



Abschlussbericht

**Erstellung einer Datengrundlage für die Abschätzung
des geothermischen Potenzials im oberflächennahen
Untergrund des quartären Grundwasserleiters des
Großraum Münchens**

Projektlaufzeit: 07.2012 – 12.2015



GePo Münchener Schotterebene

Impressum

Erstellung einer Datengrundlage für die Abschätzung des geothermischen Potenzials im oberflächennahen Untergrund des quartären Grundwasserleiters des Großraum Münchens

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: 0821 9071-0

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de/

Angaben zum Auftragnehmer

Technische Universität München, Lehrstuhl für Hydrogeologie, Arcisstraße 21, 80333 München; Dr. Kai Zosseder, Dr. Lilian Chavez-Kus, M.Sc. Gabriella Somogyi, M.Sc. Patrick Kotyla, M.Sc. Marco Kerl, Sipl.-Ing. Alberto Albarrán Ordás, Dipl.-Geol. Kilian Beichel

Stand:

Dezember 2015

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 12 22 20 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

1	Projektrahmen	13
2	Aufgabenstellung	14
2.1	████████████████████	14
2.2	Thematische Arbeiten	14
3	██	16
4	Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden	17
5	Grundlagen der Bearbeitung	19
5.1	Datenerhebung und BIS-Eingabe	19
5.2	Geländearbeiten - Stichtagsmessung 2014	21
5.2.1	Zeitraum und Messgebiet	21
5.2.2	██	22
5.2.3	██	22
5.2.4	Messstellen externer Institutionen und Ämter	23
5.2.5	Messstellen Dritter	24
5.2.6	Gesamtübersicht der finalen Messpunkte	25
5.2.7	Oberflächengewässer	26
5.2.8	Statusseminar März 2014	26
5.2.9	Durchführung der Stichtagsmessung im April 2014	27
5.2.10	Auswertung und Nachbearbeitung der Stichtagsmessung	28
5.3	Weitere Geländearbeiten	29
6	Produkte und Ergebnisse	30
6.1	Hydrogeologische Einheiten und deren Eigenschaften	30
6.2	Hydrogeologische Profilschnitte	38
6.2.1	Allgemeines	39
6.2.2	Datengrundlage und Methodik	39
6.2.3	Ergebnisse und Interpretation	41
6.3	Basis des quartären Grundwasserleiters	47
6.3.1	Allgemeines	47
6.3.2	Datengrundlage und Methodik	47
6.3.3	Ergebnisse und Interpretation	53

6.3.3.1	Tiefenrelief und geologische Interpretation der Tertiärstrukturen	53
6.3.3.2	Tertiärstrukturen westlich der Isar	53
6.3.3.3	Tertiärstrukturen östlich der Isar	61
6.3.4	Unsicherheitsanalyse	66
6.3.4.1	Unsicherheitsanalyse im inneren Interpolationsgebiet	66
6.3.4.2	Unsicherheitsanalyse im äußeren Interpolationsgebiet	66
6.3.5	3D-Modellierung	67
6.4	Grundwasserdynamik	68
6.4.1	Grundwassergleichenplan	68
6.4.1.1	Allgemeines	68
6.4.1.2	Datengrundlage und Methodik	70
6.4.1.3	Attributierung	76
6.4.1.4	Ergebnisse und Interpretation	78
6.4.2	Durchlässigkeitsbeiwerte und deren regionale Verteilung	85
6.4.2.1	Allgemeines	85
6.4.2.2	Datengrundlage und Methodik	86
6.4.2.3	Ergebnisse	90
6.4.3	Grundwassermächtigkeiten	93
6.4.3.1	Allgemeines	93
6.4.3.2	Datengrundlage und Methodik	94
6.4.3.3	Attributierung	95
6.4.3.4	Ergebnisse	95
6.4.4	Grundwasserflurabstände	97
6.4.4.1	Allgemeines	97
6.4.4.2	Datengrundlage und Methodik	98
6.4.4.3	Attributierung	102
6.4.4.4	Ergebnisse	102
6.4.5	Grundwasserfließgeschwindigkeiten	103
6.4.5.1	Allgemeines	103
6.4.5.2	Datengrundlage und Methodik	104
6.4.5.3	Ergebnisse	105

