



Prof. Dr.-Ing. John Grunewald, Institut für Bauklimatik, TU Dresden

Beiträge zur Entwicklung klimaneutraler Bestandsquartiere im digitalen Zeitalter

Neues Rathaus Leipzig

16.04.2024

Vortragsinhalte

- Nachhaltigkeit und Klimaneutralität
- Solares Energiepotential
- Forschungsprojekte Oberflächennahe Geothermie
- Beispiele aus der Praxis
- Simulationsstudie Sondenfeld mit/ohne Regeneration
- Schlussfolgerungen (Vision)

Nachhaltigkeit und Klimaneutralität

Ursprung des Begriffs Nachhaltigkeit

„Nachhaltigkeit ist ein Handlungsprinzip zur Ressourcen-Nutzung, bei dem eine dauerhafte Bedürfnisbefriedigung durch die Bewahrung der natürlichen Regenerationsfähigkeit der beteiligten Systeme (vor allem von Lebewesen und Ökosystemen) gewährleistet werden soll.“

Die beteiligten Systeme können ein bestimmtes Maß an Ressourcennutzung dauerhaft aushalten, ohne Schaden zu nehmen. Das Prinzip wurde zuerst in der Forstwirtschaft angewendet: Im Wald ist nur soviel Holz zu schlagen wie permanent nachwächst.“¹



¹Quelle: Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Nachhaltigkeit>

Klimaneutralität: Ein Versuch der Definition

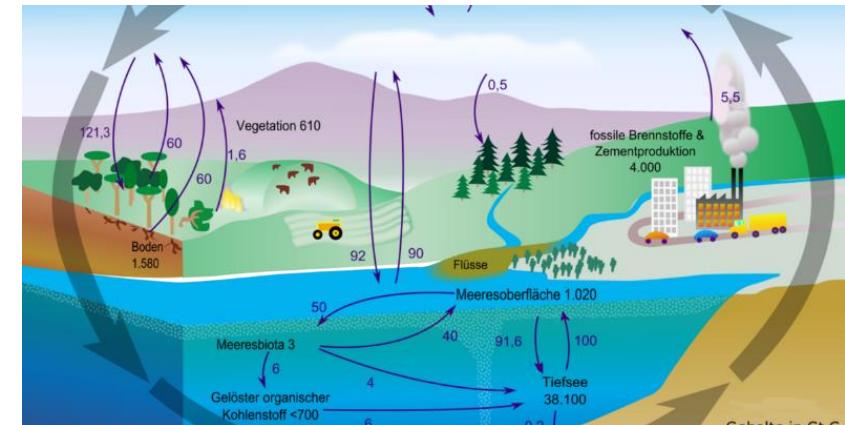


Anthropogen emittierte CO₂-Mengen

Verändertes Gleichgewicht im Kohlenstoffzyklus

Erhöhung der globalen Temperatur

Begrenzte Speicherfähigkeit der Atmosphäre (und der angeschlossenen Systeme) für anthropogene Emissionen lässt sich als knappe Ressource verstehen.



Kohlenstoffzyklus oder Kohlenstoffkreislauf

Klimaneutralität = Nachhaltige Nutzung der CO₂-Speicherfähigkeit im Kohlenstoffzyklus ohne Kippunkte zu überschreiten.

- Die Erreichbarkeit des politischen Ziels „Nullemission“ bis 2045 wird von vielen Fachleuten stark angezweifelt
- Die derzeitigen Emissionen werden zu 50 % durch Ozeane und Vegetation kompensiert
- Ein „Einfrieren“ der aktuellen CO₂-Konzentration in der Atmosphäre hätte eine weitere globale Erwärmung zur Folge

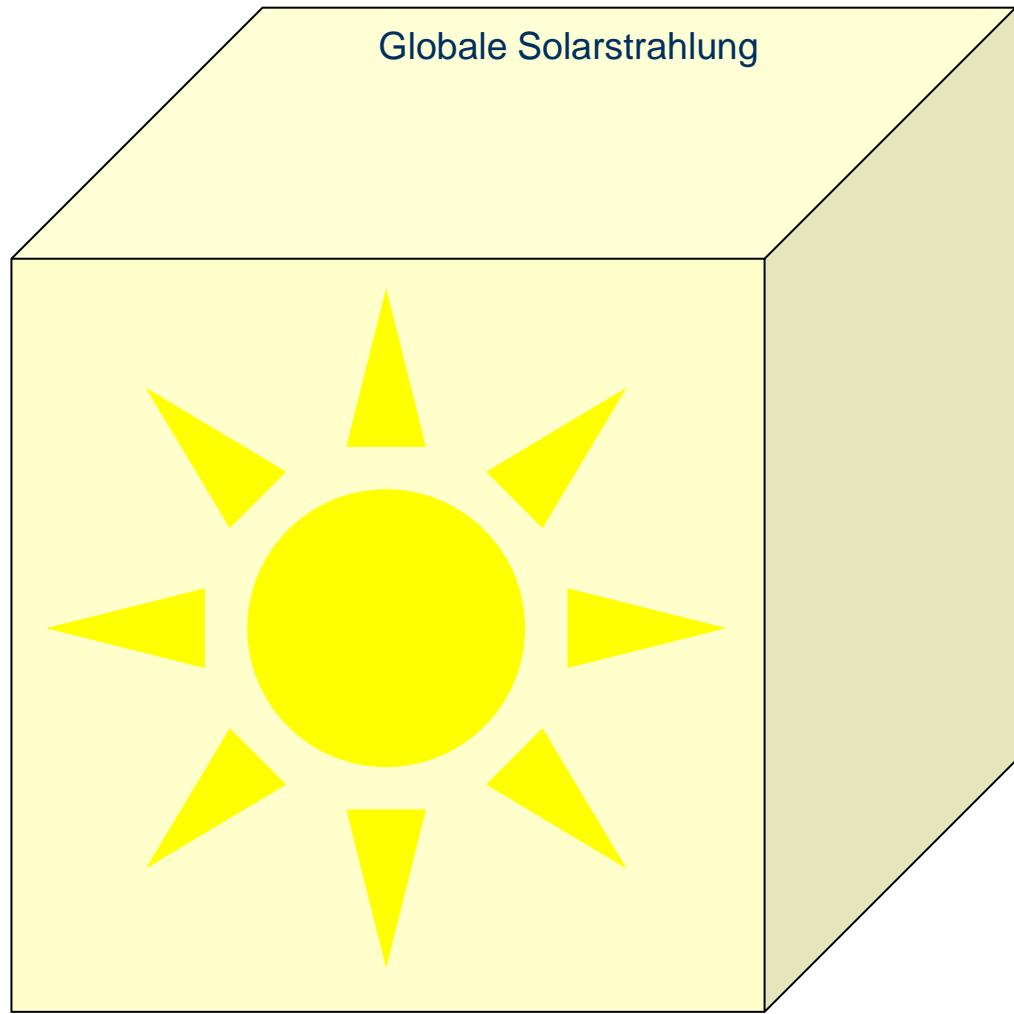
Emissionsfreie (weitgehend) energieautarke Versorgung im Gebäudebereich

- Viel stärkere Nutzung lokaler regenerativer Energiequellen, z.B. des Erdreichs als saisonaler Speicher
- Gebäude und Versorgungssysteme im Quartier als funktionale Einheit begreifen
- „Fit für Regenerative“ als Sanierungsprinzip im Bestand



