

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	2 (1995), 1	S. 97 – 104	4 Abb., 3 Tab., 12 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	-------------	-------------------------

Das Grundwasser-Temperaturfeld von Berlin

ANDREAS HENNING & ALEXANDER LIMBERG

1. Vorwort

Das Grundwasser-Temperaturfeld des großen Ballungszentrums Berlin unterliegt einer starken anthropogenen Beeinflussung. Aus diesem Grund werden von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz seit 1978 verstärkt Temperaturprofile in tiefen Grundwassermeßstellen gemessen. Diese Messungen erfolgen im Rahmen von Bohrlochkontrollmessungen und Grundwasserbeschaffenheitsuntersuchungen. Für Detailuntersuchungen werden zahlreiche regelmäßige Messungen durchgeführt. Die ermittelten Werte werden in einer zentralen Datenbank verarbeitet und dienen einer räumlich-zeitlichen Darstellung des Grundwasser-Temperaturfeldes von Berlin. Nach ersten Vorarbeiten zu Teilgebieten Berlins von TRAPP (1983), OTTO (1987), HENNING (1991) und MAGES (1994) wird erstmals die Temperaturverteilung des Berliner Stadtgebietes in einer Isolinenkarte dargestellt.

Diese Karte ist die Grundlage für alle Genehmigungen von Eingriffen in den Grundwassertemperaturhaushalt wie z.B. durch Wärmepumpen, Fernheizleitungen, Kühlwassereinleitungen, erdverlegte Hochspannungsleitungen etc. Dieses Kartenwerk dient auch der Erfassung der zeitlichen Veränderung (Erwärmungen) des Temperaturfeldes.

2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

2.1. Oberflächengestalt

Die Weichsel-Kaltzeit, die letzte der drei großen nordischen Vereisungen, prägte die Oberflächengestalt des Berliner Raumes entscheidend. Die Gletscher lagerten auf den heutigen Hochflächen die Grundmoränen ab, die von den Schmelzwässern des abtauenden Eises anschließend durch zahlreiche Rinnen zertalt wurden. Das in SE-NW-Richtung verlaufende Warschau-Berliner Urstromtal trennt die Barnim-Hochfläche im Norden von der Teltow-Hochfläche und der Nauener Platte im Süden. 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.

2.2. Geologisch-hydrogeologischer Überblick

Die ältesten im Stadtgebiet erbohrten Gesteinsabfolgen

stammen aus dem Rotliegenden. Die Sedimente des Zechsteins bestehen aus mehreren Salinarabfolgen. Von den mesozoischen Schichten sind nur die triassischen (Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper) weitgehend vollständig ausgebildet. Die Sedimente aus der Jura- und der Kreidezeit sind nur lückenhaft vorhanden.

Das Tertiär lagert transgressiv auf Mesozoikum. An einigen Stellen ist geringmächtiges marines Eozän und Unter-Oligozän nachgewiesen. Der ebenfalls marine, in der Regel 80 Meter mächtige mitteloligozäne Rupelton, auch Septarienton genannt, findet im Berliner Raum allgemeine Verbreitung. Es folgt marin bis brackisches Ober-Oligozän. Durch eine Regression im Miozän kam es anschließend zur Ablagerung von Sanden, Braunkohleschluffen, -tonen und geringmächtigen Braunkohleflözen.

Im Quartär sind im Berliner Raum die pleistozänen Sedimente der Elster-, Saale- und Weichsel-Kaltzeiten und der dazwischenliegenden Holstein- und Eem-Warmzeiten sowie des Holozäns abgelagert worden. Es handelt sich bei diesen Sedimenten um Kiese, Sande, Schluffe, Tone, Geschiebemergel, Mudden und Torfe.

Die Gletscher der Elster-Kaltzeit schufen eine Schar von tiefen Rinnen, die z.T. mehrere hundert Meter tief in den tertiären Untergrund eingeschnitten sind.

Im Berliner Raum sind zwei große Grundwasserstockwerke ausgebildet. Der mitteloligozäne Rupelton trennt das liegende Stockwerk, das durch den Kontakt zu den Salinarabfolgen des Zechsteins salzwasserführend ist, von dem hangenden tertiär-quartären Süßwasserstockwerk. Ein Aufstieg hochmineralisierter Wässer durch geologische Fenster (Fehlstellen des Rupeltons) in das obere Süßwasserstockwerk ist an einigen Stellen in Berlin nachgewiesen (OTTO 1987).

Das hangende Grundwasserstockwerk ist durch den vielfachen Wechsel von bindigen und rolligen Sedimenten und die Ausbildung des quartären Rinnensystems in mehrere Grundwasserleiter gegliedert.

Die Grundwasserfließrichtung des ersten Grundwasserleiters ist in der Regel auf die beiden Hauptvorfluter Spree und Havel gerichtet. Auf den Hochflächen unter dem Geschiebemergel herrschen teilweise gespannte Verhältnisse mit höherem Fließgefälle, die in Richtung auf das Ur-

stromtal in ungespannte mit geringerem Gefälle übergehen.

Die Flurabstände schwanken je nach Morphologie und Geologie zwischen 0 m und wenigen Metern im Urstromtal und fünf bis über 30 Meter auf den Hochflächen.

Die Grundwasserentnahmen der Wasserwerke haben zu Ausbildung von weit gespannten Senktrichtern geführt, die die natürlichen Flurabstände und Grundwasserfließrichtungen verändern und teilweise influente Verhältnisse erzeugen.

