

Datum: 29.09.2011
Telefon: 0 233-47722
Telefax: 0 233-47728
Herr Dr. Dohr
grundwasser.rgu@muenchen.de

**Referat für Gesundheit
und Umwelt**
Umweltschutz
Grundwasser
RGU-UW 12

Grundwassertemperaturen München

Messungen 2009 - 2010

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung – Themenrahmen	3
1 Untersuchungsgebiet	3
1.1 Topografie	3
1.2 Geologische Verhältnisse	5
1.3 Hydrogeologische verhältnisse	7
1.4 Messstellenauswahl	8
1.5 Durchführung der Messungen	10
2 Ergebnisse der Temperaturmessungen	12
2.1 Statistik	12
2.2 Auswertung und Darstellung der Messergebnisse	17
2.2.1 Temperaturverteilung der statistische Mittelwerte	17
2.2.2 Temperaturverteilung in den einzelnen Messreihen	22
2.2.2.1 Juli 2009	22
2.2.2.2 November 2009	24
2.2.2.3 März 2010	24
2.2.3 Differenzwerte der Messstellen	28
2.2.4 Grundwassertemperaturen im jahreszeitlichen Wandel	30
2.2.5 Vertikaler Temperaturverlauf	34
3. Einflussfaktoren auf die Grundwassertemperatur	39
3.1 Natürliche Einflussfaktoren	41
3.2 Anthropogene Einflussfaktoren	41
4. Zusammenfassung und Ausblick	42
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	45

Einleitung-Themenrahmen

In Zeiten knapper werdender fossiler Brennstoffe und damit einhergehend stark steigender Energiekosten gewinnen alternative, regenerative Energieformen verstärkt an Bedeutung. So ist auch das Grundwasser in den letzten Jahren zunehmend in das umweltpolitische Blickfeld geraten. Im Hinblick auf die Trinkwasserversorgung einerseits und die wirtschaftliche Nutzungen andererseits stellt sich somit die Frage nach den thermischen Verhältnissen und Potential des Grundwasser im Einflussbereich städtischer Umweltbedingungen.

Es liegt auch im Interesse der Landeshauptstadt München, künftig alternative Energiequellen, wie die Geothermie, verstärkt zu erschließen, wie es auch in der „Leitlinie Ökologie“ im Handlungsfeld „Energieversorgung“ postuliert wird. Unter umwelt- und energiepolitischen Erwägungen setzt daher das Referat für Gesundheit und Umwelt auf die Förderung nachhaltiger regenerativer Energieerzeugung durch die Nutzung der Erd- und Grundwasserwärme und ist bemüht, eine aktuelle Datenbasis für Fragen der Energiegewinnung zu schaffen.

Um den Veränderungen der Grundwassertemperatur in der Vergangenheit Rechnung zu tragen und mit einer entsprechend angepassten Datengrundlage die Basis für eine kompetente Auskunftserteilung und Beratung zu schaffen, hält es das Referat für Gesundheit und Umwelt (RGU) für erforderlich, eine erneute stadtweite Erfassung der Grundwassertemperaturen durchzuführen. Das Vorhaben stellt eine Neuauflage der Mitte der früher durchgeführten Messkampagne der Grundwassertemperaturen dar.

Grundsätzlich ist hier zwischen oberflächennaher und tiefer Geothermie zu unterscheiden. Die hier relevante oberflächennahe Nutzung erfolgt entweder durch direkte Wärmeentnahme aus dem Grundwasser selbst, durch horizontale Erdwärmekollektoren oder durch vertikale Erdwärmesonden mit normalerweise Tiefen bis ca. 100m. Die oberflächennahe Nutzung wird bereits in den letzten Jahren vor allem für den privaten Verbrauch eingesetzt. Dagegen bleibt die Nutzung der Geothermie aus tieferen Erdschichten aus wirtschaftlichen und finanziellen Gründen vorrangig größeren Investoren vorbehalten. Neben dem Wärme- wird auch das Kältepotential des Grundwassers z.B. für den Einsatz zu Kühlzwecken genutzt. Der nachfolgende Bericht behandelt nur die Grundwassertemperaturen im oberflächennahen, sog. quartären Stockwerk.

1. Untersuchungsgebiet

1.1 Topographie

Das Untersuchungsgebiet umfasst das gesamte Stadtgebiet Münchens. München liegt inmitten der zum nördlichen Alpenvorland zählenden Landschaftseinheit der **Münchner Schotterebene**. Diese wird im Süden, Osten und Westen durch Moränengürtel begrenzt. Im Norden schließt sich das Tertiärhügelland an. Sie erstreckt sich über eine Länge von etwa 50 km und eine Breite von bis zu 40 km. Das Gebiet stellt mit einer Fläche von etwa 2000 km² einen der ausgedehntesten Schotterbereiche Bayerns dar. Die Münchner Schotterebene wird auch als *schiefe Ebene* bezeichnet, da sie von ca. 650 m ü. NN im Süden auf etwa 430 m ü. NN im Norden abfällt. Ihr Gefälle reduziert sich von 12 ‰ in Höhe der südlichen Moränen auf 4-5 ‰ im Stadtgebiet von München. Diese Gegebenheiten machen die

Münchner Schotterebene zu einem der grundwasserreichsten Gebiete Deutschlands.

Die Landeshauptstadt München (ca. 48°12' geographische Breite, 11° 30' östliche Länge) erstreckt sich über eine Fläche von rund 310 km². Die höchste Erhebung bildet der Warnberg (Solln) am südlichen Stadtrand mit 579 m ü. NN, der niedrigste Punkt wird mit 482 m ü. NN im nördlichen Schwarzhölzl (Feldmoching) erreicht. Der maximale Höhenunterschied beträgt somit 97 Meter.

Als vorherrschendes Oberflächengewässer durchzieht die Isar von Süd-Südwest aus dem Alpenraum kommend das Stadtgebiet auf 13,7 km Länge nach Nord-Nordost. Das Hochwasserbett des stark regulierten und verbauten Flusses wird seit ein paar Jahren renaturiert. Als weiteres wichtiges Gewässer quert die westlich gelegene, ebenfalls überwiegend regulierte und verbaute Würm auf 11,2 km Fließstrecke die Stadt. Im Osten durchfließt der Hachinger Bach die Stadtbezirke auf lediglich 4 km Länge, ist dann verrohrt und tritt erst nahe der Stadtgrenze als offenes Gewässer wieder hervor. Die diversen im Stadtgebiet vorhandenen Seen und Teiche sind künstlich angelegt.

Die gegenwärtige Struktur der Flächennutzung wird durch eine sehr starke anthropogene Nutzung des Stadtgebietes geprägt.

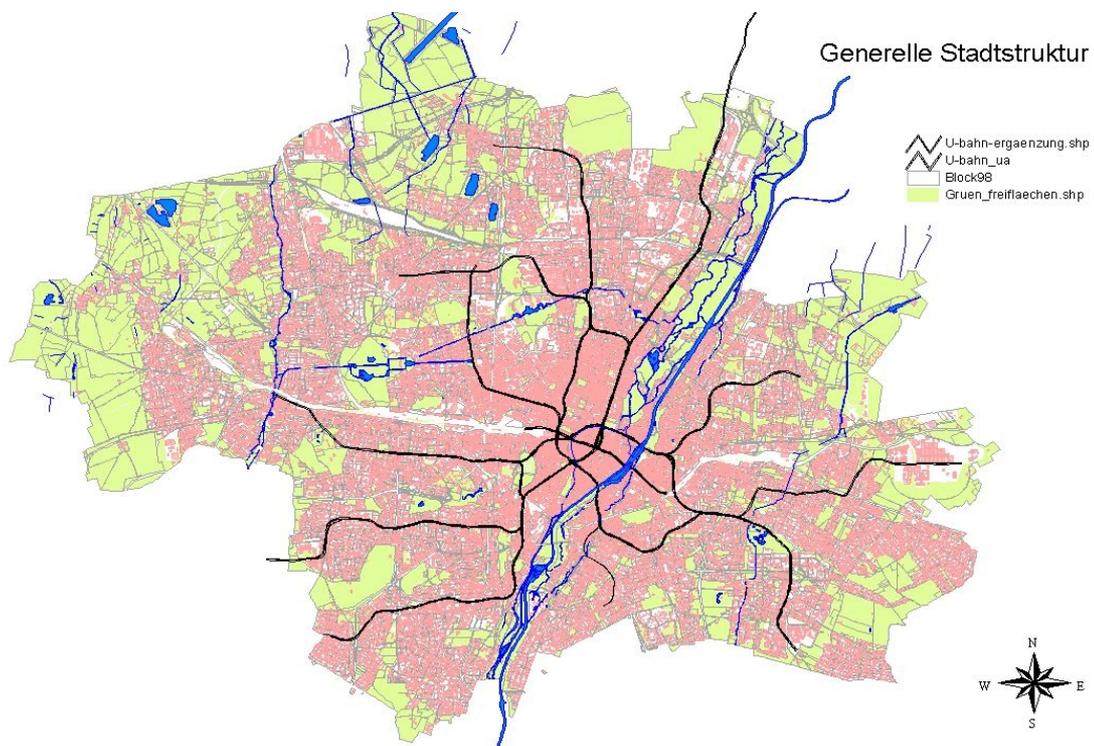


Abbildung 1

Die Bebauung und die Versiegelung im Stadtgebiet München (Abb.2) nimmt vom eigentlichen Innenstadtbereich (Hauptbahnhof-Stachus- Sendlinger Tor Platz-Marienplatz) gegen die Stadtgrenzen deutlich ab. Während der Innenstadtbereich mit wenigen Grün- und Freiflächen eine sehr dichte Bebauung aufweist, vermischen sich mit zunehmender Entfernung Wohnen, Grünflächen, Gewerbe und Industrie. Der eigentliche Stadtrandbereich zeichnet sich -bisher noch – durch größere unbebaute, grossteils unversiegelte Areale aus.

Das im Innenstadtbereich sehr enge Tunnelnetz des Öffentlichen Nahverkehrs gabelt sich nach „außen“ in diverse separate Achsen auf und fehlt z.T., vor allem im Westen und Nordwesten des Stadtgebietes, völlig.

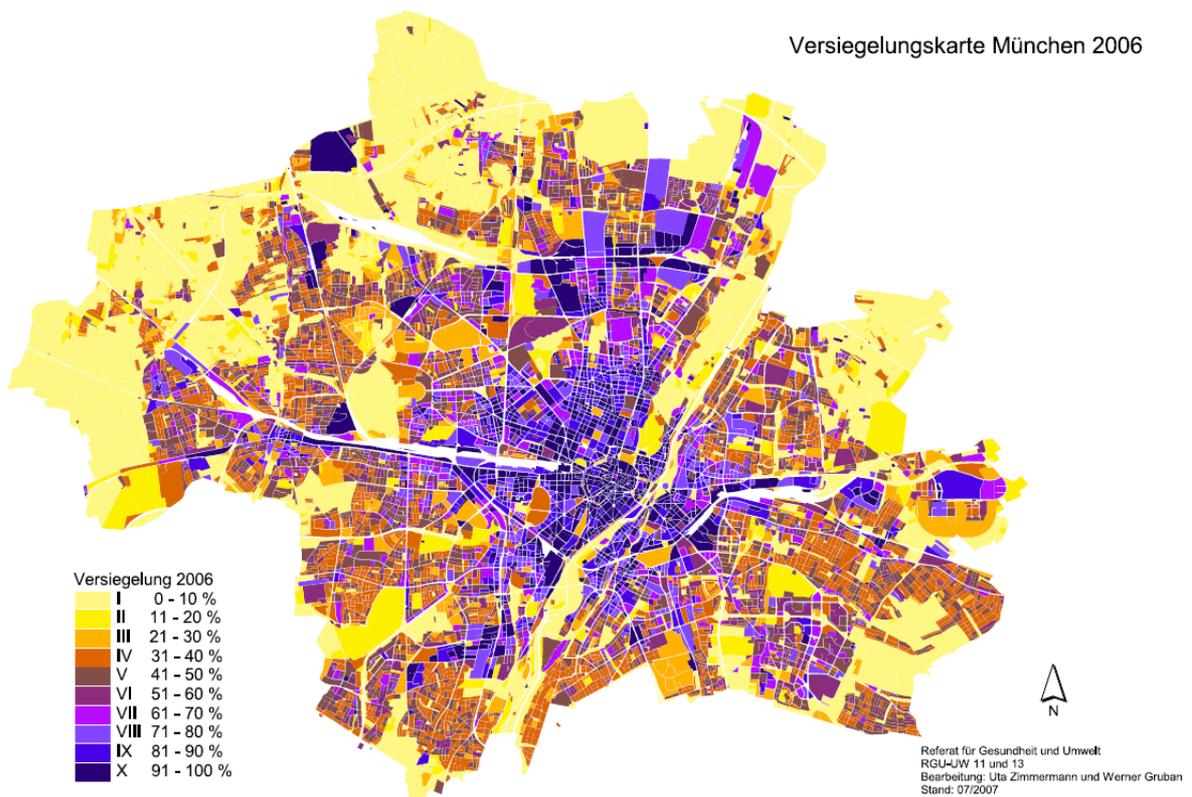
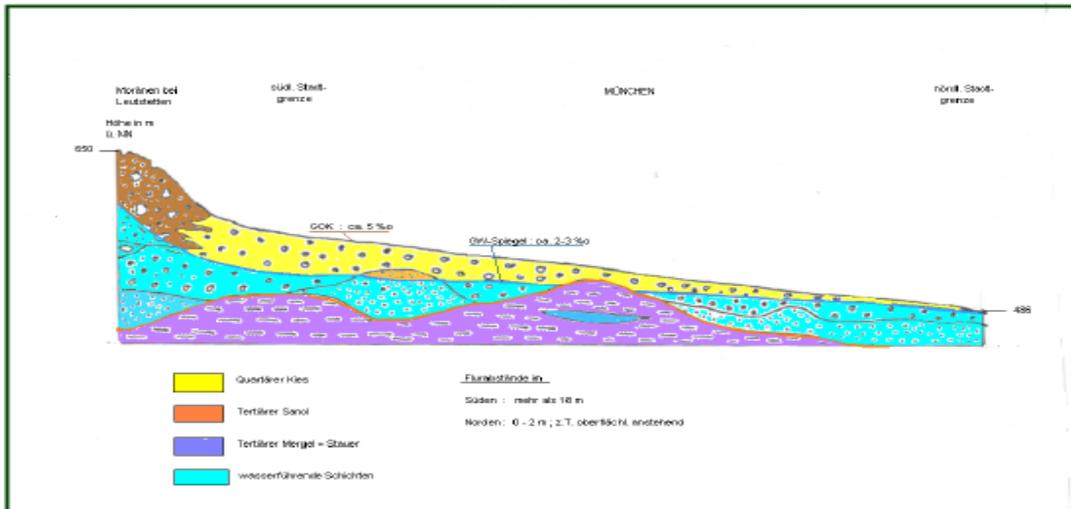


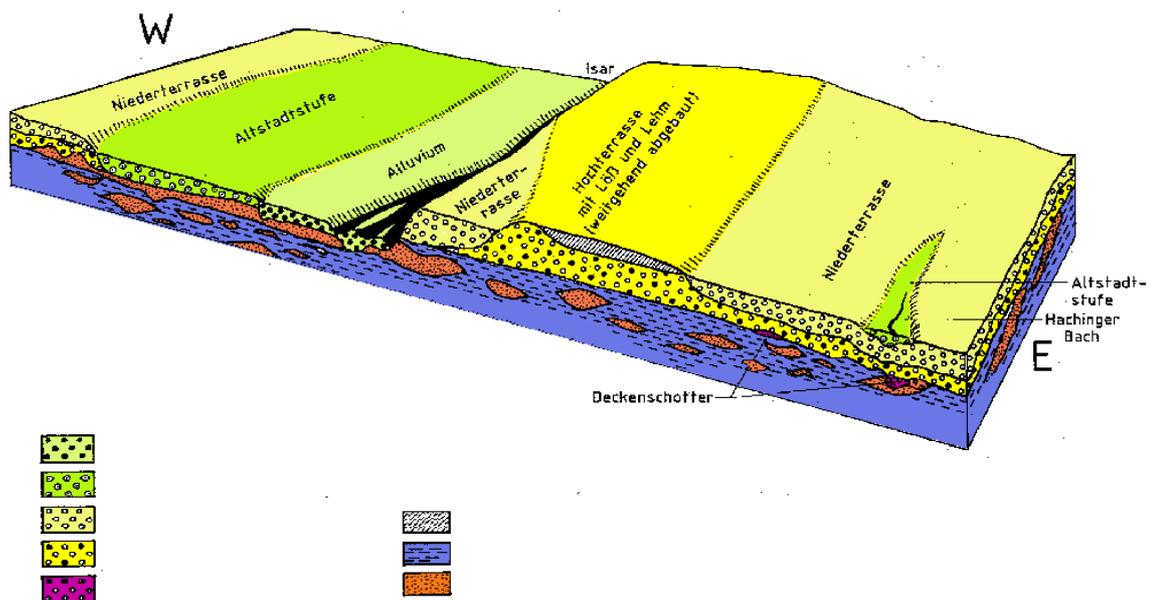
Abbildung 2

1.2 Geologische Verhältnisse

Die heutige Gestalt des Alpenvorlandes und damit auch der sog. Münchener Schotterebene entstand in der letzten geologischen Erdgeschichteperode, dem Quartär. In den Eiszeiten rückten die Gletscher in mehreren Vorstößen (Kaltzeiten) aus den Alpen ins Vorland vor und überprägten das unterlagernde tertiäre Relief.



Die heutige geomorphologische Struktur mit den (grob) Süd-Nord gerichteten Terrassen oder Geländestufen (Abb. 4 Blockbild) wurde durch den mehrmaligen Wechsel von Ablagerung und Abtragung geschaffen. Insgesamt weist die Münchener Schotterebene eine Süd - Nord -Neigung von durchschnittlich ca. 5 ‰ auf.



1.2 Die hydrogeologischen Verhältnisse

Der Grundwasserkörper im Münchener Stadtgebiet (Abb. 5) ist nur ein kleiner Ausschnitt aus dem Grundwasserkörper der Münchener Schotterebene. Bedingt durch den geologisch-petrographischen Aufbau existieren im Münchener Untergrund mehrere untereinanderliegende Grundwasserhorizonte. Grundsätzlich müssen daher im Stadtgebiet München hydrogeologisch zwei Arten von Grundwasserhorizonten unterschieden werden:

- Quartärgrundwasser
- Tertiärgrundwasser

Das Projekt der Grundwassertemperaturmessungen bezieht sich ausschließlich auf das sog. "Obere Grundwasserstockwerk". Dieses, auch als "Quartäres Grundwasserstockwerk" bezeichnete, liegt in unterschiedlicher Ausbildung in den meist oberflächennahen quartären Kiesschichten (Schottern). Bereichsweise folgen darunter auch direkt unterlagernde tertiäre Sande, die dann ebenfalls zum oberen Stockwerk gezählt werden. Lokal begrenzt existieren aber auch Zonen, in denen der obere Grundwasserhorizont - z.T. nur zeitweise - durch z.B. aufragende Mergel völlig fehlt.

