



Hydrogeologie für Wärmepumpen - Beispiel der Stadt Köln

Dr. Thomas Vienken
Department Monitoring- und Erkundungstechnologien

Hydrogeologie für Wärmepumpen – Beispiel der Stadt Köln

Inhalt:

- Department Monitoring- und Erkundungstechnologien
- Geothermie
 - Tiefe Geothermie
 - Flache Geothermie
- Flache Geothermie am Beispiel der Stadt Köln

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ

Department Monitoring- und Erkundungstechnologien



Entwicklung von Konzepten und Strategien, um die steigenden Anforderungen an die Umweltforschung, insbesondere an die adäquate Abbildungen natürlicher Systeme zu erfüllen.

AG Direct-Push und hydrogeologische Messmethoden:

- hochauflösende Charakterisierung oberflächennaher Grundwasserleiter
- Entwicklung, Testen und Evaluierung neuester hydrogeologischer Methoden und DP-Anwendungen
- Entwicklung von Konzepten und Modellen

Geothermie

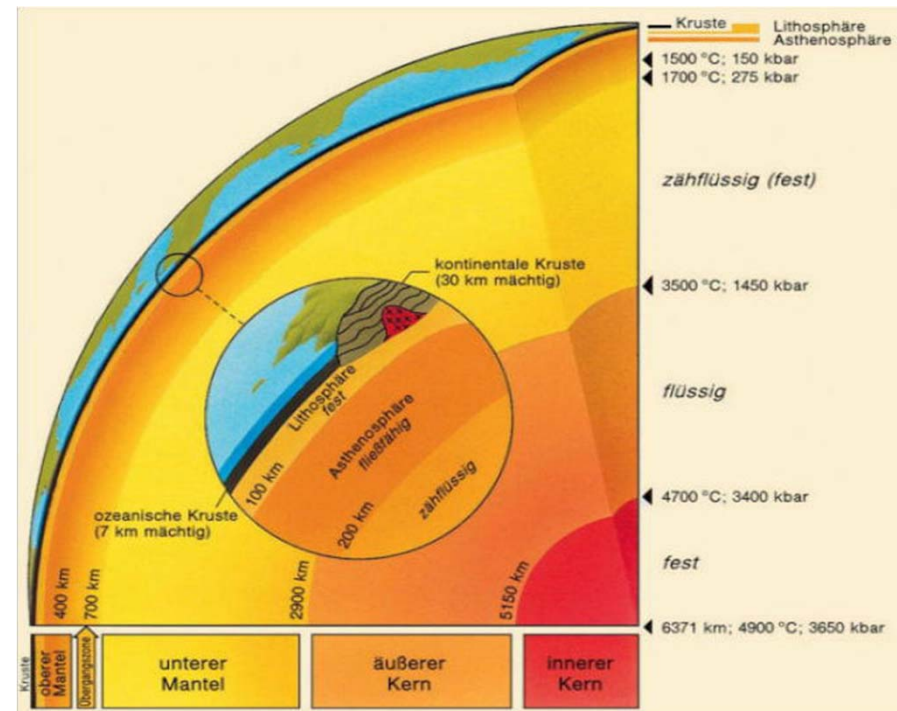
Definition

Die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde, die im Wesentlichen auf der von der **Sonne** eingestrahlten Wärmeenergie und dem vom Erdinneren zur Erdoberfläche gerichteten **Wärmestrom** beruht.

aus: HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2004): Erdwärmenutzung in Hessen – Leitfaden für Erdwärmepumpen (Erdwärmesonden) mit einer Heizleistung bis 30 kW. 1. Auflage, Wiesbaden.

Tiefe Geothermie

- Akkretionswärme, radioaktiver Zerfall
- Wärmetransport über Konvektion und Wärmeleitung
- Tiefen von 500 m – 4000 m
- Geothermischer Gradient: 2-3°C/100m
- Geothermiekraftwerke zur Erzeugung von Strom
- zumeist offene Systeme – geothermische Dublette (HDR, EGS)
- besonders an Stellen erhöhter geothermischer Gradienten (z.B. MOR)



Quelle: Klett

Tiefe Geothermie



Geothermiekraftwerk Nesjavellir, Island

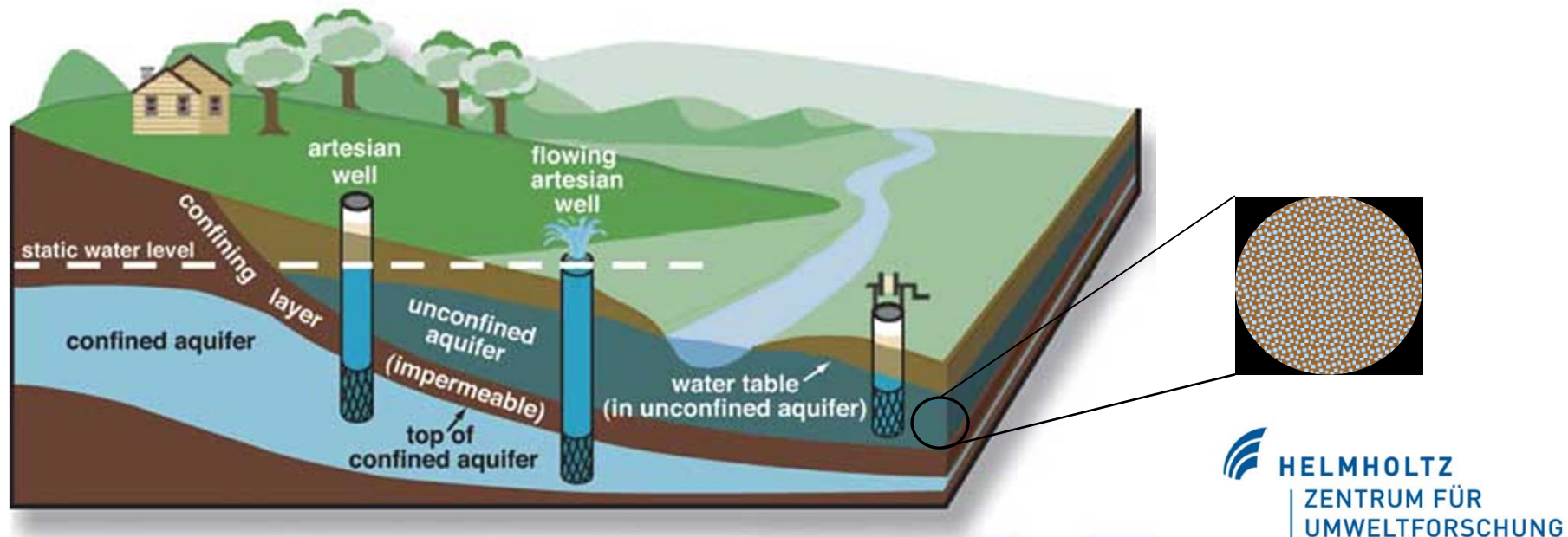
Quelle: DLR

Flache Geothermie

Hydrogeologische Grundlagen

Grundwasser: Unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeit ausschließlich durch die Schwerkraft bestimmt wird.

