

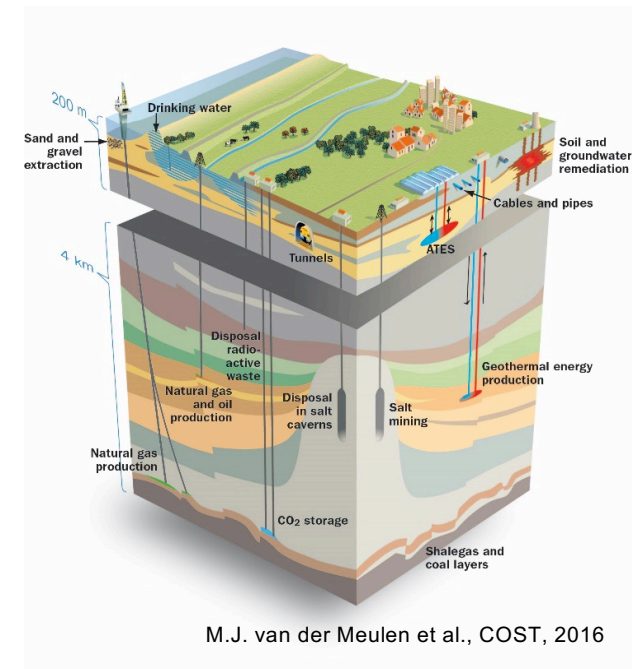
Internationale Perspektiven, technische Herausforderungen und nationale Limitierungen beim unterirdischen Wärmemanagement in Ballungszentren