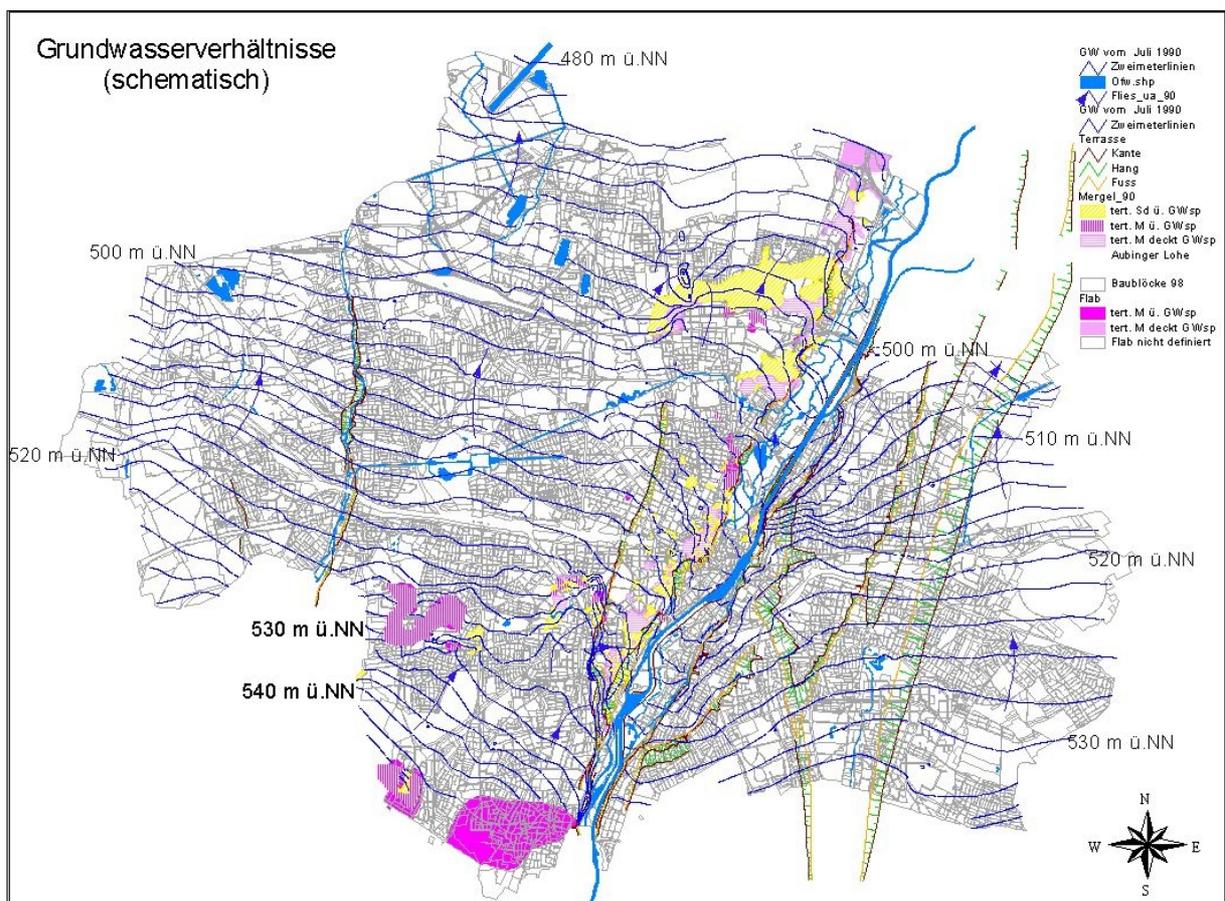


Abbildung 5 Quartärer Grundwasserhorizont – Beispielhaft vom Juli 1990 (ca. 544 m ü. NN im Süden bis ca. 480 m ü. NN im Norden)

Die Grundwasserfließrichtung dieses Horizontes verläuft, von örtlichen Strömungen oder Störungen abgesehen, westlich der Isar generell von Südwest nach Nordost und östlich der Isar im allgemeinen von Südost nach Nordwest. Das durchschnittliche Grundwassergefälle beträgt 2 - 3 ‰, kann aber in Hangbereichen mehr als 10 ‰ erreichen. Die Flurabstände (Tiefenlage des Grundwasserspiegels) nehmen von Süden, mit Tiefen von mehr als 18 Meter, nach Norden bis auf Werte kleiner 1 Meter ab. Ebenso hängt die Grundwassermächtigkeit von lokalen Einflüssen ab und variiert von einigen Zentimetern bis zu mehr als 10 m. Die mittleren Grundwassermächtigkeiten liegen zwischen 8 - 18 Meter im Süden und 0 - 12 Meter im Norden.

Bei entsprechenden Randbedingungen, wie gut durchlässigen Schottern und verhältnismäßig großem Grundwassergefälle, können maximale Fließgeschwindigkeiten von mehr als 20 Meter pro Tag erreicht werden. In der Regel beträgt dieser Wert aber wenige Meter pro Tag.

Die natürlichen jahreszeitlichen Schwankungen des Grundwasserspiegels betragen im Stadtgebiet in der Regel bis zu ca. 2 Meter. Größere Schwankungen treten nur vereinzelt, vor allem hervorgerufen durch gespannte Grundwasserverhältnisse oder anthropogene Einflüsse (permanente oder Bau-Wasserhaltungen), auf.

1.4 Messstellenauswahl

Im Stadtgebiet Münchens existieren über 6000 Brunnen und Pegel. Aus dieser Vielzahl vorhandener Grundwasserpegel konnte eine Auswahl für ein effektives Messnetz getroffen und somit ausschließlich auf bestehendes Pegelmaterial zurückgegriffen werden. Wichtige Kriterien für die Pegelauswahl stellten zum einen standortspezifische Parameter - so die Lage in

- unbeeinflussten Bereichen, z.B. Grünanlagen, unversiegelte Flächen
- anthropogen flächig beeinflusste Bereiche, z.B. versiegelte Flächen, Bebauung
- anthropogen punktuell beeinflusste Bereiche, z.B. Nähe von Tiefbauwerken
 - Tunnelbauten
 - Abwasserkanäle
 - Fernheizsystem
- Bereiche mit kleinem Flurabstand (Geländeoberkante bis Grundwasserspiegel)
- Bereich mit großem Flurabstand

und zum zweiten frühere Messergebnisse, d.h. besondere Berücksichtigung fanden Grundwassermessstellen, in denen bereits zuvor Temperaturmessungen mit längeren Beobachtungsreihen durchgeführt wurden (Abb.6 GW-T-Messstellen).

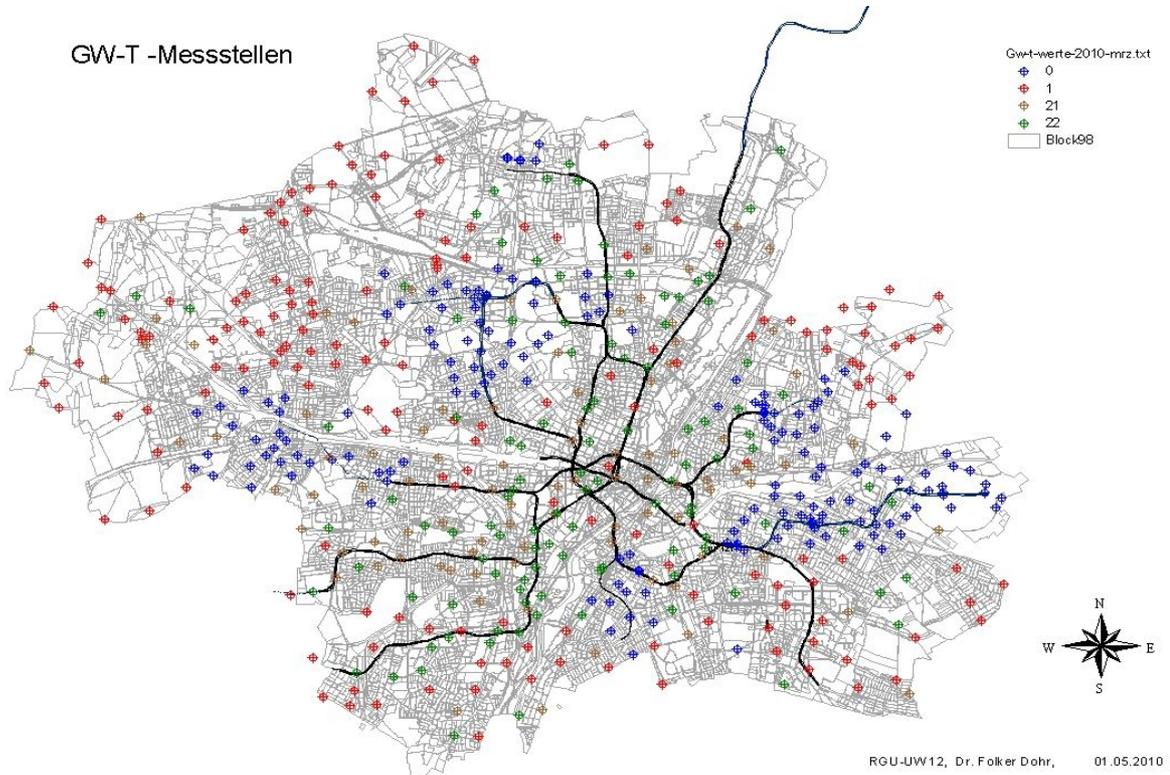


Abbildung 6

Als Ergänzung zu diesen flächendeckenden Messungen erfasst das RGU seit Herbst 2009 an ausgesuchten Pegel (Abb.7 GW-T-Pegel) die Grundwassertemperatur im 14-tägigen Abstand, um Erkenntnisse über die Spiegelschwankungen im oberen Grundwasserstockwerk und deren Variation im jahreszeitlichen Verlauf zu erlangen.

An einigen dieser Pegeln wurden zusätzlich vertikale Temperaturprofile erstellt, um die Beeinflussung der Grundwassertemperaturen durch tief reichende anthropogene Einflüsse (z.B. von Tunnelbauwerken), sowie die Veränderungen mit zunehmendem Flurabstand (Flurabstand: Abstand des Grundwasserspiegels von der Geländeoberkarte) zu erfassen.

Wichtige Kriterien bei der Auswahl aller Messstellen waren nicht zuletzt ein fachgerechter, den üblichen Normen und Richtlinien entsprechender Pegelausbau, eine uneingeschränkte Zugänglichkeit sowie die problemlose Erreichbarkeit der Messstellen.

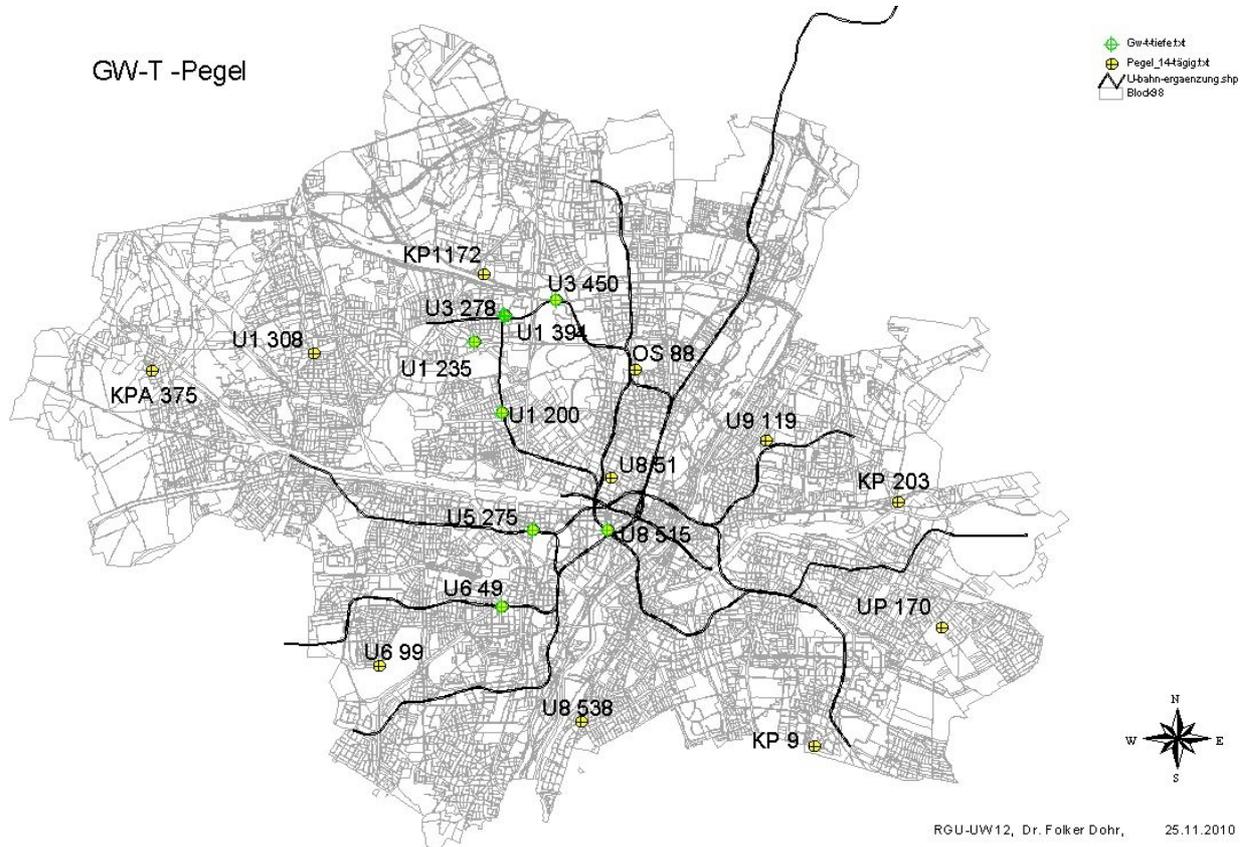


Abbildung 7 Lageplan der Messstellen vertikaler Temperaturprofile

1.5 Durchführung der Messungen

Mit der Durchführung der Messungen und Bereitstellung der Ergebnisdaten wurde im Juni 2009 ein kompetenter Auftragnehmer betraut. Unmittelbar nach Vergabe des Auftrages wurde die Durchführung der Messreihen vorbereitet und die erste Messreihe Ende Juli 2009 begonnen.

Als Messgeräte kamen Temperaturlichtlote des Typs 110 der Firma Hydrotechnik GmbH zum Einsatz. Dies sind tragbare Kabellichtlote mit integriertem Temperatursensor. Die verwendeten batteriebetriebene Geräte besitzen eine 30 m lange, 2-adrige metrische Stegbandleitung aus weißem Polyethylen mit Edelstahllitzen und die Messsonde IP 68 (Ø 15 mm, L 180 mm) aus hochwertigem Edelstahl (Herstellerangabe). Bei der Messung wird der Wasserkontakt sowohl optisch als auch akustisch signalisiert. Der Temperaturwert leuchtet mittels LED-Anzeige im Display - gemäß der Messgenauigkeit (im Bereich zwischen 0 °C und +50 °C) von < 0,1 °C - mit einer Nachkommastelle auf.

Der Messbereich der Geräte liegt zwischen Temperaturen von - 15 °C und + 80 °C.

Die Erfassung und Ermittlung der Grundwassertemperaturen erfolgte im Zeitraum zwischen Juli 2009 und September 2010 an insgesamt jeweils ca. 600 über das gesamte Stadtgebiet

flächlich verteilten Messstellen. Diese Temperaturmessungen wurden ausschließlich im oberen Grundwasserhorizont jeweils in einer Tiefe von 1 m unter dem zuvor ermittelten aktuellen Grundwasserstand der betreffenden Messstelle durchgeführt. Durch Baustellen, Schnee und Eis u.a. wurden die Messungen z.T. be- bzw. verhindert. Insgesamt konnten über 2700 Temperaturwerte ermittelt werden.

An den 19 zusätzlich ausgesuchten Pegeln wurde die Grundwassertemperatur seit Herbst 2009 laufend alle 14 Tage direkt vom RGU gemessen. In acht dieser Pegel erfolgte zudem eine vertikale Erfassung der Grundwassertemperaturen. Hierzu wurde die Temperatur im Pegelrohr vom aktuellen Grundwasserspiegel über die gesamte Grundwassermächtigkeit abwärts mit Messpunktabständen von $\Delta h = 1$ m (Meterschritte) jeweils neu ermittelt und somit ein vertikales Temperaturprofil erstellt. Zwischen November 2009 und Februar 2011 konnten 28 derartige Messzyklen und Profile mit Tiefenmessungen durchgeführt werden.

Unabhängig von diesen Temperaturmessungen wurden im Zuge des Grundwasserüberwachungsprogramms (GWUES) im Oktober 2009, April 2010 und Oktober 2010 aus jeweils ca. 150 Pegeln des oberen Aquifers Analysen der Grundwasserqualität gezogen. Das Untersuchungsspektrum beinhaltet als Parameter auch die Grundwassertemperatur. Diese Ergebnisse ergänzen die projektbezogenen Daten.

Aufgrund von temporären Baustellen, plötzlichen Beschädigungen oder witterungsbedingt durch Schnee und Eis wurden in einigen der ursprünglich vorgesehenen Messstellen während der einen oder anderen Messreihe keine Temperaturwerte erfasst. Insgesamt wurden im Zuge der eigentlichen Temperaturmessungen 2771 Einzelwerte ermittelt. Durch die Ergebnisse der GWUES-Analysen erhöhte sich die Anzahl der Temperaturwerte um 452 auf 3223 Daten, ohne Berücksichtigung der separat durch das RGU erfolgten Messungen.

2. Ergebnisse der Temperaturmessungen

2.1 Statistik

Die statistischen Werte der Ergebnisse der Grundwassertemperaturmessungen zeigen die nachfolgenden Tabellen. Bei den 5 projektbezogenen Messreihen (Tab. 1) konnten von 3078 theoretisch möglichen Daten 307 Messungen aufgrund von Hindernisgründen (s.o.) nicht durchgeführt werden, so dass 2771 Temperaturwerte ermittelt wurden. Diese zeigen Grundwassertemperaturen zwischen Maximum 20,6 °C im Monat November und Minimum 4,9 °C im März, bei einem Mittelwert von 12,0 °C.

Jahr	Monat	Anzahl	Hind	Min T	Max T	Mittel T	Stabw	(Lab)	Anzahl ges.
2009	7	533	60	8,1	19	12	1,686	mplan	593
2009	11	541	70	8,2	20,6	12,4	1,848	mplan	611
2010	3	581	69	4,9	17,4	11,1	1,877	mplan	650
2010	7	554	56	8,1	19,2	11,9	1,750	mplan	612
2010	9	562	50	8,2	19,3	12,4	1,874	mplan	612
			Min T	4,9	17,4	11,1		gemessen:	
			Max T	8,2	20,6	12,4		2771	3078
			Mittel T	7,5	19,1	12,0			

Tabelle 1

Bei den im Zuge des GWUES festgestellten 452 Temperaturwerten (Tab.2) liegt das Maximum bei 20,3 °C im Oktober, das Minimum bei 4,8 °C im April und der Mittelwert bei 12,81 °C.

Jahr	Monat	Anzahl	Hind	Min T	Max T	Mittel T	Stabw	(Lab)	Anzahl ges.
2009	10	148	0	8,6	20,3	13,48	2,163	Gwues	148
2010	4	147	0	4,8	17,4	11,98	2,113	Gwues	147
2010	10	157	0	8,7	18,7	12,96	2,141	Gwues	157
			Min T	4,8	17,4	11,98		gemessen:	
			Max T	8,7	20,3	13,48		452	452
			Mittel T	7,4	18,8	12,81			

Tabelle 2

Insgesamt ergeben die Messreihen (Tab 3) die gleiche Spreizung der Grundwassertemperaturen zwischen 20,6 °C und 4,8 °C.

Jahr	Monat	Anzahl	Hind	Min T	Max T	Mittel T	Stabw	(Lab)	Anzahl ges.
2009	7	533	60	8,1	19	12,00	1,686	mplan	593
2009	11	541	70	8,2	20,6	12,40	1,848	mplan	611
2010	3	581	69	4,9	17,4	11,10	1,877	mplan	650
2010	7	554	56	8,1	19,2	11,90	1,750	mplan	612
2010	9	562	50	8,2	19,3	12,42	1,874	mplan	612
2009	10	148	0	8,6	20,3	13,48	2,163	Gwues	148
2010	4	147	0	4,8	17,4	11,98	2,113	Gwues	147
2010	10	157	0	8,7	18,7	12,96	2,141	Gwues	157
			Min T	4,8	17,4	11,1		gemessen:	
			Max T	8,7	20,6	13,48		3223	3530
			Mittel T	7,5	19,0	12,3			

Tabelle 3

Selbst unter Hinzunahme der 14-tägigen Temperaturmessung an den 19 zusätzlichen Pegeln verändert sich diese Statistik lediglich in der Anzahl der durchgeführten Messungen:

Gesamt + Messungen Kü	Min T	Max T	Mittel T	Anzahl ges.
Messzeitraum:	4,8	20,6	12,14	3638
01.07.2009 - 01.03.2011	06.04.2010	14.11.2009		

Die Temperaturspreizung der 3638 Messungen im Stadtgebiet ist in Abb. 8 als Verteilungskurve dargestellt. Der Graph zeigt ein deutliches Maximum bei 11,6 °C mit 115 Messungen. Werte zwischen 11,0 °C und 13 °C wurden bei 1691 Pegeln, d.h. bei knapp Hälfte (ca. 47 %) aller Messstellen festgestellt. Sowohl in Richtung geringerer als auch in Richtung höherer Temperaturen verringert sich die Häufigkeit fast gleichmäßig bis auf Anzahl 1.