Solares Energiepotential

Solares Energiepotential

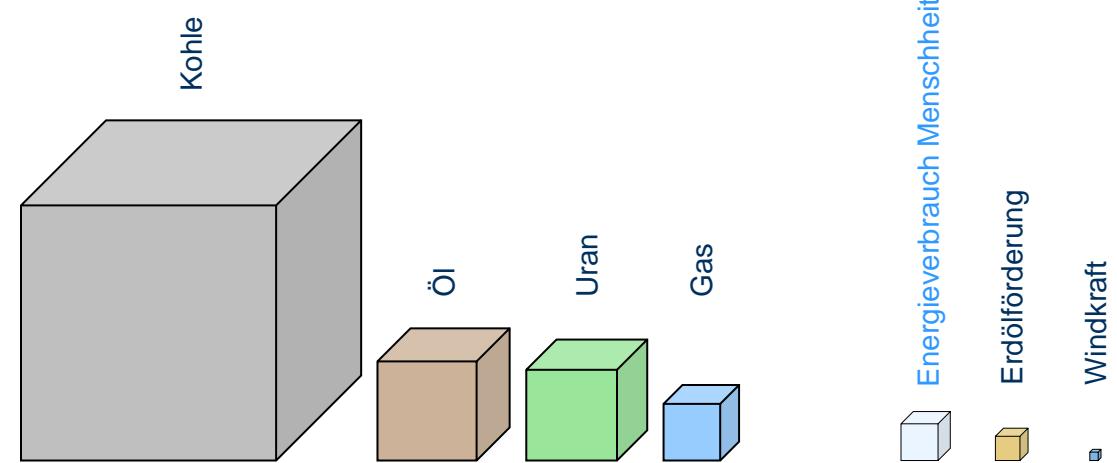


Weltweit vorhandene Energievorräte

Sonneneinstrahlung	1 405 000 000 TWh/a
Kohle	478 000 000 TWh
Öl	190 000 000 TWh
Uran	168 500 000 TWh
Gas	105 400 000 TWh

Förderung und Verbrauch

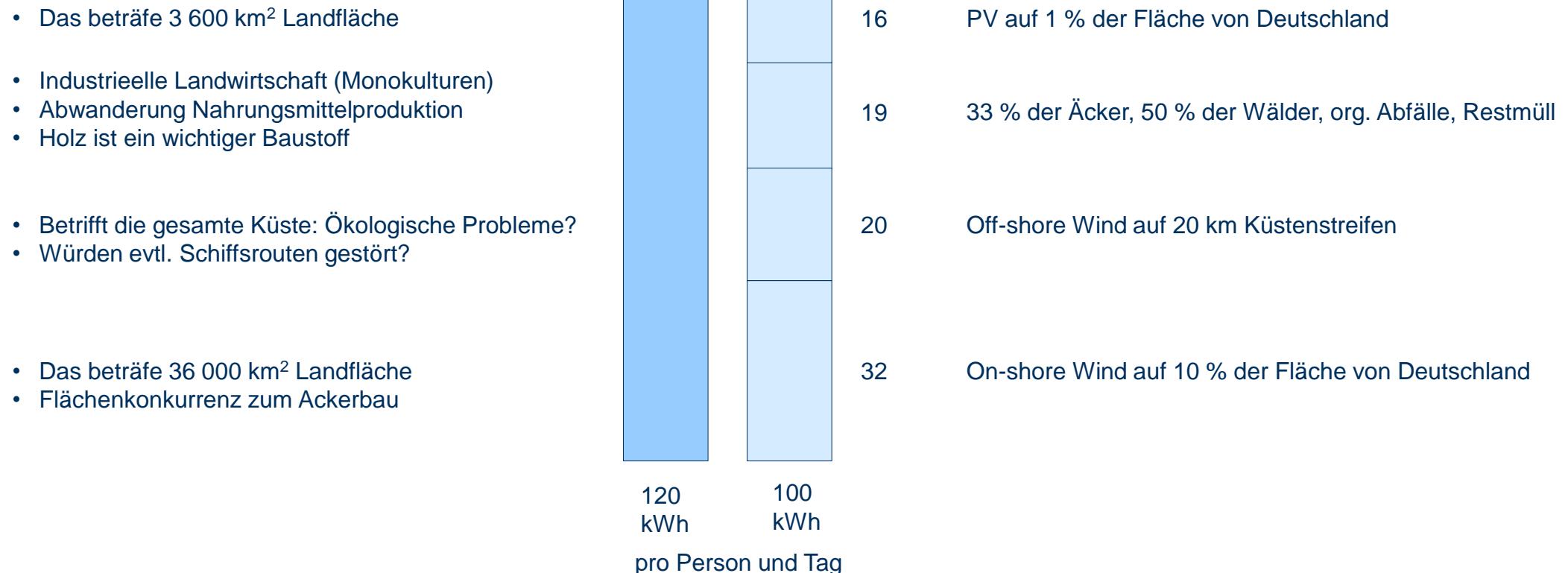
Sonneneinstrahlung	550 000 kWh/Person und Tag
Energieverbrauch Mensch	60 kWh/Person und Tag
Erdölförderung	18 kWh/Person und Tag
Windkraft	0.5 kWh/Person und Tag



Können wir unseren Energiebedarf regenerativ decken?

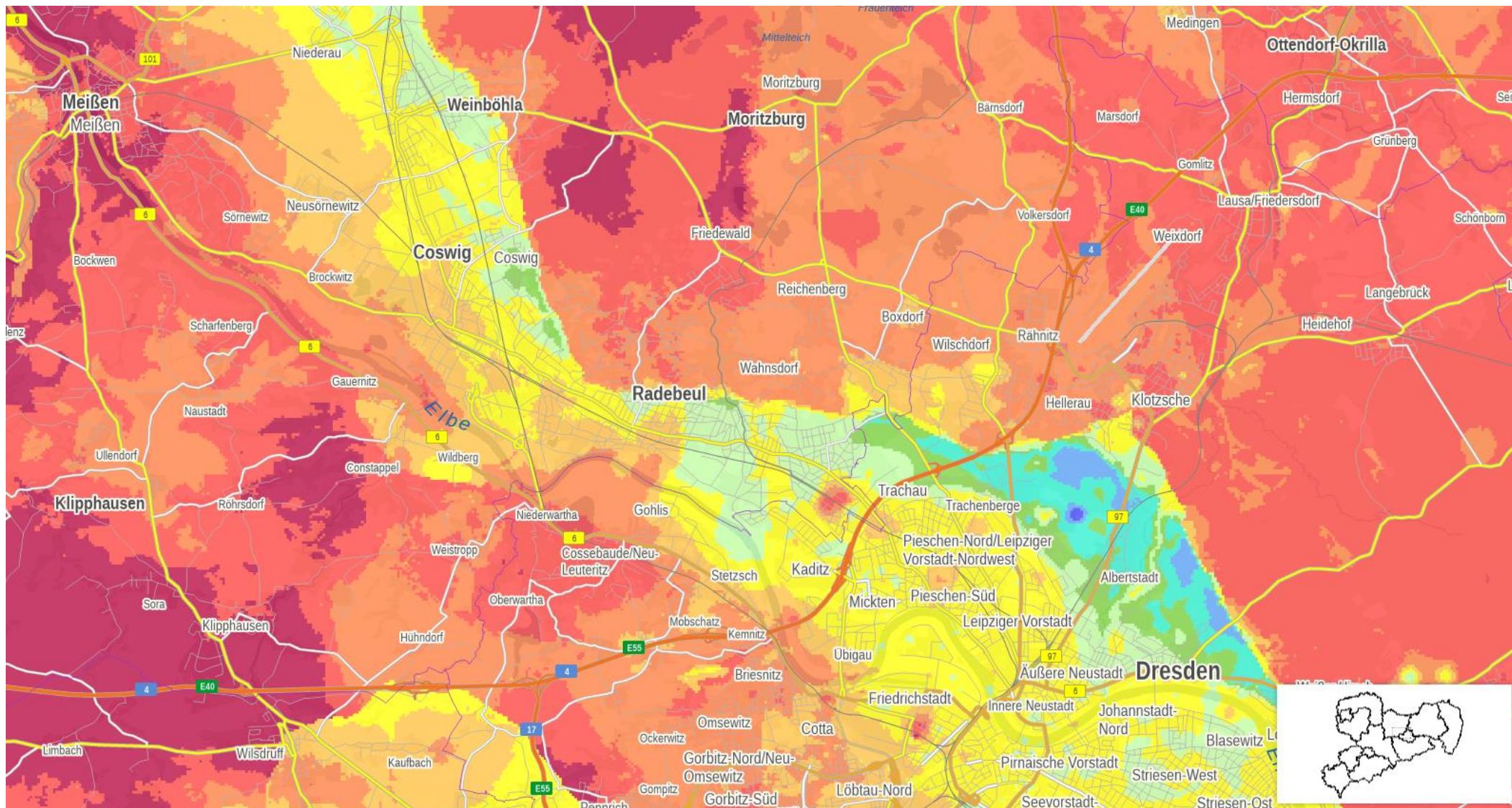
Energieverbrauch pro Person und Tag

Weltweit: 60 kWh/Person und Tag
Deutschland: 120 kWh/Person und Tag



Geothermiepotential in Sachsen

Das solare
Energiepotential
wird in den ersten
10 m des
Untergrundes
wirksam!



