

02.14 Grundwassertemperatur (Ausgabe 1999)

Problemstellung

Die Grundwassertemperatur im Ballungsraum von Berlin ist bzw. wird durch den Menschen tiefgreifend verändert.

Temperaturmessungen im oberflächennahen Grundwasser des Innenstadtbereichs zeigen, dass die Durchschnittstemperatur z. T. um mehr als 2 °C gegenüber dem dünner besiedelten Umland erhöht ist. Es zeichnet sich ab, dass auch langfristig mit einem weiteren Ansteigen der Grundwassertemperatur zu rechnen ist.

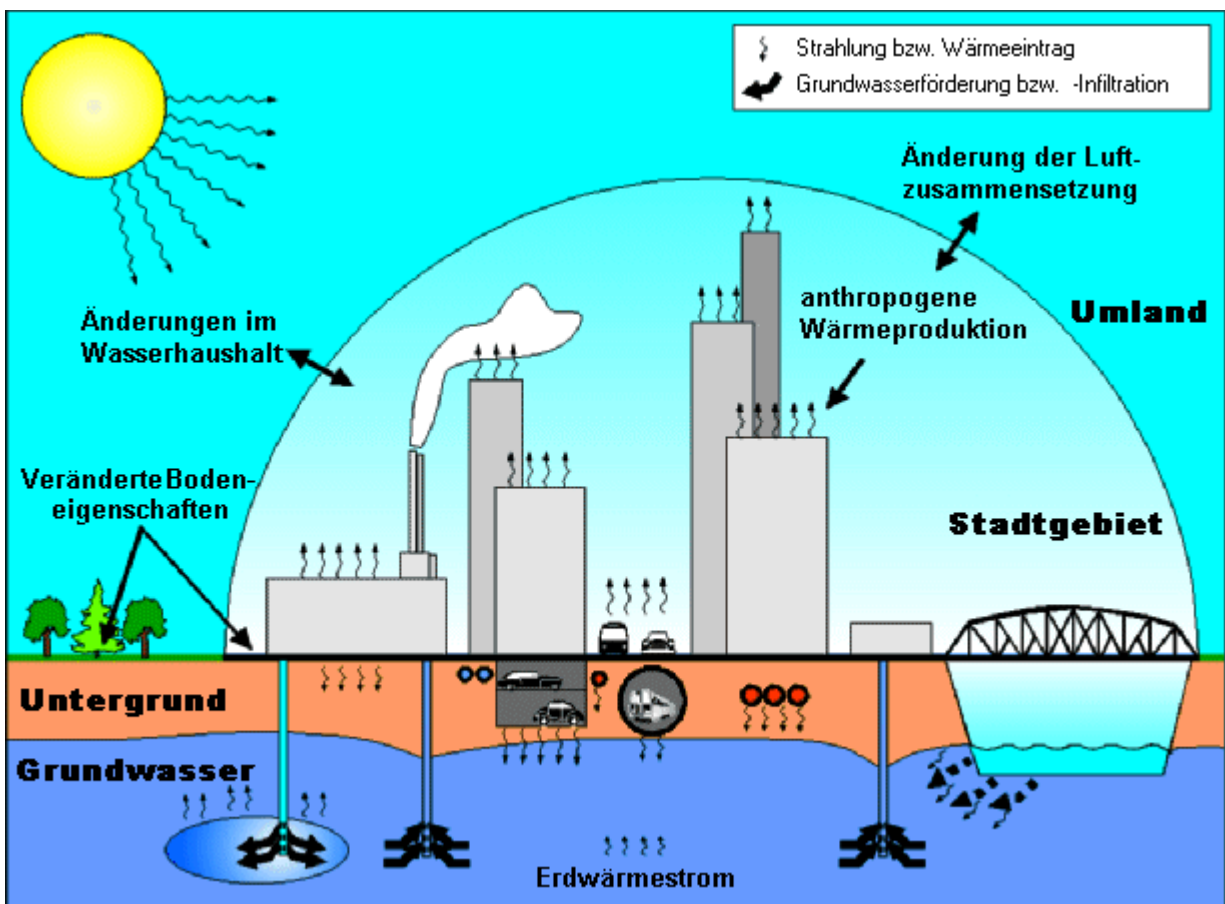


Abb. 1: Schematische Darstellung der Ursachen für die Beeinflussung der Grundwassertemperatur

Die Ursachen für die Temperaturerhöhung sind vielfältig und stehen im direkten Zusammenhang mit der zunehmenden Urbanisierung an der Erdoberfläche. Es lassen sich dabei direkte von indirekten Beeinflussungen der Grundwassertemperatur unterscheiden (s. a. Abb. 1):