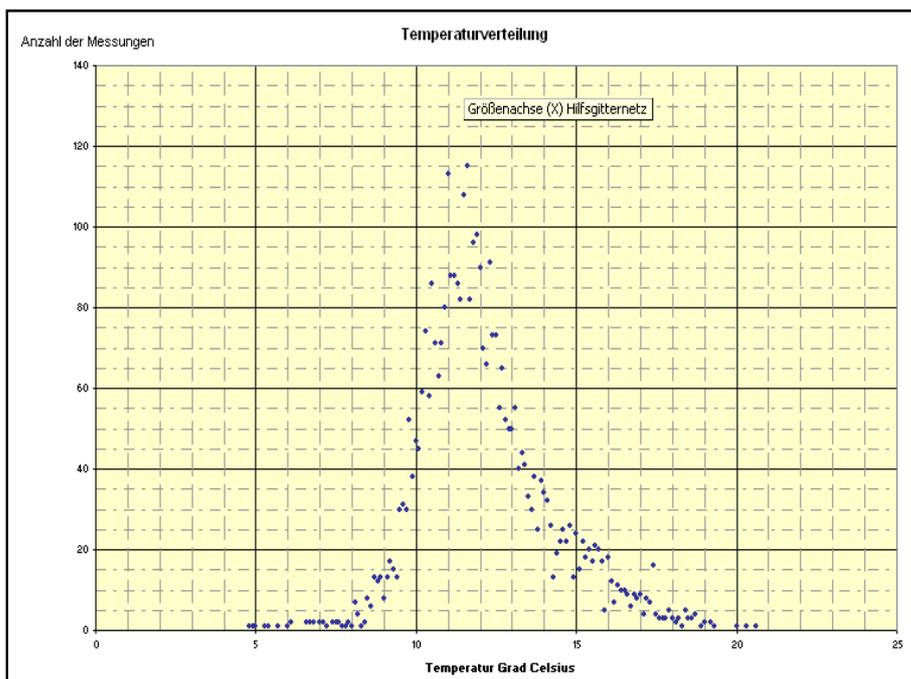


Abbildung 8

Zur grafischen Darstellung und Hervorhebung der Untersuchungsergebnisse wurden das ermittelte Temperaturspektrum in 6 Bereiche unterteilt. Grundlage hierfür war u.a. der Verlauf der Verteilungskurve sowie die Klassifizierung der Grundwassertemperatur in früheren Auswertungen und Veröffentlichungen. Diese Temperaturzonen umfassen folgende Werte:

$\leq 9,0 \text{ °C}$	Darstellung	Hellblau
$> 9,0 \text{ °C} \text{ -- } \leq 11,0 \text{ °C}$	Darstellung	Blau
$> 11,0 \text{ °C} \text{ -- } \leq 13,0 \text{ °C}$	Darstellung	Grün
$> 13,0 \text{ °C} \text{ -- } \leq 14,0 \text{ °C}$	Darstellung	Gelb
$> 14,0 \text{ °C} \text{ -- } \leq 17,0 \text{ °C}$	Darstellung	Hellrot
$> 17,0 \text{ °C}$	Darstellung	Violett

Die Tabelle 4 zeigt die Anzahl der Messdaten pro Temperaturzone für jede einzelne Messreihe:

Temperatur °C	Anzahl der Messwerte						
	<= 9	> 9 - <= 11	> 11 - <= 13	> 13 - <= 14	> 14 - <= 17	> 17	
Jul 09	8	155	251	59	53	7	533
Okt 09	1	19	50	21	50	7	148
Nov 09	8	103	282	65	71	12	541
Mrz 10	56	230	228	28	34	5	581
Apr 10	10	41	55	20	20	1	147
Jul 10	8	180	251	47	59	9	554
Sep 10	8	125	255	78	83	12	561
Okt 10	2	28	63	20	38	6	157
Summe							3223

Tabelle 4

Die Grafik (Abb. 9) veranschaulicht die mengenmäßige Dominanz der Temperaturen zwischen 11,1°C und 13,0°C in den einzelnen Messreihen. Lediglich im März 2010 wurden in ähnlich vielen Pegeln kältere Werte zwischen 9,1°C und 11,0°C festgestellt. Dagegen treten sowohl Temperaturen unter 9,0°C als auch jene über 17,0°C in vergleichsweise nur wenigen Messstellen auf.

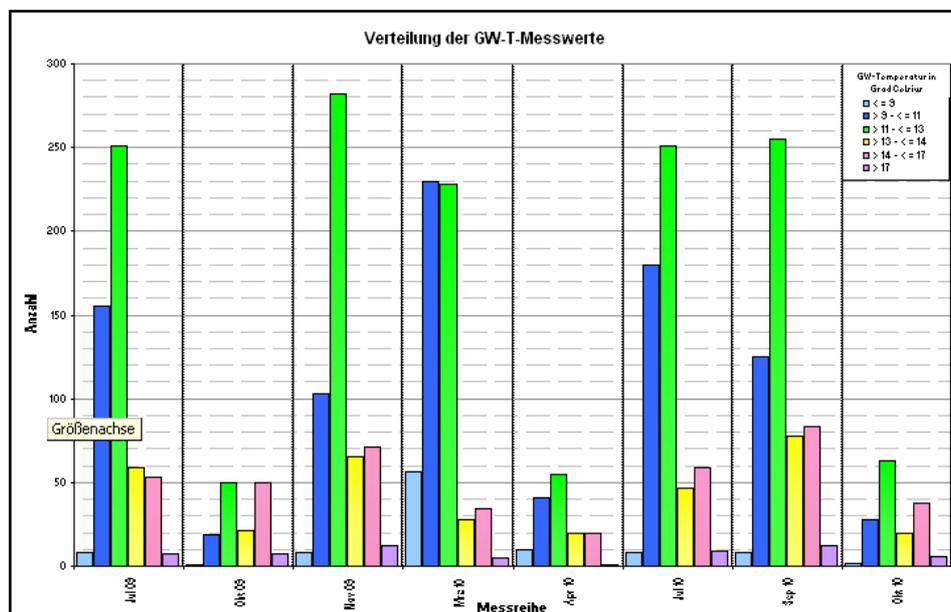


Abbildung 9

Prozentual liegen in der Summe aller acht berücksichtigten Messreihen

3,03% der Messwerte unter 9,0°C,
 25,13% zwischen 9,1°C und 11,0°C,
 42,57% zwischen 11,1°C und 13,0°C,
 11,35% zwischen 13,1°C und 14,0°C,
 15,74% zwischen 14,1 und 17,0°C und
 2,17% über 17,0°C (Tab. 5).

Temperatur °C	Prozentwerte						
	<= 9	>9 - <= 11	> 11 - <= 13	> 13 - <= 14	> 14 - <= 17	> 17	
Jul 09	1,5	29,1	47,1	11,1	9,9	1,3	100,00
Okt 09	0,7	12,8	33,8	14,2	33,8	4,7	100,00
Nov 09	1,5	19,0	52,1	12,0	13,1	2,2	100,00
Mrz 10	9,6	39,6	39,2	4,8	5,9	0,9	100,00
Apr 10	6,8	27,9	37,4	13,6	13,6	0,7	100,00
Jul 10	1,4	32,5	45,3	8,5	10,6	1,6	100,00
Sep 10	1,4	22,3	45,5	13,9	14,8	2,1	100,00
Okt 10	1,3	17,8	40,1	12,7	24,2	3,8	100,00
Summe	3,03	25,13	42,57	11,35	15,74	2,17	100,00

Tabelle 5

Nachfolgende Grafik (Abb. 10) veranschaulicht die prozentuale Verteilung der Ergebnisse aller Messreihe.

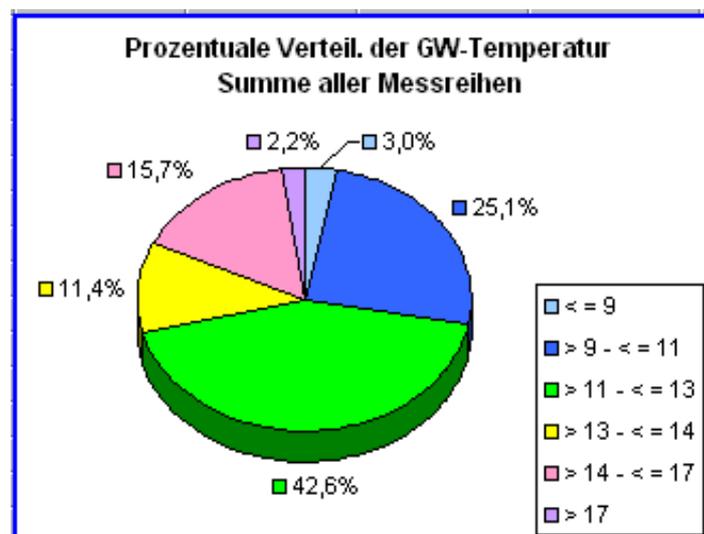


Abbildung 10

Die Abbildung 11 zeigt die prozentuale Verteilung der einzelnen Messreihen im direkten Vergleich:

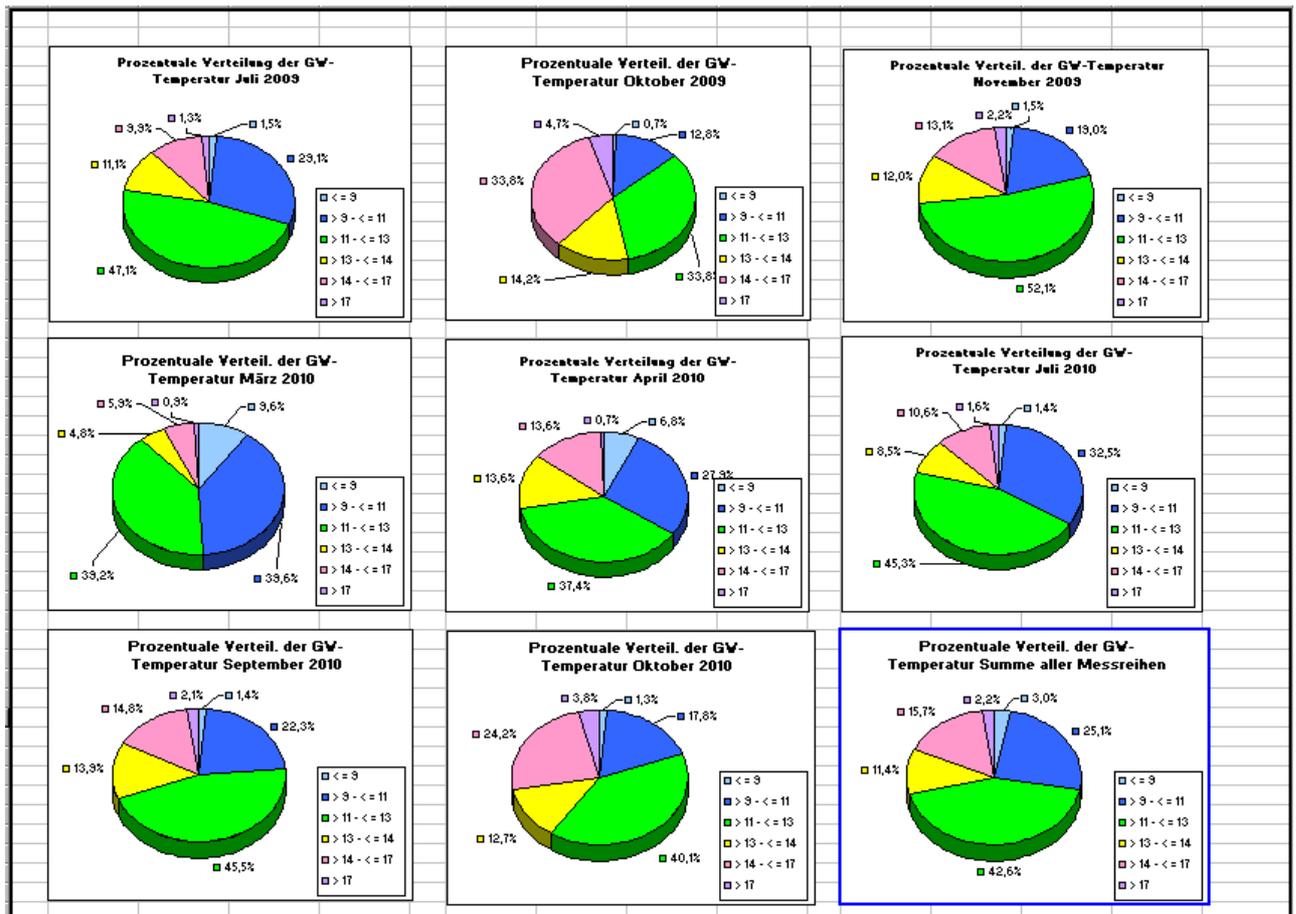


Abbildung 11

In allen Messreihen dominieren Temperaturen der Zone $> 11,0^{\circ}\text{C} \text{ -- } \leq 13,0^{\circ}\text{C}$. In den Messreihen vom März 2010 und April 2010 treten die kältesten Temperaturen mit Werten $< 9,0^{\circ}\text{C}$ deutlich hervor während die wärmsten mit Werten $> 14,0^{\circ}\text{C}$ in den Reihen der Monate Oktober und November verstärkt gemessen wurden.

2.2 Auswertung und Darstellung der Messergebnisse

In den nachfolgenden Karten ist die Grundwassertemperaturverteilung für das obere, sog. quartäre Grundwasserstockwerk im Stadtgebiet Münchens dargestellt.

Als erster Schritt zur Auswertung der ermittelten Temperaturwerte erfolgte pro Messreihe eine grafische Visualisierung mit dem EDV-Auswertungsprogramm „SUBISO“ des Untergrundplans der LH-München (Abb. 12), mit einem Isolinienabstand von 1°C bzw. 2°C. Diese fachlich unbearbeitete Kartengrundlage stellt die Basis der flächigen Temperaturanalyse des oberen Grundwasserleiters.

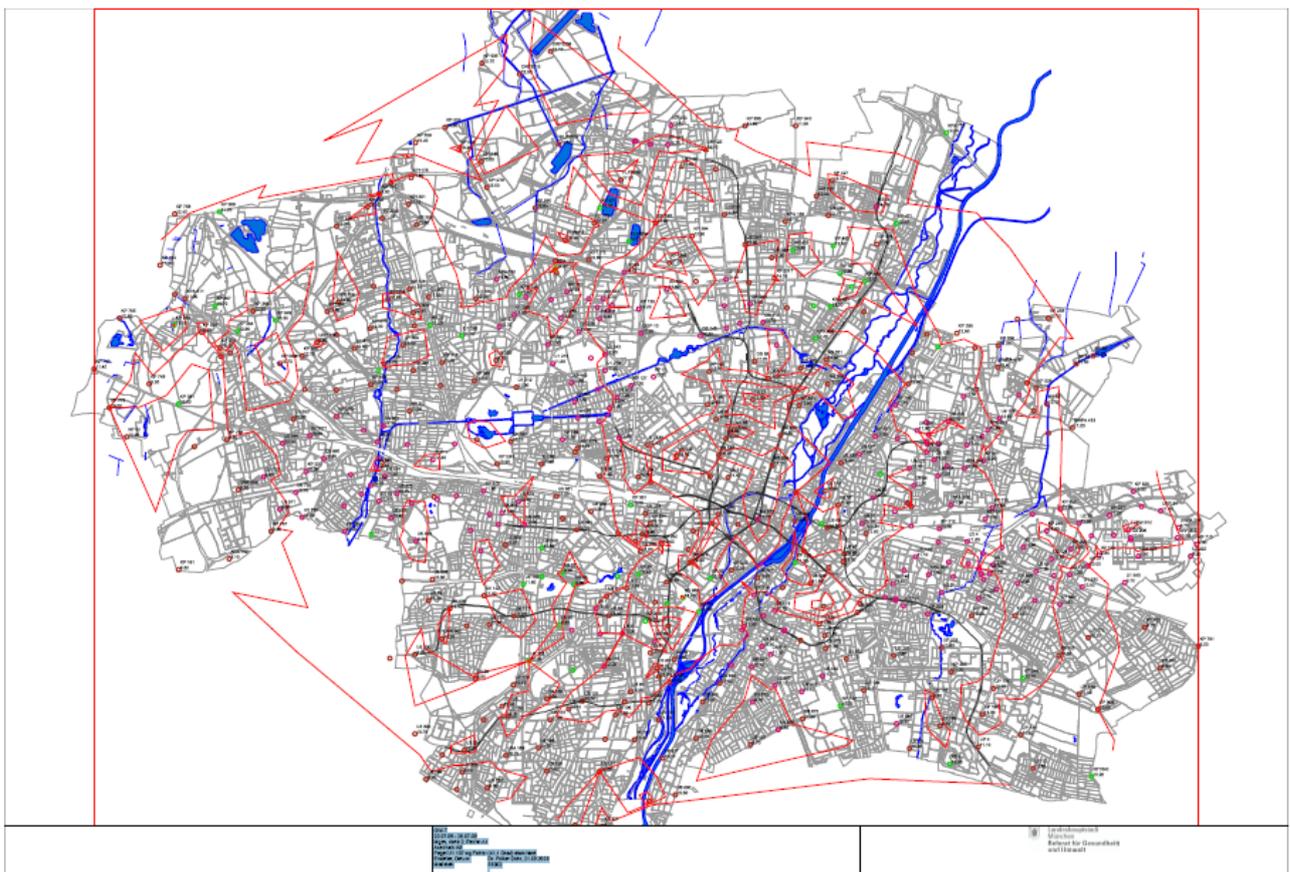


Abbildung 12 Beispiel einer edv-gestützten Isothermendarstellung

Für die weitere Interpretation der Temperaturwerte sowie zur besseren optischen Darstellung wurden die Temperaturwerte zu sog. Temperaturzonen (vgl. 2.1), mit einem den herrschenden Bedingungen angepassten Isothermenabstand von durchschnittlich 2 °C zusammengefasst.

2.2.1 Temperaturverteilung der statistische Mittelwerte

Für einen ersten Überblick dient die Auswertung der statistisch mittleren Grundwassertemperaturwerte (Abb. 13) pro Messstelle, um die generelle Temperaturverteilung im Stadtgebiet, die sich mit jahreszeitlichen, witterungsbedingten Variationen in jeder einzelnen Messreihe (s.u.) widerspiegelt, aufzuzeigen.