2.3. Klimatische Verhältnisse

Klimatisch liegt Berlin in einem Grenzbereich zwischen ozeanisch und kontinental geprägtem Klima sowie einem Übergangsbereich zwischen semihumid und semiarid (GRENZIUS 1987). Die mittlere Jahrestemperatur im Außenbezirk Berlin Dahlem beträgt 8,9 °C (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz 1991).

Bei der Betrachtung der im Stadtgebiet lokal vorherrschenden klimatischen Verhältnisse zeigt vor allem die baulich hochverdichtete Innenstadt tiefgreifende Veränderungen im Wärmehaushalt gegenüber dem Umland.

Infolge der Häufung von Baukörpern mit einer erhöhten Wärmekapazität, der Verminderung von Verdunstungsflächen, der Erhöhung des Oberflächenabflusses, des Mangels an vegetationsbedeckten Flächen, bildet sich im Stadtzentrum und Innenstadtrand vor allem während der Sommermonate ein eigenes Klima aus, das durch Überwärmung und geringe nächtliche Abkühlung gekennzeichnet ist (Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz 1985).

Nach GROSS (1991) wird durch den hohen Versiegelungsgrad im bebauten Gelände der Wasserhaushalt und damit der Verdunstungswärmestrom stark verändert. Bei Freiflächen wird ein großer Anteil der Energie für die Verdunstung von Wasser benötigt. Diese Energiemenge steht im Stadtgebiet weiter zur Verfügung und zählt betragsmäßig zu den größten Komponenten im Energiehaushalt. Zusätzlich wird durch anthropogene Aktivitäten Energie als Wärme in die Stadtatmosphäre abgegeben. Im Jahresmittel beträgt dieser anthropogene Wärmestrom 20-25 Wm⁻². Er zeigt einen ausgeprägten Jahresgang mit maximalen Werten während der Wintermonate. Gerade zu dieser Zeit ist aber die natürlicherweise zur Verfügung stehende Energiemenge am niedrigsten, so daß der anthropogene Wärmestrom die Größenordnung der Globalstrahlung erreicht.

Generell nimmt die klimatische Beeinflussung zum Stadtrand hin ab. Die Ursache ist in den durchgrünten Siedlungsgebieten und vor allem in den Wäldern, Seen und Landwirtschaftsflächen zu sehen.

Zwischen Stadt und Umland bestehen in Abhängigkeit von der Bebauungsdichte und der Bodenversiegelung erhebliche Temperaturdifferenzen. So kann z.B. in der Berliner Innenstadt in windschwachen klaren Sommernächten die Lufttemperatur bis zu 9 °C höher liegen als im Umland.

Tab. 1

Mittlere Monatslufttemperaturen für das Abflußjahr 1990 ermittelt an Klimastationen in Berlin (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz 1991)

1990	Berlin-Buch	Berlin-Alexanderplatz	Berlin-Dahlem
Dez.	2,3 °C	3,5 °C	2,7 °C
April	8,7 °C	10,0 °C	9,1 °C
Aug.	18,5 °C	20,3 °C	18,8 °C

In Tabelle 1 sind für mehrere Klimastationen im Stadtgebiet ausgewählte mittlere Monatslufttemperaturen für das Abflußjahr 1990 dargestellt.

Aus Tabelle 1 wird deutlich, daß je nach Lage im Stadtgebiet beträchtliche Differenzen in den Lufttemperaturen auftreten können. So liegt z.B. im August die mittlere Lufttemperatur an der Meßstelle Berlin Alexanderplatz (Stadtzentrum) um 1,8 °C höher als z.B. an der Meßstelle Berlin Buch (nordöstlicher Stadtrandbereich).

Nach BÖCKER (1985) nehmen mit zunehmender Entfernung von der Innenstadt die Jahresmittel- und die Jahresminimumtemperaturen ab; die Temperatur-Tagesschwankungen werden größer.

2.4. Besiedlungsstruktur

Berlin besitzt eine polyzentrale Besiedlungsstruktur, die durch das Vorhandensein zweier Hauptzentren, mehrerer kleinerer Stadtzentren sowie einem engen Nebeneinander von Wohnen, Gewerbe und Industrie charakterisiert ist.

Abb. 1 zeigt in Anlehnung an den Flächennutzungsplan von Berlin (Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz 1988) stark vereinfacht eine Flächennutzungs- bzw. Besiedlungsdichtekarte, in der eine Unterteilung in Flächen

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

vorgenommen wurde.

Die Verteilung der Frei- und Besiedlungsflächen über das Berliner Stadtgebiet ist stark durch die naturräumlichen Bedingungen und die Siedlungsgeschichte geprägt.

Bei den Freiflächen sind die drei großen Wald- und Seengebiete im Südosten, Südwesten und Nordwesten, als auch die in Ansätzen vorhandenen Waldflächen im Norden der Stadt strukturbestimmend. Größere zusammenhängende Landwirtschaftsflächen sind innerhalb der Stadtgrenzen nur noch im Westen, Norden und Nordosten der Stadt vorhanden.