- Unter einer **direkten Beeinflussung** der Grundwassertemperatur werden alle Wärmeeinträge in das Grundwasser durch das Abwasserkanalnetz, Fernheizleitungen, Stromtrassen und unterirdische Bauwerke wie Tunnel, U-Bahnschächte, Tiefgaragen etc. verstanden.
- Sie umfassen auch Wärmeeinträge, die mit der Grundwasserwärmenutzung und -speicherung in Verbindung stehen.
- Unter einer **indirekten Beeinflussung** der Grundwassertemperatur werden Prozesse im Zuge der Urbanisierung verstanden, die mit der Veränderung des Wärmehaushalts der bodennahen Atmosphäre entstehen. Nach Gross (1991) sind als wichtige Größen zu nennen:

- Die Störung des Wasserhaushalts durch einen hohen Versiegelungsgrad
- Die Veränderung der Bodeneigenschaften durch eine Anhäufung von Baukörpern (Veränderung der Oberflächenwärmeleitung und -wärmekapazität)
- Die Änderung des Strahlungshaushaltes durch Veränderungen in der Luftzusammensetzung
- Die anthropogene Wärmeerzeugung (Hausbrand, Industrie, Verkehr).

Durch die o. g. Unterschiede wird im Vergleich zum Umland eine Veränderung des Wärmehaushalts hervorgerufen. Die Stadt heizt sich langsam auf, speichert insgesamt mehr Wärme und gibt diese wieder langsam an die Umgebung ab, d. h. sie kann allgemein als ein riesiger Wärmespeicher betrachtet werden. Langfristig führt dieser Prozess zu einer Erhöhung des langjährigen Mittels der Luft- bzw. Bodentemperatur (vgl. Karten des Bereiches 04 Klima).

Die langfristige Erwärmung des Untergrundes führt auch zu einer Erwärmung des Grundwassers. Da die Temperatur die physikalischen Eigenschaften sowie die chemische und biologische Beschaffenheit des Grundwassers beeinflusst, kann auch eine Qualitätsverschlechterung die Folge sein.

Berlin bezieht sein Trinkwasser zu 100 % aus dem Grundwasser, welches fast ausschließlich im eigenen Stadtgebiet gewonnen wird. Auch einen Großteil des Brauchwassers für industrielle Zwecke liefert das Grundwasser. Daher ist der Schutz des Grundwassers vor tief greifenden Veränderungen wie z. B. der Grundwassertemperaturerhöhung von hoher Bedeutung - speziell vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Wasserwirtschaft.

Seit 1978 werden in tiefen Grundwassermessstellen, die über das ganze Stadtgebiet von Berlin verteilt sind, verstärkt **Temperaturprofile** aufgenommen und zu raumzeitlichen Darstellungen des Grundwassertemperaturfeldes verarbeitet und ausgewertet.

Das vorliegende Kartenwerk soll

- der Beginn einer Dokumentation der zeitlichen Veränderung der Grundwassertemperatur unter dem Stadtgebiet sein und
- als Genehmigungsgrundlage für grundwassertemperaturverändernde Maßnahmen dienen.

Zusätzlich kann es in Kombination mit anderen thematischen Karten wie z. B. der Geologie und Hydrogeologie zur Entscheidungsfindung und Vorplanung einer energetischen Bewirtschaftung des Grundwassers herangezogen werden.

Mit Hilfe von Wärmepumpen oder -sonden kann die überschüssige Wärme genutzt werden. Fossile Brennstoffe werden dadurch geschont und im Sinne einer zukunftsweisenden Energiepolitik zur Verringerung der Emission von schädlichen Klimagasen beigetragen.

Grundwassertemperatur und Temperaturjahresgang

Die Hauptwärmequelle für die Erde ist die **Sonnenstrahlung** die maßgeblich für die Oberflächentemperatur verantwortlich ist. Die eingestrahlte Sonnenenergie erwärmt den oberflächennahen Boden und dieser gibt die Wärme an die Atmosphäre und den Untergrund ab. Die von der Sonne stammende Energie beträgt an der Erdoberfläche im Mittel ca. 0,75 kW/m². Höhe, Exposition, Art der Erdoberfläche sowie Jahres- und Tageszeiten führen zu örtlichen und zeitlichen Abweichungen von diesem Mittelwert.

Die Oberflächentemperatur dringt mit abnehmender Intensität in den Untergrund ein. Die Eindringtiefe und die Geschwindigkeit mit der die Wärme transportiert wird, ist abhängig von der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes.

Beim **Wärmetransport** im Untergrund kann zwischen konduktivem und konvektivem Wärmetransport unterschieden werden.

Während beim konvektiven Wärmetransport die Wärmebewegung durch Materie wie z. B. Grund- und Sickerwasser erfolgt, wird beim konduktiven Transport Energie durch Stoßfortpflanzung zwischen den Molekülen transportiert.

Im Gegensatz zur Sonneneinstrahlung als Hauptwärmequelle der Erdoberfläche besitzt der aus dem Erdinnern zur Oberfläche gerichtete **Erdwärmestrom**, der seinen Ursprung in der Wärmeentwicklung beim Zerfall radioaktiver Isotope hat, nur eine untergeordnete Bedeutung.