6.4.6	Grundwasserfließrichtung	106
6.4.6.1	Allgemeines	106
6.4.6.2	Datengrundlage und Methodik	106
6.4.6.3	Ergebnisse	107
6.4.7	Interaktion zwischen dem quartären und tertiären Grundwasserstockwerk	107
6.4.7.1	Allgemeines	107
6.4.7.2	Datengrundlage und Methodik	108
6.4.7.3	Ergebnisse und Interpretation	110
6.5	Geothermisches Potential	114
6.5.1	Auswertung der flächenhaften Grundwassertemperaturverteilung	114
6.5.1.1	Allgemeines	114
6.5.1.2	Datengrundlage und Methodik	116
6.5.1.3	Ergebnisse	118
6.5.2	Auswertung von Grundwasser-Tiefentemperaturprofilen	123
6.5.2.1	Allgemeines	123
6.5.2.2	Datengrundlage und Methodik	125
6.5.2.3	Ergebnisse	126
6.5.3	Grundwassertemperaturganglinien	132
6.5.3.1	Allgemeines	132
6.5.3.2	Datengrundlage und Methodik	132
6.5.3.3	Ergebnisse	132
6.5.4	Wärmeleitfähigkeiten und Wärmespeicherkapazitäten	136
6.5.5	Geothermische Nutzung	138
6.5.5.1	Allgemeines	138
6.5.5.2	Datengrundlage und Methodik	138
6.5.5.3	Ergebnisse	139
7	Detailbetrachtungen	141
7.1	[REDACTED]	141
7.2	[REDACTED]	144

7.3	Detailbetrachtungen: Grundwasserneubildungsrate für die Stadt München	148
7.3.1	Allgemeines	149
7.3.2	Datengrundlage und Methodik	149
7.3.3	Ergebnisse	150
8	Zusammenfassung und Fazit	151
9	[REDACTED]	152
10	[REDACTED]	155
11	Literatur	156
12	[REDACTED]	161
13	Anlagen	162

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Grundwasserganglinie des Jahres 2014 der Messstelle KP 95 in der Münchner Innenstadt. Sehr deutlich sichtbar sind die niedrigen Grundwasserstände im März und April 2014 im Gegensatz zum langjährigen Mittelwert.	21
Abb. 2:	Profilverläufe im GEPO Arbeitsgebiet	39
Abb. 3:	Methode zur Ermittlung der Quartärbasis.	47
Abb. 4:	Unterteilung des gesamten Untersuchungsgebiets in zwei Interpolationsgebiete.	50
Abb. 5:	Variogramm des inneren Interpolationsgebietes.	50
Abb. 6:	Variogramm des äußeren Interpolationsgebietes.	50
Abb. 7:	Flächenschätzung der Quartärbasis im gesamten Untersuchungsgebiet.	52
Abb. 8:	Unsicherheitsanalyse: Standardabweichung im inneren und äußeren Interpolationsgebiet.	67
Abb. 9:	Blockbild verändert nach MÜNICHSDORFER (1922).	69
Abb. 10:	Variogramm der Daten des westlichen Arbeitsgebietes.	74
Abb. 11:	Variogramm der Daten des östlichen Arbeitsgebietes.	74
Abb. 12:	Zusammenfassung der Methodik zur Erstellung des Grundwassergleichenplans.	76
Abb. 13:	Schnitt durch den südlichen Teil des Arbeitsgebietes (BLASY, 1974).	82
Abb. 14:	Durchführung eines Pumpversuchs im Untersuchungsgebiet: Einbau der Pumpe, Ableitung in den Kanal der Münchner Stadtentwässerung, Kolben und Sedimentrückstand nach der Kolbung.	88
Abb. 15:	Entscheidungsbaum nach der Ampelmethode zur Beurteilung der Güte eines ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerts auf Basis der vorhandenen Gutachten (links) und die Kombination der einzelnen begutachteten fünf Kriterien um die drei Güteklassen abzuleiten (rechts).	89
Abb. 16:	Kumulative Häufigkeiten der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene.	91
Abb. 17:	Variogramm-Anpassung an die Varianzwerte der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte	91
Abb. 18:	Die regionalisierte Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte in der Münchener Schotterebene auf Basis der erarbeiteten Werte und ihrer Gütebeurteilung. An den einzelnen Lokalitäten wurden die vorliegenden Durchlässigkeitsbeiwerte über ihre Güte gewichtet gemittelt.	92
Abb. 19:	Exemplarische regionale Unterschiede in den ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerten im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene.	93
Abb. 20:	Variogramm der Daten des westlichen Arbeitsgebietes.	100
Abb. 21:	Variogramm der Daten des östlichen Arbeitsgebietes.	100
Abb. 22:	Über die regionalisierte Durchlässigkeit und die grundwassererfüllte Mächtigkeit berechnete Verteilung der Transmissivität im Projektgebiet.	105
Abb. 23:	Häufigkeit des Auftretens der Grundwasserfließgeschwindigkeiten in der Münchener Schotterebene (links) und nur im Stadtgebiet (rechts) (Berechnet aus einem 10 x 10 m Raster).	106

