

### 3. Zusammenfassung einer Publikation

Literaturangabe zur Publikation:

Zhu, K., Blum, P., Ferguson, G., Balke, K.D., and Bayer, P., 2010, The geothermal potential of urban heat Islands: Environmental Research Letters, v. 5, doi:10.1088/1748-9326/6/1/019501.

#### 3.1. Zusammenfassung

In Städten werden im Vergleich zu ländlich geprägten Gebieten deutlich höhere bodennahe Lufttemperaturen gemessen. Meteorologische Aufzeichnungen zeigen eine deutliche Erwärmung im letzten Jahrhundert. Man spricht vom städtischen Wärmeinseleffekt (urban heat island; UHI). Diese Erwärmung kann nur bedingt durch den Klimawandel erklärt werden. Viel mehr trägt die Urbanisierung selbst (hoher Anteil versiegelter Flächen, eingeschränkte Windzirkulation, fehlende Beschattung etc.) direkt zu den lokal erhöhten Temperaturen bei. Der städtische Wärmeinseleffekt wirkt sich auch auf den Untergrund und die Grundwassertemperaturen aus. Der Wärmeüberschuss im Grundwasser birgt ein grosses Energiepotential.

In dieser Studie wird das Energiepotential städtischer Aquifere am Beispiel von Köln (Deutschland) und Winnipeg (Kanada) berechnet.

Köln ist mit 1 Million Einwohner die viertgrösste Stadt in Deutschland. Im Zeitraum 1945 - 2009 betrug die durchschnittliche Jahreslufttemperatur in Köln 11°C. Der Untergrund wird aus mächtigen, grundwasserführenden, quartären Rheinschottern und -sandn aufgebaut. Das Grundwasser befindet sich in einer Tiefe von ca. 10-15 m und weist eine Mächtigkeit von 30-70 m auf. Das Grundwasser fliesst von Südwest nach Nordosten. Für die Studie wurden Temperaturdaten von 72 Grundwassermessstellen in unterschiedlichen Tiefen aufgezeichnet und ausgewertet.

Winnipeg ist eine Stadt mit mehr als 0.6 Millionen Einwohner. Sie befindet sich im zentralen, südlichen Kanada. Im Zeitraum von 1971 bis 2000 lag die Jahreslufttemperatur bei 2.6°C. Der Untergrund wird aus einem mächtigen, karbonatischen Aquifer aufgebaut, welcher in einen oberen und einen unteren Aquifer unterteilt werden kann. Der obere Aquifer ist ca. 5-15 m mächtig und wird von einer Silt-Ton-Schicht überlagert. Aufgrund der viel höheren Transmissivität im Vergleich zum unteren Aquifer, dient primär der obere Aquifer der Wasserversorgung der Stadt Winnipeg. Für die Studie wurden Temperaturmessungen in 40 Grundwassermessstellen in unterschiedlichen Tiefen durchgeführt.

Für beide Städte wurde mittels Kriging eine Temperaturkontur-Karte erstellt (vgl. Abbildung 3.1). Dabei wurde die Referenztiefe so gewählt, dass eine Beeinflussung durch saisonale Temperaturschwankungen möglichst ausgeschlossen werden konnte. Weiter wurden in Köln typenlokale vertikale Temperaturprofile erstellt: Es zeigt sich, dass in ländlichen Gegenden die Grundwassertemperaturen ca. 1-5°K tiefer liegen als in städtischen Gebieten. In städtischen Gebieten wurden die höchsten Temperaturen in der Nähe eines Parkhauses und einer Mensa gemessen (vgl. Abbildung 3.2). Natürliche geothermale Anomalien sind für keine der beiden Städte bekannt.