In der kontinentalen Erdkruste ist die Wärmestromdichte - definiert als Wärmestrom pro Flächeneinheit senkrecht zur Einheitsfläche - regional verschieden. Nach Hurlig & Oelsner (1979) beträgt die Wärmestromdichte im Berliner Raum ca. 80 mW/m².

Die Temperatur oberflächennaher Grundwässer wird also im Wesentlichen durch den Energieaustausch zwischen Sonne, Erdoberfläche und Atmosphäre, untergeordnet durch den aus dem Erdinneren zur Oberfläche gerichtete Wärmestrom bestimmt.

Die regionale Jahresdurchschnittstemperatur an der Oberfläche in Berlin beträgt unter anthropogen unbeeinflussten Verhältnissen ca. 8,5 bis 9 °C.

Während die tageszeitlichen Schwankungen nur eine Tiefe von bis zu 1,5 m erfassen, reichen die jahreszeitlichen bis in eine Tiefe von ca. 20 - 30 m. Ab dieser Tiefe, in der jahreszeitliche Einflüsse nicht mehr zu registrieren sind, - der sog. neutralen Zone -, steigt die Temperatur in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit der Gesteine und der regionalen Wärmestromdichte an (Abb. 2).

Im Berliner Raum beträgt der durchschnittliche Temperaturanstieg im Bereich bis ca. 300 m Tiefe 2,5 bis 3 °C / 100 m.

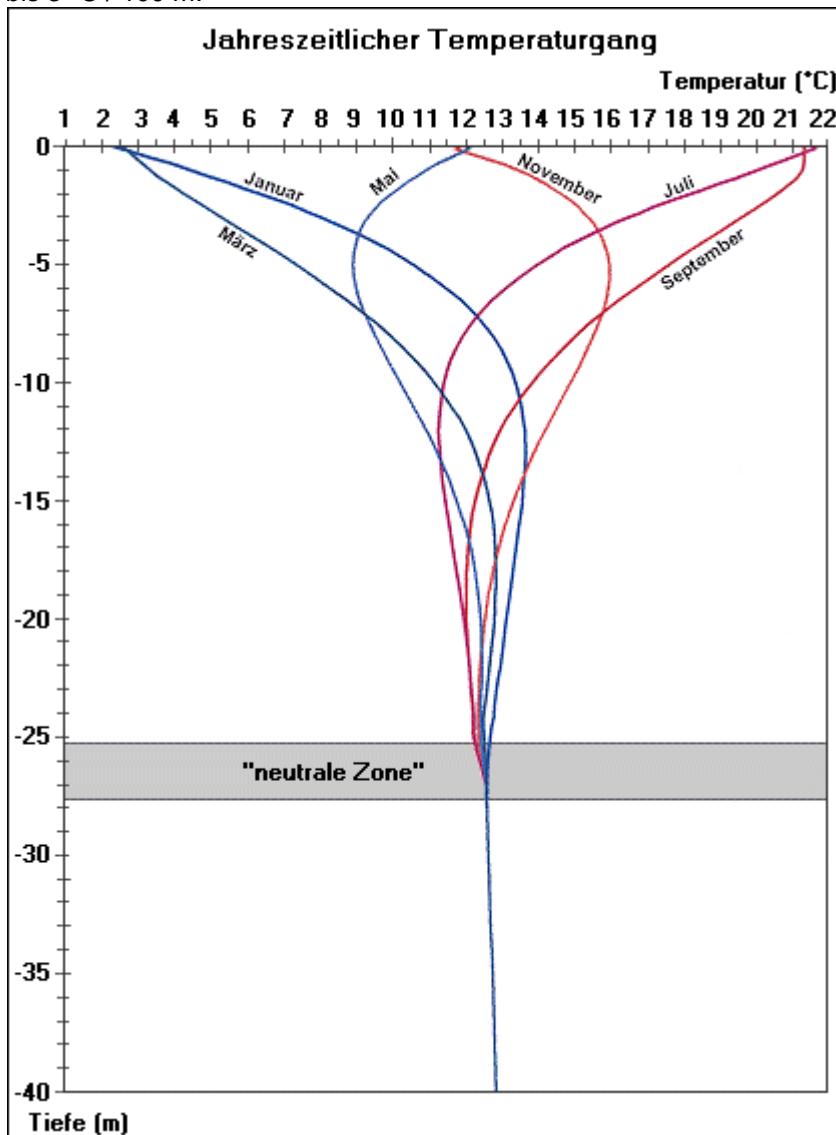


Abb. 2: Jahreszeitlicher Temperaturgang des Grundwassers

Oberflächengestalt und Grundwassersituation

Das in nahezu ostwestlicher Richtung verlaufende Warschau-Berliner Urstromtal trennt die Barnim-Hochfläche im Norden von der Teltow-Hochfläche und der Nauener Platte im Süden der Stadt (Abb. 3). Die Geländehöhen des Urstromtales betragen 30 bis 40 m NN, während die Hochflächen durchschnittlich 40 bis 60 m über NN liegen. Einzelne Höhen erheben sich bis über 100 Meter über das Meeresniveau (vgl. Karte 01.08, SenStadtUmTech 1998).

