	Groundwater quality
Water accessibility	Depth of access of ground water (m)
Ground conditions	Thickness of the quaternary (m) Thickness of the pebble layer (m)
Effect of groundwater	Thickness of aquifer (m)
Water temperature	Groundwater temperature (°C) Surface water temperature and soil-heat sources temperature (°C)
Thermal properties of the soil	Thermal conductivity (W/mK) Thermal diffusivity (m ² /s) Soil mean temperature (°C)
Global irradiance	Global irradiance on a fixed plane (W/m ²)
Heat source accessibility	Distance grid to the heat extraction point (m)
Area available	Area available (m ²)
European Water Framework Directive	
Federal Water Act (WHG) and State Water Act (WG)	
Wastewater ordinance (ABwV)	
Ordinance on Systems for Handling water- Polluting Substances (AwsV)	
Water Resources Act (WHG / WG)	
Federal Mining Act (BBergG)	
Deposit Act	
Heat source related CAPEX	Auxiliary Systems cost per kW (EUR/kW) Heat Exchanger cost per kW (EUR/kW)
Heat Pump related CAPEX	Heat Pump cost per kW (EUR/kW)
Planning and administrative- related CAPEX	Planning and admin. Cost per kW (EUR/kW)
Operation and maintenance fixed cost – fix OPEX	Fixed costs per kW (EUR/kW/a)
Variable operating costs – var OPEX	Cost of electricity consumed by HP and pumping system (EUR/kWh/a)
Heat intake and deposition	Maximum permissible heat extraction from waterbody, ΔT_r (K)
Water consumptive use	Well interference and distance between wells
Water quality	Minimum water quality suitability
Non-consumptive groundwater use	Temperature plume
Depth limit on geothermal use	Geothermal collectors depth limit
Heat transfer substance	Properties of heat transfer substance used
Thermal pollution	Underground temperature change
Drilling and grouting related risk	Land subsidence Ground uplift Sinkholes formation
Antifreeze leakage	Antifreeze leakage risk
Noise	Noise level



— Fluss Neckar Fließgeschw. [m³/s]



— Flusswasser Neckar

Methode

Grenzkriterien und Berechnung

Potentialberechnung

1. Theoretisches Potential

2. Technisches Potential unter Grenzkriterien

– Je Zeiteinheit [h oder Tag]

– Allg. Berechnung folgt:

$$P = \frac{\Delta T V \rho_i C_{p_i}}{t}$$

– Quellenabhängig, z.T. mit Wärmeentzugsleistungen je m² vereinfachbar

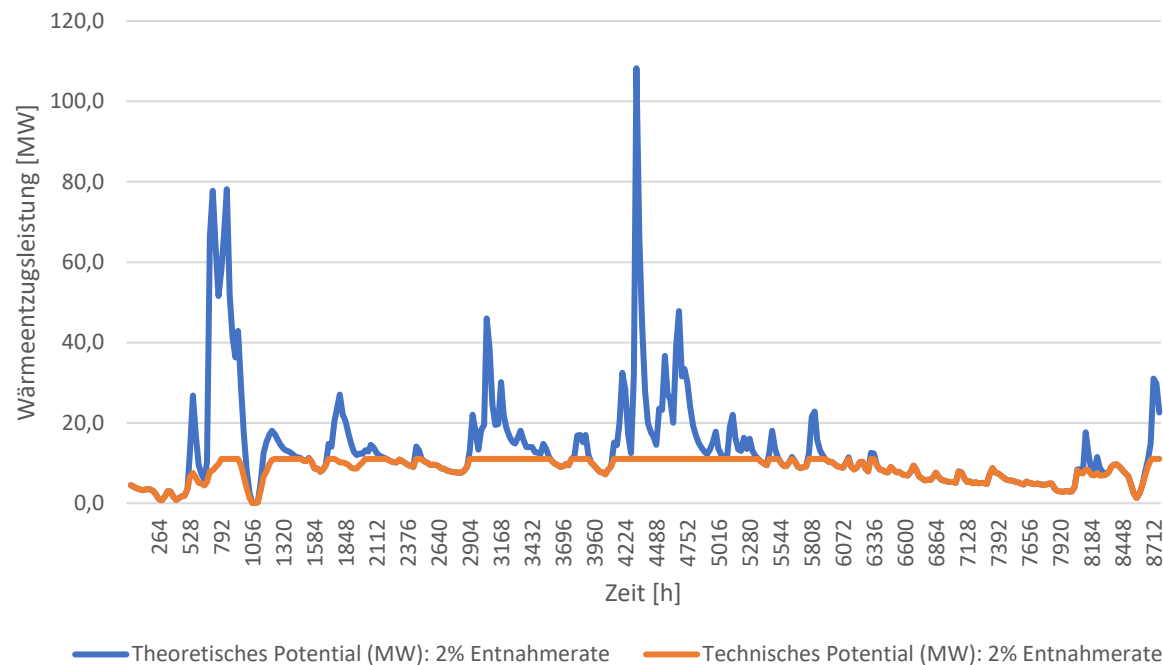
Tabelle: Auszug aus Grenzkriterien

Quelle	Grenzkriterien	Höchstwerte in eigener Berechnung	
Abwasser	Abfluss ≤ 15 l/s, D ≥ 300 m	ΔT (Ablauf/Einleitwasser)	Winter: 1 K Sommer: 1.5 K
Offene Gewässer	Fläche See < 1km ² , Wasserschutzzone	ΔT (extrahiertem Wasser)	5 K
		Min. Wasser T	2-4 °C (nach WP)
		ΔT (Gesamtkörper)	1 K (z.T. auch höher)
Grundwasser	Fließgeschwindigkeit ≤ 5 m ³ /h, Geschützte Quellen	ΔT (extrahiertem Wasser)	6 K
		Min. Wasser T.	5 °C
Agro-geothermische Kollektoren	Fläche ≤ 5000 m ²		
Kommerzielle Abwärme	T ≥ 35 °C		

Test der Grenzkriterien an Fließgewässer

Theoretische vs. Technische zeitliche Verfügbarkeit

Verfügbare Leistung am Neckar in Fellbach

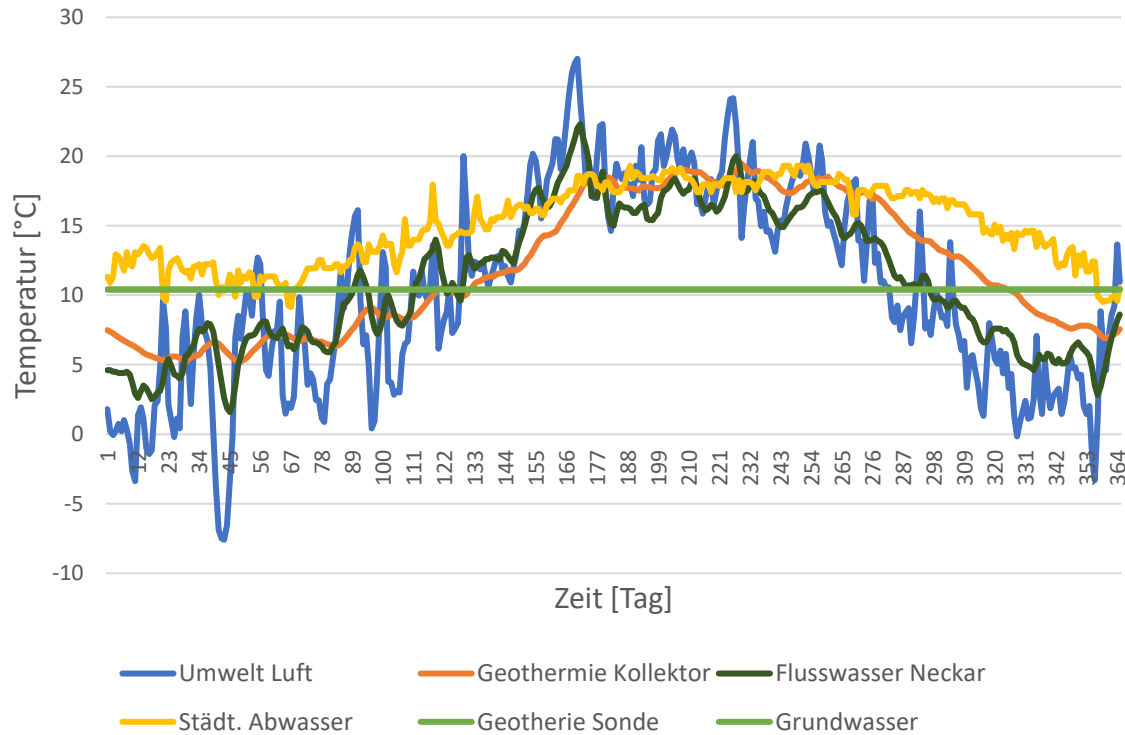


- Bei einer Gesamtstromabkühlung von 0.1 K können aus dem Neckar **theoretisch 117 GWh** über 8760 h bezogen werden.
- **Technisch** umsetzbar davon sind ca. 60% (**78 GWh**) bei 11 MW.
- Eine Abkühlung von 0.1 K entspricht 0,22 bis 0,53 m³/s übers Jahr.