Prof. Dr. A. Dahmke

Institut für Geowissenschaften

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

ad@gpi.uni-kiel.de



Urban settings

Use of urban subsurface with potential heat influences

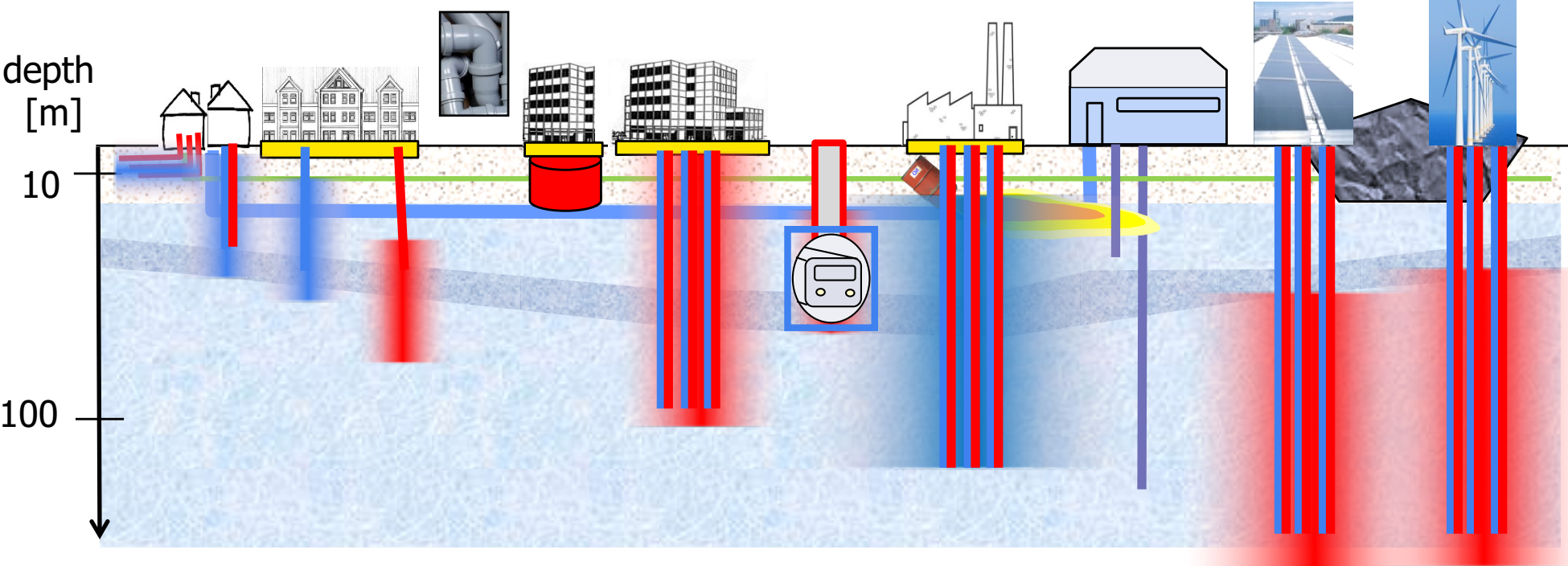
Warm water production

Climatization of buildings

Process heat storage / retrieval

Heat and energy supply

- Solar heat
- Power-To-Heat



- ground heat collector
- ground heat exchangers
- open well doublet

- Energy piles
- technical storages

• BHE-fields

• deep BHE-fields

Allgemeine Rahmenbedingungen

- I.) Den **Mega- und Großstädten** wird weltweit eine **Schlüsselrolle beim Klimaschutz und der Transformation der Energiesysteme** hin zu Erneuerbaren Energiequellen als auch beim Umweltschutz zugeschrieben (u.a. UN-Siedlungsgipfel in Ecuador 2016), gleichzeitig können Städte besonders durch den Klimawandel betroffen werden.
- II.) Der **Wärmemarkt zum Heizen und Kühlen**, der in allein Deutschland je nach Berechnungsansatz zwischen ca. 40 Milliarden € bis zu über 100 Milliarden € jährlich ausmacht, stellt einen **Schlüsselsektor bei der nationalen und internationalen Energiesystemtransformation** und gerade international auch beim **Umweltschutz** (z.B. Smog) dar.
- III.) „**Erneuerbare**“ **Wärmequellen und großvolumige Wärmespeicher** sind unverzichtbar, um z.B. die nationale Zielsetzung einer mindestens 90% Reduktion von fossilen Primärenergiequellen bis 2050 zu erreichen.

Spezifische Rahmenbedingungen bei der nationalen Energiewende (z.B. Fraunhofer ISE (2013))

Fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen (FEE) kommt eine **zentrale Rolle in der zukünftigen Energieversorgung** zu und insbesondere die **strombasierte Versorgung der Gebäude mit Niedertemperaturwärme für Raumheizung und Warmwasser** wird eine wichtige Rolle spielen

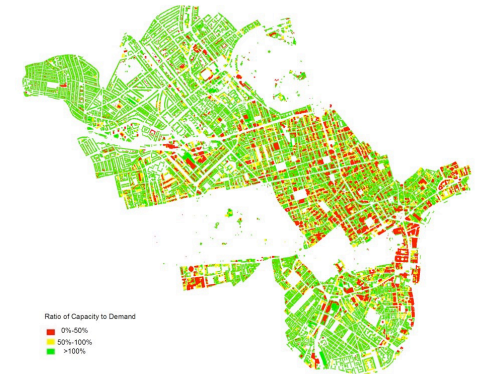
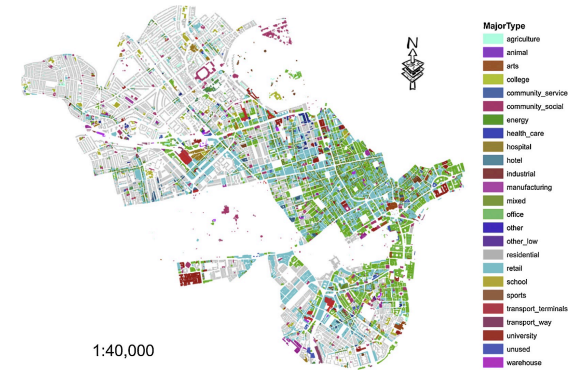
Ein moderater Ausbau von **Wärmenetzen in Kombination mit großen Wärmespeichern** muss ermöglichen, dass Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen unterschiedlicher Leistungsklassen vorwiegend **nach dem Strombedarf betrieben werden** können. In Zeiten mit „Strom-Überschüsse“ soll Wärme (zu Heiz- und Kühlzwecken) erzeugt und in entsprechenden Speichern gespeichert werden können.

Eine Absenkung der CO₂-Emissionen um mehr als 85% ist nur durch eine signifikante **Reduktion des Energieverbrauches** als auch einem weiteren massiven Ausbau an FEE zu erzielen, wobei der **Ersatz fossiler Energieträger durch synthetische Brennstoffe** aufgrund der Verluste bei diesen Wandlungsketten (z.B. Sabatier-Verfahren) **einen überproportionalen Ausbau an EE** bedeuten.