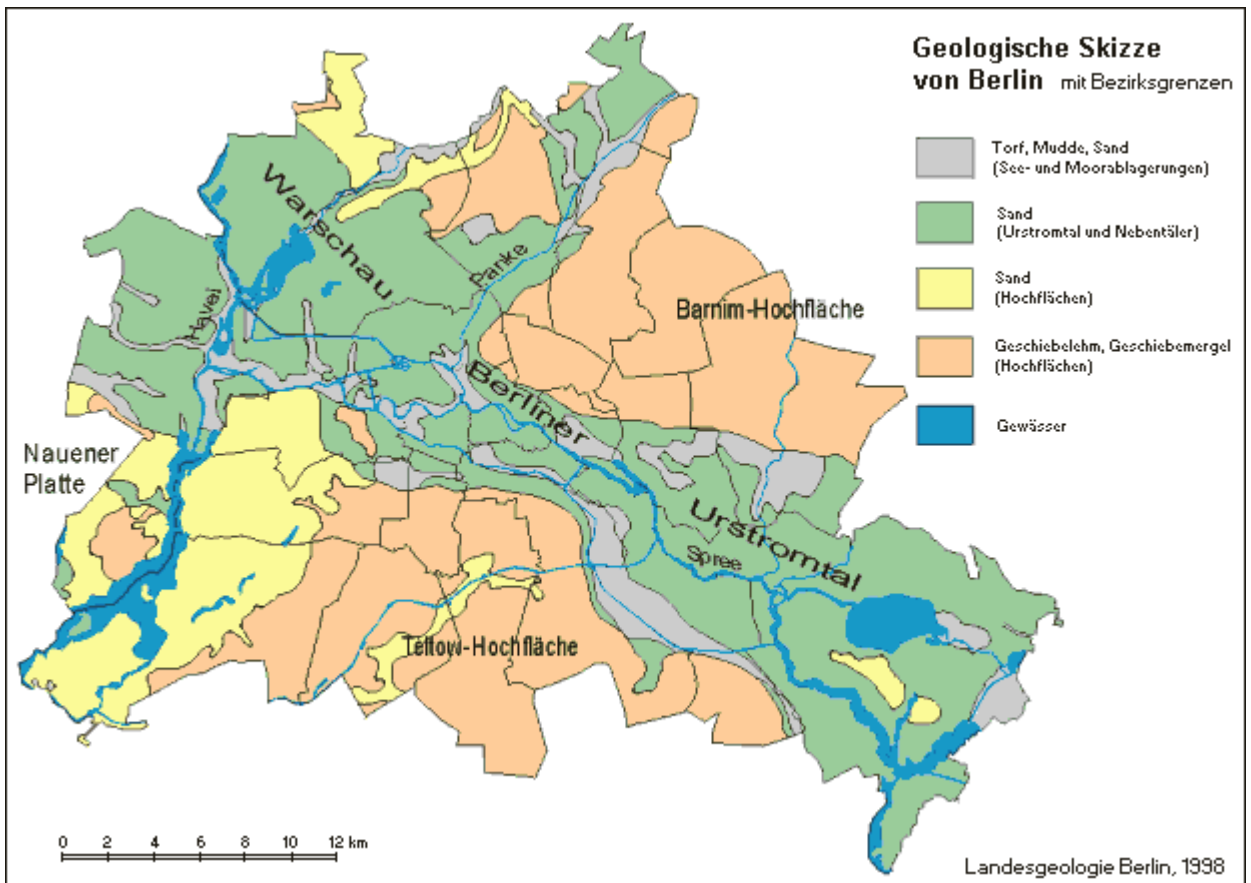


Abb. 3: Geologische Skizze von Berlin

In Berlin ist der Porenraum der überwiegend sandig und kiesigen Sedimente der oberen 150 bis 200 Metern vollständig bis nahe an die Oberfläche mit Grundwasser erfüllt, das zur Trinkwasserversorgung der Stadt genutzt wird. Der Abstand vom Grundwasser bis zur Geländeoberkante (Flurabstand) schwankt je nach Morphologie und Geologie zwischen 0 m und wenigen Metern im Urstromtal sowie fünf bis über 30 Meter auf den Hochflächen (vgl. Karte 02.07, SenStadtUmTech 1997).

Die **Grundwasserentnahmen** zur Trink- und Brauchwassergewinnung haben zur Ausbildung von weit gespannten Senktrichtern der Grundwasseroberfläche geführt, die die natürlichen Flurabstände und Grundwasserfließgeschwindigkeiten erhöhen sowie die natürlichen Grundwasserfließrichtungen verändern. Dadurch sind in den Bereichen, in denen Brunnengalerien in der Nähe von Flüssen und Seen Grundwasser fördern, influente Verhältnisse entstanden, d. h. das Oberflächenwasser infiltriert als Uferfiltrat in das Grundwasser. Da das Oberflächenwasser aber durch vielfache Kühlwassereinleitungen von Heizkraftwerken ganzjährig erwärmt ist (wie z. B. im Bereich der Spree), führt diese Infiltration im Einzugsbereich des Oberflächengewässers zwangsläufig zu einer Erwärmung des Grundwassers.