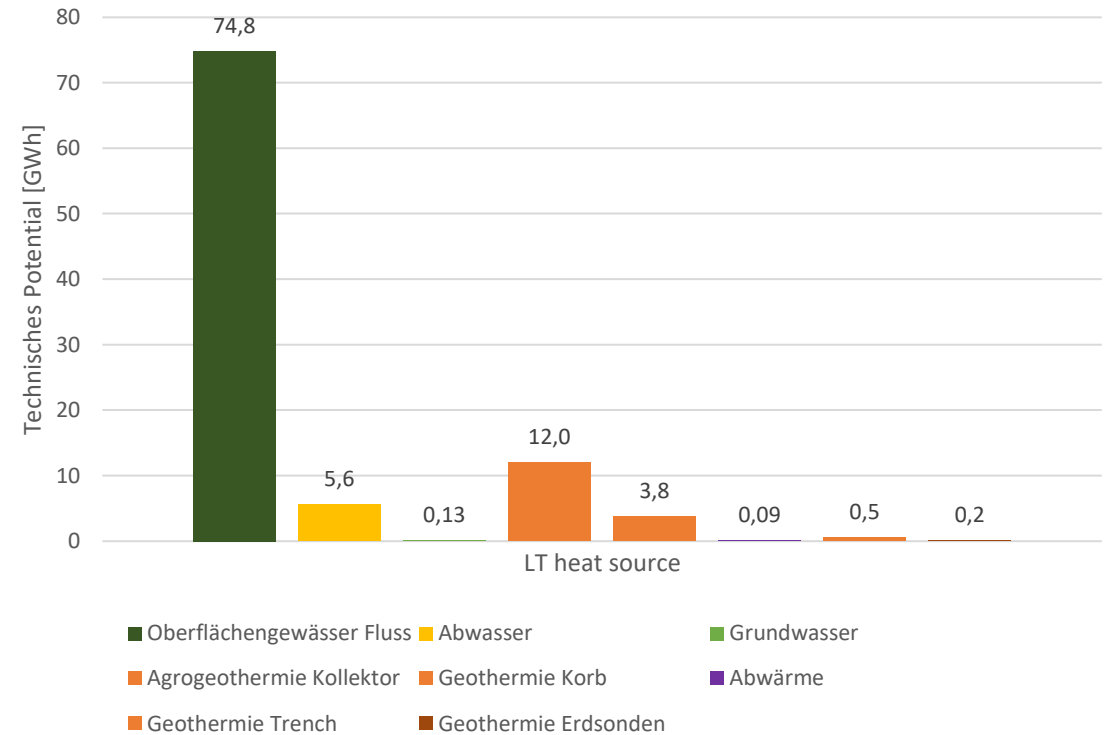
Ergebnisse

Detailanalyse

Temperaturverlauf der Niedertemperatur Quellen in Fellbach



Verteilung des Niedertemperatur Potentials für die Anwendung in Großwärmepumpen in Fellbach