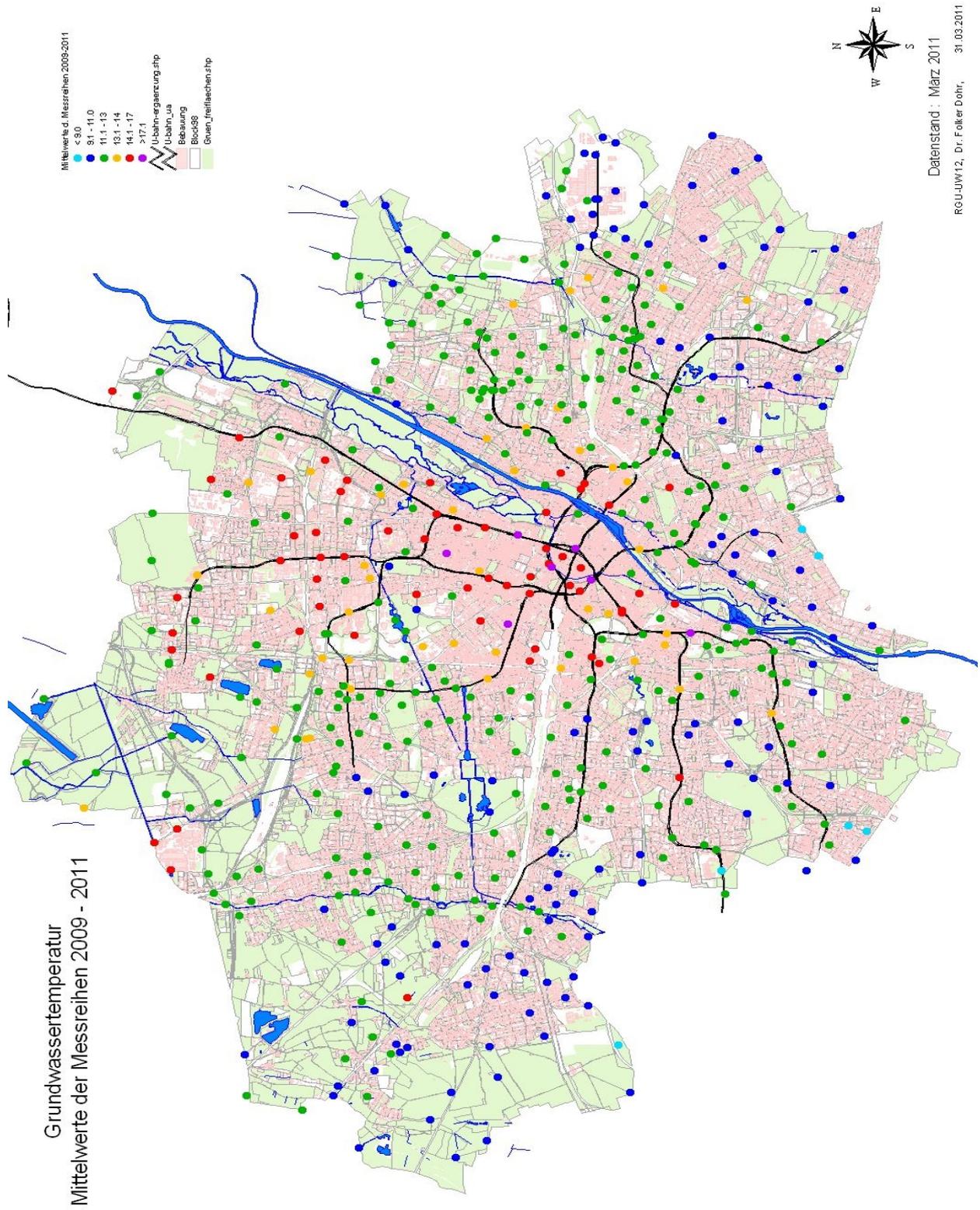


Abbildung 13

Grundwassertemperatur
Mittelwerte der Messreihen 2009 - 2011
Temperaturen < 11 Grad Celsius

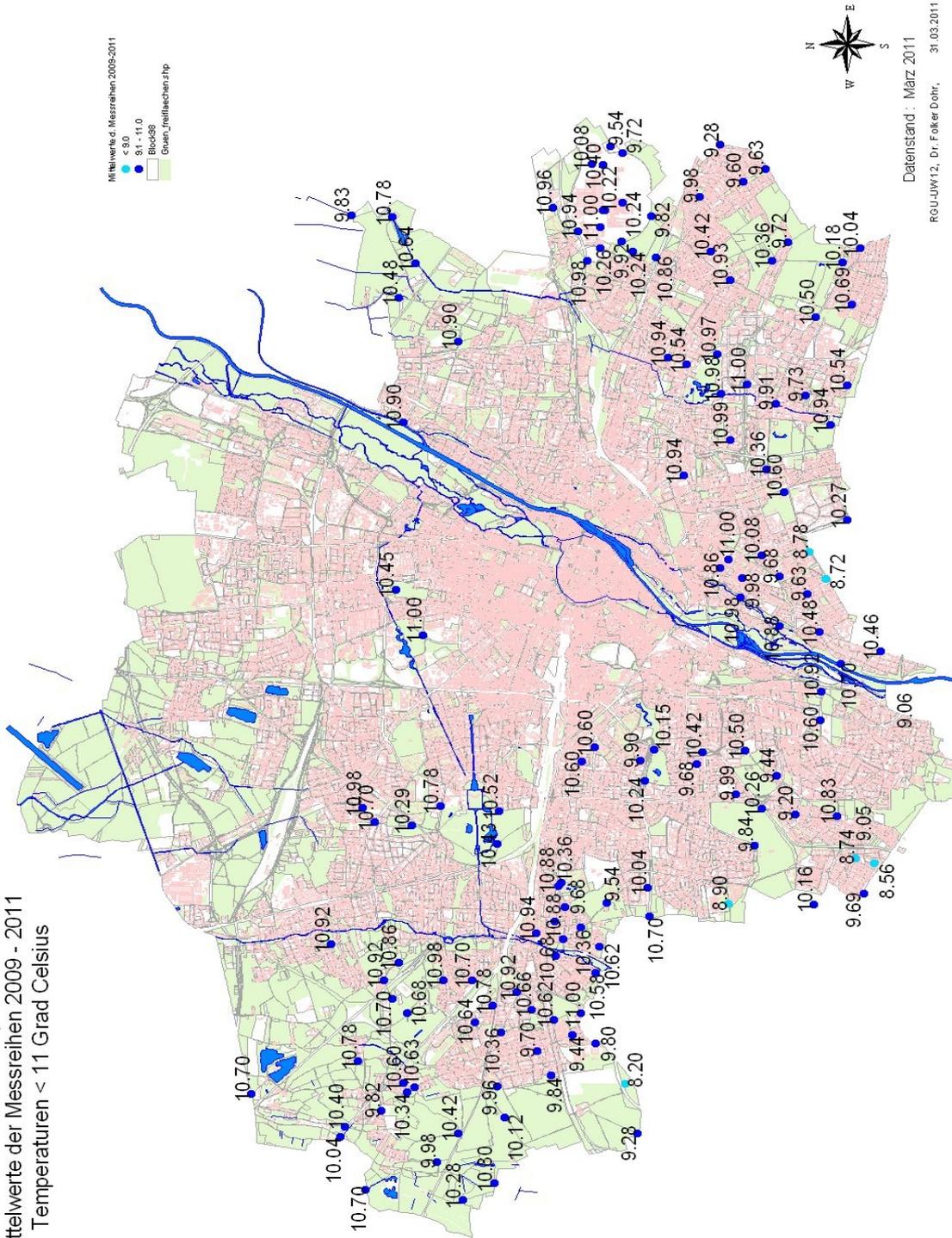
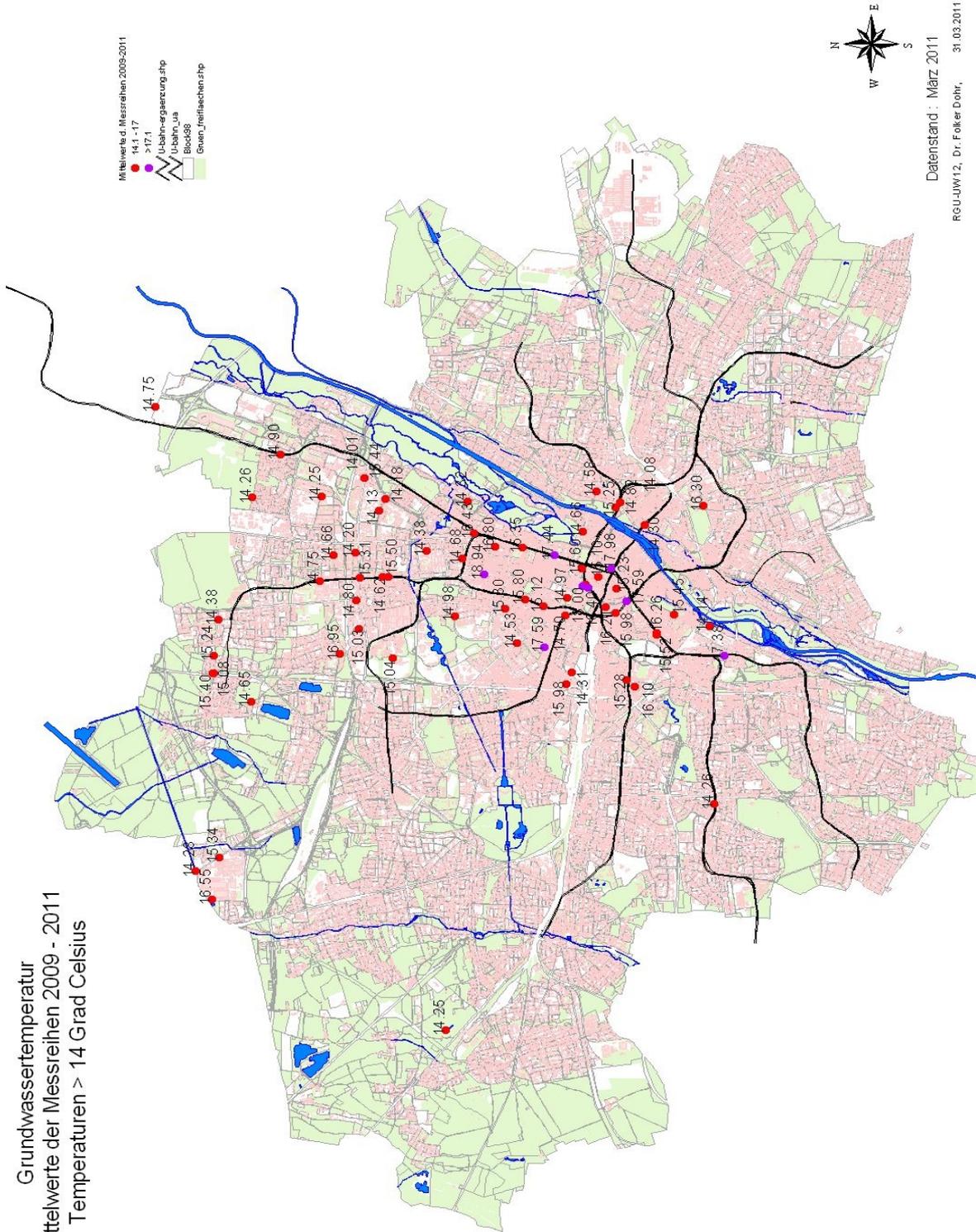


Abbildung 14

Grundwassertemperatur
Mittelwerte der Messreihen 2009 - 2011
Temperaturen > 14 Grad Celsius



Datenstand : März 2011
FGUJW12, Dr. Folker Dohr, 31.03.2011

Abbildung 15

Die Durchschnittstemperaturen schwanken zwischen $< 9,0\text{ °C}$ am südlichen Stadtrand und $> 17,1\text{ °C}$ im Stadtzentrum. Während nur wenige Messstellen ganz im Süden, unmittelbar an der Stadtgrenze zum Forstenrieder Park und Perlacher Forst die niedrigsten Mittelwerte zwischen $8,2\text{ °C}$ und $8,8\text{ °C}$ zeigen, sind in weiten Bereichen des Münchener Westens, Südens und (Süd-) Ostens Durchschnittstemperaturen von $9,0\text{ °C}$ bis $11,0\text{ °C}$ (Abb. 14) charakteristisch. Mit Annäherung an die Stadtmitte steigen die Werte an. Die Temperaturzone von $11,1\text{ °C}$ bis $13,0\text{ °C}$ umfasst ebenfalls größere Gebiete nördlich der kühleren Zone vor allem im Westen und Osten des Stadtgebietes. Zum Stadtzentrum erreichen die Grundwassertemperaturen ihre maximalen Werte zwischen $14,1\text{ °C}$ bis über $17,0\text{ °C}$ (Abb. 15).

Vor allem im südlichen, aber auch im südwestlichen und östlichen Bereich des Untersuchungsgebietes spiegeln die Werte kleiner $10,0\text{ °C}$ die noch weitgehend "natürlichen" bzw. kaum durch anthropogene Eingriffe beeinflussten Grundwassertemperaturen wider.

Mit zunehmender Bebauungs- und Versiegelungsdichte (vgl. Abb. 2) steigen diese Werte an, wobei sich mit Annäherung an die Innenstadt verschiedene Einflussfaktoren (s.u.) so aufsummieren, dass sich im Stadtzentrum die höchsten Grundwassertemperaturen mit flächig, 14 °C - 17 °C bzw. punkteell über 17 °C nachweisen lassen.

Einflüsse mit sowohl negativen als auch positiven Auswirkungen auf die Grundwassertemperatur zeigen sich auch in den lokalen bzw. punktuellen Anomalien, die innerhalb der einzelnen Temperaturzonen auftreten. Diese räumlich begrenzten Anomalien zeigen punktuelle Wärmequellen oder Kältepole an, die einerseits als Auswirkung anthropogener Nutzung deutlich von der Umgebung abweichende Temperaturen zeigen, wie z.B. die Erwärmung im Umfeld von Tunnel- und Bahnhofstiefbauwerken. Andererseits fallen beispielsweise größere innerstädtische Grünanlagen als lokal kühlere Bereiche auf.

Generell steigen also die Grundwassertemperaturen vom Stadtrand zum Zentrum hin an. Daraus ergibt sich insgesamt eine durchschnittliche Temperaturerhöhung vom südlichen Stadtrand zum Innenstadtkern von teilweise mehr als 9 °C .

Es zeigt sich, dass das Grundwasser ganz erheblich von den anthropogen bedingten Einflussfaktoren (s.u.) einer Großstadt geprägt wird. Wobei die einzelnen Temperaturzonen in Strömungsrichtung des Grundwassers verschleppt werden. Neben der Bebauungsdichte und der Untergrundversiegelung als flächig wirkende Faktoren spielen Tiefbauwerke, insbesondere die Tunnelsysteme und Bahnhöfe der U- und S-Bahnen als lineare Faktoren bei der Aufheizung des Grundwassers eine dominante Rolle. Ausgedehnte Freiflächen oder Vegetationszonen wirken dagegen als ausgleichende Faktoren entgegen der Erwärmung. Aber auch punktuelle Einleitungen von wärmerem oder kühlerem Wasser, z.B. Kühlwassereinleitungen, in den Grundwasserleiter können lokal die Grundwassertemperatur verändern.

Im Stadtgebiet wirken häufig die diversen, sowohl positiven als auch negativen Einflüsse auf engstem Raum nebeneinander. Durch Überlagerung kommt es einerseits bei gegensätzlichem Energiepotential zu einer Abschwächung der Auswirkungen, andererseits bei gleichgerichtetem zu einer Verstärkung der positiven oder negativen Abweichungen. So erklärt sich z.B. die starke Aufheizung des Grundwassers im Kerngebiet der Innenstadt, da hier u.a. die Faktoren Bebauungsdichte, Versiegelung, Tiefbauwerke gleichzeitig zum Tragen kommen.

2.2.2 Temperaturverteilung in den einzelnen Messreihen

Die grundlegende Temperaturverteilung im oberen Grundwasserhorizont kann in allen Messreihen nachvollzogen werden. Sie variiert jedoch von Messung zu Messung aufgrund der klimatischen jahreszeitlichen Bedingungen in der Ausdehnung der einzelnen Temperaturzonen. Neue anthropogene Eingriffe ins Grundwasser können sich durch lokale Veränderungen in den Darstellungen der Grundwassertemperatur anzeigen.

Die Temperaturverteilung im Grundwasser zum Zeitpunkt der einzelnen Messreihen wird exemplarisch am Beispiel der Messungen vom Juli 2009 (Abb. 16), November 2009 (Abb. 17) und März 2010 (Abb. 18) erläutert.

2.2.2.1 Juli 2009

Das von Süden aus den großen Forsten bzw. unversiegelten Flächen anströmende Grundwasser weist in den unmittelbar am südlichen Stadtrand gelegenen Pegeln die niedrigsten Temperaturen zwischen 8,1°C und 9,0°C auf.

Nach dem Einströmen in das Stadtgebiet steigen die Werte in weiten Bereichen der Stadtbezirke Aubing-Lochhausen, Blumenau, Ober- und Untermenzing, Fürstenried, Forstenried, Solln, Laim, Harlaching, Giesing, Ramersdorf-Perlach und Trudering an und werden in der Temperaturzone 9,1°C bis 11,0°C (blau) zusammengefasst. Erst ganz im Norden bei Freimann werden wieder vergleichbare Werte gemessen. Die o.g. weitgehend „natürlichen“ Grundwassertemperaturen des südlichen Stadtgebietes weisen bei dieser Messreihe Werte kleiner 10,0°C auf und liegen somit niedriger als die Mittelwerte.

Weiter nördlich - stadteinwärts - werden bereits deutlich erhöhte Grundwassertemperaturen zwischen 11,1°C und 13,0°C gemessen. Die Anzahl der Pegel, die im Juli 2009 zu dieser Temperaturzone (grün) zugerechnet wird, übertrifft mit 47,1% aller Messstellen diejenige (42,6%) mit Durchschnittswerten gleicher Größe. Die Ausdehnung dieser Zone umfasst im Juli von allen Messreihen die zweitgrößte Fläche im Stadtgebiet.

Sie wird geprägt von Bereichen mit zunehmender Verdichtung der Bebauung und Versiegelung, aber auch von verringerten Flurabständen. Große Flächen in den nördlichen Teilen der Stadtbezirke Lochhausen, Allach, Feldmoching sowie Teile von Moosach, Sendling und Hadern werden dieser Zone zugerechnet. Östlich der Isar sind dies u.a. die Stadtbezirke Bogenhausen, Englschalking, Berg am Laim, Ramersdorf, Trudering und Perlach.

Mit weiterer Annäherung an das Stadtzentrum steigen die Temperaturen auf mehr als 17°C an. Die Pegel der „roten Zone“ (14,1°C – 17,0°C) liegen zum einen vorwiegend in den stark versiegelten und dicht bebauten Bezirken Altstadt-Lehel, Isarvorstadt, Maxvorstadt, Haidhausen, Schwabing und Milbertshofen, in denen sich auch Tief- und Tunnelbauten häufen. Zum zweiten treten diverse lokal ausgebildete Wärmeinseln auf, die z.B. auf die Versickerung bzw. Wiedereinleitung erwärmten Grundwassers u.a. im Hasenberg und (nördlich) MAN zurückzuführen sind.

Die Maximalwerte größer 17,1°C (violett) werden nur punktuell, insbesondere im Umfeld von U- und S-Bahn-Bahnhöfen, festgestellt.

Wie bereits erwähnt, sind in die einzelnen Temperaturzonen kältere oder wärmere Bereiche eingelagert. Dies ist vor allem im Verlauf der unterirdischen Trassen des öffentlichen Nahverkehrs sichtbar. Viele der Bahnhofsbawerke fallen mit deutlich höheren Temperaturwerten aus der jeweiligen Zone heraus. Aber auch die erwärmten Wasser von Oberflächengewässern

beeinflussen das Grundwasser in Richtung steigender Temperaturen. So zeigen z.B. Pegel in unmittelbarer Nähe zur Isar oder zum Hachinger Bach deutlich höhere Werte als die Umgebung. Andererseits fallen Grün- bzw. Freiflächen in dicht bebauter Umgebung z.T. als Bereiche mit geringeren Temperaturen heraus.

2.2.2.2 November 2009

Auch in dieser Messreihe weisen die unmittelbar am südlichen Stadtrand gelegenen Pegel die niedrigsten Temperaturen zwischen 8,2°C und 8,9°C auf.

Gegenüber der Messreihe vom Juli 2009 verschieben sich in der Novembermessung die Temperaturzonen durch eine Abnahme der Anzahl der Pegel mit Temperaturen kleiner 11,0°C. Dadurch reduziert sich flächenmäßig die entsprechende Temperaturzone, d.h. die Zone zieht sich nicht so weit ins Stadtgebiet hinein.

Auffällig ist ein kühlerer Streifen von 8,7°C bis 10,7°C, der sich vom südlichen Stadtrand über Forstenried, Südpark und Westpark weit nach Norden in die „grüne Zone“ hineinzieht. Wenn auch nicht ganz so ausgeprägt, so war dieser Effekt bereits in der Juli-Messung erkennbar. Eine mögliche Erklärung hierfür liegt in einer im Untergrund verlaufenden, Süd - Nord verlaufende Tertiärrinne mit erhöhter horizontaler Durchlässigkeit, die es ermöglicht, dass das „natürlich temperierte“ Grundwasser weit ins Stadtgebiet strömen kann.

Demgegenüber überwiegt die „grüne Zone“ mit Temperaturen von 11,1°C bis 13,0°C bei weitem, wobei diese in über 50% aller Messstellen nachweisbar sind. Diese Zone erreicht in der Novembermessung von allen Messreihen mit Abstand die größte Verbreitung.

Eine ebenfalls deutliche Zunahme zeigen auch die Verteilung der wärmeren Bereiche mit Werten über 14,1°C. Die Ausdehnung der „roten und violetten Zonen“ reicht vom Süden von Mittersending bis in den Norden Höhe Milbertshofen – Lerchenau und in West-Ost-Ausdehnung von Mittleren Ring bis Haidhausen. Die Maximaltemperatur liegt hier punktuell bei 20,6°C in einer Messstelle Nähe Harras.