Besiedlungsstruktur und klimatische Verhältnisse

Das Stadtgebiet von Berlin besitzt eine polyzentrale Besiedlungsstruktur, die durch das Vorhandensein zweier Hauptzentren, mehrerer kleinerer Stadtzentren sowie einem dichten Nebeneinander von Wohnen, Grünflächen, Gewerbe und Industrie charakterisiert ist. Größere Gewerbegebiete und Industrieansiedlungen liegen bevorzugt an den vom Stadtkern radial zum Stadtrand gerichteten Siedlungs- und Entwicklungsachsen sowie an kanalisierten Oberflächengewässern.

Stark vereinfacht lassen sich folgende Unterscheidungen treffen (Abb. 4):

Gebiete

- ohne Besiedlung, überwiegend Vegetation
- mit geringer bis mittlerer Siedlungsdichte und
- mit hoher Siedlungsdichte, Stadtzentren und Industrieansiedlungen.

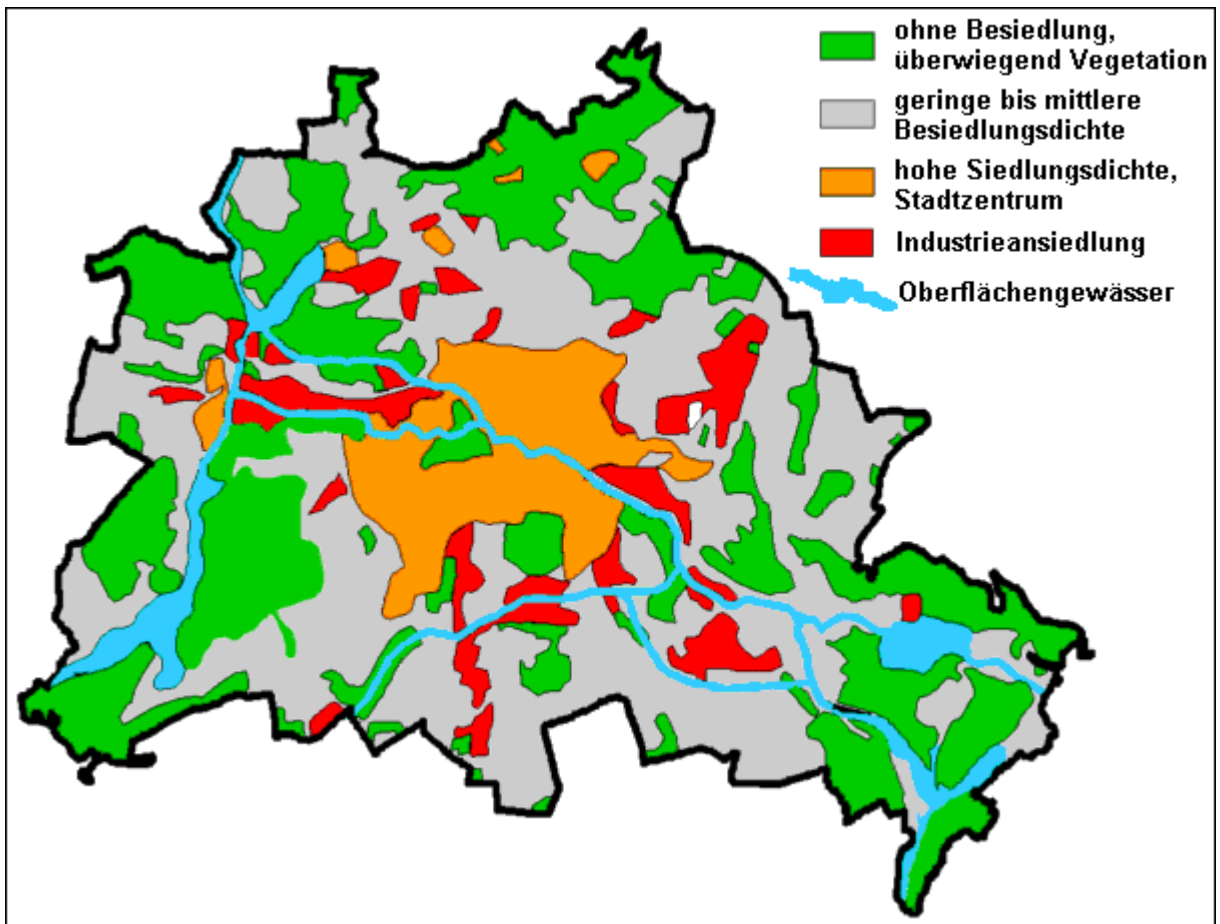


Abb. 4: Vereinfachte Darstellung der Besiedlungsstruktur von Berlin

Bei der Betrachtung der in Berlin lokal vorherrschenden klimatischen Verhältnisse zeigt vor allem die baulich hochverdichtete Innenstadt tief greifende Veränderungen im Wärmehaushalt gegenüber dem Umland. Durch anthropogene Aktivitäten wird Energie als Wärme in die Stadtatmosphäre abgegeben. So beträgt die mittlere Jahreslufttemperatur im Außenbezirk Dahlem 8,9 °C, im Innenstadtbereich sind dagegen die durchschnittlichen Temperaturen bereits bis auf über 10 °C angestiegen (vgl. Karte 04.02, SenStadtUm 1993b).