Ergebnisse

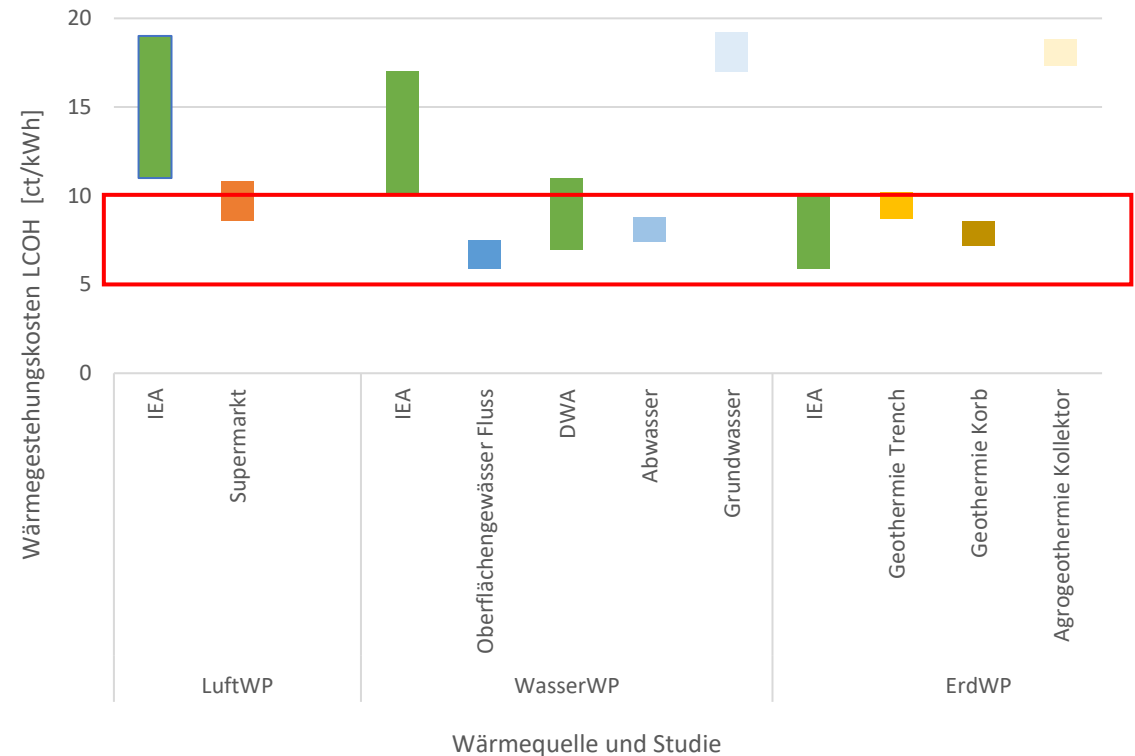
Vergleich der techno-ökonomischen Wärmegestehungskosten LCOH

Abschätzung der Wärmegestehungskosten aus technischen Potentialen

Unter Berücksichtigung:

- der Wärmetauscher und Wärmequellenkosten (skaliert anhand technisch verfügbarer Leistung)
- Lokalen Wärmenetzstruktur
- Lokalen Wärmenachfrage (Abschätzung)
- Weitere Begrenzung (Abstände zu Netz und Senke, etc.)

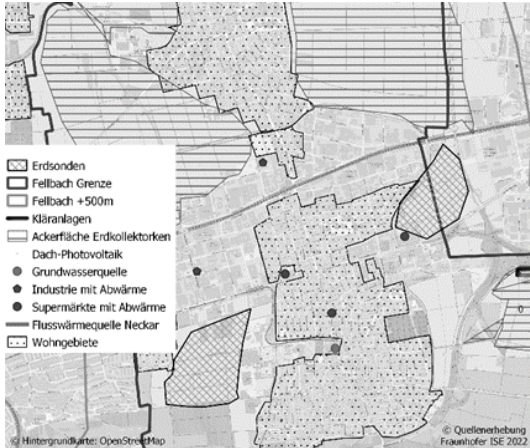
LCOH für Großwärmepumpen mit Strompreis 15-20ct/kWh_{el} nach Quelle in Fellbach vs. IEA



Ergebnisse

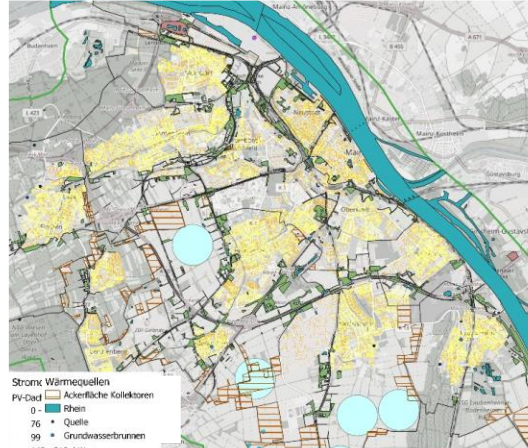
Anwendung der Methodik auf verschiedene Standorte