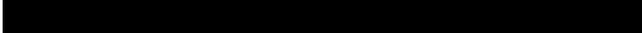
Abb. 24:	Häufigkeit des Auftretens der Grundwasserfließrichtung in der Münchener Schotterebene (links) und nur im Stadtgebiet (rechts) (Berechnet aus einem 10 x 10 m Raster).	107
Abb. 25:	Variogramm der Mächtigkeitsverteilung der Flinzsande.	109
Abb. 26:	Bereich der Flinzsande mit vermutetem hydraulischen Kontakt zw. Quartär und Tertiär (Lokalität: Moosburg / Semptwiesen).	111
Abb. 27:	Bereich der Flinzsande mit vermutetem hydraulischen Kontakt zw. Quartär und Tertiär (Lokalität: Stadtgebiet München entlang der U-Bahn-Trasse).	111
Abb. 28:	Bereich der Flinzsande mit vermutetem hydraulischen Kontakt zw. Quartär und Tertiär (Lokalität: süd-lich der Pionierkaserne Krailling).	112
Abb. 29:	Bereich der Flinzsande mit vermutetem hydraulischen Kontakt zw. Quartär und Tertiär (Lokalität: Ab-fanggraben).	113
Abb. 30:	Bereich der Flinzsande mit vermutetem hydraulischen Kontakt zw. Quartär und Tertiär (Lokalität: Deisenhofener Forst / Raum Deisenhofen).	113
Abb. 31:	Saisonales Profil eines anthropogen unbeeinflussten Temperaturverlaufs (DOHR 2011: 34).	114
Abb. 32:	Anthropogene Wärmequellen in urbanem Gebiet (MENBERG et al. 2012: 127).	115
Abb. 33:	Richtungs-Variogramme mit dem angepassten sphärischen Modell bei der geostatistischen Analyse der gemessenen Grundwassertemperaturen.	117
Abb. 34:	Beispiel der statistischen Auswertung der Grundwassertemperaturdifferenzen im Juli.	118
Abb. 35:	Beispiel der statistischen Auswertung des Trendverhaltens der Grundwassertemperatur anhand der bereits vorhandenen Stichtagsmessungen.	119
Abb. 36:	Vergleich der Grundwassertemperaturen in den Sommermonaten Juli und September im Zeitraum von 1983-2010) an zeitgleich gemessenen Beobachtungsstellen.	119
Abb. 37:	Vergleich der Grundwassertemperaturen in den Frühjahrsmonaten März und April im Zeitraum von 1983-2010) an zeitgleich gemessenen Beobachtungsstellen.	120
Abb. 38:	Regionalisierte Grundwassertemperaturen im Quartär für das Stadtgebiet München im November 96.	121
Abb. 39:	Regionalisierte Grundwassertemperaturen im Quartär für das Stadtgebiet München im November 2009.	121
Abb. 40:	Grundwassertemperaturen-Differenzkarte für den Vergleich der Grundwassertemperaturen vom März 2010 und Juli 2010. Zusätzlich sind die geothermischen Nutzungen dargestellt, so dass ersichtlich wird, dass manche lokale Änderungen nicht auf geothermische Nutzungen bezogen werden können.	122
Abb. 41:	Grundwassertemperaturen-Differenzkarte für den Vergleich der Grundwassertemperaturen vom September 2009 und März 2010.	122
Abb. 42:	Histogramm der gemessenen Grundwassertemperaturen im April 2014.	123
Abb. 43:	Bereich erhöhter Grundwassertemperatur fällt bei der Messstelle U5 150 mit der Tiefenlage der U-Bahn (Linie 6) zusammen. (DOHR 1989: 35 ff).	124
Abb. 44:	Beispiel für eine tiefenorientierte Messung der Grundwassertemperatur und der spez. elektr. Leitfähigkeit im Arbeitsgebiet.	125