2.2.2.3 März 2010

Auch in dieser Messreihe weisen die unmittelbar am südlichen Stadtrand gelegenen bekannten Pegeln (U8 497, U8 676 in Harlaching; U3 227, U3 232, U3 255 in Fürstenried; U8 581, U8 577, U3 48, U3 101 im südlichen Isartal (Isaralluvium)) die niedrigsten Temperaturen zwischen 8,2°C und 8,9°C auf. Temperaturen < 8°C treten aber auch in Gebieten mit geringem Flurabständen (0 - 4 m), auf:

- Feldmoching im Norden
- Mooschweige im Nordwesten
- westlich d. Aubinger Lohe

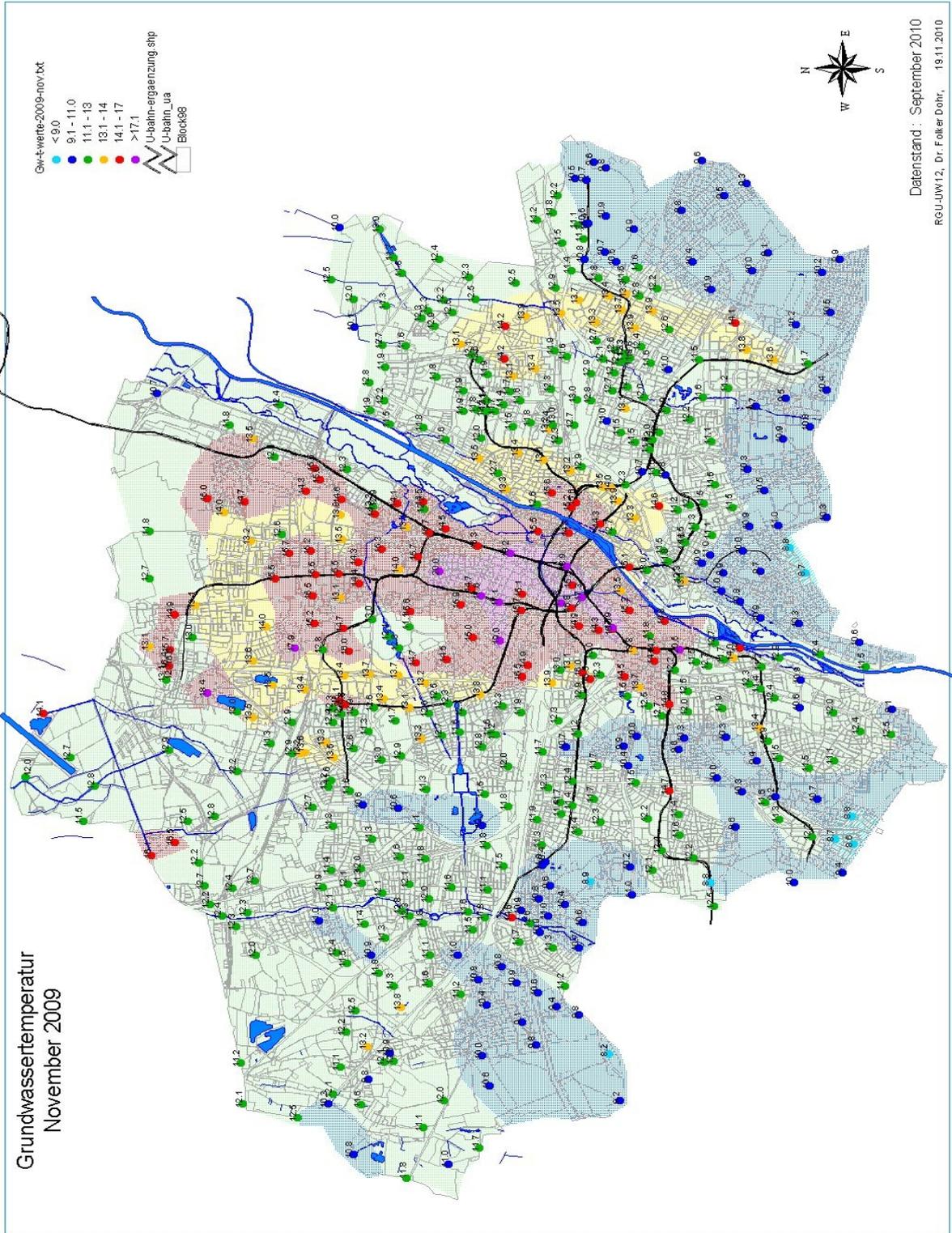


Abbildung 17

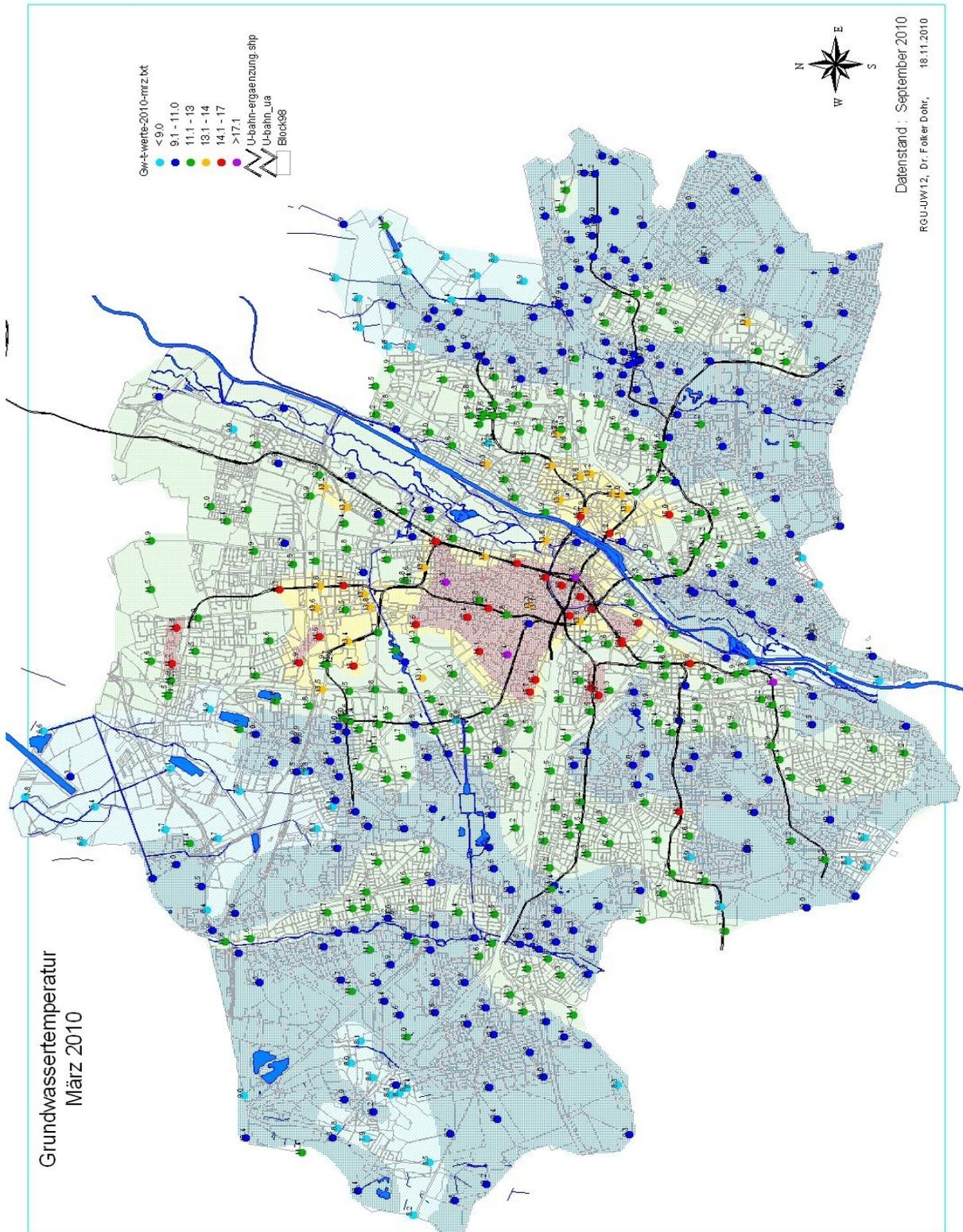


Abbildung 18

Gegenüber den Messreihen vom Juli und November 2009 treten Messwerte zwischen 9°C – 11°C verstärkt auf. Damit umfasst diese Zone „blau“ (9 °C – 11 °C) deutlich größere Flächen als in den vorangegangenen Messreihen und ist vorherrschend:

- im gesamten Westen und Nordwesten
- im ganzen Osten mit Ausnahme eines Streifens von Neuperlach – Kirchtrudering
- in weiten Bereichen des Südens

Der bereits in der Novembermessung festgestellte kühlere Streifen von 8,5°C bis 10,7°C, der sich vom südlichen Stadtrand über Forstenried, Südpark und Westpark weit nach Norden in die „grüne Zone“ hineinzieht, fällt in dieser Messreihe breiter aus. Dieser Effekt war, wenn auch nicht ganz so ausgeprägt, bereits in der Juli-Messung 2009 erkennbar.

Eine mögliche Erklärung hierfür liegt in der bereits genannten im Untergrund Süd - Nord verlaufenden Tertiärrinne mit erhöhter horizontaler Durchlässigkeit, die es ermöglicht, dass das „natürlich temperierte“ Grundwasser verstärkt ins Stadtgebiet strömen kann.

Die Größe der „grünen Zone“ mit 11,1°C bis 13,0°C ist bei dieser Messung deutlich reduziert.

Auf den eigentlichen Stadtkern links der Isar von Neuhausen im Westen bis zum Lehel im Osten, sowie von der Isarvorstadt im Süden bis auf Höhe des Scheidplatzes im Norden beschränkt sich die wärmste Zone (> 14,1 °C). Pegel in der Nähe der Untergrundbahnen, d.h. entlang der U- und S-Bahn-Bahnhöfe, treten in dieser März-Messreihe besonders deutlich als „Hotspots“ mit Werten deutlich über 14,1 °C aus dem Umfeld hervor.

Als Besonderheiten sind zwei Pegel nördlich der Dülferstraße anzusehen, in denen die Temperatur auf für diesen Bereich (normal ca. 11,0 °C bis 11,5 °C) ungewöhnlich hohe Werte von über 14 °C ansteigt. Das Grundwasser der in der Nähe liegenden oberstromigen U-Bahn-Düker wird hier energetisch für Kühlzwecke (von der Fa. BMW in Kooperation mit den Stadtwerken) genutzt und das erwärmte Grundwasser an entsprechender Stelle unterstromig der U-Bahn-Tunneltrasse wieder zurückgeführt.

Von allen bisherigen Messreihen zeigt diese Messung die im Schnitt niedrigsten Messwerte. Hier liegen fast 50% aller Messdaten unter 11°C, wobei 10% nicht einmal 9 °C erreichen. Die wärmsten Temperaturen über 14 °C konnten in lediglich 7% der Fälle nachgewiesen werden.

Basierend auf der grundlegenden Verteilung der Grundwassertemperaturen im Stadtgebiet variieren auch die weiteren Messreihen (Juli 2010, September 2010 sowie die Messreihen Oktober '09, April '10, Oktober '10 des Grundwasserüberwachungsprogramm) in Abhängigkeit von den klimatisch (jahreszeitlich) bedingten Temperaturschwankungen.

Da sich keine strukturellen Veränderungen der Temperaturverteilung der weiteren Messreihen im Vergleich zu den bisherigen (Juli 2009, November 2009 und März 2010) ergibt, sondern sich lediglich der jahreszeitliche Lufttemperaturverlauf bemerkbar macht, wird hier auf diese Messreihen nicht näher eingegangen.

2.2.3 Differenzwerte der Messstellen

Die Schwankung (Maximalwert minus Minimalwert) der Messwerte in den einzelnen Pegeln zeigt die Abbildung 19. Da diese Auswertung jedoch nur auf die wenigen Ergebnissen der durchgeführten Messreihen beruht, können hier nur ganz grob die grundlegenden geografisch - hydrogeologischen Verknüpfungen aufgezeigt werden.

In der Darstellung wurden die Temperaturschwankungen sowohl als unterschiedlich farbige Punktsymbole, als auch als violette Säulensymbole visualisiert. Das zusätzliche Säulensymbol dient zur rascheren Erfassung der größten Differenzwerte und deren Verteilung.

Die geringsten Temperaturschwankungen ($0 - 1,0$ ° K (Grad Kelvin)) zeigen die Pegel in Ramersdorf – Perlach, Fürstenried, die bebauten (versiegelten) Bereiche Sendling-Obermenzing-Pasing-Aubing.

Die größten Werte über 5 ° K wurden im Norden und Nordosten in Engelschalking, Feldmoching-Moosach sowie Lochhausen gemessen. Hier fallen vor allem die unversiegelten Bereiche mit geringen Flurabständen, die Umgebung der Oberflächengewässer (u.a. Isar, Würm) sowie z.T. die Bahnhofsbauwerke und Trassen der S- und U-Bahnen auf.

Vereinzelt wurden im Stadtgebiet gegenüber dem Umfeld punktuell höhere Differenzen zwischen Minimal- und Maximalwert nachgewiesen, die auf lokale Einflüsse zurückzuführen sind, deren Ursache aber oft nicht eruierbar sind.

Generell wird die Höhe der Differenzwerte vor allem durch die Größe des Flurabstandes und dem Grad der Versiegelung bestimmt.

Zusätzlich spielen lokale Faktoren, wie die Nähe bzw. Infiltration von Oberflächengewässer (hohe Wassertemperatur im Sommer, tiefe im Winter), Auswirkungen von Tiefbauwerke, Einleitungen von Brauchwasser ins Grundwasser etc. eine Rolle.

Allerdings muss zu Letzterem festgestellt werden, dass Einflüsse von Versickerungsbrunnen mit diesem Pegelraster der Messreihen nur zufällig erfasst werden können.

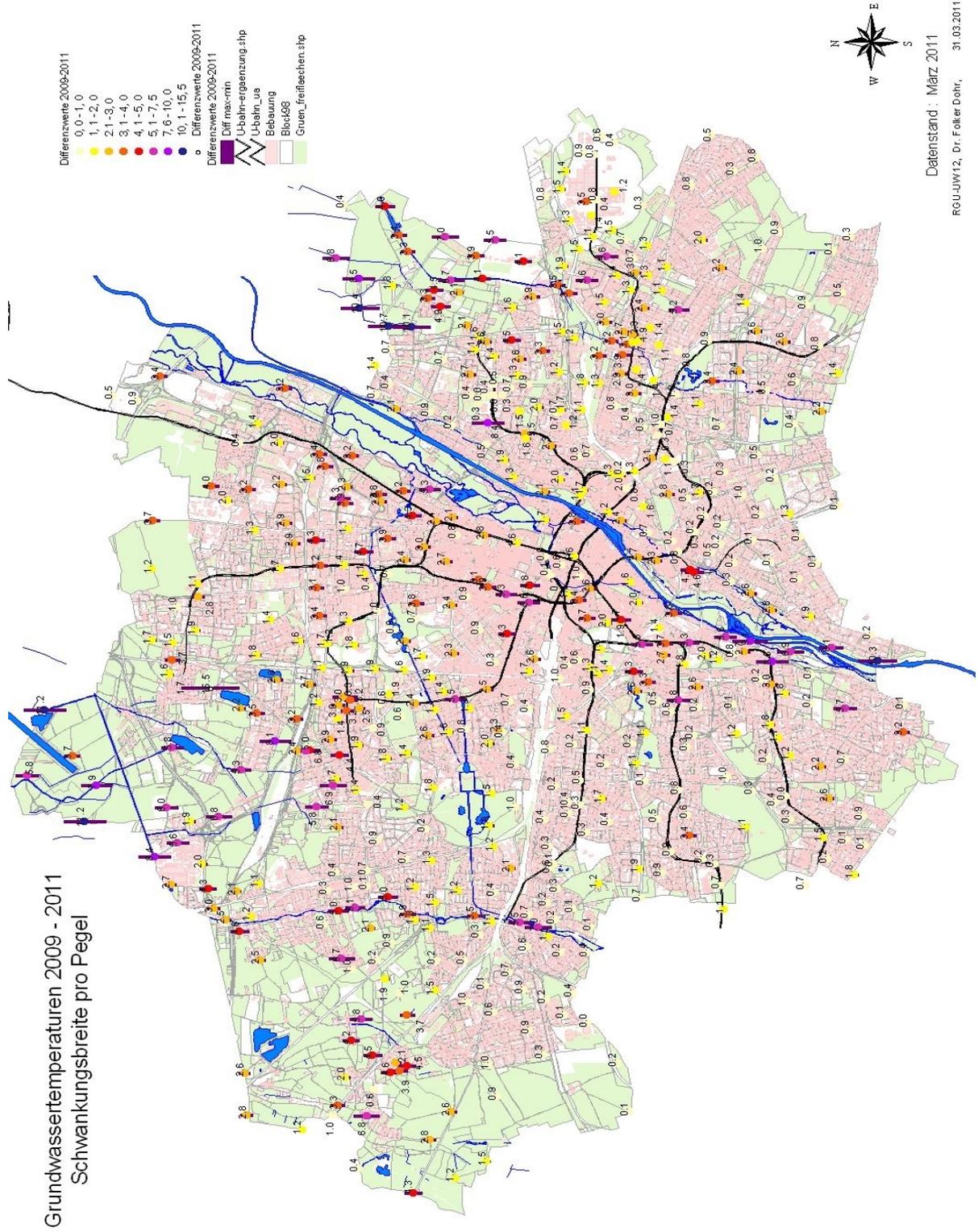
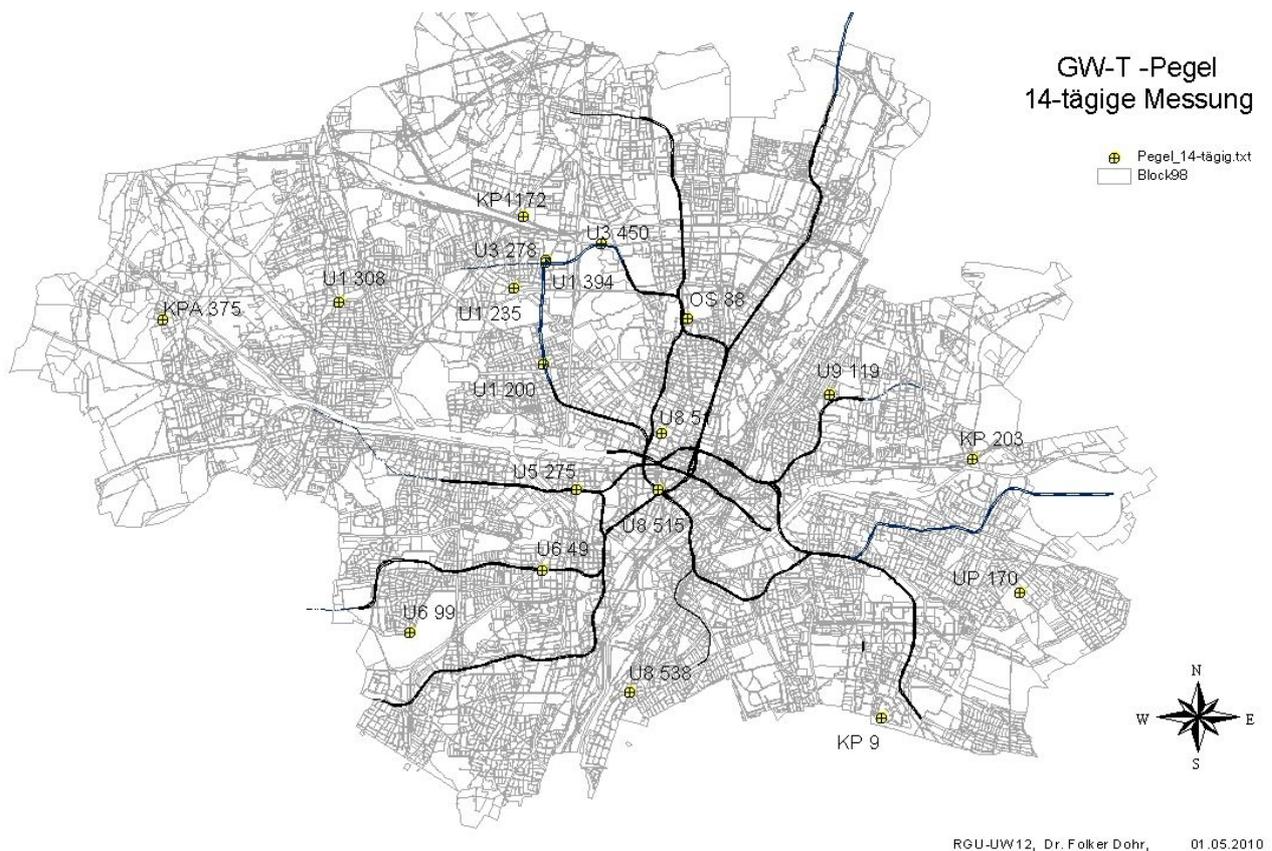


Abbildung 19

2.2.4 Grundwassertemperaturen im jahreszeitlichen Wandel

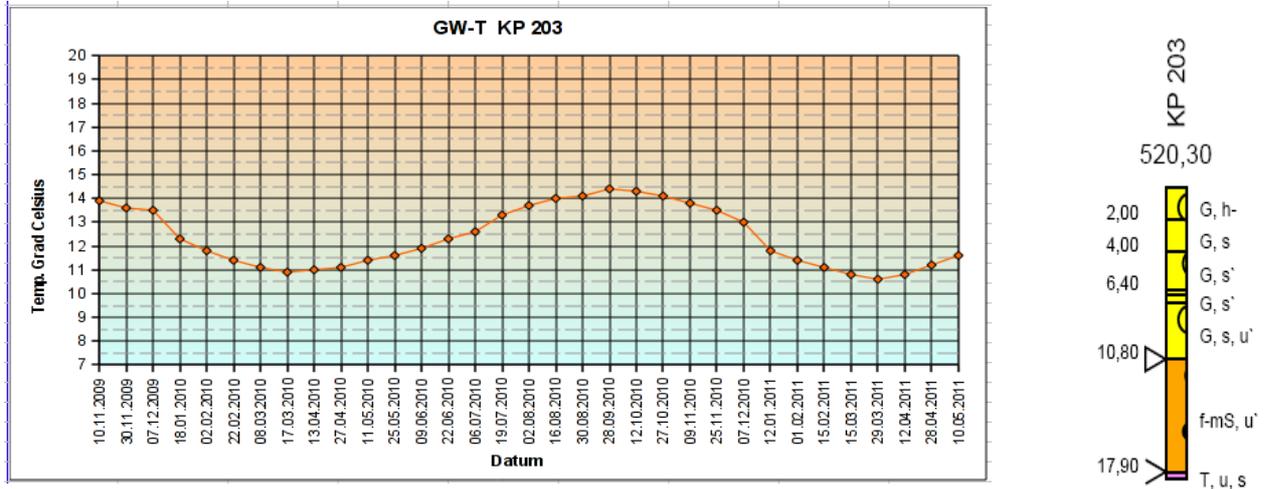
Der jahreszeitliche Verlauf der Grundwassertemperaturen wird anhand der vierzehntägig gemessenen Pegel (s. Abb. unten) erläutert.