Oberflächennahe Geothermie

Fakten

- Die Geothermie wird auch als „**der schlafende Riese der Wärmewende**“ bezeichnet. Man unterscheidet zwischen Tiefengeothermie (ab 400 m) und oberflächennaher Geothermie (bis 100 m).
- Erdwärme ist eine eher unbekannte Energiequelle, sie hat neben Wind und Sonne aber großes Potenzial. Bundeskanzler Olaf Scholz wünscht sich **bis 2030 "zehnmal so viel" Geothermie**, wie man verschiedenen Pressemeldungen entnehmen kann.
- Tatsächlich sind die Potentiale der oberflächennahen Geothermie noch längst nicht ausgeschöpft, auch wenn **Investitionen für Wärmepumpen und Kollektoranlagen** notwendig sind. Dafür **reduzieren sich die Kosten im Betrieb** im Vergleich zu Luftwärmepumpen.
- Nachhaltige Energieversorgungskonzepte bringen längerfristig Vorteile und können auch **denkmalgeschützte Gebäude mitversorgen**. Die Frage, ob das Kirchendach mit PV belegt werden soll, ist dann im Kontext des Energieversorgungssystems nicht mehr relevant.

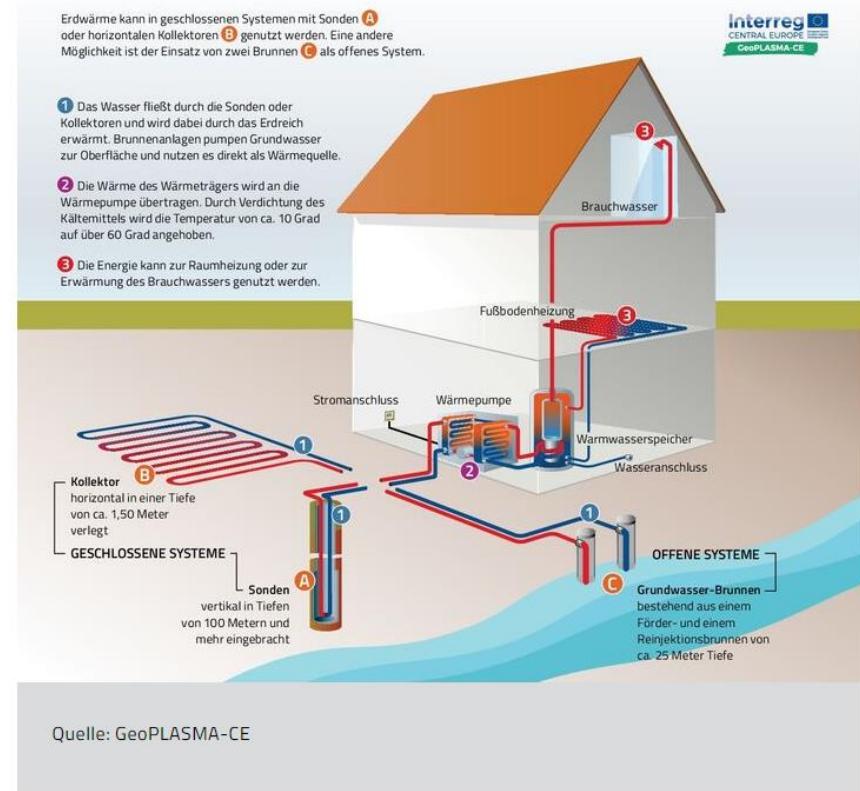
Siehe Bundesverband Geothermie: www.geothermie.de



Bundesverband
Geothermie

Die Oberflächennahe Geothermie nutzt den Untergrund bis zu einer Tiefe von ca. 400 m und Temperaturen von bis zu 25 °C für das Beheizen und Kühlen von Gebäuden, technischen Anlagen oder Infrastruktureinrichtungen. Hierzu wird die Wärme oder Kühlenergie aus den oberen Erd- und Gesteinsschichten oder aus dem Grundwasser gewonnen. Neben klassischen Anwendungsformen zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser wird die Oberflächennahe Geothermie auch zur Beheizung von Gewächshäusern sowie zur Enteisung von Weichen oder Parkplätzen eingesetzt.

In über 440.000 Ein- oder Mehrfamilienhäusern, öffentlichen Einrichtungen, Krankenhäusern, Schulen oder Gewerbebetrieben wird die Oberflächennahe Geothermie in Deutschland eingesetzt. Jährlich kommen ca. 20.500 Oberflächennahe Geothermieranlagen dazu (Stand: 2020).



Wärmeversorgung mittels oberflächennaher Geothermie

Beteiligung an fünf F&E-Projekten seit Einstieg in diese Thematik

- 01.04.2016 - 31.08.2018 - ErdEis I: Prinzipielle Umsetzbarkeit von Erdeisspeichern, Labortests, Modellentwicklung
- 01.03.2019 - 28.02.2022 - ErdEis II: Umsetzung Erdeisspeicher und oberflächennaher Geothermie in Schleswig
- 01.01.2023 - 31.12.2027 - ErdEis III: Langzeitmonitoring und Validierung der Simulations- und Planungswerkzeuge
- 01.05.2020 - 31.12.2024 - KNW-Opt: Kalte Nahwärme mit oberflächennahen Großflächenkollektor in Bad Nauheim
- 01.03.2022 - 28.02.2026 - MultiSource: Nutzung multipler Wärmequellen im Lagarde Campus Bamberg



KNW-Opt: F&E-gefördertes Projekt in Bad Nauheim Süd

- 160000 m² Neubaugebiet, 180 Gebäude mit rund 400 Wohneinheiten für ca. 1200 Einwohner
- Drei Bauabschnitte (Baubeginn mind. 2 Jahre nach Grundstückserwerb)
- Moderner Baustandard nach EnEV/KfW
- 2-lagiger Flachkollektor der Größe eines Fußballfeldes
- Kaltes Nahwärmenetz (kein Anschlusszwang)
- Dezentrale Wärmepumpen



Bauabschnitt 1



Bauabschnitt 2



Bauabschnitt 3

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

<https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/e/eneffwaerme-knw-opt-forschungsvorhaben.html>



Gefördert durch:



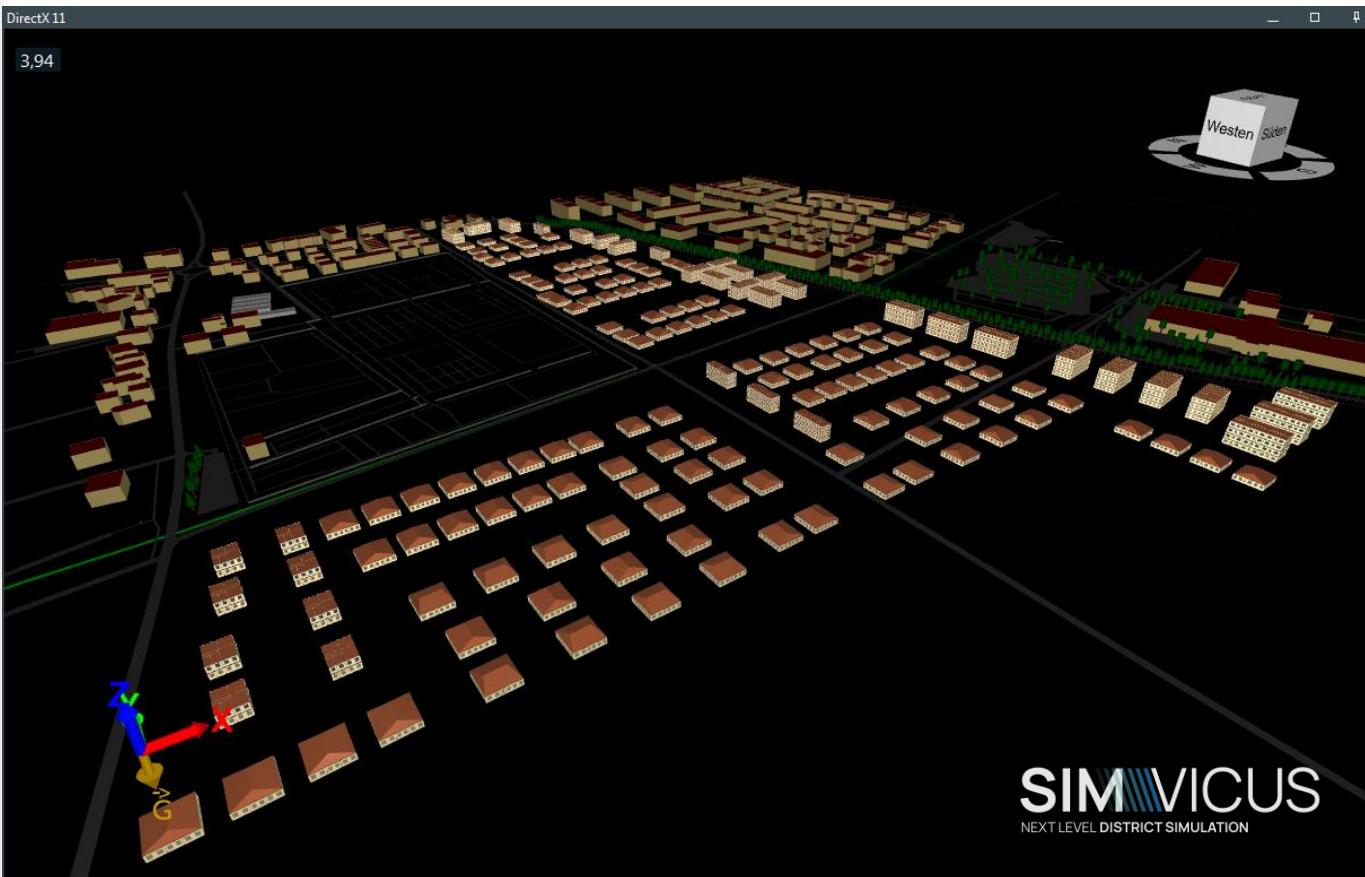
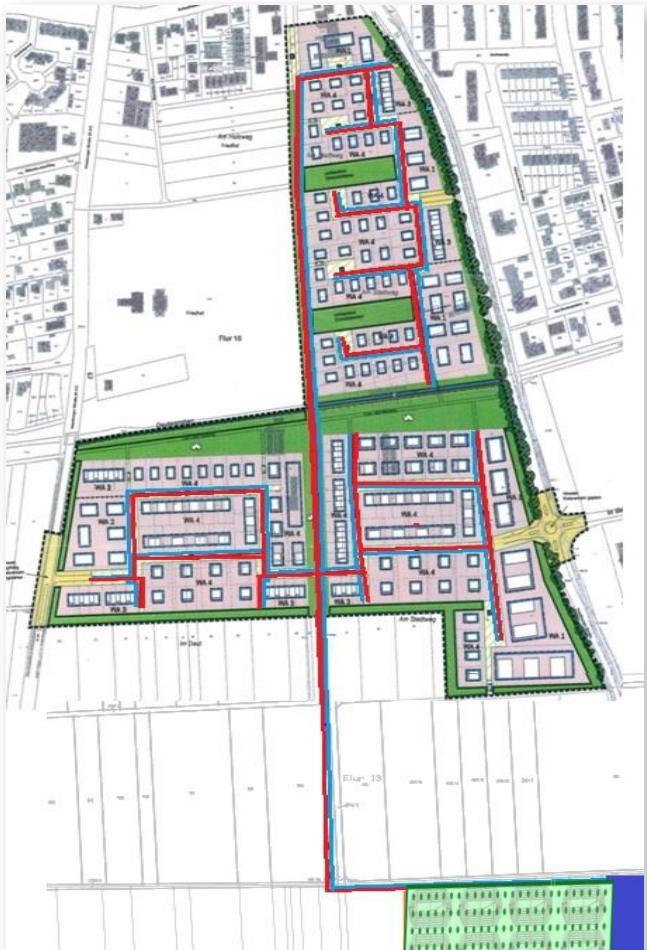
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Oberflächennahe Geothermie



Energetische Gebäudesimulation zur Bestimmung der Lastkurven der Gebäude

KALTE NAHWÄRME – OPTIMIERUNG



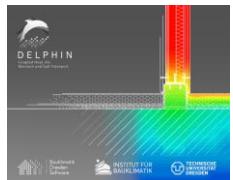
Gefördert durch:



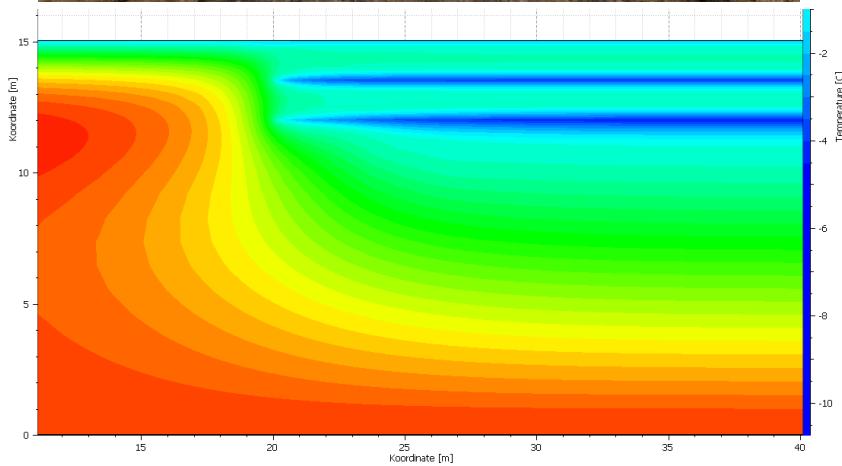
 Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