Die Innenstadt ist durch eine starke bauliche Verdichtung und geringe Freiflächenanteile gekennzeichnet. Sie besitzt zwei Hauptzentren die durch die Teilung der Stadt entstan-

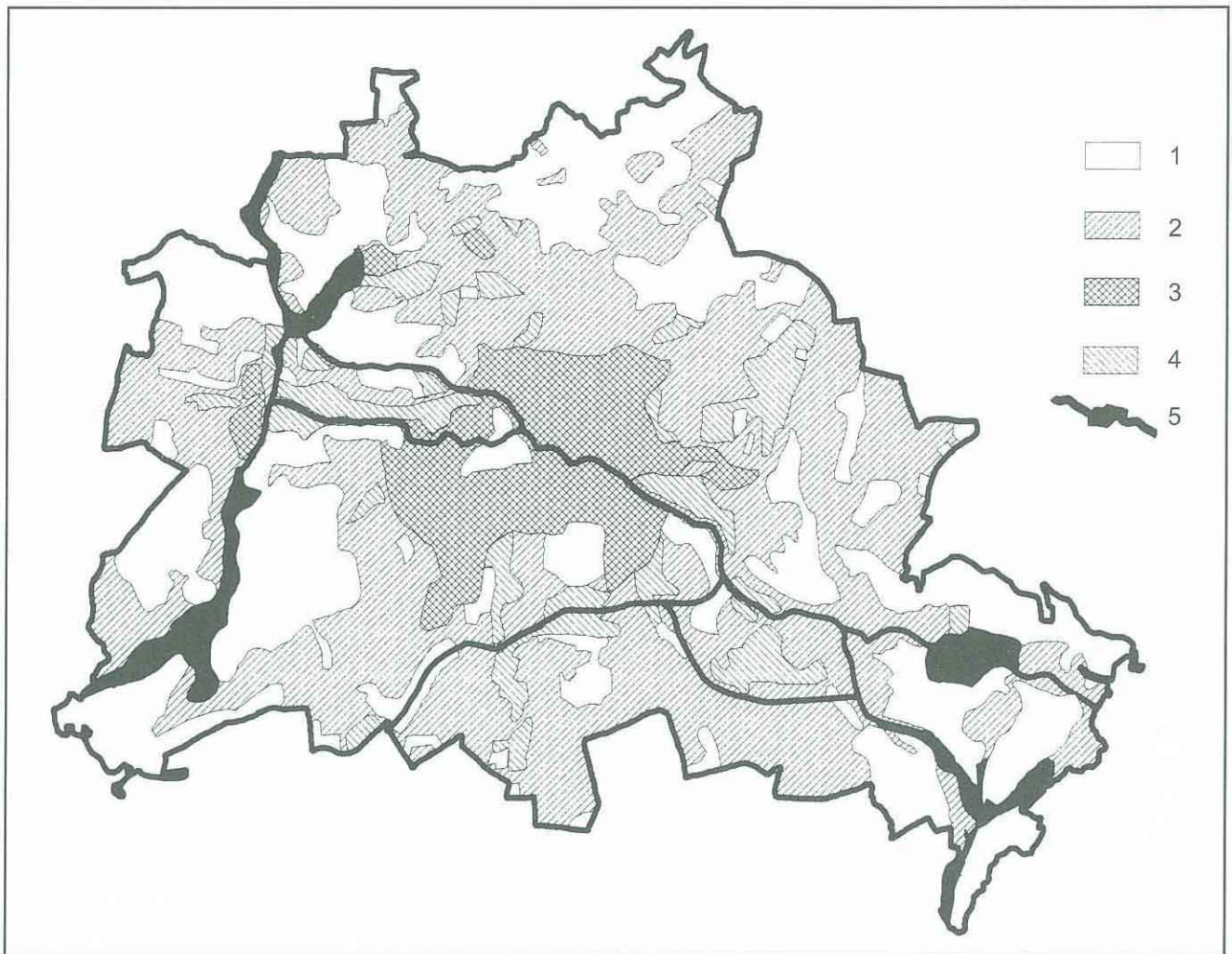


Abb. 1

Vereinfachte Darstellung der Besiedlungsstruktur von Berlin

1 – ohne Besiedlung, überwiegend Vegetation, 2 – geringe bis mittlere Besiedlungsdichte, 3 – hohe Besiedlungsdichte, 4 – Industrieansiedlung, 5 – Oberflächengewässer

den sind. Neben mehreren kleineren Grünanlagen liegt eine größere Parkanlage im Stadtzentrum.

Der Innenstadtrand stellt sich heterogener dar und besitzt gegenüber der Innenstadt höhere Freiflächenanteile.

Der Stadtrand ist durch großräumige Wald-Seen-Gebiete, agrarisch geprägte Landschaftsräume und ausgedehnte Einzelhausgebiete gekennzeichnet. Die Einzelhausgebiete im Westen der Stadt weisen überwiegend einen hohen Grünanteil durch private Gärten auf. Im Osten besteht die Stadtrandzone aus Siedlungsstrukturen geringer Dichte mit sehr hohem Grünanteil in privaten Gärten und Kleingärten.

Lokal sind in die Zonen des Innenstadtrandes und des Stadtrandes Großsiedlungen eingelagert.

Größere Gewerbegebiete und Industrieansiedlungen liegen bevorzugt an den vom Stadtkern radial zum Stadtrand gerichteten Siedlungs- und Entwicklungsachsen im Bereich des Innenstadtrandes und des Stadtrandes, sowie an kanalisierten Oberflächengewässern.

3. Grundwasser-Temperaturmessungen

3.1. Methoden

Die Temperaturmessungen sind ausschließlich in Grundwassermeßstellen durchgeführt worden. Insgesamt wurden 334 Meßstellen in die Beobachtung einbezogen. Für ein Teilgebiet sind im Zeitraum zwischen Januar bis Oktober 1991 Messungen im zweimonatlichen Rhythmus erfolgt. Generell wurden Temperaturprofile von der Grundwasseroberfläche bis zur maximalen Ausbautiefe erfaßt. Der Meßpunktabstand lag in der Regel bei 1 m. Für die Messung wurde ein temperaturempfindlicher Widerstand verwendet. Die Auflösung lag bei $\pm 0,01$ °C mit einer Genauigkeit von ca. $\pm 0,1$ °C.