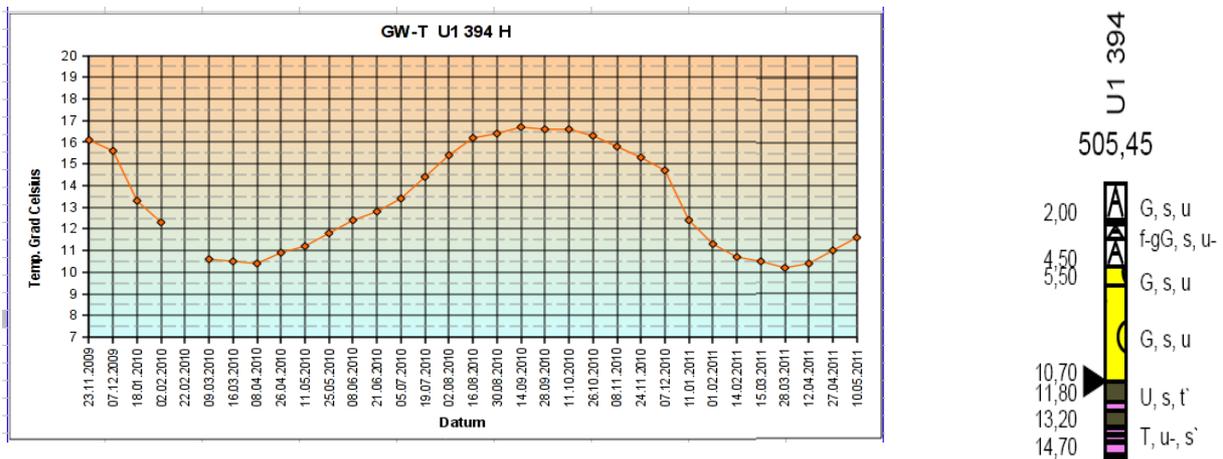
Bei den natürlichen Einflüssen auf die Grundwassertemperatur ist an erster Stelle der jahreszeitlich bedingte Witterungseinfluss zu nennen, mit Maximalwerten vorwiegend Ende September bzw. im vierten Quartal und Minimalwerten ca. im zweiten Quartal eines jeden Jahres.

Den typischen „klassischen“ Verlauf der Jahrestemperatur zeigt z.B. der Pegel KP 203 in Daglfing südlich der Rennbahn. Die Umgebung des Pegels ist bei geringen Flurabständen weitgehend unbebaut und unversiegelt: das Maximum wurde am 28.09.2010 mit 14,4 °C und die Minima wurden am 17.03.2010 bzw. am 29.03.2011 mit 10,9 °C bzw. 10,3 °C erreicht.

Bei diesem Pegel liegen die gemessenen Werte im quartären Kies zwischen 4,8 m bis 5,3 m unter GOK (Geländeoberkante).

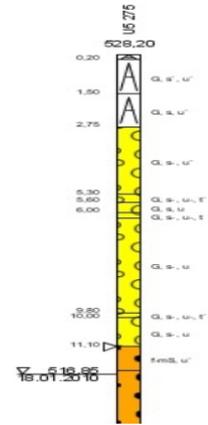
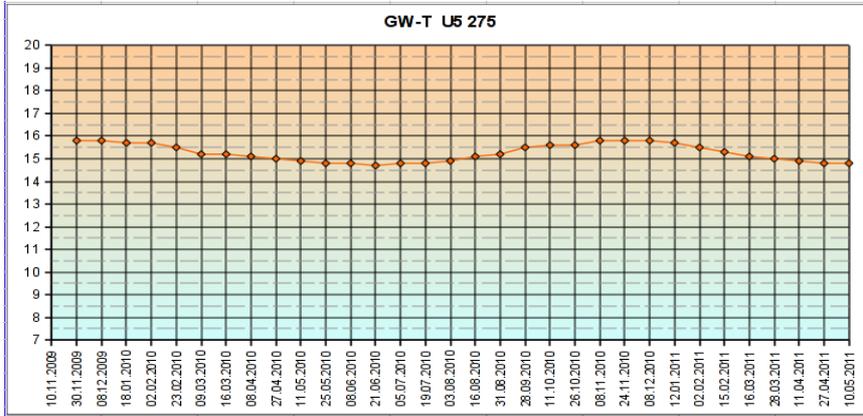


Ebenfalls ist der ausgeprägte Jahrgang im Pegel U1 394 mit Flurabständen zwischen 4,5 m und 5,3 m im quartären Kies ersichtlich. Dieser Pegel an der Ecke Hanauer- Pelkovenstraße am U-Bahnhof weist deutlich stärkere Schwankung mit Maximum 16,7 °C (14.09.2010) und Minima 10,4°C bzw. 10,3 °C am 08.04.2010 bzw. 28.03.2011 auf.

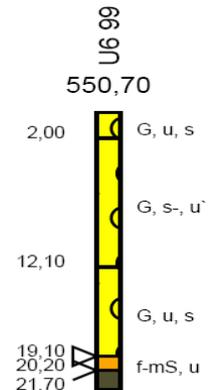
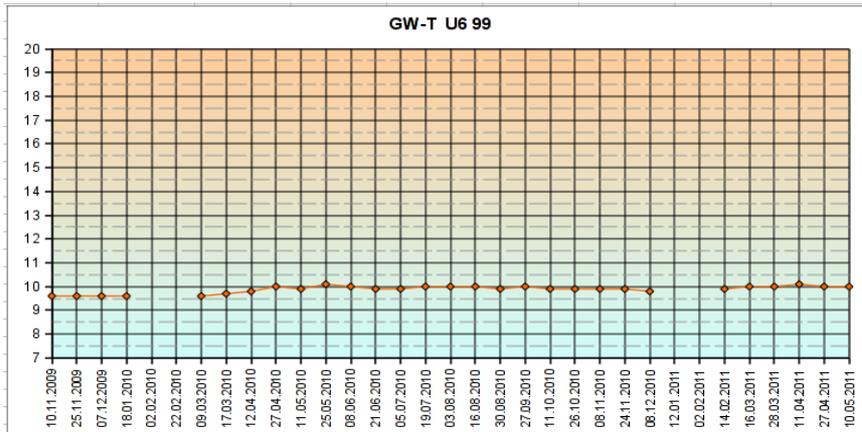


Bei den Pegeln U5 275, U6 99 und U8 538 nivelliert sich der typische Jahrgang der Grundwassertemperatur mit größerem Fluranbstand. Minima und Maxima sind bei diesen Messungen kaum mehr ausgeprägt.

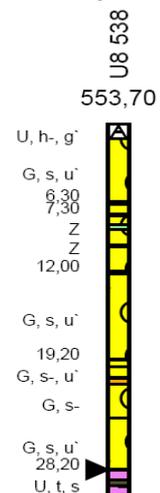
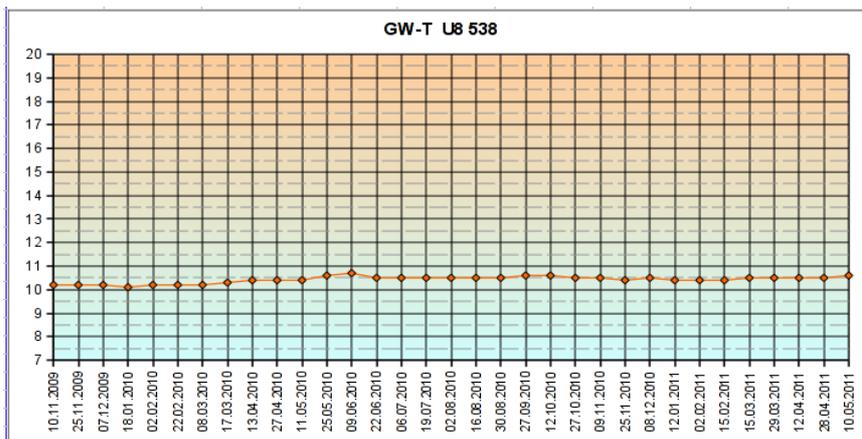
In einer Tiefe von 12,5 m bis 13,5 m erfolgten die Messungen im Pegel U5 275 am Georg-Freundorfer Platz im Bereich dichter Bebauung mit großen Grün- bzw. Freiflächen. Das Maximum dieser Messungen lag bei 15,8 °C jeweils im November 2009 und 2010 und die Minima bei 14,7 °C im Juni 2010 und 14,8 °C im April/Mai 2011.



Am Rand des Waldfriedhofes ist der Pegel U6 99 gelegen. Die Messwerte entstammen einer Tiefe von 14,5 m bis 15,5 m aus dem quartären Kies. Dieser Pegel zeigt besonders geringe jahreszeitlich Schwankung von 9,6 °C Ende 2009 und 10 °C ab April 2010.



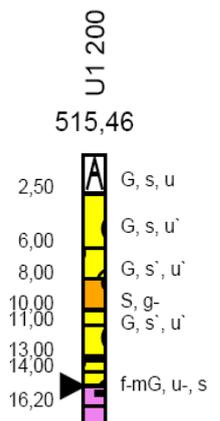
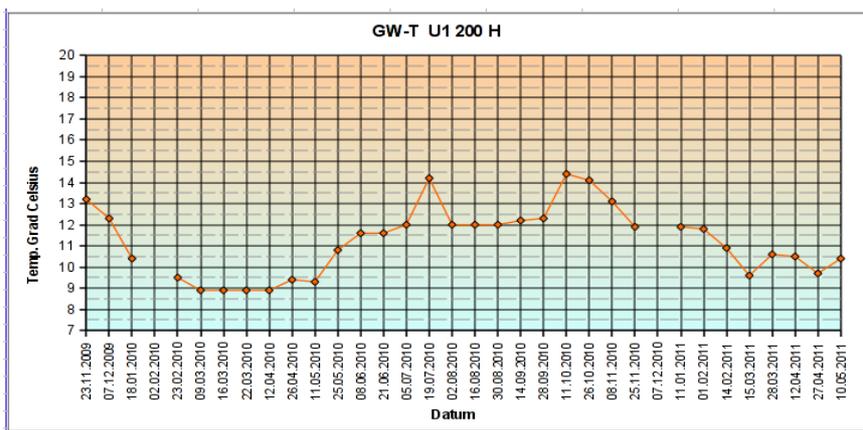
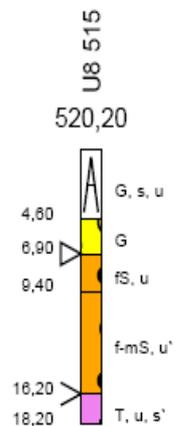
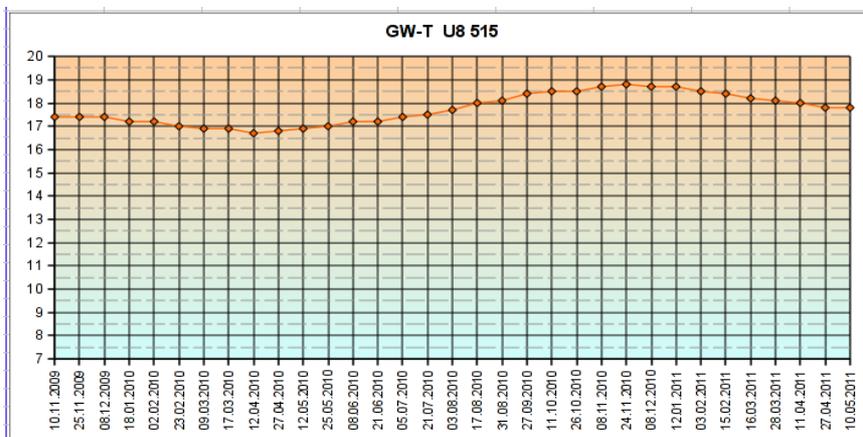
In einer Tiefe von ca. 28 m liegt der Messbereich des Pegels U8 538 im quartären Kies, der von Nagelfluhbänken (verfestigter Kies, Gestein) überlagert wird. Der Standort des Pegels liegt



in der Grünwalder Straße in Harlaching.

Bei anderen Messstellen wird der jahreszeitliche Gang durch äußere Einflüsse verändert, lässt sich jedoch z.T. noch erkennen. Hierzu zählen u.a. die Pegel U8 515 und U1 200.

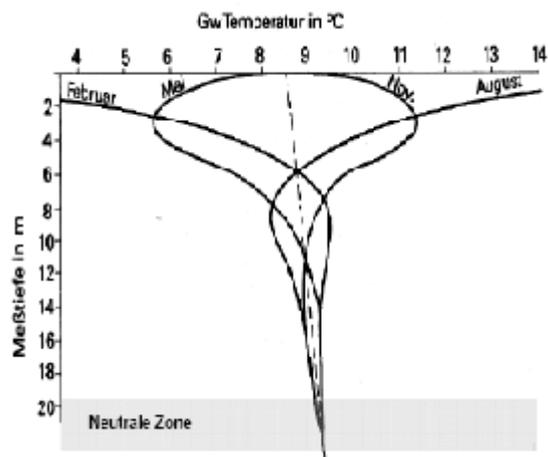
Die Grundwassertemperaturen im Pegel U8 515, der im stark versiegelten Umfeld in unmittelbarer Nähe zum U-Bahnhof Sendlinger-Tor-Platz liegt, sind deutlich erhöht. Zwar ist auch in dieser Messstelle die jahreszeitliche Schwankung erkennbar, jedoch spiegeln sowohl das Temperaturmaximum mit 18,8 °C am 24.11.2010, als auch das Minimum mit 16,7 °C am 12.04.2010 den erwärmenden Einfluss der Untergrundbauwerke wider. Die Messtiefe liegt in diesem Pegel im tertiären Sand bei 7,5 m bis 8,5 m.



Der Pegel U1 200 liegt im Gehwegbereich an der Ecke Waisenhaus – Malsenstraße. Die Messtiefe beträgt 6,5 m bis 7,5 m. Deutlich treten hier die anthropogenen Einflüsse hervor, deren Ursache bisher noch nicht eindeutig geklärt ist.

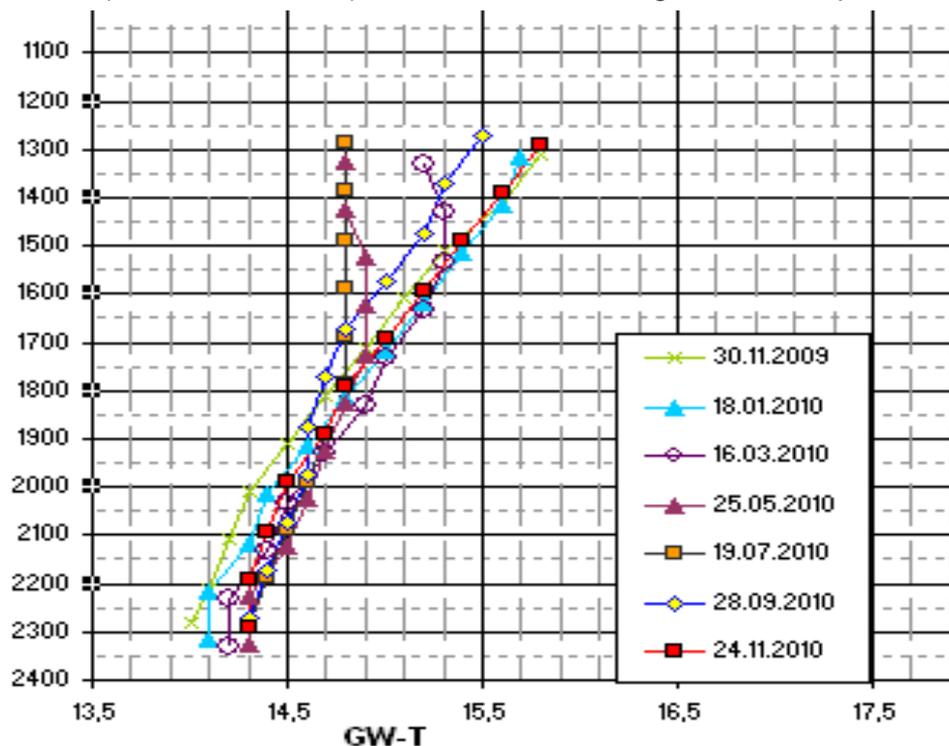
2.2.5 Vertikaler Temperaturverlauf

Dem dargestellten idealistischen natürlichen Temperaturverlauf einer Messstelle (s.u.) ist zu entnehmen, dass die Temperaturminima im Februar und die Maxima im August liegen. Mit der Tiefe erfolgt eine zunehmende Dämpfung und Phasenverschiebung des durch die Aerationzone beeinflussten Temperaturganges (LAWA, 1987). Allerdings zeigt sich dieser

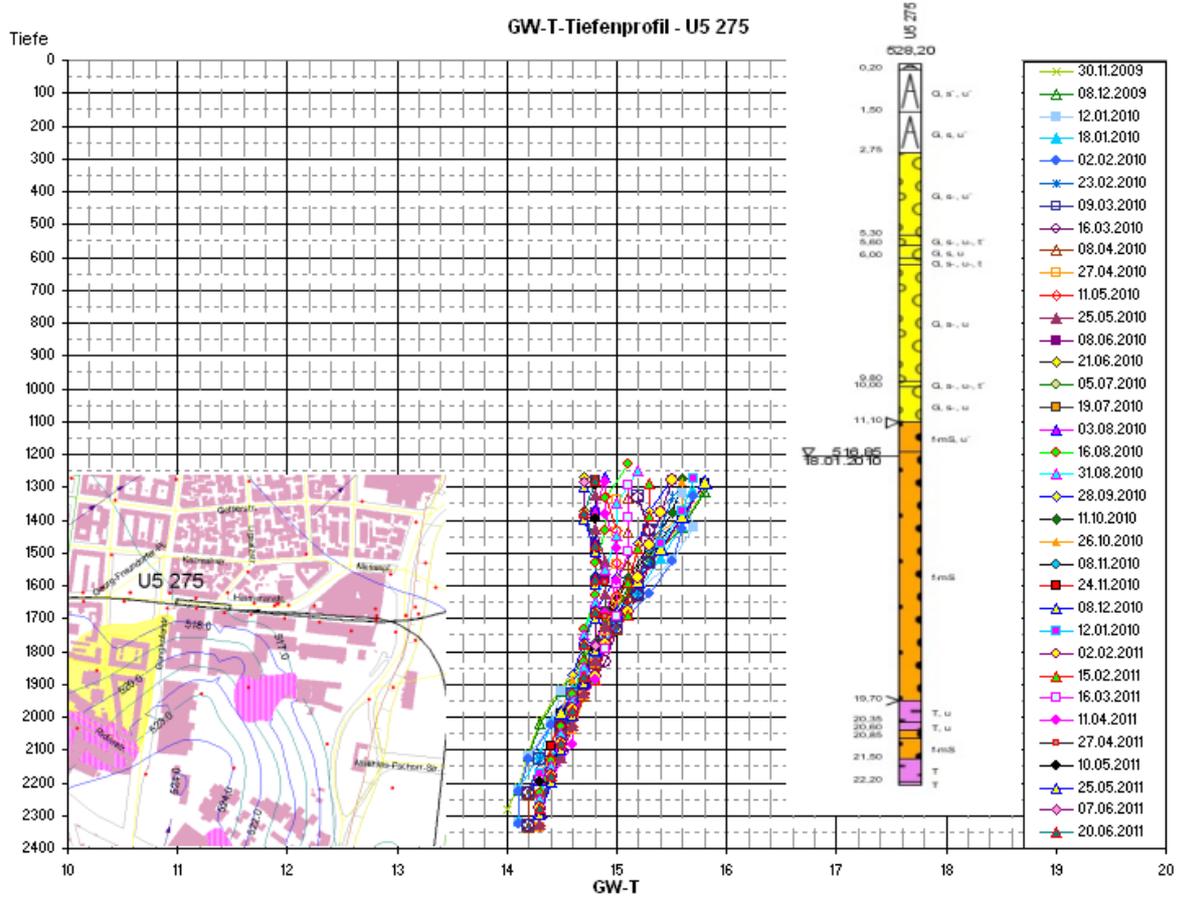


theoretische Idealverlauf im bebauten Stadtgebiet eher selten in der Praxis.