Datengrundlage

Die vorliegende Karte der Grundwassertemperaturverteilung basiert auf 433 Messpunkten. Die zu Grunde liegenden Temperaturmessungen wurden in **Grundwassermessstellen** in einem Zeitraum von **1978 bis 1998** durchgeführt. In Gebieten mit länger zurückliegenden Messungen wurde der Temperaturverlauf 1997 und 1998 wiederholt aufgenommen. Für ein Teilgebiet sind im Zeitraum zwischen Januar und Oktober 1991 Messungen im zweimonatlichen Rhythmus erfolgt. Generell wurden Temperaturprofile von der Grundwasseroberfläche bis zur Ausbautiefe erfasst. Der Messpunktabstand lag in der Regel bei 1 m. Für die Messung wurde ein temperaturabhängiger Widerstand verwendet. Die Genauigkeit der Messwerte beträgt $\pm 0,1$ °C.

Methode

Um eine flächenhafte Aussage über die Grundwassertemperaturverteilung zu erhalten, wurde basierend auf einer Variogrammanalyse eine **Kriging-Interpolation** durchgeführt. Voraussetzung für die Durchführung einer Variogrammanalyse ist, dass die Grundwassertemperatur eine regionalisierte, das heißt eine ortsabhängige Variable ist, die als Realisierung einer Zufallsfunktion angesehen werden kann. Eine regionalisierte Variable zeichnet sich zum Beispiel dadurch aus, dass sich benachbarte Punkte stärker ähneln als weiter entfernt liegende (Akim & Siemes, 1988). Mit einer **Variogrammanalyse** wird versucht, diese Strukturmerkmale zu charakterisieren und mathematisch zu erfassen. Die so erhaltenen Ergebnisse gehen als Eingabeparameter in die Kriging-Interpolation ein.

Die Interpolation liefert ein frei wählbares Raster, dessen Knotenpunkte die berechneten Grundwassertemperaturen wiedergeben.

Kartenbeschreibung

Die Eindringtiefe der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen und damit die Tiefenlage der neutralen Zone wird maßgeblich durch die geogenen Faktoren wie den Flurabstand, die Wärmeleitfähigkeit der Gesteine, die Grundwasserneubildung und von anthropogenen Faktoren bestimmt. In Berlin liegt die **neutrale Zone** in Abhängigkeit von den oben genannten Verhältnissen in einer Tiefe von 15 - 25 m (Henning & Limberg 1995).