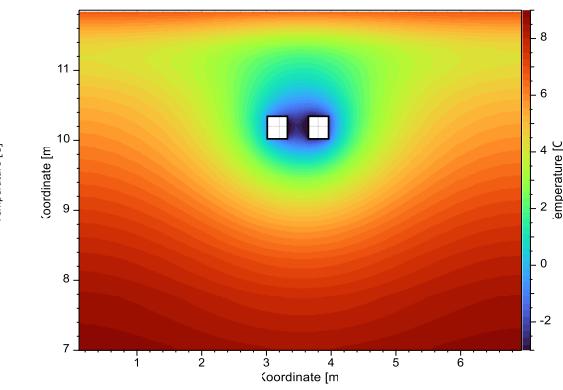
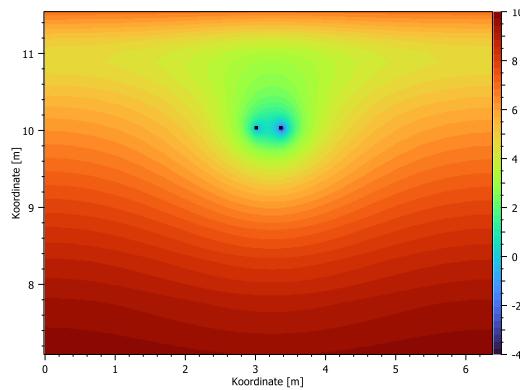
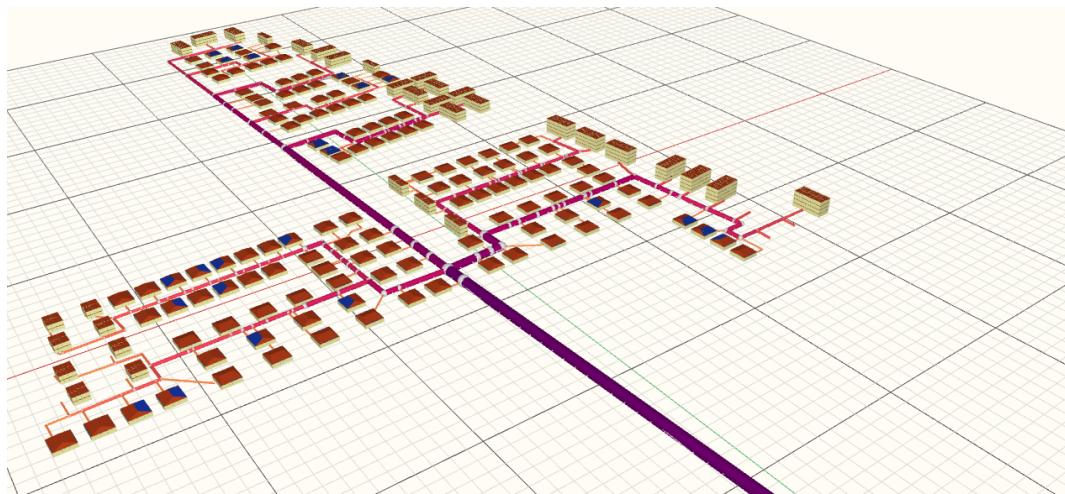
Hygrothermisches Kollektormodell



Koppelungs-
technologie



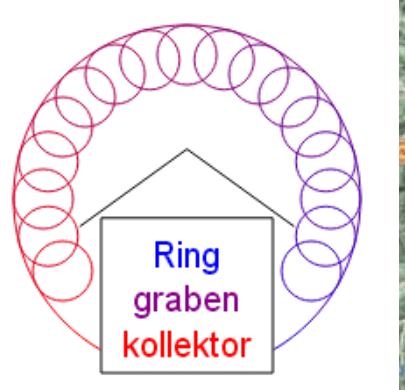
Thermohydraulisches Netzmodell



Vorteile der Kalten Nahwärme + oberflächennahe Geothermie

- ✓ Netzanbindung erschließt entferntere gemeinschaftliche Flächen und bringt zusätzliche Wärmegewinne
- ✓ Netz regeneriert Kollektorfeld und verstärkt saisonalen Speichereffekt
- ✓ Gebäudekühlung im Sommer trägt zur Regeneration des Bodens bei
- ✓ Synergien mit PV / PVT und Wärmespeicherung im Gebäude
- ✓ Kollektor erreicht kälteste Temperatur im Februar (und nicht am kältesten Tag im Jahr)
- ✓ Strombedarf für Wärmepumpen sinkt (im Vergleich zur Luftwärmepumpe) und wird besser über die Zeit verteilt (geringere Spitzenlast)
- ✓ Stromnetze werden tendenziell nicht so stark belastet
- ✓ Umschalten der Wärmepumpe zwischen Luft und Boden bringt in der Übergangszeit Vorteile
- ✓ Weitere große saisonale Verschiebepotentiale von Wärme / Kälte erschließbar durch Sondenfelder

Beispiele aus der Praxis



Beispiele aus der Praxis



Quelle



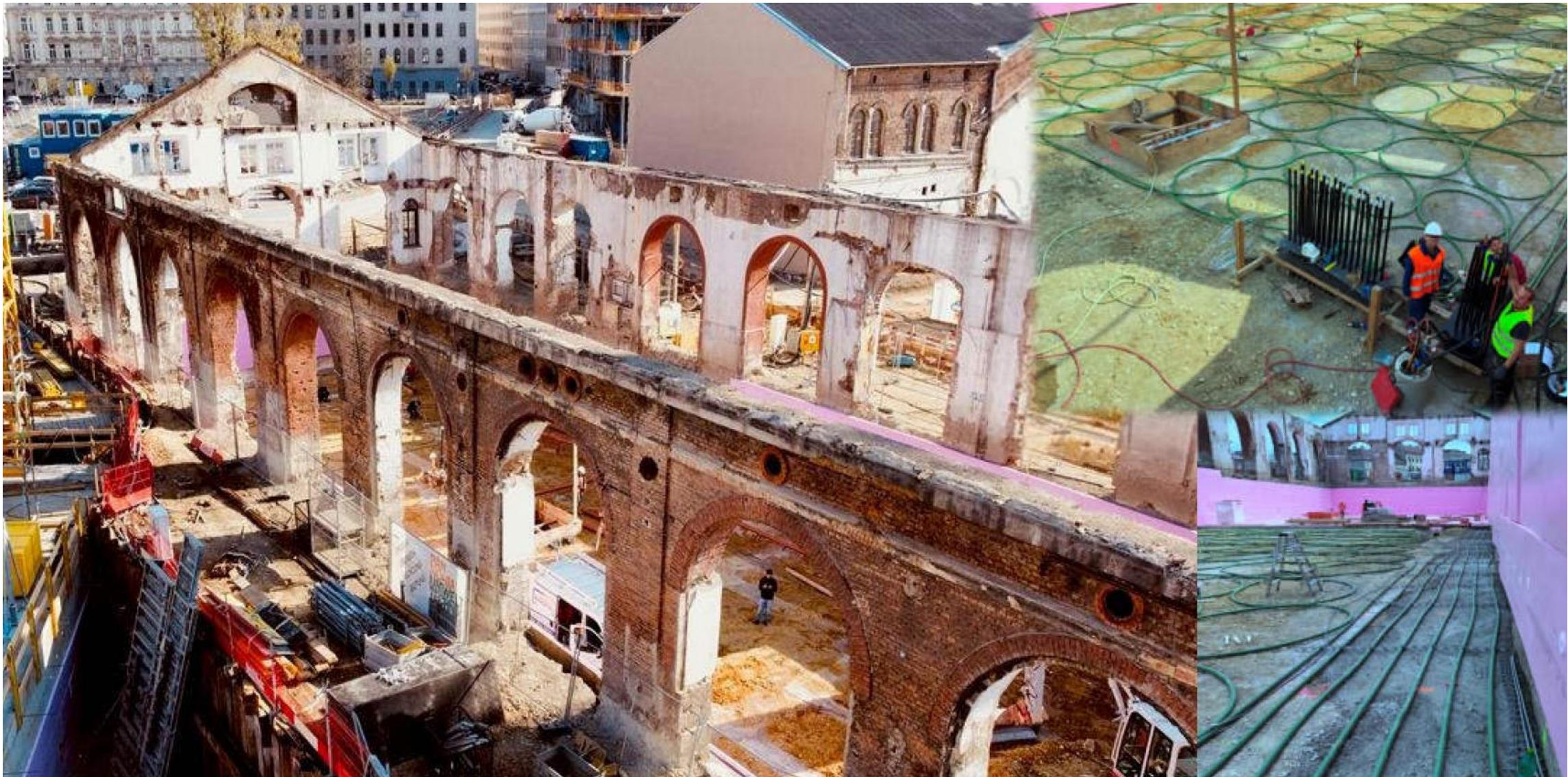
Beispiele aus der Praxis



Quelle



Beispiele aus der Praxis



Quelle



Entzugsleistung von Sondenfeldern mit Regeneration

Simulationsstudie Bohrlochsonden

Fragestellung:

Wie reagiert das Erdreich bei Wärmeentzug durch Bohrlochsonden ohne/mit Regeneration?