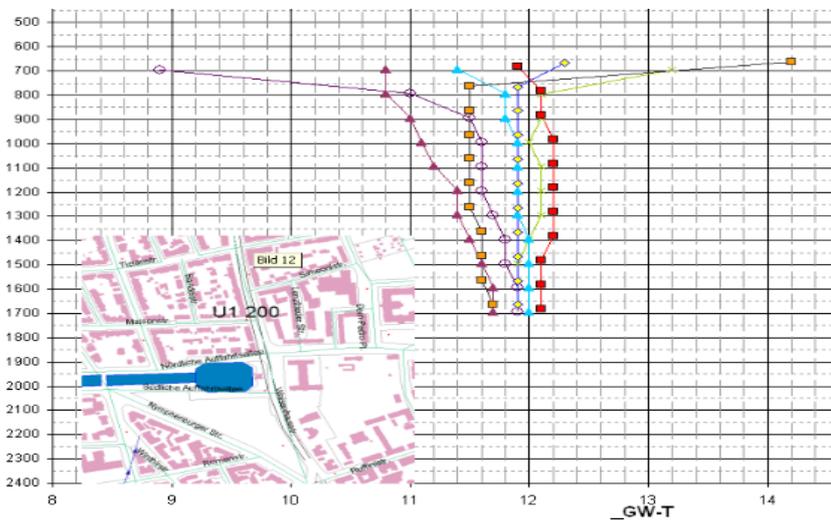
Die entsprechenden jahreszeitlichen Messungen des Pegels U5 275 mit $\Delta h = 1\text{ m}$ zeigen die Temperaturschwankungen im oberen Grundwasserbereich von 13,00 m ($T = \text{ca. } 14,8^\circ\text{C}$ bis $15,8^\circ\text{C}$) abnehmend bis ca. 18 m ($= 14,6^\circ\text{C} - 14,9^\circ\text{C}$). Unterhalb 18 m nehmen die Werte bis ca. 22m ($14,1^\circ\text{C} - 14,4^\circ\text{C}$) weiter ab. Danach stagniert die Temperaturabnahme bei



ca. 14,2 °C . Tiefer gelegene Messwerte würden, bedingt durch die geothermische Tiefenstufe, wieder zunehmen. Auch alle dazwischen liegenden und weiteren Messungen (s.u.) passen sich diesem Verlauf an.

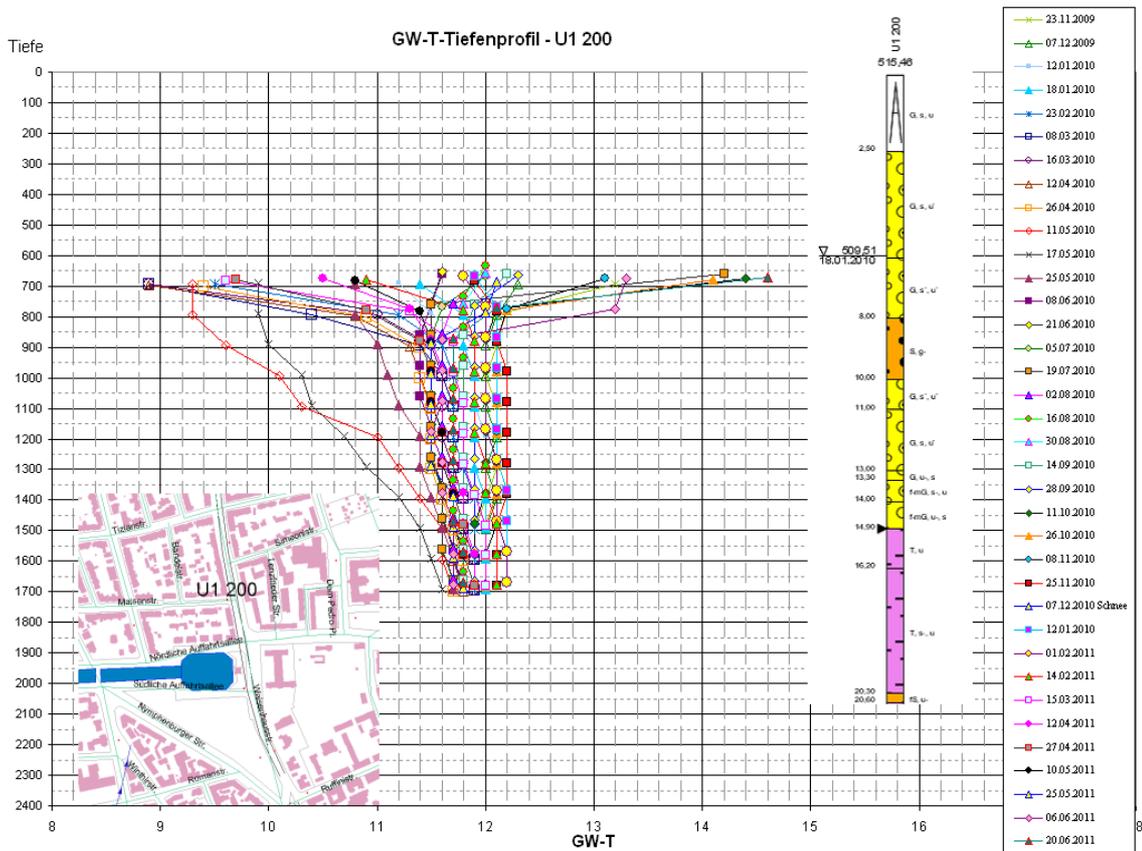


Der Pegel U1 200 (s.u.) weist im oberen Grundwasserbereich bei ca. 7 m Flurabstand eine stärkere Schwankung zwischen 8,9 °C und 14,2 °C auf.

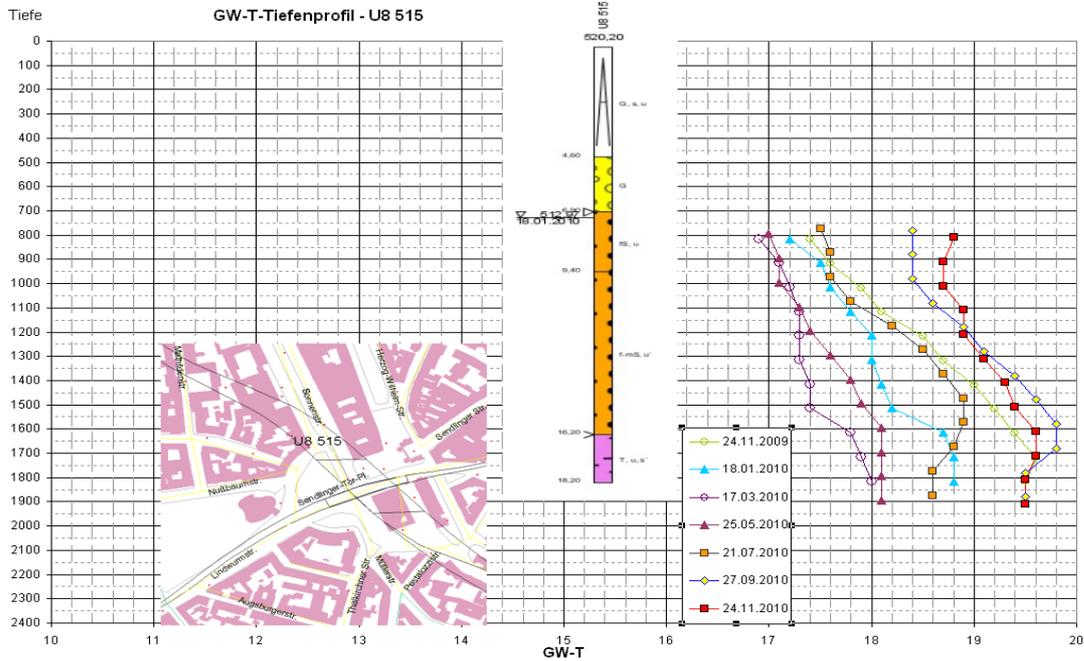


Bereits in 8 m Tiefe reduziert sich die Spreizung auf 10,8 °C und 12,1 °C. Mit zunehmender Tiefe wird der Schwankungsbereich immer geringer bis auf 11,7 °C und 12,1 °C bei 17 m Endteufe.

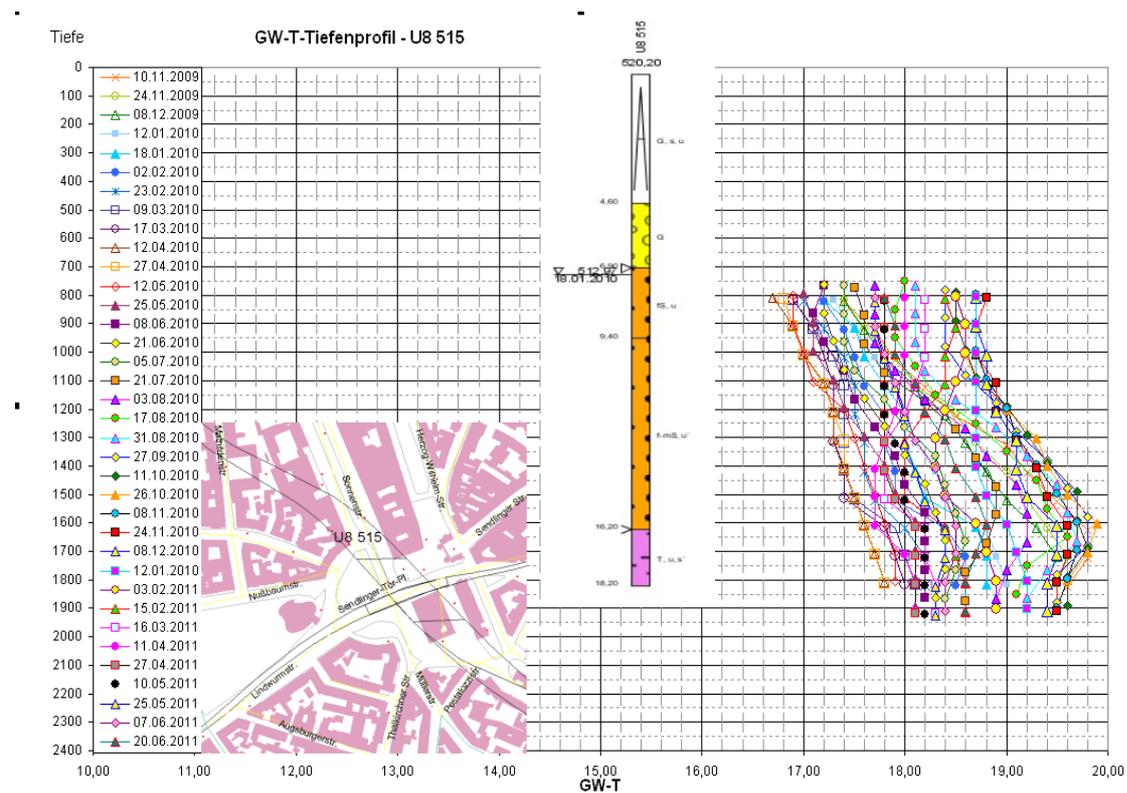
Deutliche Abweichungen vom generellen Verlauf aller anderen Messreihen zwischen November 2009 und Juni 2011 dieses Pegels treten am 11.05.2010 und 17.05.2010 (s.u.) auf.



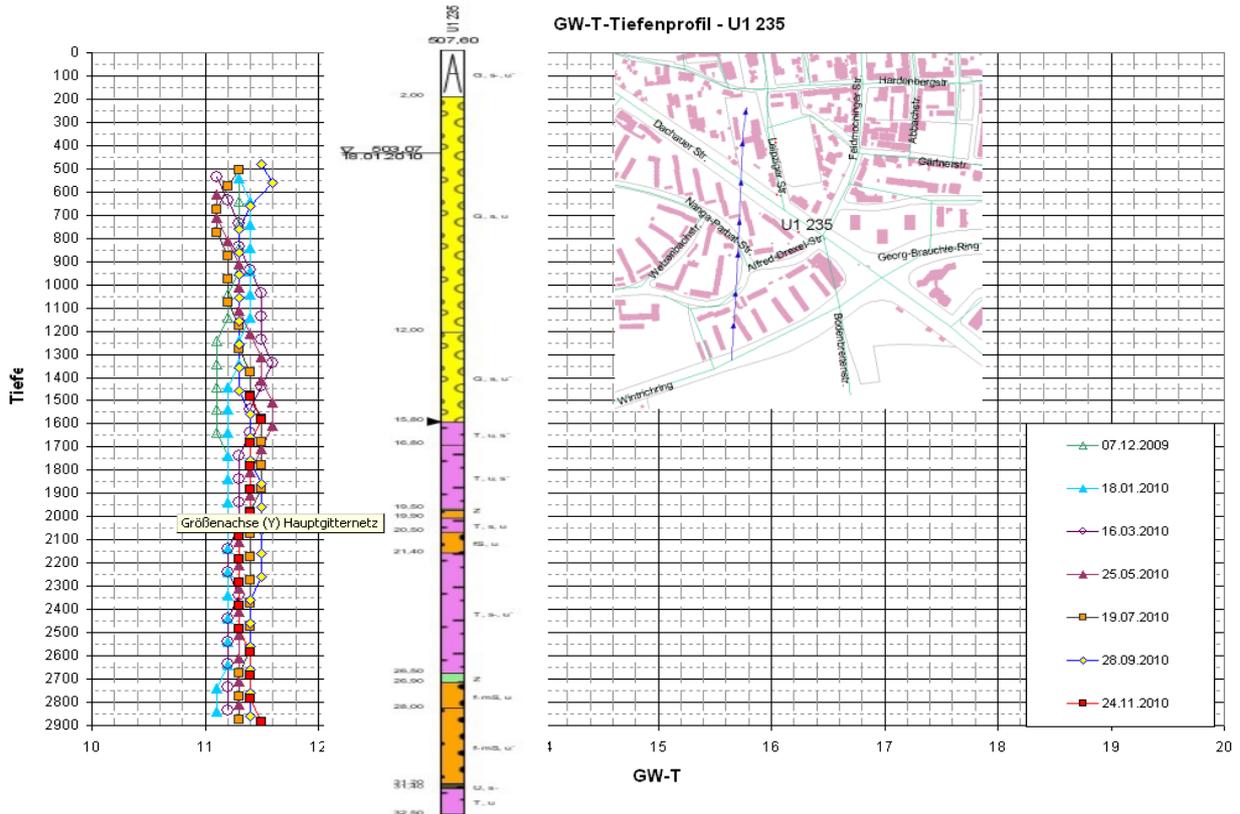
Anthropogen stark beeinflusst ist der Pegel U8 515 am Sendlinger Tor Platz. Abgesehen von einem generell höheren Temperaturniveau steigen in allen Messreihen die Werte von 16,9 °C bzw. 18,8 °C bei 8 m Flurabstand bis in eine Tiefe von 15 m – 17 m auf die jeweiligen Maximalwerte von 17,8 °C bis 19,8 °C an. Mit zunehmender Tiefe verharren die Werte in den Frühjahrs-messungen (Januar - Mai) auf diesem Niveau oder steigen nur noch leicht an, während die Temperaturen der Sommermessreihen auf 18,6 °C bis 19,5 °C in 19 m Tiefe abnehmen.



Die Ergebnisse der weiteren Messreihen verhalten sich analog. Der größte Einflussbereich liegt bei diesem Pegel in einer Tiefe von 15 m bis 17 m.

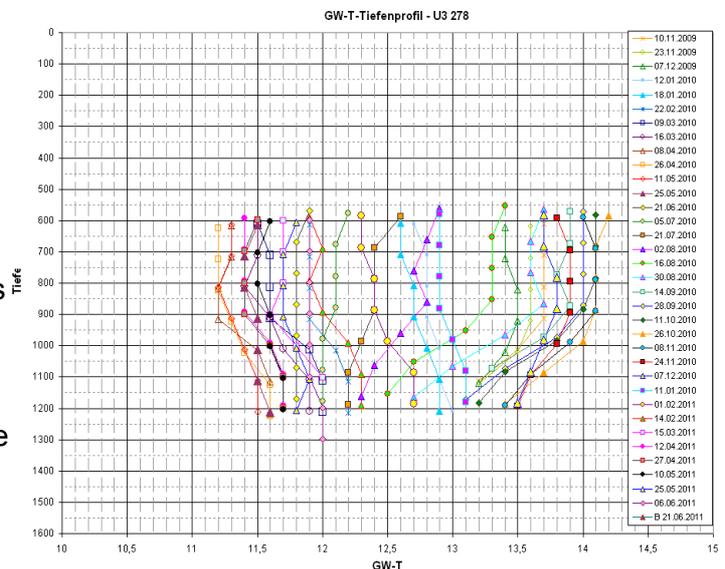


Ganz anders verhält sich der Pegel U1 235 in der Dachauer Straße. Die Temperaturwerte variieren hier ab einer Tiefe von 5 m bis 29 m ohne sichtbare Tendenz zwischen 11,0 °C und 11,6 °C. Sowohl eine Abnahme der Sommertemperaturen im oberen Grundwasserbereich als auch eine Zunahme der Messwerte unterhalb von ca. 22 m sind kaum erkennbar.

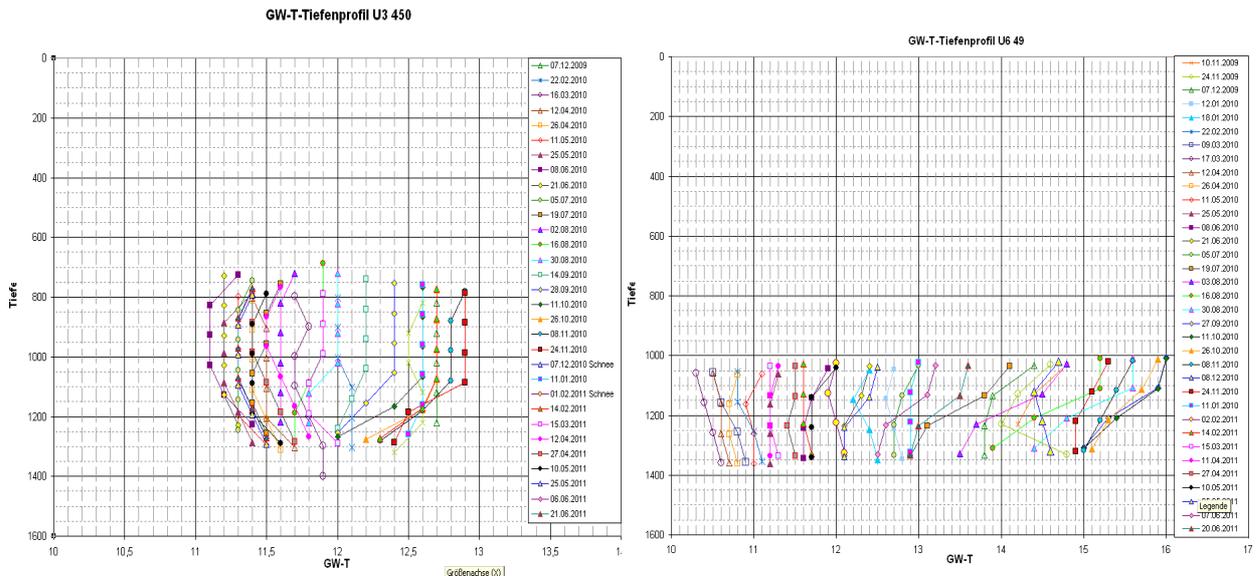


Auch im oberflächennahen Bereich zeigen die Grundwassertemperaturen in den Pegeln unterschiedliches Verhalten.