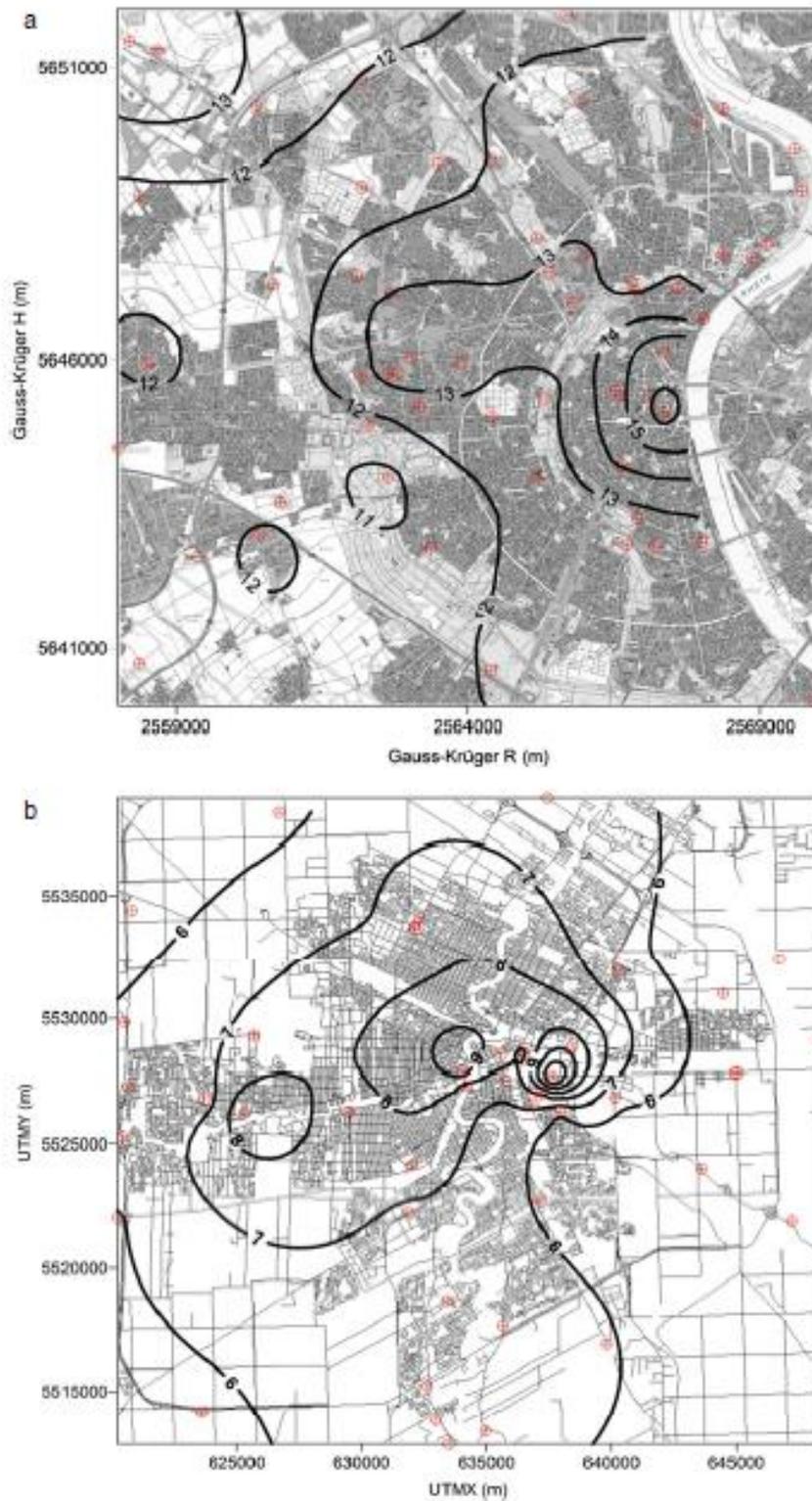


Abbildung 3.1 - Temperaturkontur-Karten in 15 m Tiefe unterhalb Köln (a) und in 20 m Tiefe unterhalb Winnipeg (b)