HÖLTING, B.; COLDEWEY, W (2005): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 6. Auflage, München: Spektrum Akademischer Verlag



Quelle: Kansas Geological Survey

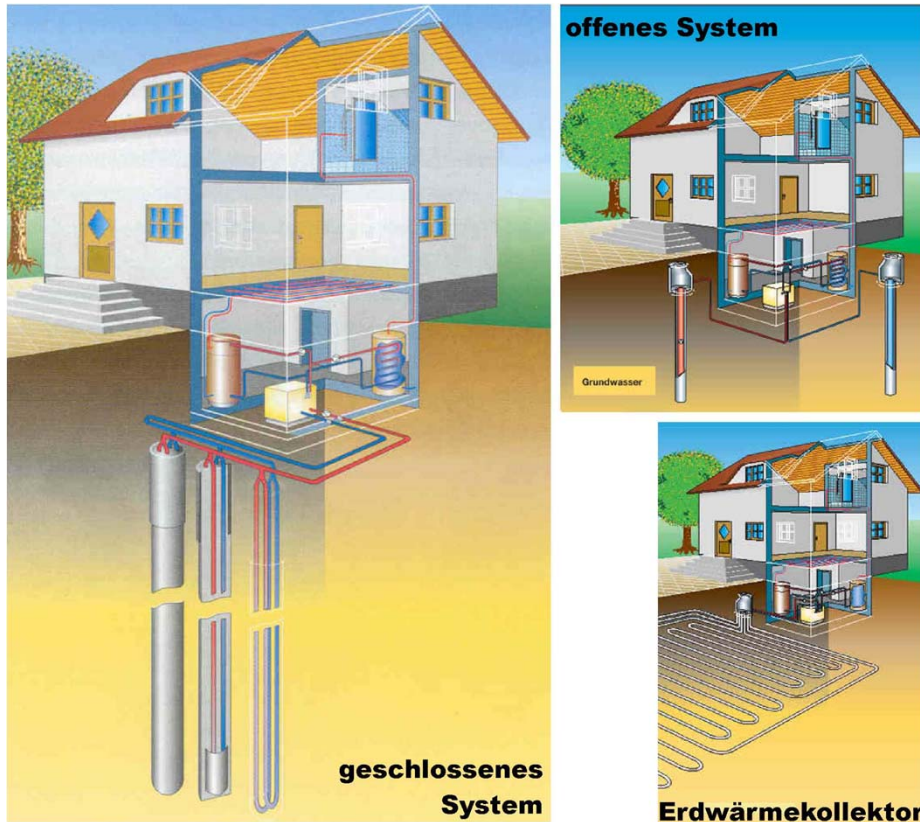
Flache Geothermie

Hydrogeologische Grundlagen

- Wärmetransport im Boden verläuft in der vadosen Zone zumeist über erwärmtes Sickerwasser
- tages- und jahreszeitlichen Schwankungen der Strahlungsenergie
- Phasenverschiebung der Temperaturganglinie abhängig von der Sickergeschwindigkeit
- indifferente Zone (ab ca. 15-20m Tiefe): keine jahreszeitlichen Schwankungen messbar, GW-Temperatur entspricht jährlicher Durchschnittstemperatur der Luft
- Wärmetransport in der phreatischen Zone durch Konvektion und Dispersion
- durch die Erwärmung des Nebengesteins liegt die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Grundwassertemperatur unter der Abstandsgeschwindigkeit
- bei stationären Wärmequellen im Untergrund ist die Erwärmung des Grundwassers abhängig von der Fließgeschwindigkeit
- Eintrag großer Regenmengen oder eine Schneeschmelze können die Grundwassertemperatur weiterhin beeinflussen

Flache Geothermie

Anwendung

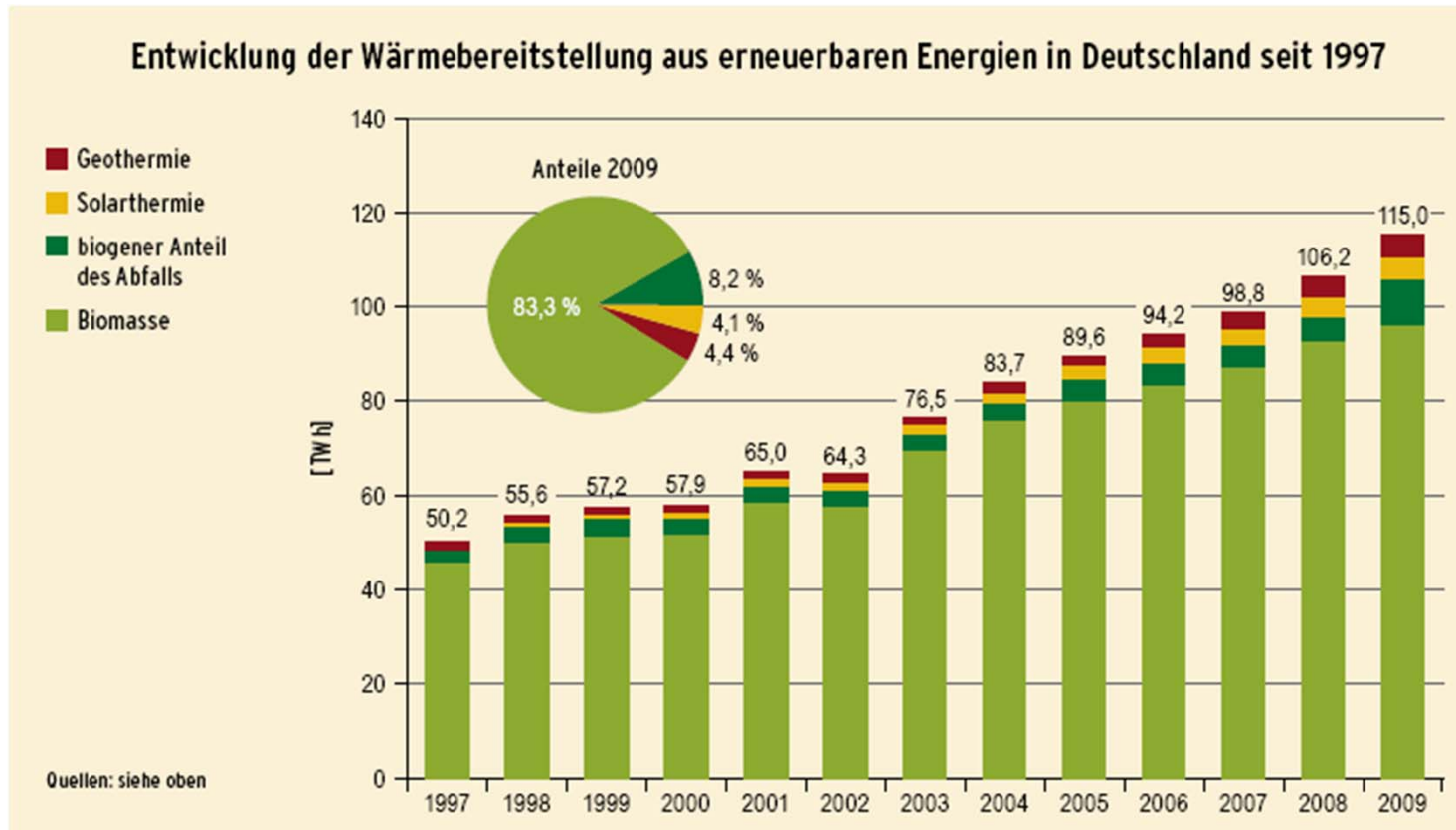


- Wärmegewinnung für Ein- und Mehrfamilienhäuser (Kühlung von Industrieanlagen)
- Wärme durch Sonneneinstrahlung
- Bohrtiefen häufig bis maximal 99 m
- Wärme als bergfreier Bodenschatz
- Erdwärmesondenanlagen häufigstes System - Grundwasserabkühlung

Quelle: LANDESINITIATIVE ZUKUNFTSENERGIEN NRW (2006): Wärmepumpen-Marktplatz NRW. 1. Auflage, Düsseldorf

Flache Geothermie

Anwendung



Aus: BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT – BMU (2010): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Berlin.