Untersuchungsmethode:

Radialsymmetrische thermische Simulation im Sondenfeld

Parameter:

Bohrlochtiefe = 100 m

Klima Standort Dresden vom DWD

Wärmeentzug $50 \text{ W/m} * 1800 \text{ h/a} = 9000 \text{ kWh/a}$

WLF Boden = 1.5 W/mK

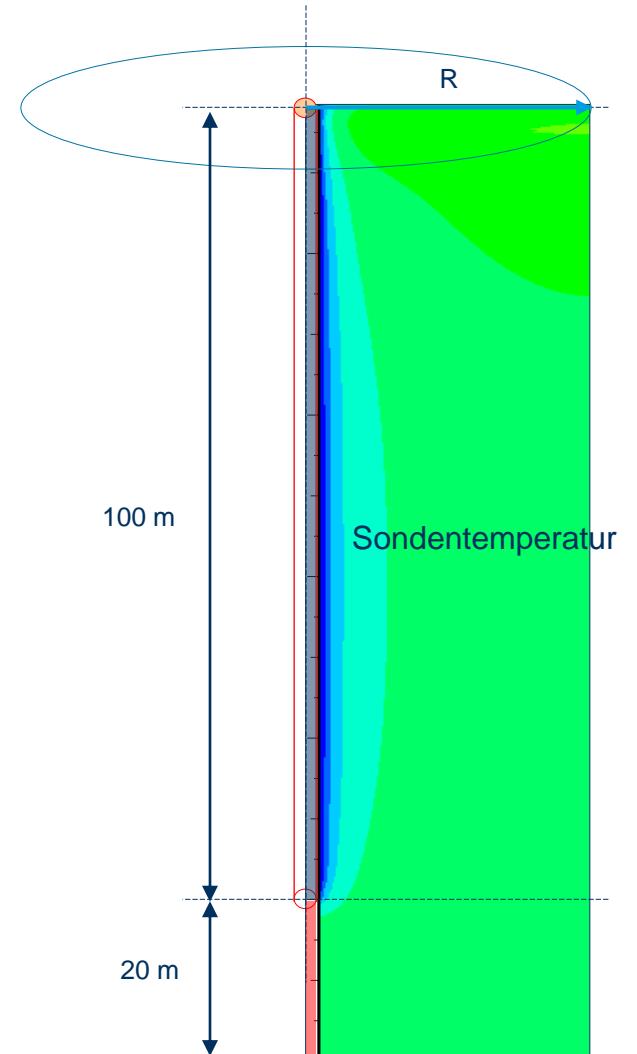
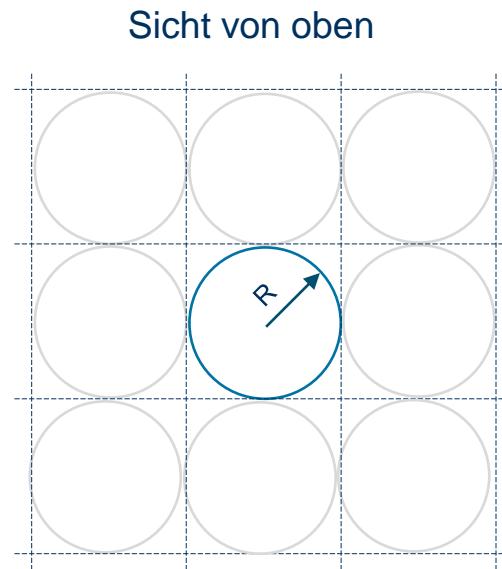
Varianten:

Radius (R) um Sonde: 5, 10, 20, 30 m

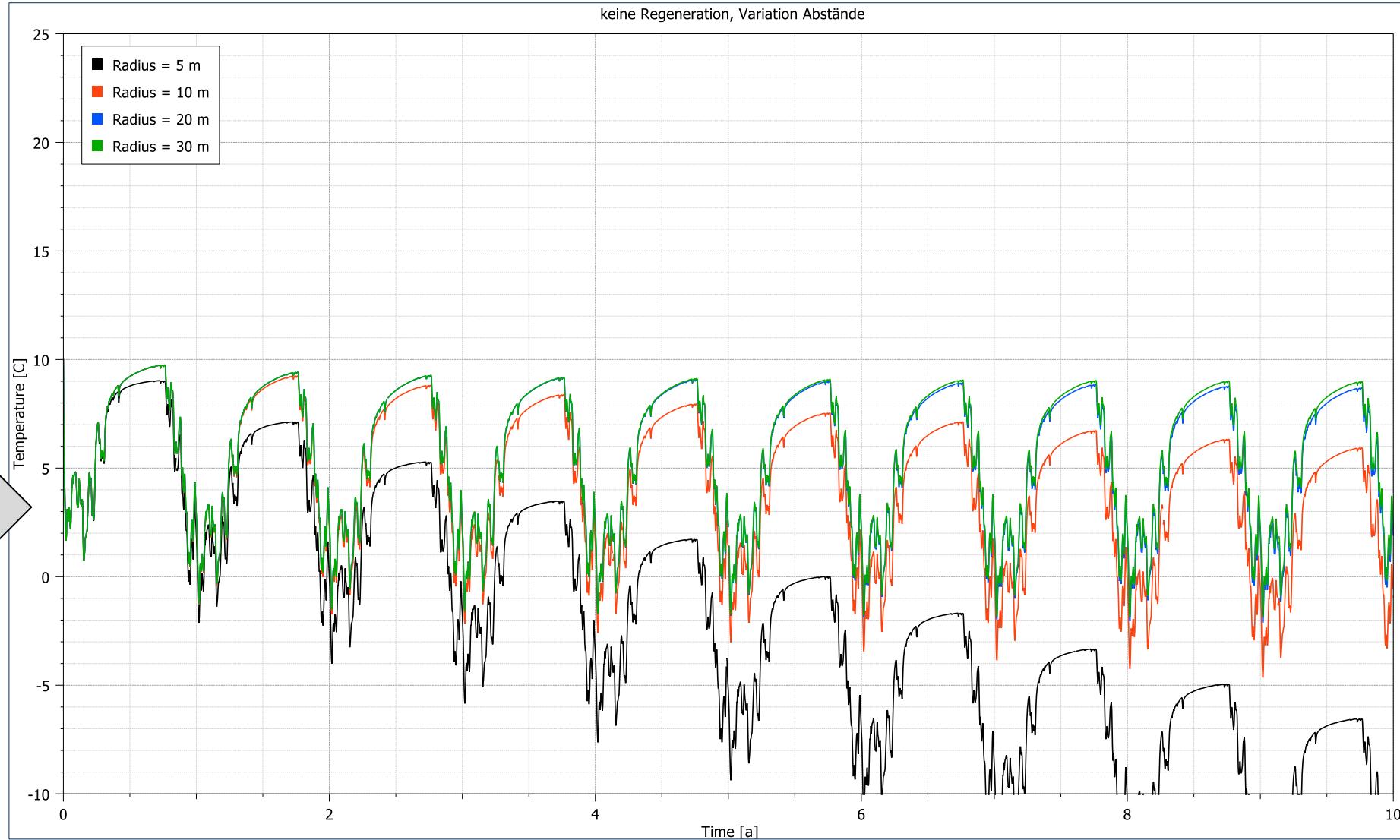
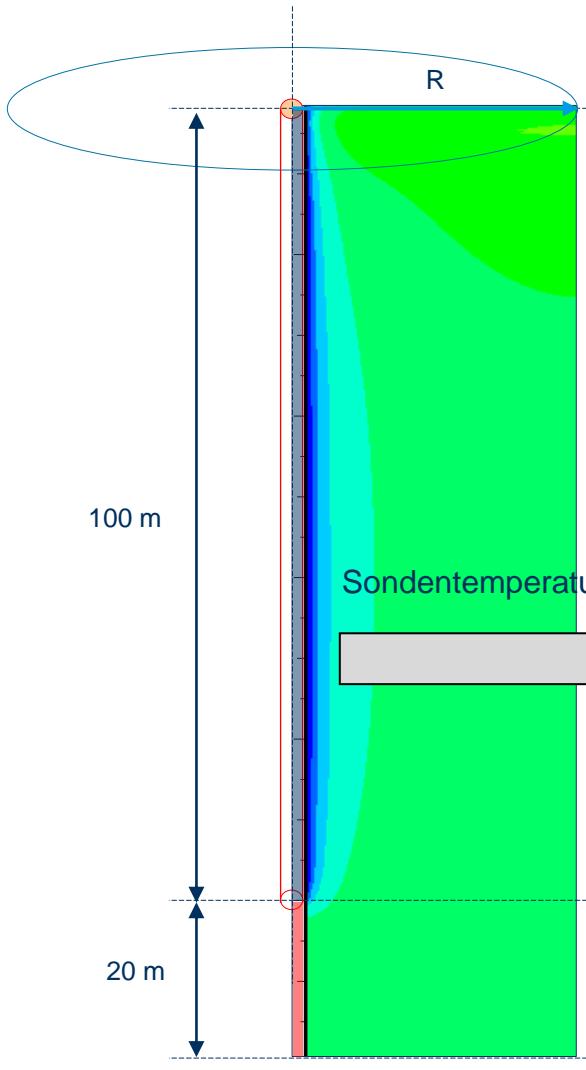
Regeneration: (mit / ohne) 100 % = 9000 kWh/a