Die Regionalisierung der Meßergebnisse erfolgte über eine Variogrammanalyse. Das Variogramm ergab neben der Bestätigung des vermuteten räumlichen Zusammenhangs auch die erforderlichen Parameter für das nachfolgende Regionalisierungsverfahren. Die notwendige Interpolation zwischen den einzelnen Meßpunkten zur Bestimmung des

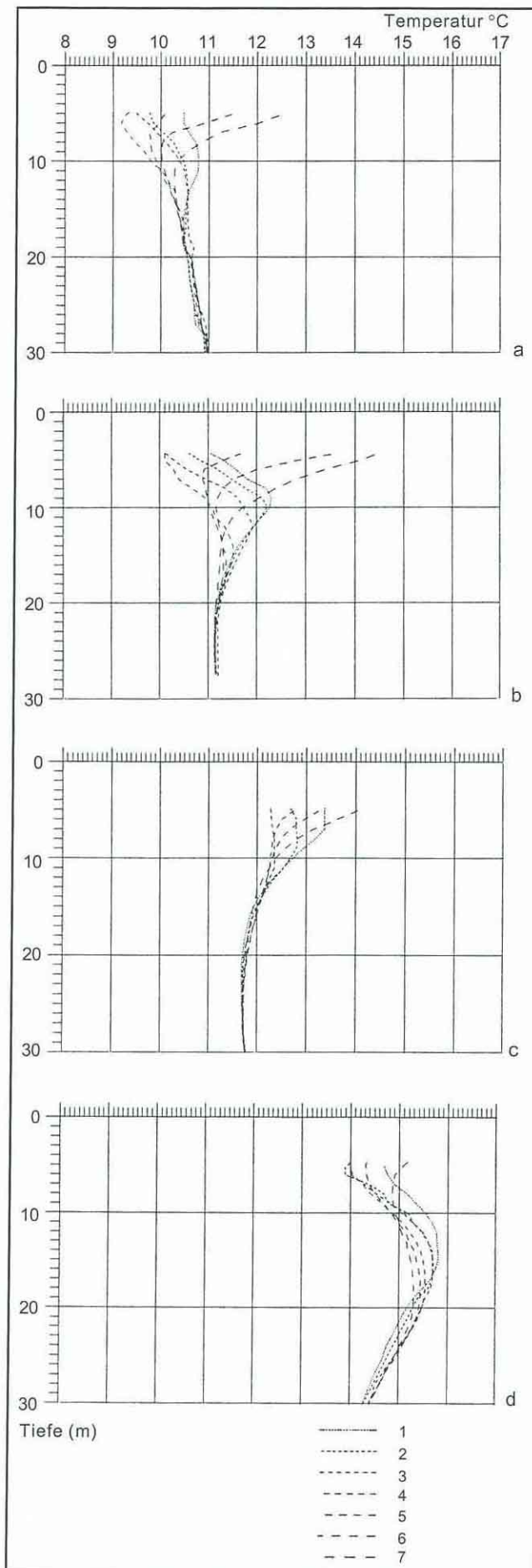


Abb. 2

Temperaturprofile der Meßstellen 42031, 329, 4103 und 4110; Meßzeitraum Januar 1991 bis Oktober 1991

a) Meßstelle 42031; Standort: überwiegend Vegetation; Bodenaufbau bis zum Grundwasser: überwiegend Feinsand

b) Meßstelle 329; Standort: mittlere Siedlungsdichte; Bodenaufbau bis zum Grundwasser: überwiegend Mittelsand

c) Meßstelle 4103; Standort: hohe Siedlungsdichte; Bodenaufbau bis zum Grundwasser: überwiegend Mittelsand

d) Meßstelle 4110; Standort: Industrieansiedlung; Bodenaufbau bis zum Grundwasser: überwiegend Mittelsand

1 – Januar, 2 – Februar, 3 – März, 4 – Mai, 5 – Juli, 6 – August, 7 – Oktober

Verlaufs der Isolinien wurde unter Anwendung des Krigingverfahrens durchgeführt.

3.2. Jahreszeitlicher Temperaturgang

Die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen dringen nur gedämpft in den Boden ein. Mit zunehmender Tiefe nimmt bei gleichzeitiger linearer Zunahme der Phasenverschiebung die Temperaturamplitude exponentiell ab. In der neutralen Zone ist ein jahreszeitlicher Einfluß dann kaum mehr nachweisbar. Hier herrschen weitestgehend isotherme Verhältnisse mit Schwankungen $< 0,5\text{ °C}$ (HENNING 1991). Die konduktive Wärmeausbreitung wird besonders im oberen Grundwasserleiter durch einen konvektiven Anteil überlagert.

Die Eindringtiefe der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen und damit die Tiefenlage der neutralen Zone wird maßgeblich von geogenen Faktoren wie Flurabstand, Wärmeleitfähigkeit der Gesteine, Grundwasser-Neubildung und anthropogenen Faktoren wie Grundwasserentnahmen, und -einleitungen, Versiegelung und Beeinflussung der klimatischen Verhältnisse bestimmt. In Berlin liegt die neutrale Zone in Abhängigkeit von den o.g. Verhältnissen in einer Tiefe von 15 - 25 m (HENNING 1991).

In Abb. 2 ist für vier Grundwassermessstellen in 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 des Grundwasserspiegels Unterschiede in den beobachteten Temperaturen und im weiteren Temperaturverlauf.