Flache Geothermie am Beispiel der Stadt Köln

Motivation

Ausgangslage 2006:

Jährliche Verdopplung der Antragszahlen zur Installation von Systemen zur Nutzung oberflächennaher Geothermie beim Umwelt- und Verbraucherschutzamt der Stadt Köln

Flache Geothermie am Beispiel der Stadt Köln

Motivation

Temperaturveränderungen im Schutzgut Grundwasser führen zu:

- Veränderung der Trinkwasserqualität (chemisch & biologisch)
- Einschränkung der Ökosystemfunktion
- Auswirkungen auf angrenzende Ökosysteme

Problematik:

- keine kohärenten GW-Temperaturmessreihen
- kein geeignetes Temperaturmessstellennetz
- unzureichende Wirkungsmodellierung, da Überlagerungseffekte und Einfluss exogener Faktoren unbekannt
- kein Wirkungsmonitoring

Flache Geothermie am Beispiel der Stadt Köln

Motivation

Ermittlung und Quantifizierung der Auswirkungen des menschlichen Siedlungsbaus und der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Grundwassertemperaturen im Stadtgebiet Köln

Methodik

- Vergleich der zeitlichen und räumlichen Variabilität der Grundwassertemperatur in verschiedenen Untersuchungsgebieten
- Untersuchungsgebiet Merkenich mit geothermischer Nutzung
- räumliche Abgrenzung als Subzentrum



Flache Geothermie am Beispiel der Stadt Köln

Motivation

Beiträge von Wärmequellen auf die Grundwassertemperatur am Beispiel Karlsruhe.

Sonneneinstrahlung: 48.25%

Abwasserkanalisation: 27.43%

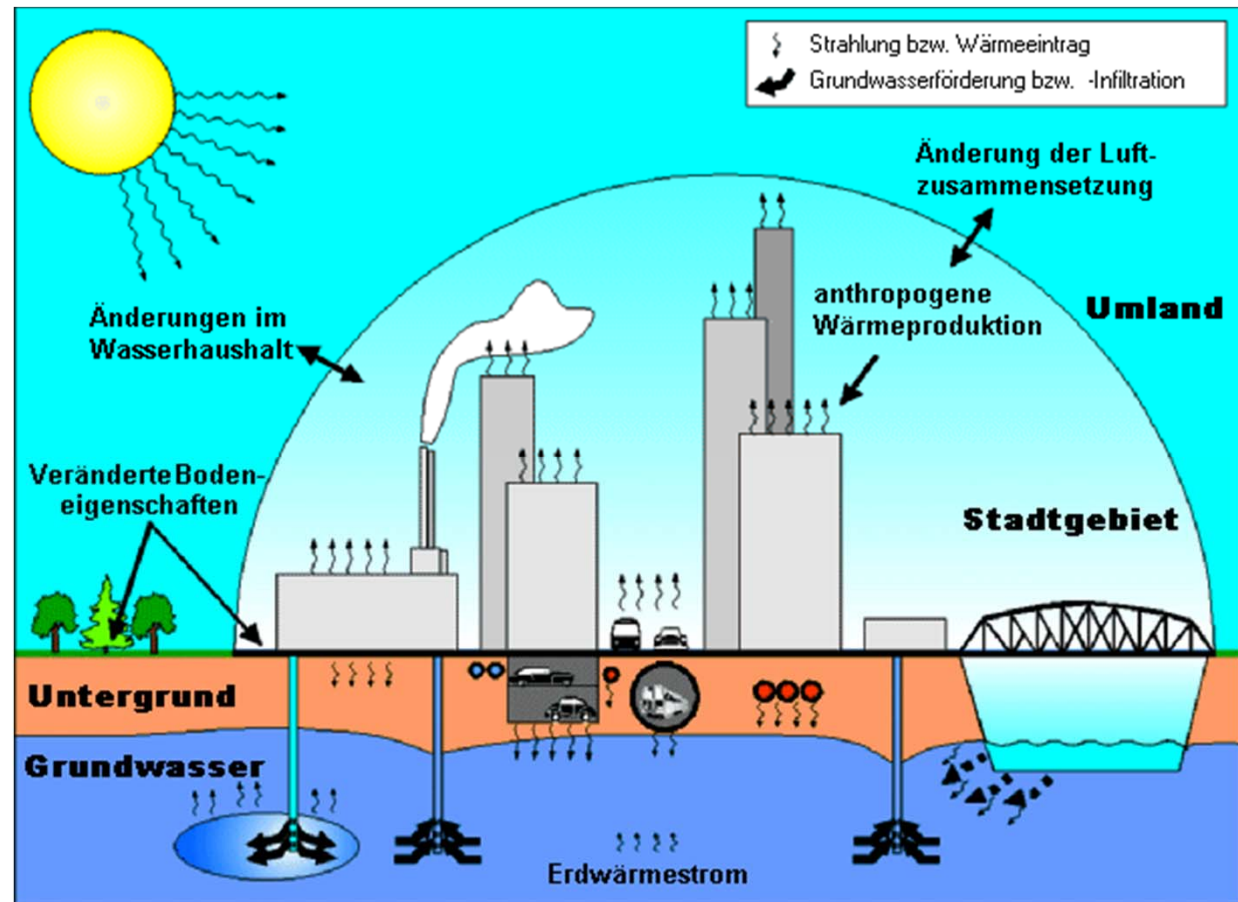
Hauskeller: 10.77%

Kühlwasserleitungen: 6.23%

Fernwärmeleitungen: 5.08%

Geotherm. Wärmestrom: 2.23%

aus: HÖTZL, H.; MAKURAT, A. (1981):
Veränderungen der Grundwassertemperaturen unter dicht bebauten Flächen am Beispiel der Stadt Karlsruhe. Z. dt. geol. Ges.