Abb. 45:	Überblick über die in der Stadt München durchgeführten Grundwassertemperatur-Tiefenprofile.	126
Abb. 46:	Tiefenorientierte Messung der Grundwassertemperatur im Pegel KP 821 im Englischen Garten Nord in München.	127
Abb. 47:	Beeinflussung der tiefenorientierten Grundwassertemperatur im Pegel KP 692 durch den Wärmeverlust der U6-Bahnhaltestelle „Nordfriedhof“ im Norden Münchens.	128
Abb. 48:	Statistische Auswertung der Grundwassertemperatur zur Entfernung zur U-Bahn.	128
Abb. 49:	Tiefentemperaturprofil der medianen Grundwassertemperaturen im quartären und ersten tertiären Grundwasserstockwerk.	129
Abb. 50:	Logarithmische Häufigkeit der Messwerte (links) und Varianz der Grundwassertemperatur unter der Grundwasseroberfläche.	130
Abb. 51:	Darstellung der minimalen, mittleren und maximalen Grundwassertemperaturverteilung über die Tiefe im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene (links) mit der Anzahl der Messungen pro Tiefe (rechts).	130
Abb. 52:	Abhängigkeit der Grundwassertemperatur im quartären Grundwasserleiter in der Tiefe von der grundwassererfüllten Mächtigkeit und dem Flurabstand.	131
Abb. 53:	Exemplarischer saisonaler Verlauf der Grundwassertemperaturverteilung innerhalb der Münchener Schotterebene an einer Grundwassermessstelle im Englischen Garten (Bayer. LFW, 2001).	132
Abb. 54:	Auswertung verschiedener Grundwassertemperaturganglinien im Stadtgebiet München.	133
Abb. 55:	Zeit-Tiefen-Grundwassertemperaturdarstellung (Heat Map) an der Grundwassermessstelle U8 515.	134
Abb. 56:	a) Darstellung der Tagesmittelwerte der Grundwasser- sowie Flusswassertemperatur. Die Grundwassermessstelle U8-497 wurde wöchentlich gemessen. b) Darstellung der Tagesmittelwerte der Grundwasser- sowie Lufttemperatur. Die Grundwassermessstelle U8-497 wurde wöchentlich gemessen.	135
Abb. 57:	Darstellung der Temperaturentwicklung in den Messstellen U8-412 und KP 1282 in der Tiefe des quartären Grundwasserleiters.	136
Abb. 58:	Berechnung der mittleren Wärmeleitfähigkeit unter Berücksichtigung des Flurabstandes.	138
Abb. 59:	Arbeitsschritte zur Bearbeitung der thermischen Nutzung.	139
Abb. 60:	[REDACTED]	142
Abb. 61:	[REDACTED]	143
Abb. 62:	[REDACTED]	143
Abb. 63:	[REDACTED]	145
Abb. 64:	[REDACTED]	147