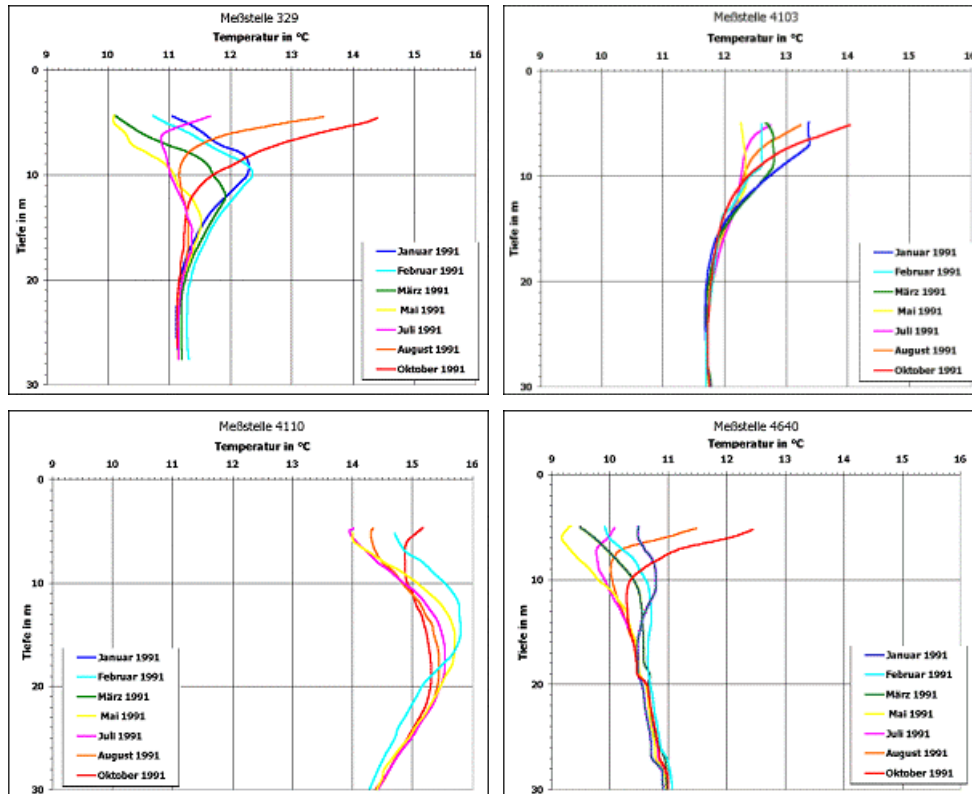


Abb. 5: Jahreszeitliche Temperaturschwankungen des Grundwassers

In Abb. 5 ist für vier Grundwassermessstellen in etwa gleicher geologischer Position aber in unterschiedlichen Besiedlungsbereichen die zeitliche Variation des Temperaturverlaufs in den ersten 30 Metern unter der Geländeoberkante dargestellt. Die Grundwassermessstellen besitzen in etwa einen gleichen mittleren Flurabstand von ca. 5 m. Die ersten zehn Bodenmeter sind durch einen Wechsel von Fein- und Mittelsanden gekennzeichnet.

In Abhängigkeit vom jeweiligen Standort der Grundwassermessstelle zeigen sich im Bereich der Grundwasseroberfläche Unterschiede in den beobachteten Temperaturen sowie auch im weiteren Temperaturverlauf.

Die **niedrigsten Grundwassertemperaturen** an der Grundwasseroberfläche treten im Allgemeinen im Frühjahr auf (Februar bis Mai), die **höchsten** im Spätsommer (September bis Oktober). Eine Ausnahme bildet die Messstelle 4110. Hier liegen die höchsten Grundwassertemperaturen im Winter (Januar), die niedrigsten im Sommer (Juli) vor. Diese Messstelle stellt einen Extremfall dar. Sie liegt mitten in einer dichten Industrieansiedlung mit mehreren großen Abwärmeproduzenten in unmittelbarer Nähe zu einem Oberflächengewässer. Da das Oberflächengewässer durch Kühlwassereinleitungen, insbesondere während der Wintermonate, stark erwärmt wird und durch die Nähe zu einem Wasserwerk ganzjährig influente Verhältnisse vorherrschen, kommt es zu einer Erhöhung der Grundwassertemperatur. Über das ganze Jahr ist eine Temperaturanomalie mit jahreszeitlichen Temperaturschwankungen von nur ca. 1 °C zu beobachten.

Als weiteres weist die Form des Temperaturverlaufs der Messstellen 329 und 4103 unterhalb der neutralen Zone auf instationäre Temperaturverhältnisse hin. Dies bedeutet, dass **langfristig** mit einer **Erhöhung der Grundwassertemperaturen** auch in größeren Tiefen zu rechnen ist.

In der Tabelle 1 sind zusammengefasst ausgewählte Temperaturkennwerte für unterschiedliche Besiedlungsbereiche gegenübergestellt.

Messstelle mit Besiedlungsstruktur	Flurabstand [m]	Minimumtemperatur [°C]	Maximumtemperatur [°C]	Temperatur der neutralen Zone [°C]	Tiefe der neutralen Zone [m]
4640 Überwiegend Vegetation	ca. 5	ca. 9	ca. 13	ca. 10	ca. 20
329 Mittlere Siedlungsdichte	ca. 5	ca. 10	ca. 14	ca. 11	ca. 20
4103 Hohe Siedlungsdichte	ca. 5	ca. 12	ca. 14	ca. 12	ca. 20
4110 Industrie-Ansiedlung	ca. 5	ca. 13	ca. 15	ca. 14	ca. 35

Tab. 1: Gegenüberstellung ausgewählter Temperaturkennwerte in unterschiedlichen Besiedlungsbereichen

Aus Tab. 1 ist zu ersehen, dass generell mit zunehmender Besiedlungsdichte **eine Zunahme der Grundwassertemperaturen** (vgl. Abb. 5) zu registrieren ist.

Es lässt sich grob folgende Einteilung für die unterschiedlichen Besiedlungsbereiche vornehmen:

Bereiche	Temperatur in der neutralen Zone
ohne Besiedlung, überwiegend Vegetation	< 10 °C
mit geringer bis mittlerer Siedlungsdichte	10 - 11 °C
mit hoher Siedlungsdichte, Stadtzentren und Industrieansiedlungen	> 11 °C

In der vorliegenden Karte ist die Grundwassertemperaturverteilung für den Bezugshorizont 0 m NN im Stadtgebiet von Berlin dargestellt. Das entspricht in Abhängigkeit von der Lage im Urstromtal oder auf den Hochflächen 30 - 60 m unter Geländeoberkante (vgl. Abb. 3). In diesen Tiefen ist eine Beeinflussung durch die täglichen und jahreszeitlichen Temperaturschwankungen damit weitgehend ausgeschlossen.