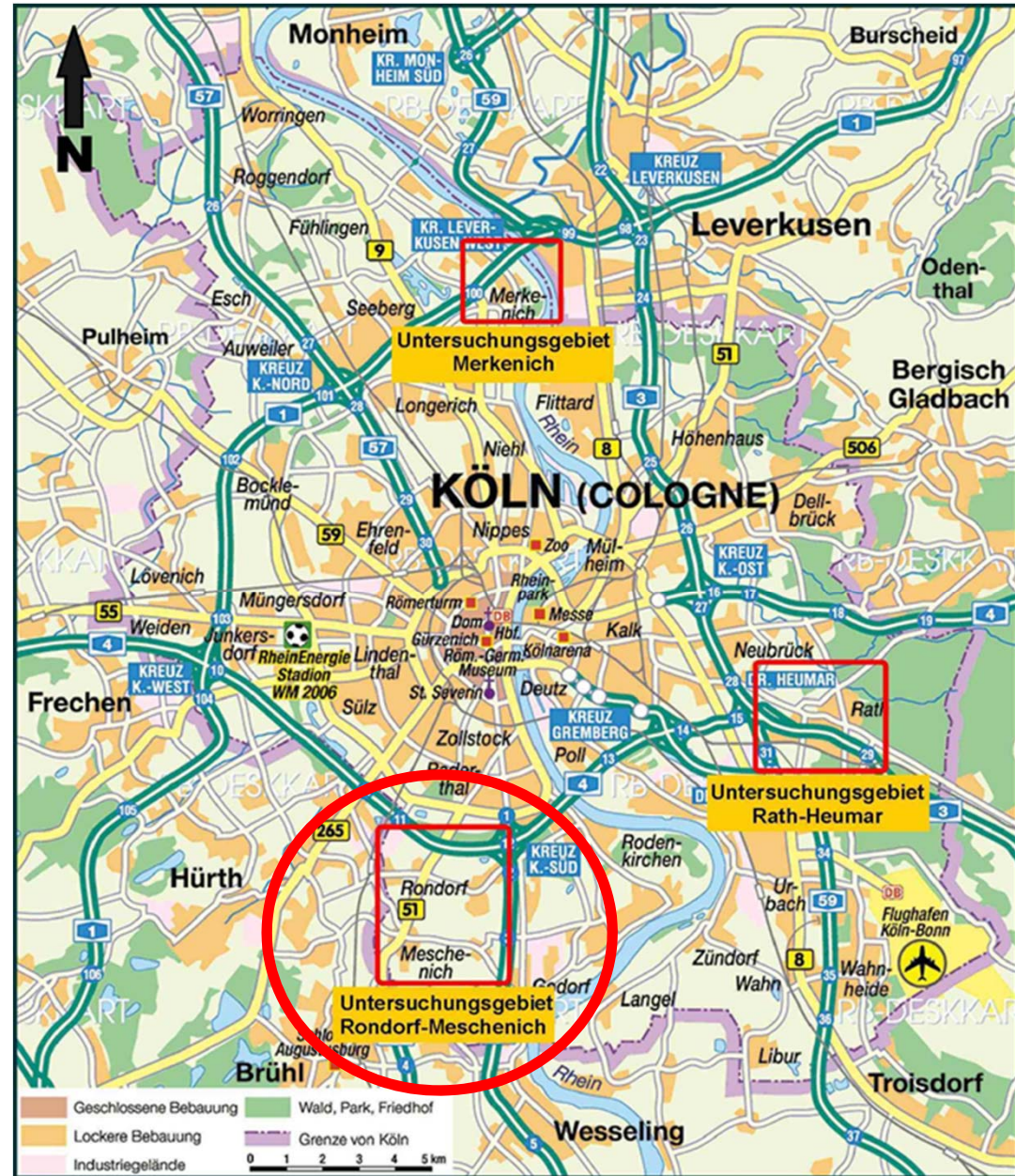


Quelle: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin

Flache Geothermie am Beispiel der Stadt Köln

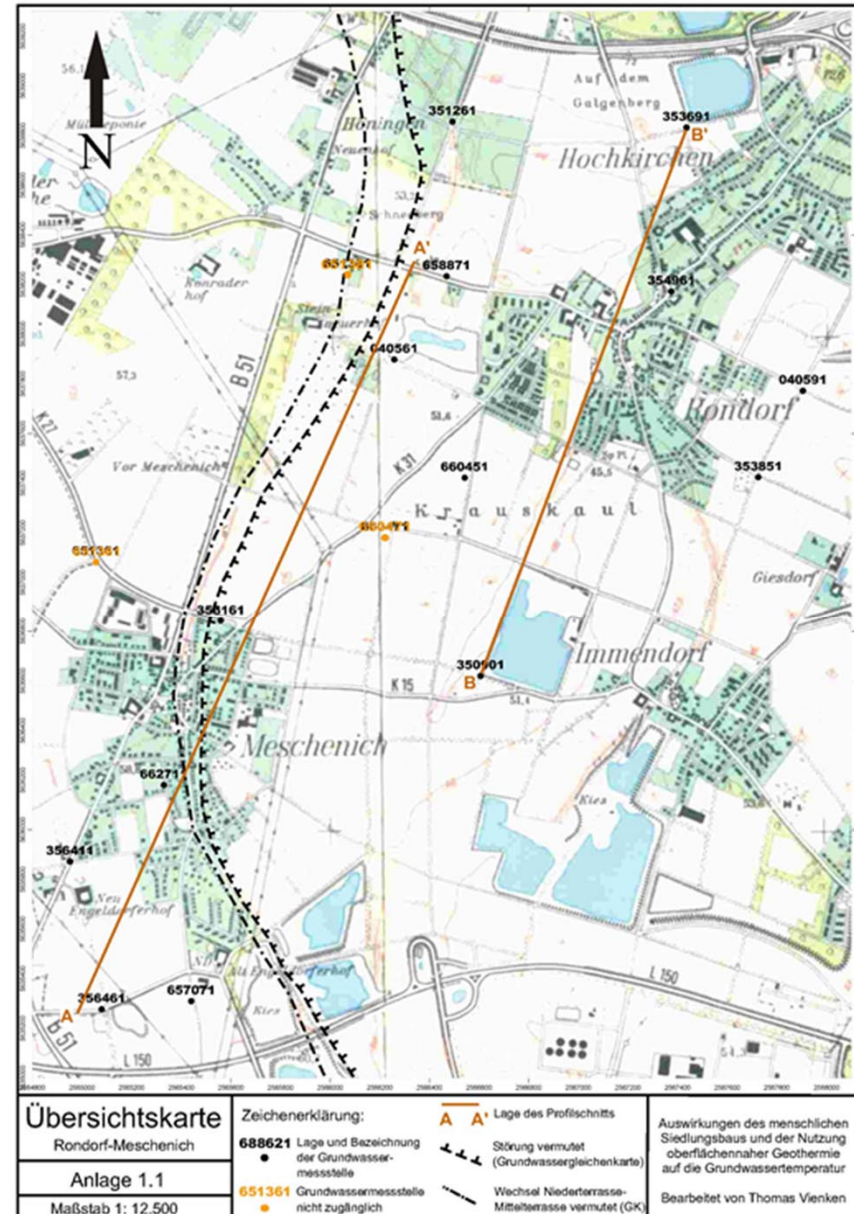
Untersuchungsgebiete

- Messung der GW-Temperatur in 1, 5 und 10m Tiefe unter dem GW-Spiegel
- Messung mittels Temperaturlichtlot

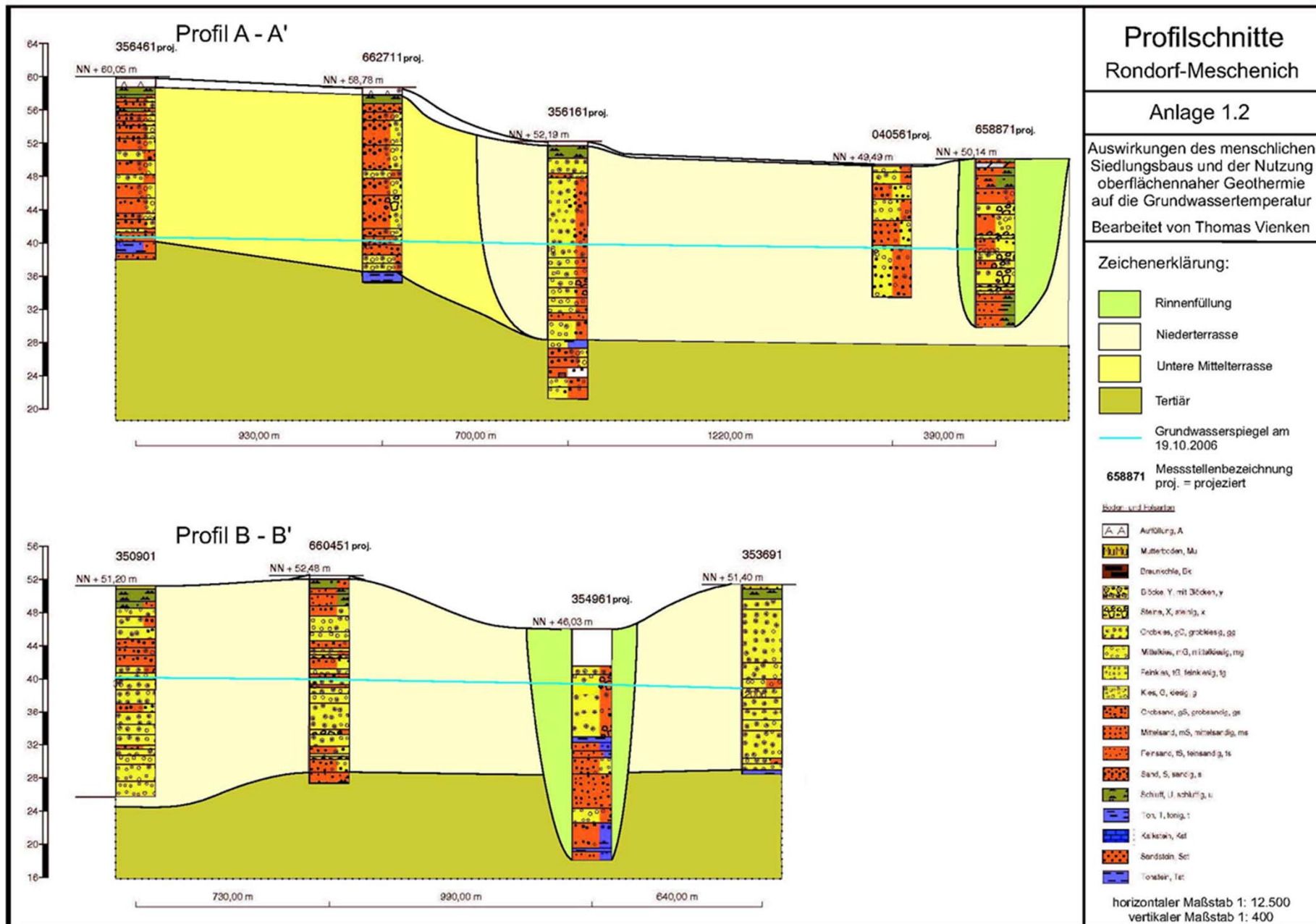


Untersuchungsgebiet Rondorf-Meschenich

- Ziel: Erkenntnisse über die Beeinflussung der GW-Temperatur
- Untersuchungsfläche ca. 10,4 km²
- Wohnbebauung
- Ungespannter Porengrundwasserleiter
- Sedimente der MT und NT, Rinnenfüllungen
- k_f -Werte: NT $\approx 5 \times 10^{-3}$ m/s , MT $\approx 1 \times 10^{-3}$ m/s
- 14 beprobte GWMS
- drei Messreihen: 10/2006, 01/2007 und 03/2007