Höchste technische Potentiale aus der Erhebung



Stadt Fellbach

117 GWh Flusswärme
 12,2 GWh oberflächennahe Geothermie
 5,6 GWh aus Abwassernutzung



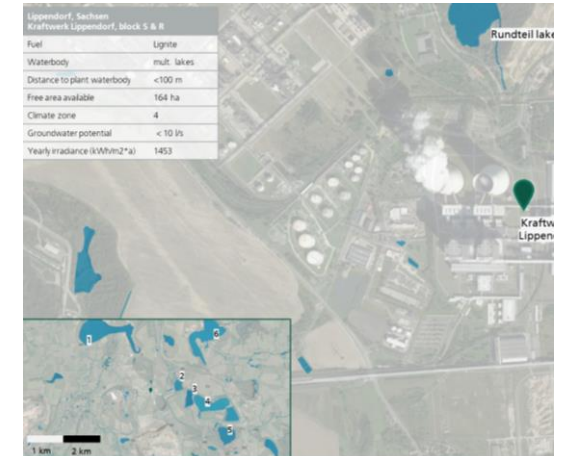
Stadt Mainz

518 GWh Flusswärme
 28 GWh Erdkollektoren
 28 GWh aus Abwasser
 30 GWh Industrieabwärme
 56 MWh Grundwasser



Kraftwerk Karlsruhe

351 GWh Hohes Flusswärme Potential (0,2% des Rhein Massenstroms)
 5,5 GWh Solarthermie auf verfügbaren Flächen



Kraftwerk Lippendorf

102 GWh Seewärme (6 Seen)
 32 GWh Solarthermie auf dem Standort
 14,8 GWh oberflächennahe Geothermie über Erdkörper

Fazit

In Städten, Kommunen und Liegenschaften gibt es **erhebliche erneuerbare Wärmepotentiale**

Für die kommunale Wärme bzw. Energieplanung müssen diese erhoben werden

Eine Indikatoren basierte Methode ermöglicht eine Abschätzung von Niedertemperaturquellen Potentialen

- auch wenn die Datenverfügbarkeit und Güte limitiert ist
- zur Einordnung der Stadtwerke/Kommunen für die Folgeplanung und Maßnahmenentwicklung
- dabei muss die zeitliche Komponente der Verfügbarkeit und Nachfrage berücksichtigt werden

Ausblick: Überprüfung weiterer und veränderlicher Indikatoren, Anwendung auf weitere Fallstudien



**Die Bewertung lokaler erneuerbarer
Wärmequellen wird zentraler Bestandteil
der kommunalen Wärmeplanung sein. «**

Sebastian Herkel,
Abteilungsleitung
Fraunhofer ISE

Kontakt

Nicolas Fuchs
Dezentrale Energiesysteme und Märkte
Tel. +49 12 3456-5589
nicolas.fuchs@ise.fraunhofer.de

Gefördert durch:



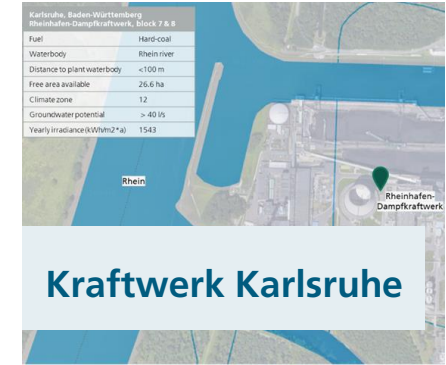
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FernWP:
FKZ 03EN4015A