So lässt sich im Pegel U3 278 der jahreszeitlich bedingte Verlauf noch nachvollziehen. Die Werte der Herbstmessungen (September-November) nehmen um etwa 0,5 °C bis 1,0 °C ab, während die Frühjahrswerte eher zunehmen. Die Schwankungsbreite beträgt in 6 m Tiefe 3 °C und 2°C in 12 m Tiefe .



Zwei weitere Beispiele mit abweichendem vertikalen Verlauf und unterschiedlicher Schwankungsbreite in den Pegeln.



Je tiefer in einem mächtigen Grundwasserleiter der Messpunkt oder je tiefer das Grundwasserstockwerk unter der Geländeoberkante liegt, desto später treten diese Temperaturmaxima und -minima im Vergleich zu denen der Lufttemperatur auf. Außerdem nimmt die Größe der Temperaturschwankungen mit zunehmender Tiefe ab.

Ein Wechsel in der Korngröße und damit in der Durchlässigkeit des Leiters wirkt sich zusätzlich auf die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen aus. Gegenüber einem kiesigen Grundwasserhorizont dämpft ein sandiger Aquifer die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen im Grundwasser deutlich.

3. Einflussfaktoren auf die Grundwassertemperatur

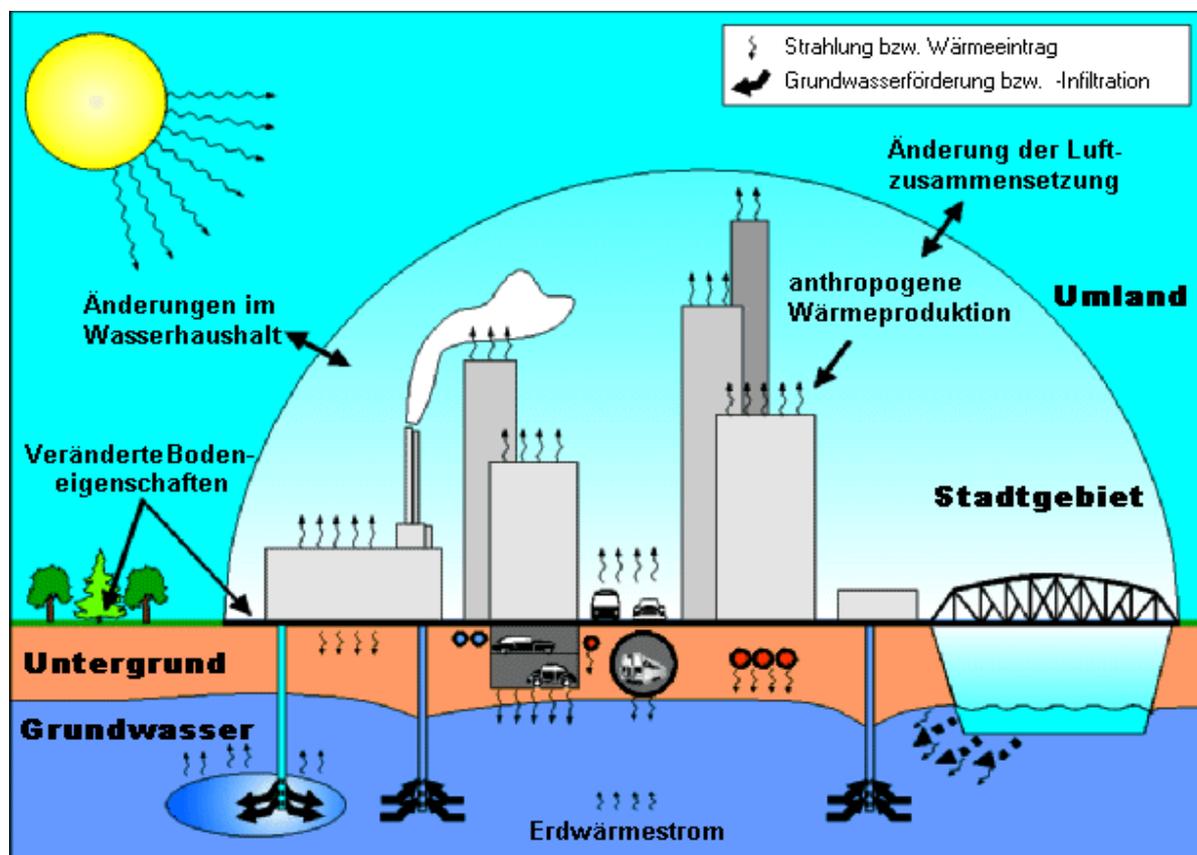
Direkte Einflüsse auf die Grundwassertemperatur sind Wärmeeintrag und Wärmeentzug. So erhöhen anthropogene Veränderungen in Siedlungsgebieten zusammen mit der dort vorhandenen erhöhten Aufnahme von Strahlungsenergie die Grundwassertemperatur oft um mehrere Grad im Vergleich zu unbesiedelten Flächen [LAWA 1987].

Bereits in den Analysen der früheren Grundwassertemperaturmessungen von 1989 („Die Grundwassertemperatur im oberflächennahen Grundwasser des Stadtgebietes München“-Dissertation) und 1999 („Grundwasser-Überwachungssystem der Landeshauptstadt München“-Abschlussbericht) wurden die grundlegende Grundwassertemperaturverteilung und die Einflussfaktoren skizziert. Auch die neuesten Ergebnisse von 2009-2010 bestätigen bzw. untermauern die bisherigen allgemeinen Erkenntnisse.

Die Messungen zeigen einen deutlichen Anstieg der Grundwassertemperaturen bei Annäherung Richtung Stadtmitte. Im südlichen, aber auch nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes liegen noch weitgehend unbeeinflusste Grundwassertemperaturen vor. Im Süden der

Stadt, in den Forsten und den angrenzenden Bereichen spiegeln diese Temperaturen zwischen 8 °C und 9 °C die "natürlichen" Grundwassertemperaturverhältnisse wider. Im allgemeinen fallen die jährlichen Temperaturschwankungen bei kleinen (vorwiegend im Norden der Stadt) und mittleren Flurabständen rascher, deutlicher und stärker aus, als bei großen (südlicher Stadtbereich) Flurabständen.

Mit zunehmender Bebauungs- und Versiegelungsdichte steigen die Werte an, wobei sich zur Innenstadt hin die diversen Einflussfaktoren aufsummieren, sodass sich im Stadtzentrum generell die höchsten Grundwassertemperaturen mit - flächenhaft - 14 °C - 17 °C bzw. punkteil > 17 °C nachweisen lassen.



Einflüsse auf die Grundwassertemperaturen

(Grafik: Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin 1999)

Neben den flächig wirkenden Temperaturerhöhungen stehen punktuelle, lokal eng begrenzte Einflüsse. So gehen die absoluten Temperaturmaxima auf solche lokalen oder punktuellen Wärmequellen zurück. Weiter fallen lokale kühlere Bereiche in wärmerer Umgebung auf.

3.1 Natürliche Einflussfaktoren

Die natürlichen Grundwassertemperaturverhältnisse entsprechen im Allgemeinen denen der Schichten des Untergrundes. Bei diesen natürlichen Einflüssen auf die Grundwassertemperatur ist einmal der jahreszeitlich bedingte Witterungseinfluss zu nennen, der im oberen Grundwasserstockwerk einen "sinusförmigen" Verlauf der Temperaturganglinien mit je einem Maximum und einem Minimum im Jahr bedingt. Das Temperaturmaximum tritt dabei vorwiegend im vierten Quartal, das Temperaturminimum im zweiten Quartal eines Jahres auf.

Zum Zweiten wird die Grundwassertemperatur durch den aus der Tiefe resultierenden Erdwärmestrom beeinflusst, der mit zunehmender Tiefe den Witterungseinfluss überprägt. Ab einer Tiefe von 15 m bis 25 m dominiert der Einfluss aus Erdwärme. Je größer der Flurabstand, d.h. je tiefer in einem mächtigen Grundwasserleiter der Messpunkt oder je tiefer das Grundwasserstockwerk unter der Geländeoberkante liegt, desto stärker verschieben sich die Zeitpunkte der Temperaturmaxima und -minima im Vergleich zu denen der Lufttemperatur, d.h. sie treten später im Jahr auf. Zudem nimmt die Größe der Temperaturschwankungen mit zunehmender Tiefe ab.

Ebenso wirkt sich ein Wechsel in der Korngröße und damit in der Durchlässigkeit des Leiters auf die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen aus. Gegenüber einem kiesigen Grundwasserhorizont dämpft ein sandiger Aquifer die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen im Grundwasser deutlich.

Eine spezielle „natürliche“ Beeinflussung der Grundwassertemperaturen ist durch die Infiltration von Oberflächenwasser ins Grundwasser gegeben, die im Sommer eine positive und im Winter eine negative Temperaturänderung im Bereich der Infiltrationszone bewirkt. Dies zeigt sich deutlich am Beispiel der Isar vom südlichen Stadtrand bis Untergiesing / Au.

3.2 Anthropogene Einflussfaktoren

Die Grundwassertemperatur im Ballungsraum von München ist bzw. wird vor allem durch von Menschen verursachte vielfältige Einflüsse tiefgreifend verändert. Als bedeutende, flächig wirkende anthropogene Faktoren sind vor allem die Bebauung und die Versiegelung des Untergrundes zu nennen.

Die zunehmende Versiegelung und Verdichtung der Bebauung, einhergehend mit einer Reduzierung der Frei- und Grünflächen, bewirkt zum einen durch Wärmeeintrag und zum anderen durch die Reduzierung der Flächen zum Ausgleich der Grundwassererwärmung eine deutliche Temperaturerhöhung im Grundwasser. Mit zunehmendem Versiegelungs- und Bebauungsgrad steigt die Temperatur im Grundwasser, so dass die höchsten Grundwassertemperaturen im Innenstadtbereich festzustellen sind.

In diesen stark erwärmten Zonen fallen lokal kühlere Bereiche auf. Es sind vor allem die innerstädtischen Grünanlagen die gegenüber versiegelten Flächen einen ungestörten Temperatur-austausch zwischen Boden und der Luft ermöglichen, so dass die Erwärmung des Grundwassers hier auf Werte zwischen 11 °C und 13 °C reduziert wird.

Neben der Bebauungsdichte und Untergrundversiegelung fallen als lokal bedeutende anthropogene Faktoren vor allem das U- und S-Bahn-Tunnel-System, - und hier die Bahnhöfe stär-

ker als die Streckenabschnitte - auf. Im Bild der Isothermen zeigt sich dies durch einen trasenparallelen Streifen erhöhter Grundwassertemperaturen, die hier größtenteils ihre Maximalwerte erreichen. Nicht nur die Untergrundverkehrswege sondern alle ins Grundwasser reichenden Tiefbauwerke tragen zur Grundwassererwärmung bei.

Ferner können sich das Fernheiznetz und die Abwasserkanalisation, insbesondere bei Leckagen, temperaturerhöhend auswirken. Diese Beeinflussungen lassen sich, mit Ausnahme größerer Fehlstellen, jedoch nur in Ausnahmefällen durch die Messungen direkt nachweisen.

Auch punktuelle Beeinflussungen durch Einleitungen erwärmter oder abgekühlter Wässer über Versickerungsbrunnen ins Grundwasser lassen sich nur in günstigen Fällen, d.h. bei sehr nahe gelegenen Messpunkten, durch Temperaturmessungen erfassen. Sie spielen bei der Grundwasseraufheizung im Stadtgebiet bisher auch nur eine untergeordnete Rolle. Ausnahmen stellen größere Anlagen zur Nutzung von Grundwasser aus Düker- oder Brunnenanlagen zu Kühlzwecken mit nachfolgender (punktuellem) Wiederversickerung dar. So ist z.B. im Bereich der Rückleitung von Kühlwasser nördlich der Dülferstraße oder aus mehreren Brunnenanlagen an der Stadtgrenze zu Karlsfeld eine deutliche Temperaturerhöhung im Grundwasser nachweisbar. Auch hier wurde eine auffallende Erwärmung des Grundwassers festgestellt.

Bei den Auswirkungen anthropogener Beeinflussung der Grundwassertemperatur spielt die Lage, d.h. die Tiefe und die Entfernung der Wärme- oder Kältequelle vom Messpunkt, neben der Intensität der positiven oder negativen Energie eine entscheidende Rolle. Analog den natürlichen Verhältnissen nehmen Intensität und Ausmaß einer Beeinflussung mit zunehmender Tiefe (allgemein: Entfernung) ab und treten zeitlich verzögert auf.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Wie bereits erwähnt zeigt ein Vergleich mit den Ergebnissen früherer Messungen, dass sich die generelle Wärmeverteilung des Grundwassers im Stadtgebiet Münchens nicht verändert hat.

Die Temperaturmessungen im oberflächennahen Grundwasser des Innenstadtbereichs zeigen jedoch, dass die Durchschnittstemperatur z. T. um mehrere Grad gegenüber den weniger stark verdichteten Stadtbereichen erhöht ist. Besonders im Umfeld neu gebauter Tunneltrassen oder nach Ende der letzten Messreihe 1998 erstellter größerer Brauchwasser- und Kühlwassernutzungen mit Versickerung temperiertem Wassers hebt sich die Grundwassererwärmung aus der Umgebung heraus.

Daraus wird ersichtlich, dass jede zusätzliche oder verdichtende Bautätigkeit, vor allem in neu erschlossenen Stadtgebieten, zu einem weiteren Anstieg der Grundwassertemperaturen führen wird.

Ein Blick auf die Statistikwerte der Temperaturen über 14 °C vom Messzeitraum 2019 – 2010 im Vergleich zu denen von 1996 – 1998 belegt bereits die Zunahme der erwärmten Grundwasserpegel in den letzten Jahren von 9,01 % auf 17,91 %. Bei Ausschluss natürlicher thermaler Einflüsse ist die Grundwassertemperatur, bezogen auf die Münchener Verhältnisse als bedeutender Parameter zu werten, der vorwiegend durch die speziellen Großstadtverhältnissen verändert wird.

Die anthropogenen Temperaturveränderungen haben einen erheblichen Einfluss auf die biologische, chemische und physikalische Eigenschaften des Grundwassers und können u. U. zu einer Qualitätsverschlechterung, d.h. zu einer Veränderung des bestehenden Gleichgewichts der Grundwasserzusammensetzung führen. Dies kann negative Auswirkungen bewirken. So können aufgrund der Erwärmung z.B. Beeinträchtigungen der Leistungsbilanz von Brunnen und Kühlwasseranlagen nicht ausgeschlossen werden. Auch im Bereich von Trink- und Brauchwasserleitungen sowie Dükeranlagen sind Verschlechterungen der Durchlässigkeit durch Ablagerungen und Versinterungen des Durchflussquerschnittes möglich. Im Trinkwassernetz steigt mit zunehmenden Temperaturen die Gefahr von Verkeimungen.

Andererseits bedeutet ein erhöhtes Temperaturpotential im Grundwasser sozusagen einen Wärmespeicher für die geothermale Nutzung. Durch die Nutzung der Grundwasserwärme - als alternative regenerative Energiequelle - mittels Grundwasserwärmepumpenanlagen zum Heizen von Gebäuden und Warmwasserzubereitung - kann der Verbrauch teurer und knapper werdende Primärenergie reduziert werden. Zudem wird durch einen verstärkten Einsatz dieser regenerativen Energiequelle das überschüssige Wärmepotential im Stadtbereich genutzt und abgebaut und somit einer weiteren Temperaturerhöhung des Grundwassers entgegengewirkt. Die Erhaltung und Neuschaffung von Grünflächen im Innenstadtbereich unterstützen den Temperaturabbau, d.h. die Reduzierung der Grundwassererwärmung zusätzlich.

In der seit Jahren steigenden Zahl von Anfragen nach Ausbildung und Wärmepotential im lokalen Grundwasserkörper spiegelt sich das wachsende Informationsbedürfnis über Nutzungsmöglichkeiten des Grundwassers als Energieträger sowie zur Abschätzung der Realisierbarkeit, Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit eines Wärmepumpeneinsatzes wider. Es liegt im Interesse der Landeshauptstadt München, dass künftig alternative Energiequellen, wie die Geothermie, verstärkt erschlossen und genutzt werden. Daher ist die Bereitstellung entsprechenden Datenmaterials und das Wissen über die Größe und zeitliche Variabilität des Wärmepotentials sowie die Struktur des zu nutzenden Grundwasserleiters die Voraussetzung für eine effektive Ausnutzung des Energiepotentials.

Vor diesem Hintergrund wurden zwischen der Technischen Universität München-Fachgebiet Hydrogeologie und Geothermie und dem Referat für Gesundheit und Umwelt (RGU) die Möglichkeiten des Aufbaus eines numerischen Strömungs- und Wärmetransportmodells als Instrument zur energie-effizienten Nutzung des oberflächennahen Grundwassers und eine diesbezügliche enge Zusammenarbeit beschlossen.

Aufbauend auf den Daten, Auswertungen und Erkenntnisse der Grundwassertemperaturmessungen vom Sachgebiet RGU-UW12 bearbeitet die TUM mittels Masterarbeiten und Doktorarbeiten diese Thematik in enger Zusammenarbeit mit dem RGU weiter, mit dem Ziel, das geothermische Potential genau quantifizieren zu können und ein Werkzeug zur Optimierung der Grundwassernutzung und zur Prognose von zukünftigen Entwicklungen an der Hand zu haben. Dies ist ein weiterer Schritt zur Erstellung eines numerischen Strömungs- und Wärmetransportmodells. Als Zeitrahmen hierfür sind ca. drei Jahre vorgesehen.

Letztlich soll ermöglicht werden, eine Energiebilanz für das unter München hindurchströmende Grundwasser zu erstellen, das vorhandene Energiepotential optimal auszunutzen, evtl. entste-

hende gegenseitige Beeinflussungen thermischer Nutzungen sowie schädliche Veränderungen der natürlichen Grundwasserverhältnisse vermeiden zu können.

Das dann vorliegende Daten- und Kartenwerk soll als Basis und Genehmigungsgrundlage für Grundwassertemperatur verändernde Maßnahmen dienen und zur Entscheidungsfindung und Vorplanung einer energetischen Bewirtschaftung des Grundwassers herangezogen werden.

Wichtig für RGU-UW ist in diesem Zusammenhang, dass uns und den Wasserwirtschaftsbehörden die Ergebnisse des Projekts als Bewertungsgrundlage für wasserrechtliche und wasserwirtschaftliche Problemstellungen von der TUM zur Verfügung gestellt werden. Für die edv-technische Betreuung und Aktualisierung des Modells muss jedoch die TUM kompetent und zuständig bleiben.

Endgültiges Ziel ist der Aufbau eines numerischen Grundwassermodells des oberen Grundwasserleiters für das Stadtgebiet, das als zukünftige Grundlage für ein flächendeckendes Grundwassermanagement der Stadt München zur geothermischen Nutzung dienen und für wissenschaftliche Fragestellungen und Prognosen verwendet werden kann.

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildung		Seite
1	Übersichtskarte Stadtgebiet München	4
2	Versiegelungskarte München 2006	5
3	Geologisches Süd-Nord Profil	6
4	Geologisches Blockbild	6
5	Schematische Karte der Grundwasserverhältnisse	7
6	Lageplan des Pegelnetzes der Temperaturmessungen	9
7	Lageplan der Messstellen der vertikalen Temperaturprofile	10
8	Diagramm: Statistische Temperaturverteilung	13
9	Diagramm: Temperaturverteilung pro Messreihe	14
10	Diagramm: Prozentuale Verteilung der Messwerte	15
11	Diagramm: Prozentuale Verteilung der Messwerte pro Messreihen	16
12	EDV-gestützte Isothermendarstellung (Arbeitsgrundlage)	17
13	Karte der Grundwassertemperatur – Mittelwerte	18
14	Karte der Grundwassertemperatur – Mittelwerte (kleiner 11°C)	19
15	Karte der Grundwassertemperatur – Mittelwerte (größer 14°C)	20
16	Karte der Grundwassertemperatur – Juli 2009	23
17	Karte der Grundwassertemperatur – November 2009	25
18	Karte der Grundwassertemperatur – März 2010	26
19	Schwankungsbreite pro Pegel	29
Tabellen		
1	Statistik der projektbezogenen Messreihen	12
2	Statistik der GWUES-Temperaturmessungen	12
3	Gesamtstatistik	12
4	Anzahl der Messwerte pro Messreihe	14
5	Prozentuale Verteilung der Messwerte	15