Der Abstand zwischen den einzelnen Isolinien beträgt 0,5 °C. Die Grundwassertemperaturen schwanken zwischen 8,0°C im Stadtrandbereich und 13,5 °C in den Industriegebieten. Generell ist ein **tendenzieller Temperaturanstieg vom Stadtrand zum Stadtzentrum** hin zu beobachten. Der Temperaturverlauf im Nordosten zeigt einen kontinuierlichen Anstieg zum Stadtzentrum hin, während sich das übrige Stadtgebiet durch mehrere positive und negative Temperaturanomalien auszeichnet.

Das stark bebaute und versiegelte Stadtzentrum wird von der 11,5 °C-Isolinie eingeschlossen. Innerhalb dieses Bereiches sind - wie aus lokalen Untersuchungen bekannt ist - punktuell weitere Anomalien mit Temperaturen von über 12°C vorhanden. Die höchsten Temperaturen werden in der Nähe von **Kühlwassereinleitungen der Heizkraftwerke** gemessen. Außerhalb des Stadtzentrums korrelieren positive Temperaturanomalien ebenfalls mit hoch versiegelten Bereichen (vgl. Karte 01.02, SenStadtUm, 1993a) wie Nebenzentren und Industriegebieten.

Auffällig ist die im Südwesten der Stadt zu beobachtende Temperaturanomalie. Sie könnte auf die stillgelegte **Deponie Wannsee** zurückzuführen sein, die Wärme durch Abbauprozesse produziert.

Unterhalb der ausgedehnten Waldgebiete im Stadtrandbereich von Südosten, Westen und Nordwesten liegen die Temperaturen im Bereich von < 10 °C. Ferner fallen negativen Temperaturanomalien von unter 10 °C mit Gebieten zusammen, die sich durch einen hohen Vegetationsanteil auszeichnen. So machen sich vor allem südlich des Stadtzentrums zwei größere

Grünflächen bemerkbar.

Generell ergeben sich in dicht besiedelten Gebieten gegenüber dem Freiland Temperaturerhöhungen im Grundwasser von mehr als 2 °C.

Die oberflächennahe Grundwassertemperaturverteilung im Stadtgebiet zeigt unter anderem einen Zusammenhang mit der Verteilung von Industrieansiedlungen, Abwärmeproduzenten, Oberflächenversiegelung, Freiflächen und Einträgen aufgeheizter Oberflächengewässer durch influente Verhältnisse. Unter Berücksichtigung des Grundwasserströmungsfeldes kann davon ausgegangen werden, dass diese Faktoren einen wesentlichen Einfluss auf die Veränderung der Grundwassertemperatur haben (Blobelt, 1999). Da es in der Stadt in der Regel zu einer Häufung dieser Faktoren kommt, überlagern sich die Einflussgrößen gegenseitig.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Temperaturmessungen, dass im Stadtgebiet von Berlin besonders im zentralen Bereich das Grundwasser deutlich erwärmt ist. Auch langfristig ist auf Grund der fortschreitenden Urbanisierung mit einer weiteren tief greifenden stärkeren Erwärmung des oberflächennahen Untergrundes und somit des Grundwassers zu rechnen.

Literatur

- [1] **Akim, H. & Siemes, H.:**
Praktische Geostatistik. - Springer-Verlag, 1988.
- [2] **Blobelt, A.:**
Geogene und anthropogene Temperaturveränderungen im oberflächennahen Grundwasser Berlins. - Diplomarbeit, Institut für Angewandte Geowissenschaften II, Fachgebiet Angewandte Geophysik, Technische Universität Berlin, 1999.
- [3] **Gross, G.:**
Das Klima der Stadt in Dynamik umweltrelevanter Systeme. - Springer-Verlag, 1991.
- [4] **Henning, A. & Limberg A.:**
Das Grundwasser-Temperaturfeld von Berlin. - Brandenburgische Geowiss. Beitr., 2, 1, S. 97-104, Kleinmachnow, 1995.
Internet:
https://www.geobasis-bb.de/geodaten/lbgr/pdf/1_95_Henning_97-104.pdf
(Zugriff am 08.11.2019)
- [5] **Hurtig, E. & Oelsner, Ch.:**
The Heat Flow Field on the Territory of the German Democratic Republic: Terrestrial Heat Flow in Europe. - edited by V. Cermak and L. Rybach, Springer-Verlag, S. 186-190, 1979.

Karten

- [6] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz) (Hrsg.) 1993a:**
Umweltatlas Berlin, Karte 01.02 Versiegelung, Berlin.
- [7] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz) (Hrsg.) 1993b:**
Umweltatlas Berlin, Karte 04.02 Langjähriges Mittel der Lufttemperatur 1961-1990, Berlin.
- [8] **SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie) (Hrsg.) 1997:**
Umweltatlas Berlin, Karte 02.07 Flurabstand des Grundwassers. – Berlin.
- [9] **SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie) (Hrsg.) 1998:**
Umweltatlas Berlin, Karte 01.08 Geländehöhe. - Berlin. Umweltatlas Berlin, Karte 01.08 Geländehöhe. - Berlin.