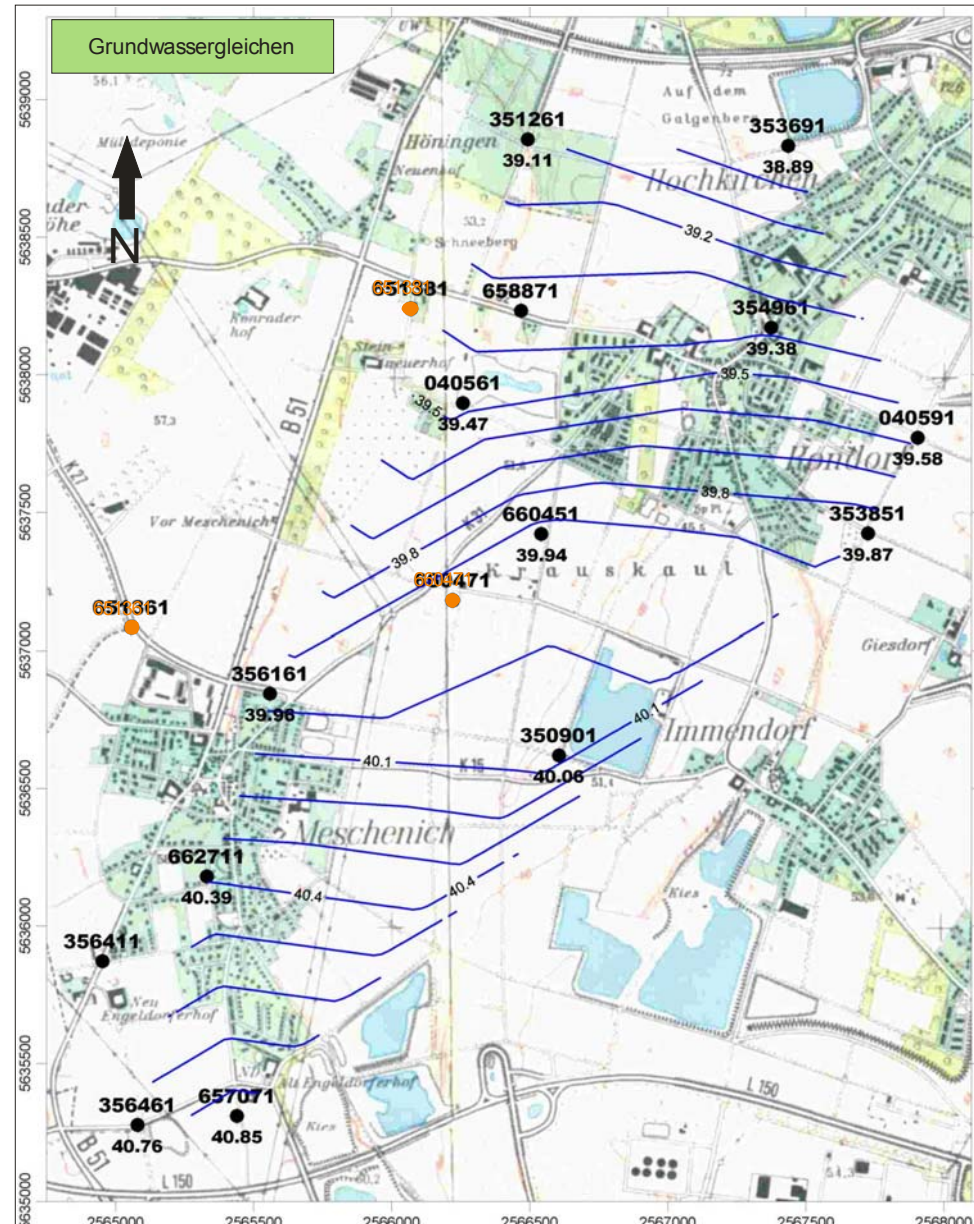
aus: VIENKEN, T. 2007. Auswirkungen des menschlichen Siedlungsbaus und der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Grundwassertemperatur, Diplomarbeit Universität zu Köln.



aus: VIENKEN, T. 2007. Auswirkungen des menschlichen Siedlungsbaus und der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Grundwassertemperatur, Diplomarbeit Universität zu Köln.

Untersuchungsgebiet Rondorf-Meschenich

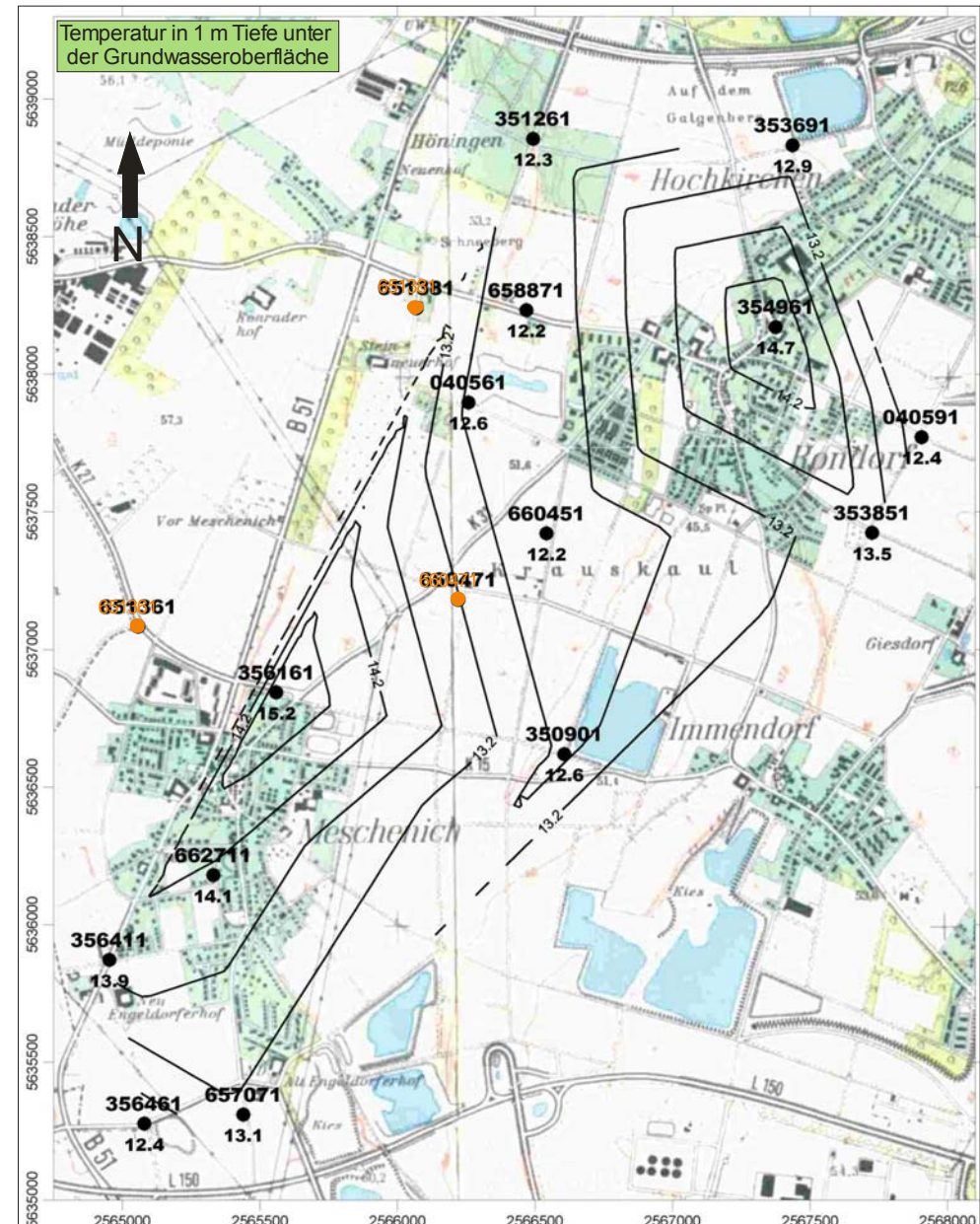
- GW-Fließrichtung SSW-NNO
- niedrigste Temperaturen im Anstrom und seitlich der Ortschaften
- Meschenich: $\Delta T = 2,8^\circ\text{C}$ ($1,7^\circ\text{C}$ Jan.)
- Rondorf: $\Delta T = 2,5^\circ\text{C}$ ($1,8^\circ\text{C}$ Jan.)
- $T_{\min} = 12,2^\circ\text{C}$ ($11,6^\circ\text{C}$ Jan.); $T_{\max} = 15,2^\circ\text{C}$ ($14,0^\circ\text{C}$ Jan); $\Delta T = 3,0^\circ\text{C}$ ($2,4^\circ\text{C}$ Jan.)
- leichte Variationen in den anderen Tiefenstufen, deutlich weniger Messstellen, einzelne Anomalien auf lokale Ursachen zurückzuführen