Die niedrigsten Grundwassertemperaturen 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 2 sind zusammengefaßt ausgewählte Temperaturkennwerte für unterschiedliche Besiedlungsbereiche gegenübergestellt.

Tab. 2

Gegenüberstellung ausgewählter Temperaturkennwerte in unterschiedlichen Besiedlungsbereichen

T_{Min} – Minimumtemperatur, T_{Max} – Maximumtemperatur, T_{Diff} – Temperaturdifferenz $T_{\text{Max}} - T_{\text{Min}}$, T_{Neu} – Temperatur der neutralen Zone, Z_{Neu} – Tiefe der neutralen Zone

Meßstelle	Flurabstand m	T_{Min} °C	T_{Max} °C	T_{Diff} °C	T_{Neu} °C	Z_{Neu} m
42031 überwiegend Vegetation	ca. 5	9,0	12,6	3,6	10,5	20
329 mittlere Siedlungsdichte	ca. 5	10,1	14,4	4,3	11,2	20
4103 hohe Siedlungsdichte	ca. 5	12,2	14,1	1,9	11,7	20
4110 Industrieansied- lung	ca. 5	13,4	15,2	1,2	13,9	35

Aus Tabelle 2 ist zu ersehen, daß generell mit zunehmender Besiedlungsdichte eine Zunahme der Grundwassertemperaturen (s. a. Abb. 2) zu registrieren ist.

In den weitestgehend unbeeinflussten Gebieten (überwiegend Vegetation) ist eine höhere Temperaturdifferenz (T_{Diff}) gegenüber hohen Siedlungsdichten feststellbar. Eine Ausnahme bildet die Meßstelle 329. Die größere Temperaturdifferenz ist auf eine Überwärmung an der Erdoberfläche gegenüber Freilandverhältnissen zurückzuführen.

Bei der Meßstelle 4103 dagegen führt die Überbauung zu einer leichten Dämpfung der Temperaturschwankungen, was sich im wesentlichen auf eine Erhöhung der niedrigen Wintertemperaturen zurückführen läßt.

Nach Tabelle 2 sind den einzelnen Besiedlungsbereichen unterschiedliche Temperaturen in der neutralen Zone zuzuordnen. Es läßt sich grob folgende Einteilung für die unterschiedlichen Besiedlungsbereiche vornehmen:

- ohne Besiedlung, überwiegend Vegetation < 10 °C
- geringe bis mittlere Siedlungsdichte 10 - 11 °C
- hohe Siedlungsdichte, Stadtzentren, Industrieansiedlungen > 11 °C.

3.3. Wärmeleitfähigkeiten

Besonders gut sichtbar wird der Wechsel von Wärmeabgabe zu Wärmeaufnahme bei der Darstellung der Wärmestromdichte über die Zeit. Abb. 3 zeigt die berechneten Wärmestromdichten im Bereich des Grundwasserspiegels. Dazu wurde der mittlere Temperaturgradient über eine Distanz von 5 m unter der Grundwasseroberfläche gebildet. Die Berechnung der Wärmestromdichte erfolgte unter der Annahme einer Wärmeleitfähigkeit für wassergesättigte Sande von $2,9 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$ (BÖRNSTEIN 1982, ANDRESS-SPEED et al. 1984, HENNING 1991).

Eine Wärmeabgabe des Grundwassers (positive Wärmestromdichtewerte) erfolgte im Beobachtungsjahr 1991 zwischen Januar und Juni, eine Wärmeaufnahme (negative Wärmestromdichtewerte) von Juli bis mindestens Oktober. Der Wechsel von Wärmeabgabe zu Wärmeaufnahme liegt in den Sommermonaten Juni/Juli. Eine Ausnahme stellt die Meßstelle 4110 dar. Hier ist eine Wärmeabgabe von Januar bis August/September zu bemerken. Dieser verlängerte Zeitraum läßt sich als Austrag von Wärme verstehen, die durch influente Verhältnisse in das Grundwasser eingetragen wurde.

Es ist auffällig, daß die Jahresbilanz von Wärmeabgabe und Wärmeaufnahme 1991 nicht, wie theoretisch zu erwarten wäre, ausgeglichen ist, sondern das Grundwasser im Sommer mehr Wärme aufnahm als es zuvor im Winter

Tab. 3

Gegenüberstellung ausgewählter Wärmestromdichten in unterschiedlichen Besiedlungsbereichen

$WD_{\text{Max+}}$ – maximale Wärmestromdichte im Zeitraum der Wärmeabgabe, $WD_{\text{Max-}}$ – minimale Wärmestromdichte im Zeitraum der Wärmeabgabe, WD_{Da} – Zeitdauer der Wärmeabgabe, WD_{Mo} – Monat des Wechsels von Wärmeabgabe zu Wärmeaufnahme

Meßstelle	Flurabstand m	$WD_{\text{Max+}}$ mWm^{-2}	$WD_{\text{Max-}}$ mWm^{-2}	WD_{Da} Monate	WD_{Mo} Monat
42031 überwiegend Vegetation	ca. 5	570	4170	5	Juni
329 mittlere Siedlungsdichte	ca. 5	1000	1680	6	Juni
4103 hohe Siedlungsdichte	ca. 5	110	980	3	Mai
4110 Industrieansied- lung	ca. 5	840	140	7	Sept.