Ergebnisse:

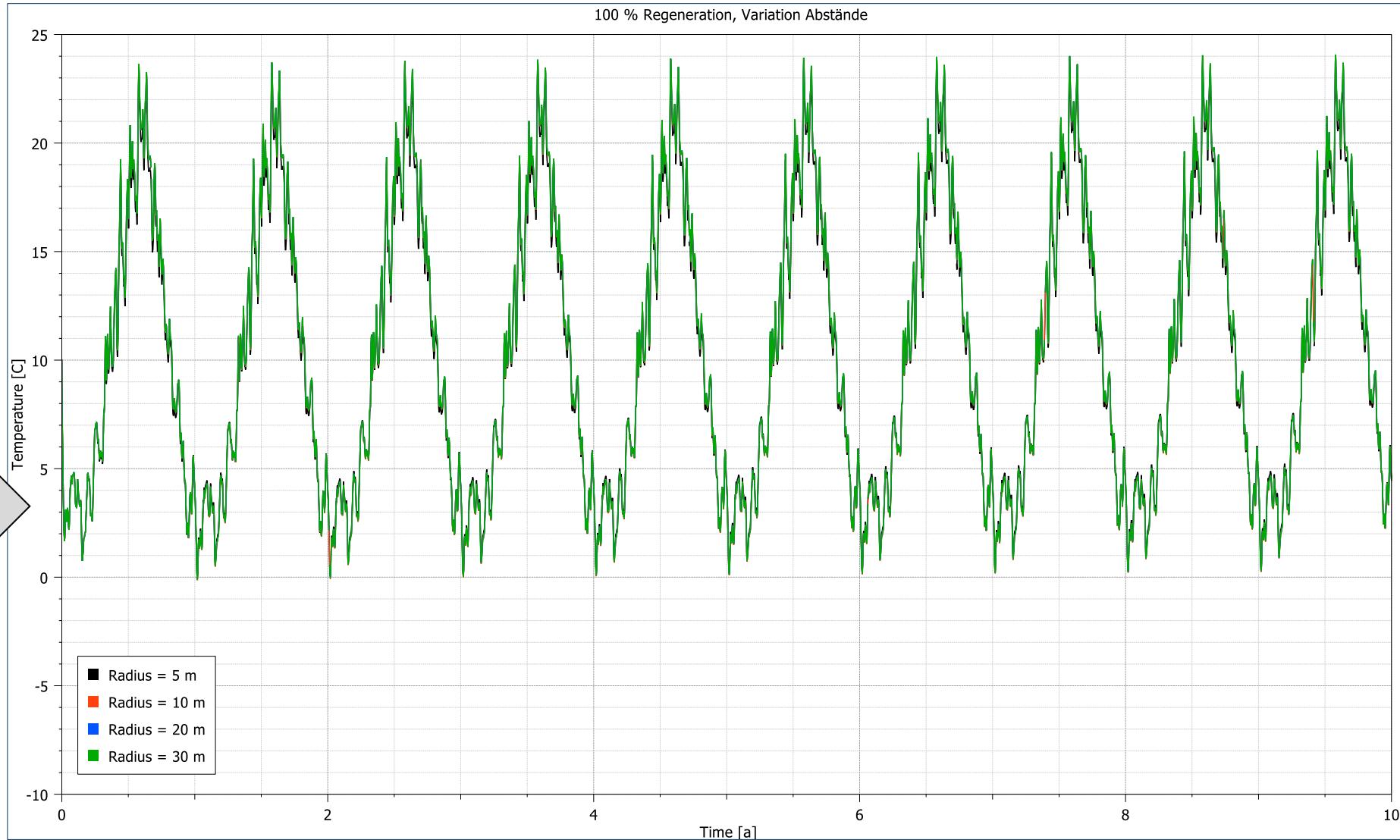
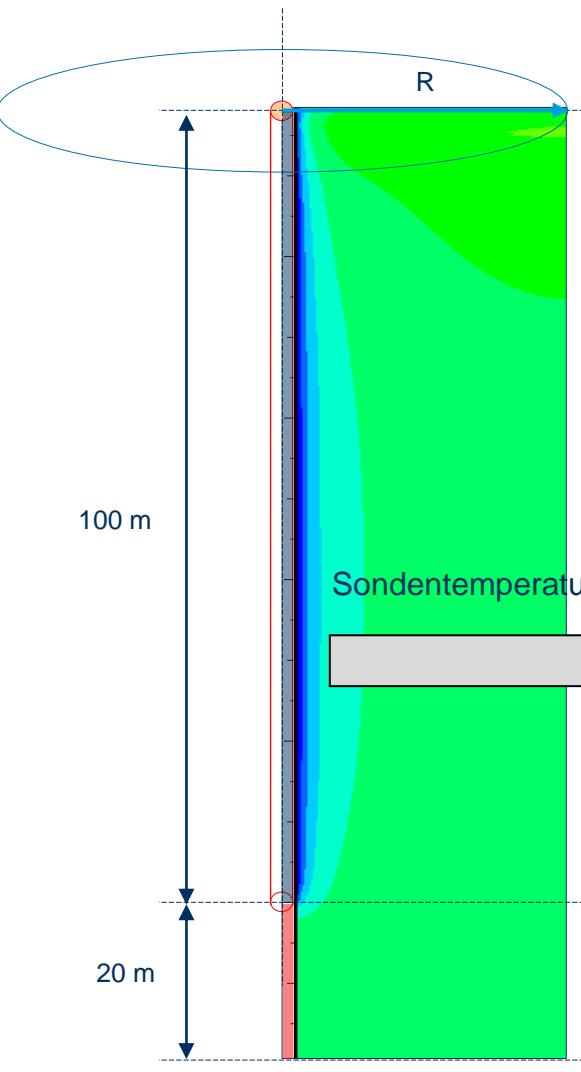
Verlauf der mittleren Sondentemperatur über 10 Jahre