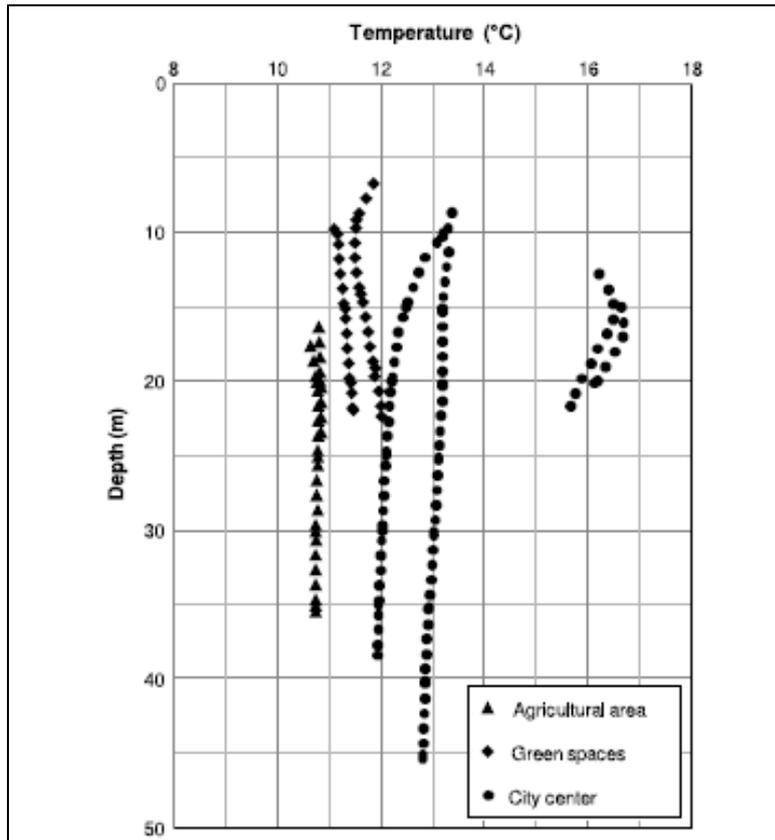


Abbildung 3.2 – Temperatur-Profile von ausgewählten Brunnen in Köln im Jahr 2009

Zur Berechnung des geothermalen Potentials der beiden Städte wurde die folgende Formel von Balke (1977) angewendet:

$$Q = Q_w + Q_s = Vn C_w \Delta T + V(1 - n) C_s \Delta T$$

$Q$  (kJ) = totales theoretisches Energiepotential des Aquifers

$V$  (m<sup>3</sup>) = Volumen des Aquifers

$n$  = Porosität

$C_w$  und  $C_s$  (kJ m<sup>-3</sup> K<sup>-1</sup>) = Volumetrische Wärmespeicherkapazität von Grundwasser und Festgestein

$Q_w$  und  $Q_s$  (kJ) = Energiepotential von Wasser und Festgestein

$\Delta T$  (K) = Temperaturabnahme des ganzen Aquifers

Theoretisch könnte das Grundwasser bis auf 0°C abgekühlt werden. Allerdings ist die Energieentnahme bei höheren Temperaturen effizienter. Aus diesem Grund sowie aus ökologischen Bedenken wird die extrahierbare Energie in dieser Studie auf eine Temperaturabnahme von 2° bis 6° K beschränkt. Mit der oben aufgeführten Formel konnte so für die Stadt Köln ein Energiepotential von  $4.8 \times 10^{10}$  bis  $4.8 \times 10^{11}$  kJ km<sup>-2</sup> berechnet werden. Dies entspricht ca. dem 2.5- bis 25.5-fachen des jährlich benötigten Heizbedarfs der ganzen Stadt. In Winnipeg entspricht das vorhandene Energiepotential dem 0.5- bis 5.6-fachen des benötigten Heizbedarfs.

Die Resultate der Studie wurden in Vergleich gesetzt zu anderen Grossstädten in verschiedenen Regionen der Welt. Dabei wurde das geothermische Potential der vorhandenen Aquifere aufgrund vorhandener Daten und Schätzungen der hydrogeologischen Bedingungen grob berechnet. Für die meisten Städte entspricht das geothermische Potential einer Heizleistung von mehreren Jahren. In Shanghai entspricht das geothermische Potential sogar einer Heizleistung von mehr als zwei Dekaden (ca. 22 Jahre).

Die Studie gibt jedoch zu bedenken das eine gleichmässige Entnahme der Energie mit den vorhandenen Systemen (Erdsonden oder Grundwasserwärmepumpen) nicht möglich ist. Zusätzlich zur potentiell gespeicherten Energie muss auch der Gewinnungsfaktor R (Verhältnis zwischen total gespeicherter Energie und extrahierbarer Energie) berücksichtigt werden. In den meisten Städten, wie auch das Beispiel Winnipeg zeigt, wurde Grundwasser hauptsächlich zu Kühlzwecken verwendet, was wiederum zu einer zusätzlichen Erwärmung des Untergrundes geführt hat. Duale Systeme welche für Heiz- und Kühlzwecke verwendet werden können, sowie ATES-Systeme (aquifer thermal energy storage) sind umweltfreundlicher und ökonomisch lohnenswerter. Eine effiziente Nutzung der im Untergrund vorhandenen Energie kann einen grossen Teil des städtischen Energiebedarfs decken und ebenso dem städtischen Wärmeinseleffekt entgegenwirken.

### 3.2. Kommentar zur Studie

Auf das Thema der Studie bin ich über das Referat von Jannis Epting gestolpert. Ich habe schon einige Male davon gehört, dass die Grundwassertemperatur in Städten im Vergleich zum Umland deutlich erhöht ist. In dieser Studie wird versucht das Energiepotential des erwärmten Grundwassers im Untergrund zu quantifizieren. Das fand ich sehr spannend. Mir war nicht bewusst, dass in Aquiferen unterhalb von Städten ein so grosses (ungenutztes) Energiepotential schlummert.