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

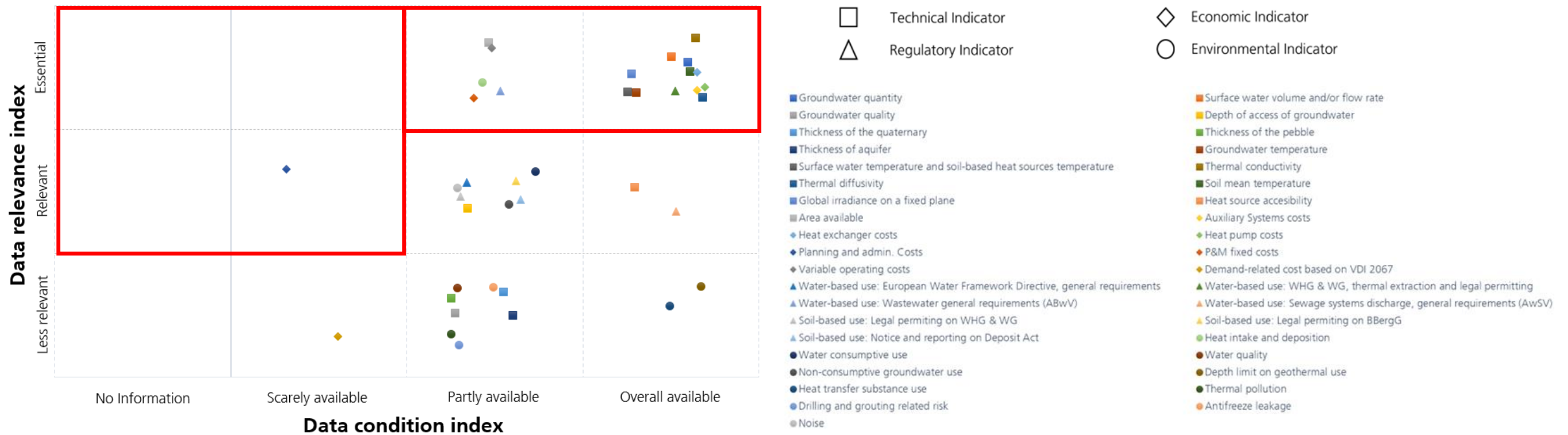
Daten Qualität vs. Data Relevanz

Am Beispiel der Erhebung am Kraftwerk Karlsruhe



Eine gute Datenlage hilft bei der Abschätzung, ist aber nicht garantiert

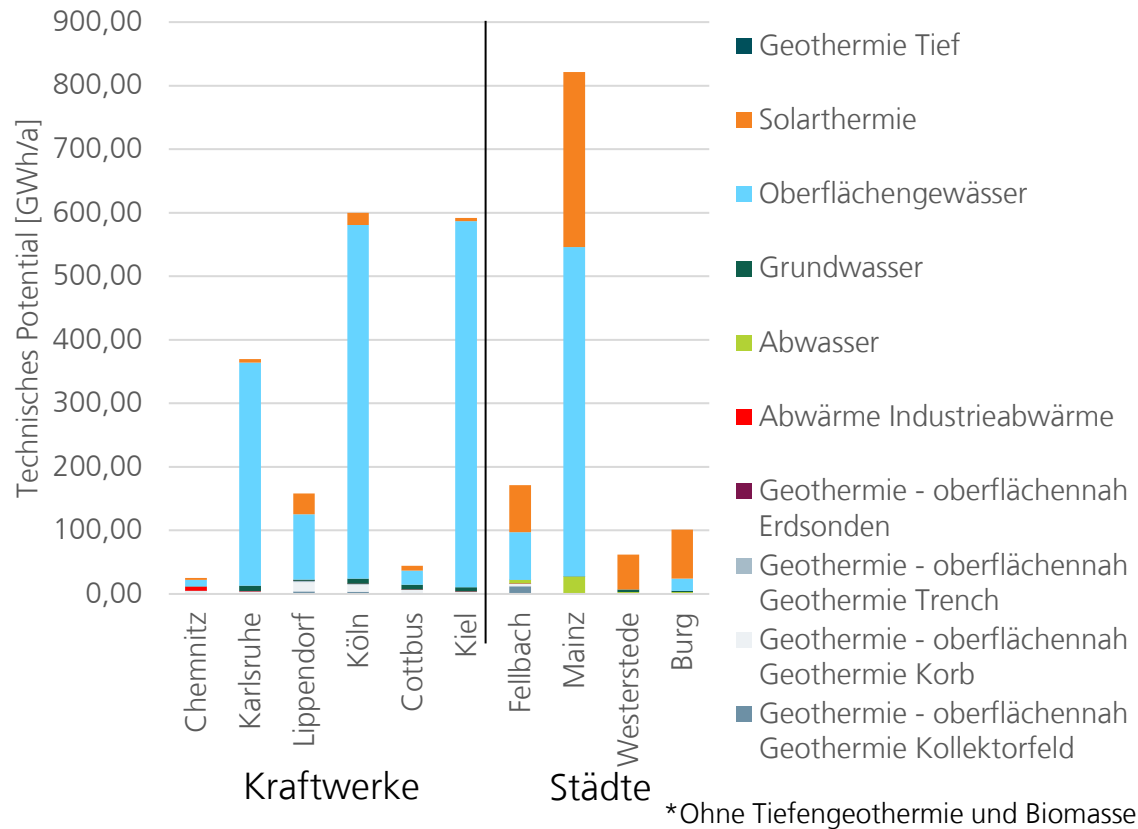
Quantitative Darstellung zeigt Lücken auf