Deswegen wird gerade im Wärmemarkt eine **signifikante Verschiebung bei den Technologien zur Wärmebereitstellung** notwendig und elektrisch angetriebenen Wärmepumpen und der **Ausbau von Solarthermieanlagen (in Kombination mit saisonalen Wärmespeichern)** kommt eine besondere Bedeutung zu.

aber Ausbau der FEE wird aus jetziger Perspektive (u.a. Akzeptanz) auch 2050 nicht ausreichen, um den Wärmemarkt vollständig über elektrischen Strom zu versorgen (Faktor 2-3 der bisherigen Ausbaupläne), ebenso ist die Speicherfrage (Volumina, Kosten, Betrieb im Bestand) weitgehend ungeklärt!

Westminster / London



ein (zu) einfacher erster Ansatz:

Wärmekapazität eines Kubikmeters Untergrund, bestehend aus Quarzsand mit 30% Porosität:

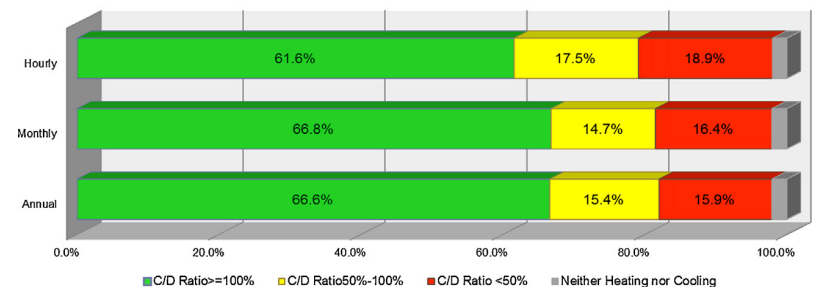
2700 kJ/m³/K bzw. 0.75 kWh/m³/K (Spannweite ca. 2000 - 3000 kJ/m³/K bzw. 0.55 - 0.83 kWh/m³/K)

ein Beispiel:

konservative Annahme: 0.55 kWh/m³/K; 1m² Grundfläche und 100 m Tiefe; Heizwärmebedarf von 150 kWh/m²/a, dann ergibt sich ein dT ein Wärmeversorgungspotenzial von:

dT	
5° K →	1,8 Stockwerke
25°K →	9,2 Stockwerke
50°K →	18,3 Stockwerke
75°K →	27,5 Stockwerke

Influence of Heating and Cooling Demand on C/D Ratio Distribution (For 'Around Building')



Zhang et al. 2015 u. 2016

Vorteile der unterirdischen Wärmespeicherung in Ballungszentren (I)

- **der geologische Untergrund bietet im urbanen Bereich mit Abstand potenziell die größten Wärmepotenziale und Wärmespeicherkapazitäten**, sowohl zum Kühlen als auch zum Heizen der Wohn- und Gewerbegebäude wie (falls notwendig) auch zur Regulierung des Stadtklimas und ermöglicht so „**stromgeführte**“ **Hybridsysteme** (z.B. BHKW)
- die **Grundwasservorkommen** sind im Vergleich mit Oberflächengewässern **weitgehend flächenneutral und insbesondere umweltgeschützt** gegenüber der Ansiedlung unerwünschter Fauna und Flora (z.B. als Brutstätte für Mücken etc.) bzw. **nicht stark umweltsensitiv in Bezug auf geschützte Fauna und Flora**
- aufgrund **natürlicher bzw. induzierter Grundwasserströmungen kann der Wärmetransport gegebenenfalls ohne eines im Bestand problematischen Aufbaus eines flächendeckenden Wärmenetzes** geleistet werden bzw. den Netzausbau unterstützen
- kontaminierte und damit für die Trinkwassernutzung **unbrauchbare Grundwasservorkommen erwerben als Wärmespeicher ein neue wichtige städtische Funktionalität**

Vorteile der unterirdischen Wärmespeicherung in Ballungszentren (II)

- **Grundwasservorkommen zur Trinkwasserversorgung** können aktiv in gewünschten Temperaturbereichen gehalten und so **geschützt werden**
- Der notwendige Energiebedarf zum **unterirdischen Wärmemanagement kann zur Regelung des Stromnetzmanagement bei den intrinsisch fluktuierenden Energiedargeboten** aus erneuerbaren Energiequellen im Rahmen der sogenannten **Sektorenkopplung** (hier Kopplung des Strom- und des Wärmemarktes) beitragen
- die Nutzung des unterirdischen Wärmespeicherpotenzials zum Heizen und Kühlen ermöglicht sowohl die unmittelbare **innerstädtischen Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen** als auch von **städtischen Adaptionenmaßnahmen an den Klimawandel**