aus: VIENKEN, T. 2007: Auswirkungen des menschlichen Siedlungsbaus und der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Grundwassertemperatur, Diplomarbeit Universität zu Köln.

Untersuchungsgebiet Rondorf-Meschenich

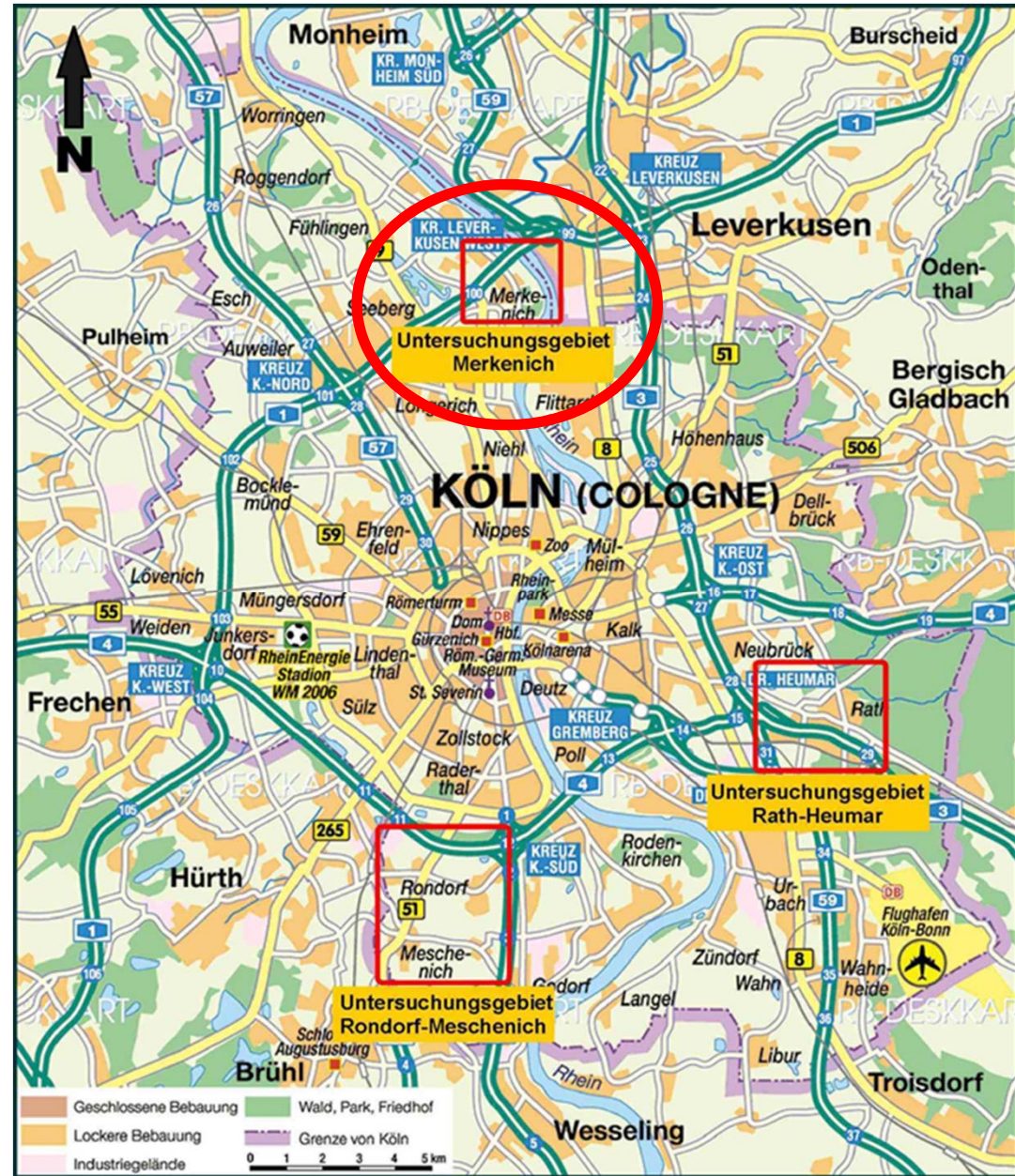
- GW-Fließrichtung SSW-NNO
- niedrigste Temperaturen im Anstrom und seitlich der Ortschaften
- Meschenich: $\Delta T = 2,8^\circ\text{C}$ ($1,7^\circ\text{C}$ Jan.)
- Rondorf: $\Delta T = 2,5^\circ\text{C}$ ($1,8^\circ\text{C}$ Jan.)
- $T_{\min} = 12,2^\circ\text{C}$ ($11,6^\circ\text{C}$ Jan.); $T_{\max} = 15,2^\circ\text{C}$ ($14,0^\circ\text{C}$ Jan.); $\Delta T = 3,0^\circ\text{C}$ ($2,4^\circ\text{C}$ Jan.)
- leichte Variationen in den anderen Tiefenstufen, deutlich weniger Messstellen, einzelne Anomalien auf lokale Ursachen zurückzuführen