Ergebnisse

Wärmequellen Potentialvergleich

Verfügbares technisches Wärmepotential



Kohlekraftwerke - Technisches Potential pro Fläche



Zusammenfassung Ökon. Vergleich Fellbach

	Gewässer	Abwasser	Grundwasser	Geothermie Sonde	Agrothermie Kollektor	Geothermie Korb	Geothermie Trench	Abwärme Supermarket	Summe Gesamt
Theoretisches Potential [GWh]	117.00	7.46	0.14	1.94	239.69	76.40	10.70	0.11	453.72
Technisches Potential [GWh]	74.80	5.59	0.13	0.15	12.00	3.82	0.53	0.09	97.10
LCOH [ct/kwh] bei Preis 20 ct/kWh _{el}	7.5	8.8	19.2	14.0	18.8	8.6	10.2	10.8	
LCOH [ct/kwh] bei Preis 15 ct/kWh _{el}	5.9	7.4	17.0	12.1	17.3	7.2	8.7	8.6	
Vollbenutzungsstd max [h]	8712	8760	8760	2400	1950	1950	1950	8760	
Ergebnis Vorschlag	Höchst nutzbar	nutzbar	Nicht ökon.	Nutzbar aber hohe Auflagen	Nutzbar aber neue Technologie	Möglicherweise attraktiv (Flächen?)	Möglicherweise attraktiv (Flächen?)	Nutzbar	

© Fraunhofer ISE, Bertrand Nkongdem

	Indicator	Relevance
Technical Indicators	Groundwater quantity	3
	Surface water volume and/or flow rate	3
	Groundwater quality	1
	Depth of access of groundwater	2
	Thickness of the quaternary	1
	Thickness of the pebble	1
	Thickness of aquifer	1
	Groundwater temperature	3
	Surface water temperature and soil-based heat sources temperature	3
	Thermal conductivity	3
	Thermal diffusivity	3
	Soil mean temperature	3
	Global irradiance on a fixed plane	3
	Heat source accessibility	2
	Area available	3
Economic Indicators	Auxiliary Systems costs	3
	Heat exchanger costs	3
	Heat pump costs	3
	Planning and admin. Costs	2
	P&M fixed costs	3
	Variable operating costs	3
	Demand-related cost based on VDI 2067	1
Regulatory Indicators	Water-based use: European Water Framework Directive, general requirements	2
	Water-based use: WHG & WG, thermal extraction and legal permitting	3
	Water-based use: Wastewater general requirements (ABwV)	2
	Water-based use: Sewage systems discharge, general requirements (AwSV)	2
	Soil-based use: Legal permitting on WHG & WG	2
	Soil-based use: Legal permitting on BBergG	2
Environmental indicators	Soil-based use: Notice and reporting on Deposit Act	2
	Heat intake and deposition	3
	Water consumptive use	2
	Water quality	1
	Non-consumptive groundwater use	2
	Depth limit on geothermal use	1
	Heat transfer substance use	1
	Thermal pollution	1
	Drilling and grouting related risk	1
	Antifreeze leakage	1
Noise	2	

Auxiliary Systems cost per kW (EUR/kW)	Piping system	12-30	EUR/kW
	Self-cleaning intake screen	48	EUR/kW
	Water pump	48-61	EUR/kW : Pump size range 50 - 1000 kW, 12% of HP cost
	Auto-rising strainer (wastewater)	37	EUR/kW
	Drilling	498-530	EUR/kW
	Grouting	100	EUR/kW
Heat Exchanger cost per kW (EUR/kW)	Heat exchanger and installation Heat recovery unit (Air-based)	198-288	EUR/kW: Plate HEX, stainless steel
		750	EUR/kW: Geothermal trench incl. Installation and planning
		1745	EUR/kW: Geothermal basket
		1450	EUR/kW: Geothermal collector
		560	EUR/kW Heat recovery unit
Heat Pump cost per kW (EUR/kW)	Heat pump unit and installation	396	EUR/kW: 50 kW size
		400	EUR/kW: 100 kW size
		510	EUR/kW: 1000 kW size