Internationale Perspektiven

- weltweite Forschungsaktivitäten zum Einsatz tiefer und oberflächennaher Geothermie bzw. Wärmespeicher in Ballungszentren („urban underground space management“; u.a. Helsinki, London etc.) meist auf Konzept- bzw. Machbarkeitsstudienebene mit z.T. sehr vereinfachenden Randbedingungen (u.a. v.d.Wassing et al., 2006; Li et al., 2013, Bartel et al., 2015; Hou et al., 2016)
- enormes Marktpotenzial z.B. China: u.a. Ankaufvolumen Wärmepumpen 10 Mrd. € bis 2015 (Deutsch-Chinesische Handelskammer, 2014); Ausbauziele geothermisch beheizter Wohnraum $500 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ bis 2015; $1450 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ bis 2020 (econet.monitor 2016)

aber

- **großer Vertrauensverlust in diese Technologie auf lokaler Ebene in China aufgrund mangelhaft funktionierender Anlagen in Folge unzureichender Planung und Ausführung**
- (Deutsch-Chinesische Handelskammer, 2014; pers. Mitteilung O. Kolditz Geothermal Research Center (Chinese Academy of Science, Prof Zhong))

Technologische und technische Herausforderungen

I.) Machbarkeit einer effektiven geothermisch getragenen und wirtschaftlich vernünftigen Wärmeversorgung und eine Vereinbarkeit mit Umweltschutzinteressen ist nur durch ein passives und/oder aktives Wärmemanagement des oberflächennahen und des tiefen geologischen Untergrundes möglich

II.) Notwendigkeit zur Raumplanung des geologischen Untergrundes unter Berücksichtigung der entsprechenden Auswirkungsräume (Hydraulisch, Thermisch, Mechanisch, (Bio-)Chemisch)

- Hinreichend komplexe numerische Simulationswerkzeuge, um die heterogenen und zudem stark räumlich und zeitlich transienten oberirdischen und unterirdischen Wärmesysteme hinreichend genau naturwissenschaftlich-technisch und wirtschaftlich abbilden zu können
- Hinreichend komplexe und repräsentative reale, urbane und geothermisch versorgte Quartiere
- Gezielte Technologieentwicklungen zu kostenrelevanten Prozessschritten (z.B. unterirdischen Wärmeaustauschersystemen)

Nationale Limitierungen

u.a. Auslegung gesetzlicher
und untergesetzlicher
Regelwerke bzgl.
Grundwasserschutz,
insbesondere dT 5°C Auflage

fehlende Rechtssicherheit und
betriebswirtschaftliche
Konzepte
für Nutzung des Untergrundes
insbesondere als Speicher

Vereinbarkeit von Klima- und Grundwasserschutz am Beispiel der oberflächennahen Wärmespeicherung Rechtsgutachten

für die Universität Kiel
Institut für Geowissenschaften
Prof. Dr. Andreas Dahmke

Bearbeiter:

**Wulf Clausen, Julian Justus Lauer, Malte Ahlbrink,
Stefan Söchtig**

HFK Rechtsanwälte LLP,

(Gutachten: „Stadtwerke-Konzept“ zur
Nutzung und Management des tiefen und
oberflächennahen Untergrundes in der
Beauftragungsphase)

**fehlende nationale Strategie zum international
wettbewerbsfähigen Ausbau der Geothermie i.w.S.**

7 Bedingungen zur optimierten strategischen Entwicklung der „Geothermie i.w.S.“ in Deutschland

I.) Einbindung unterirdischer Wärmespeichersysteme in die nationale Energiesystemtransformation

II.) Entwicklung numerischer Modellwerkzeuge zum Grundwasser- und Wärmemanagement im geologischen Untergrund wie auch begleitender betriebswirtschaftlicher numerischer Modellansätze für eine kostengünstige und sozialverträgliche Wärmeversorgung

III.) Auswirkungsanalysen von Wärmespeicherprozessen auf Stadtklima und Lebensqualität und soziale Aspekte (bezahlbarer Wohnraum)

IV.) Technologieentwicklung, Erprobung und Monitoring hinreichend komplexer, realer, kombinierter oberirdischer und unterirdischer Wärmeversorgungssysteme

V.) Entwicklung bzw. Optimierung von tragfähigen wirtschaftlichen Konzepten zum Management des unterirdischen Raumes bei der städtischen Wärmeversorgung

VI.) Erarbeitung von Vorschlägen zur rechtlichen Gestaltung zur Nutzung des unterirdischen Raumes zur Wärmeversorgung

VII.) Akzeptanz- und vergleichende Risikoanalyse zur städtischen Wärmeversorgung bei Nutzung des unterirdischen Raumes