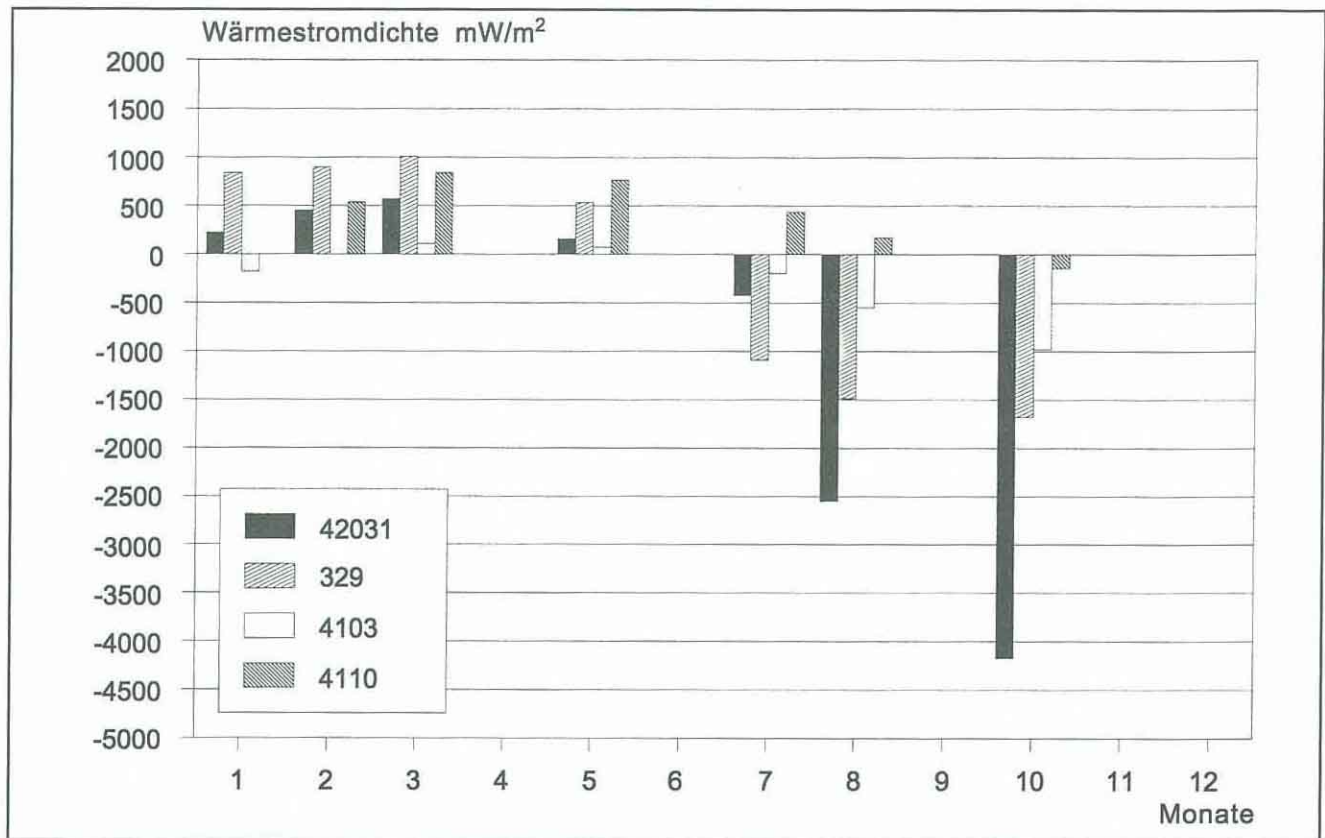


Abb. 3

Mittlere Wärmestromdichten im Bereich des Grundwasserspiegels der Meßstellen 42031, 329, 4103 und 4110 im Meßzeitraum Januar 1991 bis Oktober 1991

und Frühjahr abgab. Die Differenz läßt sich jedoch durch den sehr warmen Sommer 1991 erklären.

Tabelle 3 zeigt eine Gegenüberstellung der Wärmestromdichten für unterschiedliche Besiedlungsbereiche.

Die geringste Wärmeabgabe weist die Meßstelle 4103 im Bereich hoher Siedlungsdichte auf, was sich auf die schon erwähnte Überbauung zurückführen läßt.

Dagegen zeigt Meßstelle 329 die höchste Wärmeabgabe. Die Ursache ist evtl. durch eine höhere Wärmeaufnahme in dem davor liegendem Sommer zu suchen. Aufgrund der Lage der Meßstelle in einem Bereich, der durch Überwärmung während der Sommermonate gekennzeichnet ist, wird vermehrt Wärme aufgenommen. Diese wird jedoch wegen fehlender Überbauung, und da der Effekt der Überwärmung in den Wintermonaten wesentlich geringer ist als in den Sommermonaten, wieder abgegeben.

Bei der Wärmeaufnahme zeigt sich allgemein der Trend, daß mit zunehmender Siedlungsdichte die Wärmeaufnahme abnimmt.

3.4. Grundwasser-Temperaturkarte

In Abb. 4 ist die Temperaturverteilung für den Bezugshorizont 0 m NN (30 - 60 m unter Geländeoberkante) im Stadtgebiet von Berlin dargestellt. In dieser Tiefe ist eine Beeinflussung durch die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen weitgehend ausgeschlossen.

Der Abstand zwischen den einzelnen Isolinen beträgt 0,5 °C. In einigen Bereichen – im Nordosten und im Einzugsgebiet des Stadtzentrums – ist der Verlauf einiger Isolinen aufgrund einer geringeren Aufschlußdichte geschätzt.

Auf die Abbildung kleinräumiger Anomalien wurde zugunsten der Darstellung regionaler Zusammenhänge verzichtet.