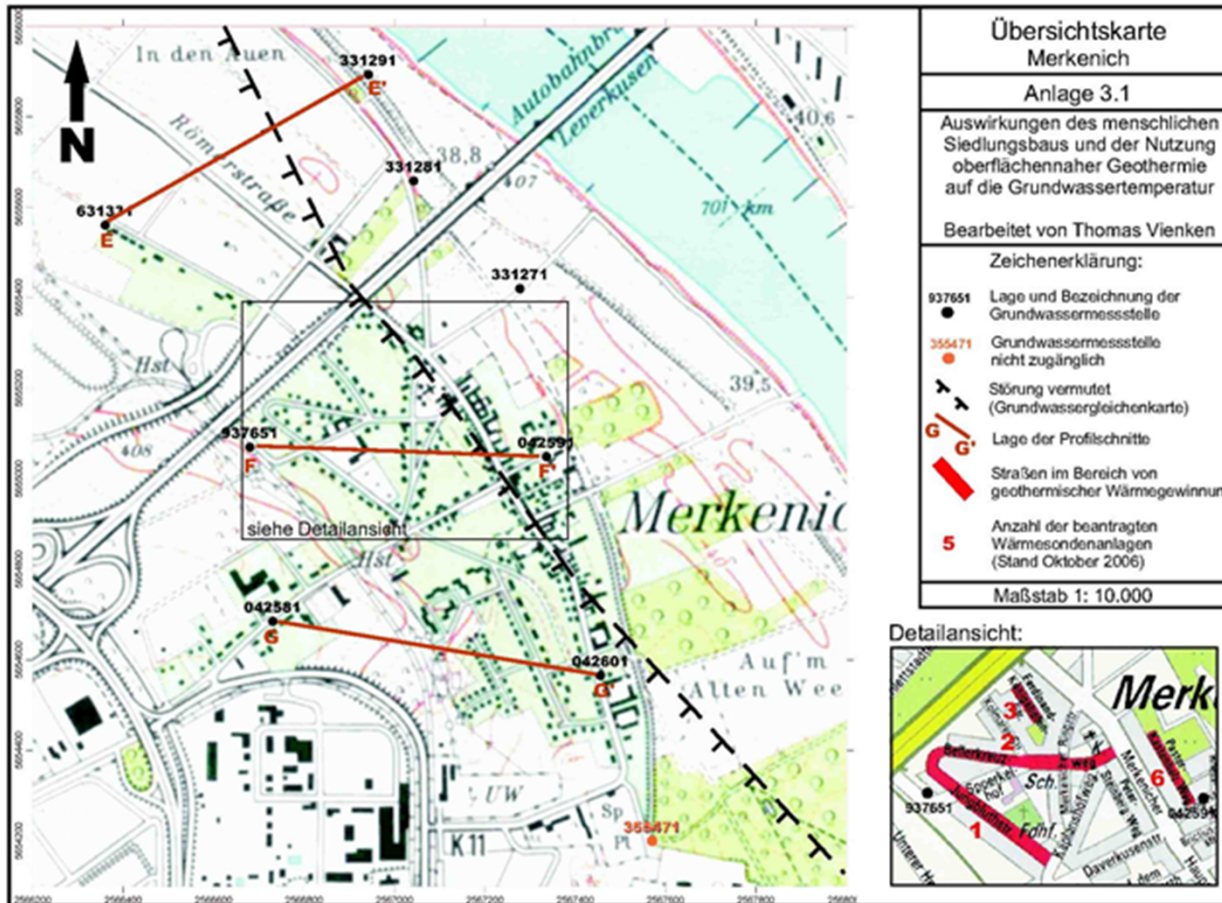
aus: VIENKEN, T. 2007: Auswirkungen des menschlichen Siedlungsbaus und der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Grundwassertemperatur, Diplomarbeit Universität zu Köln.