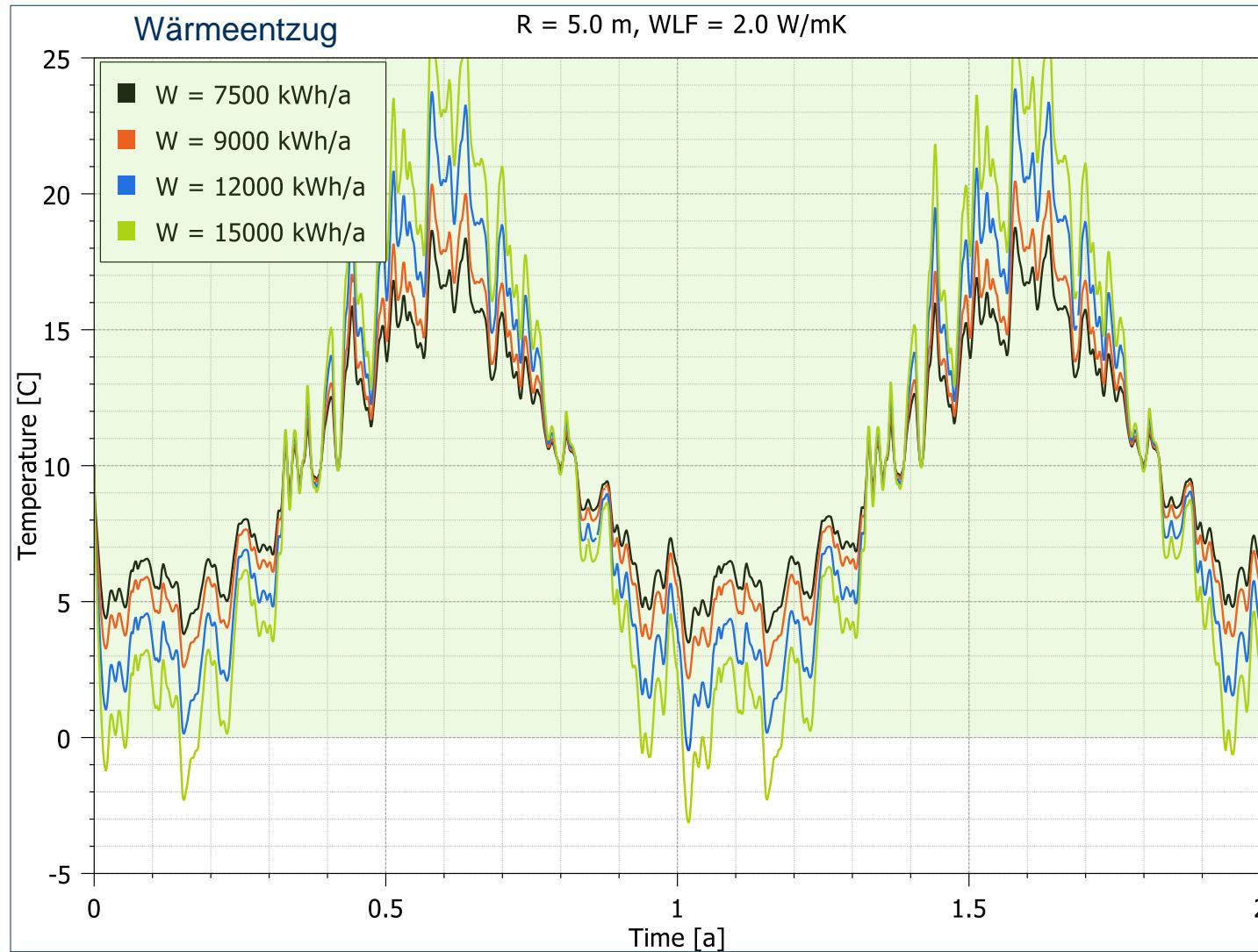
Ergebnisse ohne Regeneration



Ergebnisse mit 100 % Regeneration



2. Simulationsstudie



Grüner Bereich in dem die Sondentemperatur liegen darf

10 m Sondenabstand
Boden mit Wärmeleitfähigkeit = 2 W/mK

Der maximale Wärmeentzug liegt in diesem Fall bei **11000 kWh/a.**

Simulationsstudie Sondenfeld

Parameter:

Regeneration:	100%
Sondenabstand:	2 .. 20 m
Wärmeleitfähigkeit Boden:	1, 2, 3 W/mK
Wärmeentzug Einspeisung:	2000 .. 15000 kWh/a

Aufgabe:

Sondenabstand (m)	2.0	3.0	4.0	5.0	10.0	20.0
WLF = 1.0 W/mK						
WLF = 2.0 W/mK						
WLF = 3.0 W/mK						

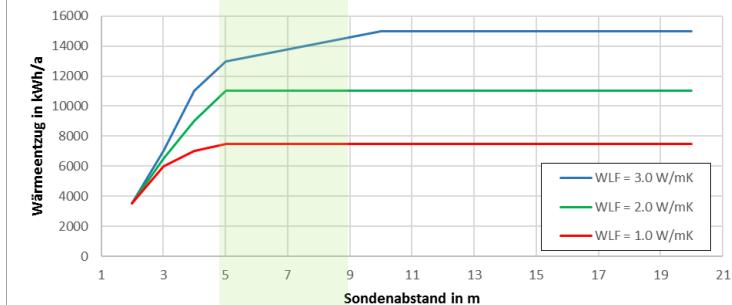
Bestimme den maximal möglichen Wärmeentzug im grünen Bereich

Auswertung

Maximaler Wärmeentzug (kWh/a) aus Sicht des Bodens bei 100 % Regeneration

Radius (m)	1.0	1.5	2.0	2.5	5.0	10
Sondenabstand (m)	2.0	3.0	4.0	5.0	10.0	20.0
WLF = 1.0 W/mK	3500	6000	7000	7500	7500	7500
WLF = 2.0 W/mK	3500	6500	9000	11000	11000	11000
WLF = 3.0 W/mK	3500	7000	11000	13000	15000	15000

Maximaler Wärmeentzug einer Sonde im Feld



Spezifischer maximaler Wärmeentzug (kWh/m²a) aus Sicht des Bodens bei 100 % Regeneration

Fläche (m ²)	4.0	9.0	16.0	25.0	100.0	400.0
WLF = 1.0 W/mK	875	667	438	300	75	19
WLF = 2.0 W/mK	875	722	563	440	110	28
WLF = 3.0 W/mK	875	778	688	520	150	38

Maximaler spezifischer Wärmeentzug im Feld



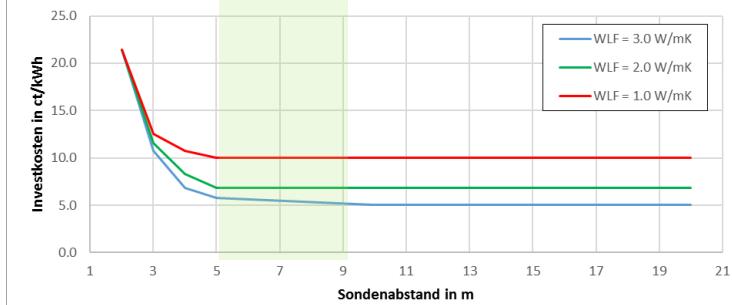
300-500 kWh/m²a sind möglich

Faktor 5-10
gegenüber
Flachkollektoren

Investkosten auf Wärmekosten umgelegt (ct/kWh) bei 15000,- EUR pro Sonde und 20 Jahren Laufzeit

Kosten (EUR/m ²)	3750	1667	938	600	150	38
WLF = 1.0 W/mK	21.4	12.5	10.7	10.0	10.0	10.0
WLF = 2.0 W/mK	21.4	11.5	8.3	6.8	6.8	6.8
WLF = 3.0 W/mK	21.4	10.7	6.8	5.8	5.0	5.0

Auf Wärmekosten umgelegte Investkosten



Vision (sozio-ökonomisch)

Wieder selbstbestimmter leben

- Einbezug der Bewohner bei Entwicklung nachhaltiger energetischer Quartierskonzepte
- Entwicklung neuer Geschäftsmodelle für Energieversorger (Nutzung lokaler Flächen für PV, Geothermie, Wärmespeicherung)
- Energiearmut zu überwinden bei sinkenden Betriebskosten auf Basis regenerativer Gebäudeenergieversorgung
- Einbindung kann den sozialen Zusammenhalt stärken (Win-Win-Situationen) bzw. Konflikte entschärfen
- Im Zweifel Entscheidungen treffen, obwohl sie sich kommerziell „nicht kurzfristig rechnen“



Prof. Dr.-Ing. John Grunewald, Institut für Bauklimatik

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!