Die Temperaturverteilung im Stadtgebiet ist durch die Verteilung von Industrieansiedlungen, Abwärmeproduzenten, Oberflächenversiegelung, Freiflächen, Einträgen aufgeheizter Oberflächengewässer durch influente Verhältnisse und durch das Grundwasserströmungsfeld gekennzeichnet.

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 > 12 °C vorhanden. Die höchsten Temperaturen werden in der Nähe von Kühlwassereinleitungen größerer Kraftwerke mit Grundwassertemperaturen von bis zu 20 °C gemessen.

Relativ unbeeinflusste, niedrigere Temperaturen sind in Bereichen größerer Grünflächen, die z.B. in das Stadtgebiet eingebettet sind, und in Waldgebieten zu finden. So machen sich vor allem südlich des Stadtzentrums zwei

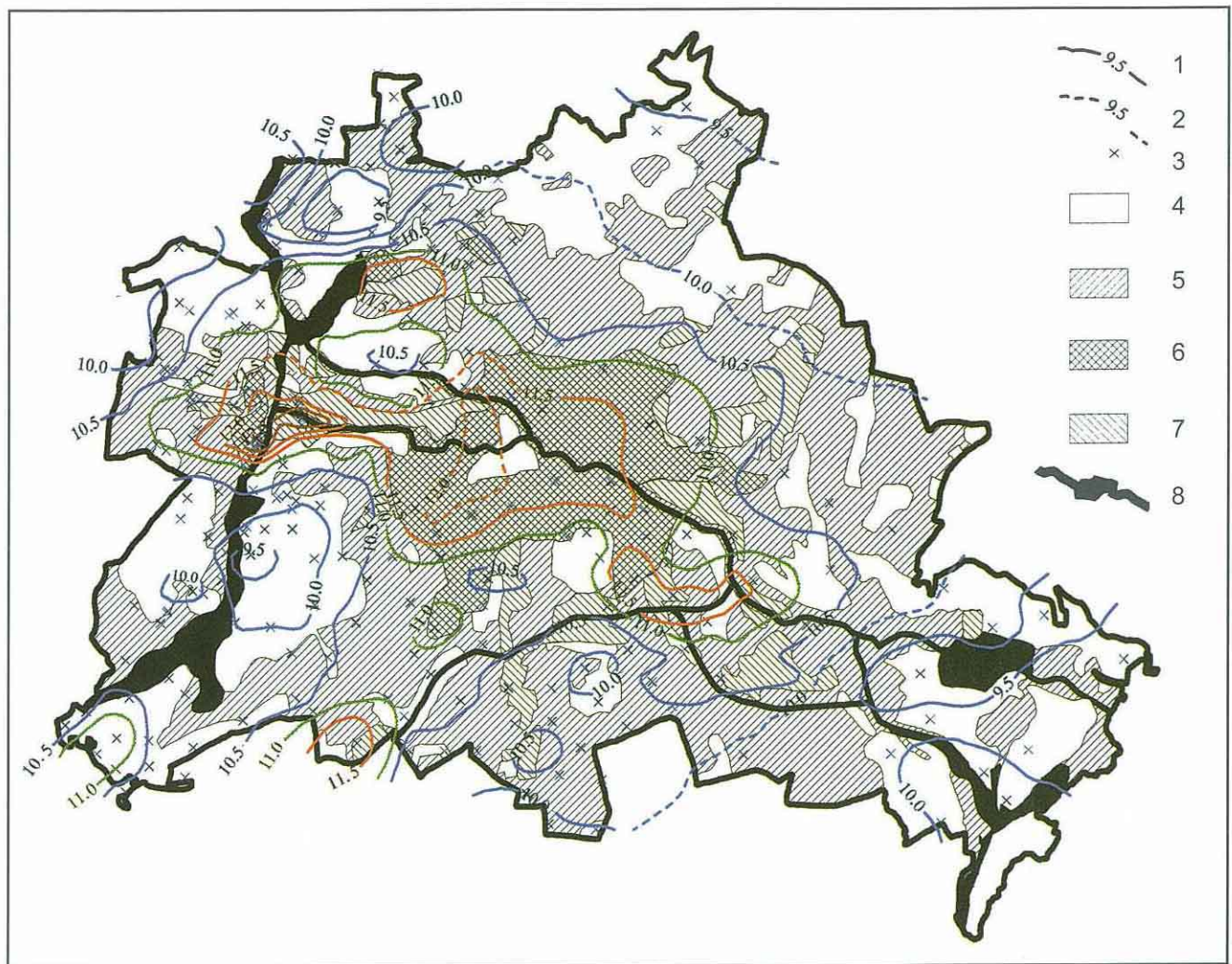


Abb. 4

Temperaturkarte von Berlin für den Bezugshorizont 0 m NN; Stand 1994

1 – Isolinie, 2 – Isolinie vermutet, 3 – Temperaturmeßpunkt, 4 – ohne Besiedlung, überwiegend Vegetation, 5 – geringe bis mittlere Besiedlungsdichte, 6 – hohe Siedlungsdichte, 7 – Industrieansiedlung, 8 – Oberflächengewässer

größere Grünflächen bemerkbar. Unterhalb der ausgedehnten Waldgebiete im Südosten, Westen und Nordwesten der Stadt liegen die Temperaturen im Bereich von $< 10^\circ\text{C}$.

Auffällig ist die im Südwesten der Stadt zu beobachtende Temperaturanomalie. Sie ist auf einen Zufluß erwärmten Grundwassers aus Potsdam zurückzuführen.

Generell ergeben sich gegenüber dem Freiland Temperaturerhöhungen von mehr als 2°C .