Flache Geothermie am Beispiel der Stadt Köln

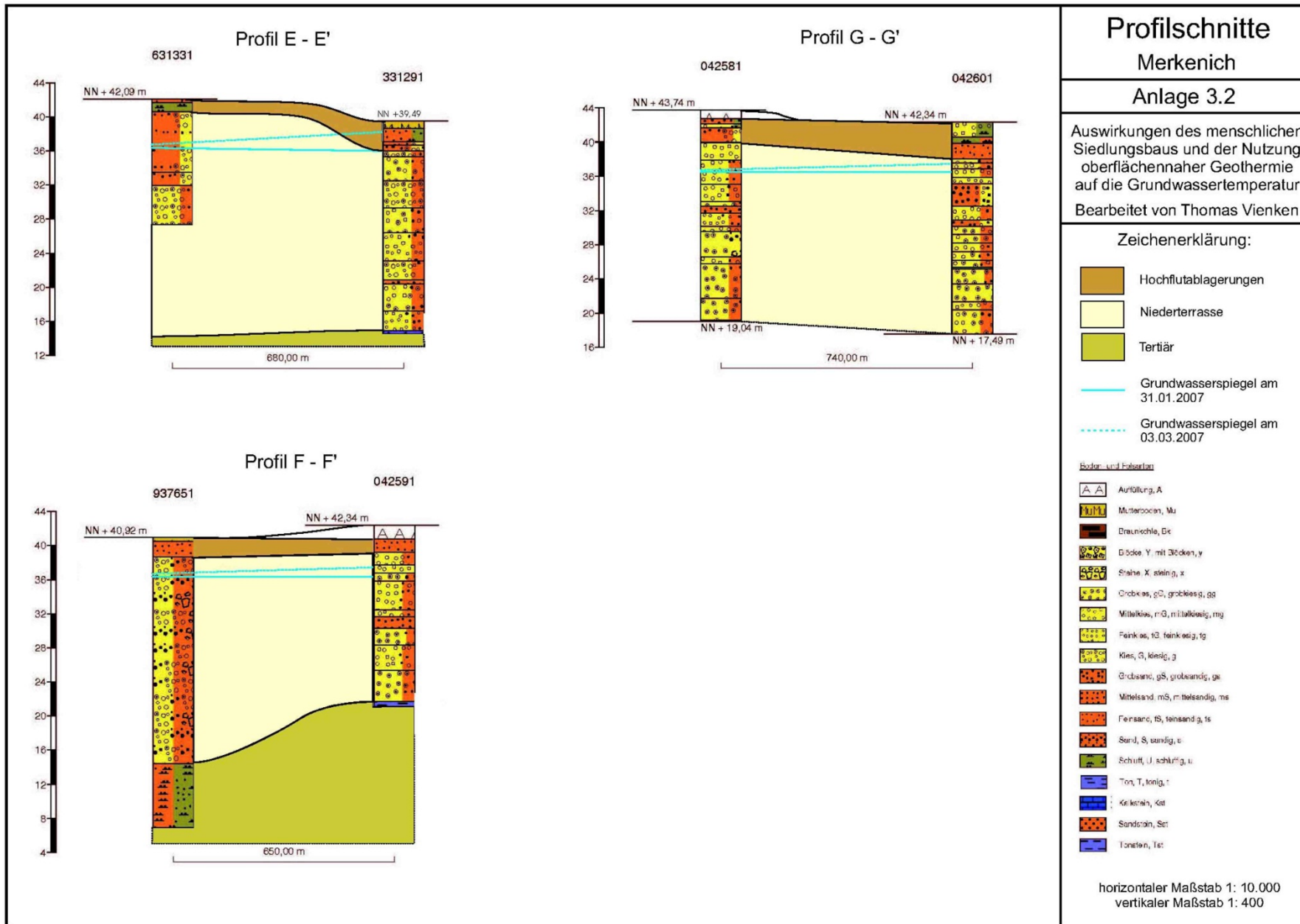
Untersuchungsgebiete



Untersuchungsgebiet Merkenich



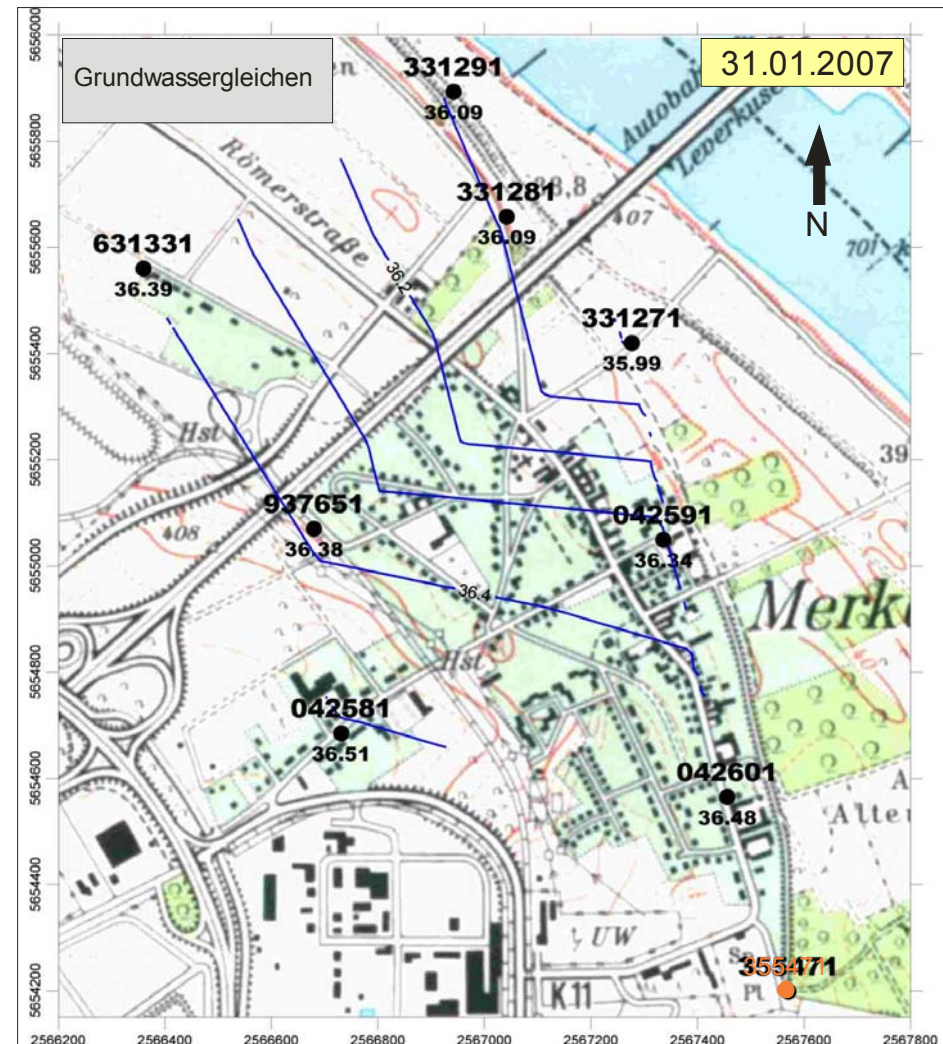
- Untersuchungsfläche 1,8 km²
- Wohnbebauung
- Ziel: Erkenntnisse über die Beeinflussung der GW-Temperatur durch Erdwärmesondenanlagen
- 15 gemeldete Erdwärmesondenanlagen
- Sedimente der NT k_f -Werte: $NT \approx 7 \times 10^{-3} \text{m/s}$
- ungespannter Porengrundwasserleiter, lokal bei HW gespannt
- 8 beprobte GWMS



aus: VIENKEN, T. 2007: Auswirkungen des menschlichen Siedlungsbaus und der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Grundwassertemperatur, Diplomarbeit Universität zu Köln.

Untersuchungsgebiet Merkenich

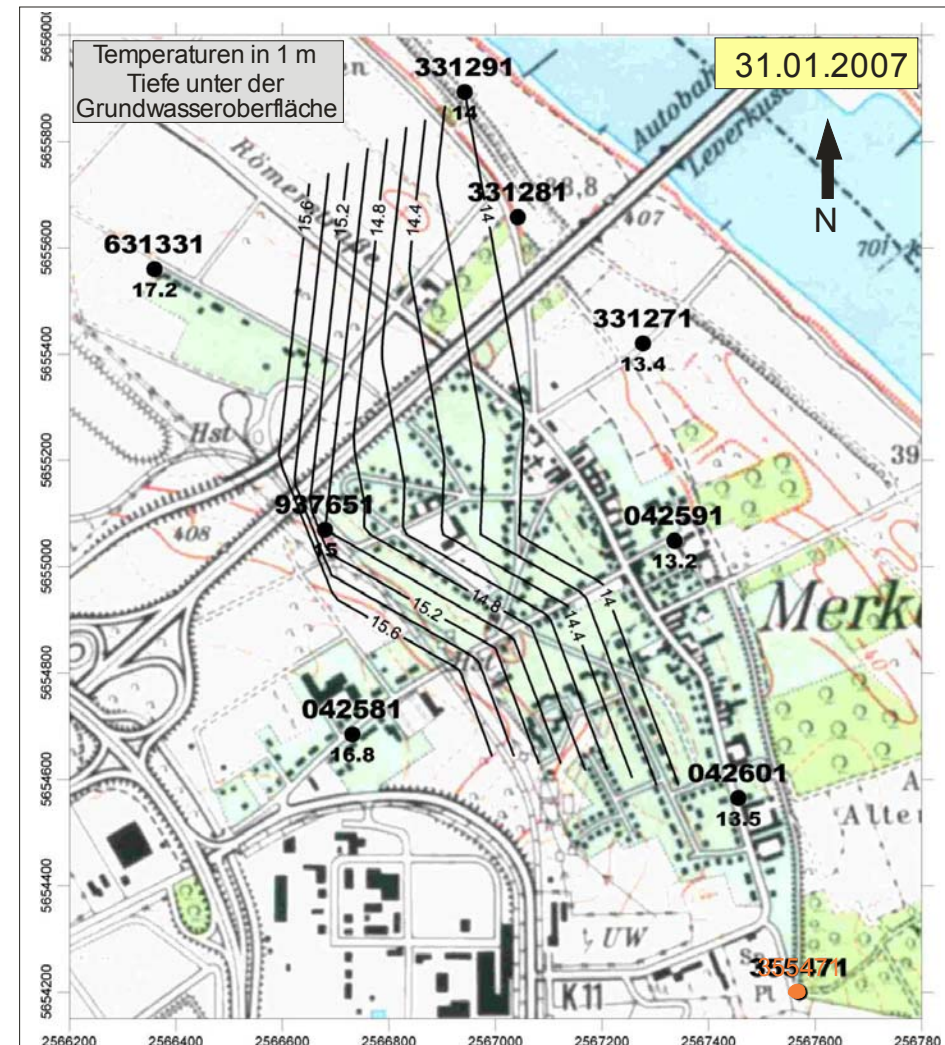
- Messreihen in 10/2006, 01/2007 (2 Messreihen), 02/2007, 03/2007
- GW-Fluss im Januar: SSW-NNO, Rhein als Vorfluter
- Wechsel der GW-Fließrichtung bei Hochwasser
- Messung überprägt von lokalen Wärmeanomalien
- Kein Wärmemaximum unterhalb der Bebauungsflächen erkennbar



aus: VIENKEN, T. 2007: Auswirkungen des menschlichen Siedlungsbaus und der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Grundwassertemperatur, Diplomarbeit Universität zu Köln.

Untersuchungsgebiet Merkenich

- Messreihen in 10/2006, 01/2007 (2 Messreihen), 02/2007, 03/2007
- GW-Fluss im Januar: SSW-NNO, Rhein als Vorfluter
- Wechsel der GW-Fließrichtung bei Hochwasser
- Messung überprägt von lokalen Wärmeanomalien
- Kein Wärmemaximum unterhalb der Bebauungsflächen erkennbar



aus: VIENKEN, T. 2007: Auswirkungen des menschlichen Siedlungsbaus und der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Grundwassertemperatur, Diplomarbeit Universität zu Köln.

Flache Geothermie am Beispiel der Stadt Köln

Ergebnisse

- bisher wenig Forschung über die Auswirkungen flächenhafter Nutzung der oberflächennaher Geothermie; keine einheitliche Vorgehensweise bei angewandten Studien und somit eine nur geringe Vergleichbarkeit der bestehenden Arbeiten
- Grad der Erwärmung und deren Messung abhängig von vielen Einflussgrößen
- Erwärmung des Grundwassers im Bereich der menschlichen Siedlungen um bis zu 3,6 °C
- ganzjährige Erwärmung um 2-3 °C durch Versorgungsleitungen, Bodenversiegelung etc., maximale Erwärmung im Spätsommer
- kein Temperaturgang im Boden nachweisbar
- Grad der Erwärmung weiterhin von der Grundwasserfließgeschwindigkeit abhängig

Hydrogeologie für Wärmepumpen – Beispiel der Stadt Köln

Kontakt:

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ

Department Monitoring- und Erkundungstechnologien

Dr. Thomas Vienken (thomas.vienken@ufz.de)

www.ufz.de/met