Zusammenfassung

Seit 1978 werden in Berlin Temperaturmessungen in Grundwassermeßstellen von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz im Rahmen von Bohrlochkontrollmessungen, Grundwasserbeschafftheitsuntersuchungen und Temperaturfelderkundungen durchgeführt.

Eine Grundwassertemperaturverteilung für das Stadtgebiet von Berlin wird als Isolinenkarte für den Bezugshorizont

0 m NN (ca. 35-60 m unter Gelände) dargestellt. Die Temperaturunterschiede werden überwiegend durch Einflüsse von Vegetation, Industrialisierung und Bebauung auf das Klima und damit auch auf die Grundwassertemperatur hervorgerufen.

Tendenziell lassen sich für das Stadtgebiet in Abhängigkeit von der Besiedlungsdichte unterschiedliche Temperaturzonen zuordnen (Bezugshorizont 0 m NN):

- Flächen ohne Besiedlung, überwiegend Vegetation $9 - 10^\circ\text{C}$
- Flächen mit geringer bis mittlerer Siedlungsdichte $10 - 11^\circ\text{C}$
- Flächen mit hoher Siedlungsdichte, Stadtzentrum, Industrieansiedlungen $> 11^\circ\text{C}$.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Grundwasser-Temperaturmessungen, daß im Stadtgebiet von Berlin durch eine erhöhte mittlere Jahresdurchschnittstemperatur besonders im zentralen Bereich auch langfristig mit einer tiefgreifenden stärkeren Erwärmung des oberflächennahen Unter-

grundes und somit des Grundwassers gerechnet werden muß.

Summary

The Ministry for Urban Development and Environmental Protection has been taking temperature measurements using observation wells since 1978. These measurements have been obtained in the course of bore-hole test measurements, groundwater quality analyses and temperature-field surveys.

The groundwater temperature distribution for the urban area of Berlin is shown in an isoline map for the datum level 0 m m.s.l. (approx. 35-60 m below ground level). The temperature differences are principally due to effects on the climate brought about by vegetation, industrialization and development, and the consequent effects on the groundwater temperature. Local areas with cooler temperatures occur within warmer surroundings, e.g. large city-centre green spaces with their undisturbed temperature balance.

A trend emerges in which specific temperature zones can be allocated to the following settlement densities in urban areas for the datum level 0 m m.s.l. (mean sea level):

- Areas without settlement, primarily vegetation 9-10 °C
- Areas with low to medium settlement density 10-11 °C
- Areas with high settlement density, city centre, industrial areas > 11 °C

Overall, the results of groundwater temperature measurements show that over the long-term there will be a significant warming of the ground close to the surface, and hence the groundwater, in the urban area of Berlin. This increase in temperature is due to an increased mean annual average temperature in the central region of the city.

Literatur

- ANDREWS-SPEED, C.P., COOPER, B. A. & E. R. OXBURGH (1984): Temperatures and Depth-Dependent Heat Flow in Western North Sea. - The American Association of Petroleum Geologists, Vol. 68, No. 11: 1764-1781; New York
- BÖCKER, R. (1985): Ökologische Karten Berlins - Beispiel Tegel und Tegeler See. - Festschrift zum 45. Deutschen Geographentag in Berlin; Berlin (Dietrich Reimer Verlag)
- BÖRNSTEIN, L. (1982): Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaften und Technik, Gruppe V: Geophysik und Welt- raumforschung. - Band 1, Physikalische Eigenschaften der Gesteine, Teilband A; Berlin (Springer)
- GRENZIUS, R. (1987): Die Böden Berlins (West) - Klassifizierung, Vergesellschaftung, ökologische Eigenschaften. - Dissertation am Fachbereich 14 Landschaftsentwicklung der TU; Berlin [unveröff.]
- GROSS, G. (1991): Das Klima der Stadt. - in HUTTER, K: Dynamik umweltrelevanter Systeme. - Berlin (Springer)
- HENNING, A. (1991): Auswertung der im Projekt - Flächenhafte Erfassung der Temperatur im oberflächennahen Grundwasser des Bezirks Spandau - gesammelten Temperaturdaten für das zweite hydrologische Halbjahr 1991. - Untersuchung im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, IV A 41; Berlin [unveröff.]

MAGES, E. (1994): Wärmetransportmodellierung im Untergrund des südlichen Raumes von Berlin. - Berliner Geowiss. Abh., 162 (A): 79 S; Berlin

OTTO, R. (1987): Hydrochemie, Thermometrie und Fließverhältnisse des Grundwassers in den südöstlichen Stadtbezirken von Berlin (West) - Neukölln, Kreuzberg, Tempelhof Schöneberg. - Berliner Geowiss. Abh., 88 (A): 115 S; Berlin

Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz (1985): Umweltatlas Berlin: Bereich Klima - 04. - Berlin (Ref. Öffentlichkeitsarbeit)

Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz (1988): Flächennutzungsplan von Berlin. FNP 84. - Berlin (Ref. Öffentlichkeitsarbeit)

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz (1991): Gewässerkundlicher Jahresbericht für Berlin und Umland: Abflußjahr 1990 und 1991. - Berlin (Ref. Öffentlichkeitsarbeit)

TRAPP, CH. (1983): Beschaffenheit und hydrogeologische Zusammenhänge des tieferen Grundwasserleiters im nördlichen Stadtgebiet von Berlin (West). - Berliner Geowiss. Abh., 44 (A): 79 S; Berlin

Anschrift der Autoren:

Andreas Henning
Fuchsbergweg 9a
14098 Berlin

Alexander Limberg, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, IV A 3
Lindenstraße 20-25
10958 Berlin