Abb. 65:		148
Abb. 66:	Verfahren nach MEßER (2013) zur Berechnung der Grundwasserneubildung.	150
Abb. 67:		161

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Relevante Datenbanken im Großraum München.	20
Tab. 2:	Detailübersicht zu den Messobjekten der Stichtagsmessung 2014.	26
Tab. 3:	Übersicht der gemessenen OFG	26
Tab. 4:	Hydrogeologische Legendeneinheiten	30
Tab. 5:	Deckschichten klassifizierter Einheiten	36
Tab. 6:	Erläuterungstabelle – Attribute der hydrogeologischen Einheiten und Deckschichten	38
Tab. 7:	Anlage zum Thema „Hydrogeologische Profilschnitte	38
Tab. 8:	Anlagen zum Thema „Basis des quartären Grundwasserleiters	47
Tab. 9:	Übersichtstabelle der aufbereitenden Daten für die Konstruktion der Quartärbasis	48
Tab. 10:	Semivariogramm-Eigenschaften des inneren Interpolationsgebietes	51
Tab. 11:	Semivariogramm-Eigenschaften des äußeren Interpolationsgebietes	51
Tab. 12:	Interpolationsparameter im inneren Interpolationsgebiet	51
Tab. 13:	Interpolationsparameter im äußeren Interpolationsgebiet	52
Tab. 14:	Übersichtstabelle der verwendeten Inputparameter zur Erstellung des konzeptionellen 3D-Modells	67
Tab. 15:	Anlagen zum Thema „Grundwassergleichenplan“	68
Tab. 16:	Übersicht der verwendeten Konstruktionspunkte	71
Tab. 17:	Variogramm properties	73
Tab. 18:	Kurzbeschreibung zusätzlicher Attribute des Grundwassergleichenplans	77
Tab. 19:	Erläuterung der Attributtabelle zu den Punkdaten des Grundwassergleichenplans	77
Tab. 20:	Erläuterung der Attributtabelle der gespannten und artesischen Verhältnisse	78
Tab. 21:	Anlagen zum Thema „Durchlässigkeitsbeiwerte“	85
Tab. 22:	Statistische Lagemaße der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene	90
Tab. 23:	Anlagen zum Thema „Grundwassermächtigkeiten“	93
Tab. 24:	Grundwassererfüllte Mächtigkeiten im Arbeitsgebiet	94
Tab. 25:	Erläuterung der Spalten „Situation“ und „Text“ in der Attributtabelle „gepo_gwmq_ms“	95
Tab. 26:	Erläuterung der Spalten der Attributtabelle „gepo_gwmq_ms_frei_fraglich“	95
Tab. 27:	Anlagen zum Thema „Grundwasserflurabstände“	97
Tab. 28:	Flurabstände im Arbeitsgebiet	98
Tab. 29:	Variogram-properties	100
Tab. 30:	Erläuterung der Spalten „Situation“ in der Attributtabelle „gepo_flurq_ms“:	102
Tab. 31:	Erläuterung der Spalten der Attributtabelle „gepo_flurq_ms_gwfrei“:	102
Tab. 32:	Anlagen zum Thema „Grundwasserfließgeschwindigkeiten“	103
Tab. 33:	Anlagen zum Thema „Grundwasserfließrichtung“	106

Tab. 34:	Klassifizierung der GW-Fließrichtung im Projektgebiet	107
Tab. 35:	Anlagen zum Thema „Interaktion zwischen dem quartären und tertiären Grundwasserstockwerk“	107
Tab. 36:	Übersichtstabelle der verwendeten Daten zur Analyse des hydraulischen Kontakts zwischen Quartär und Tertiär.	108
Tab. 37:	Semivariogramm-Eigenschaften der Mächtigkeitsverteilung der Flinzsande	109
Tab. 38:	Interpolationsparameter der Mächtigkeitsverteilung der Flinzsande	110
Tab. 39:	Anlagen zum Thema „Auswertung der flächenhaften Grundwassertemperaturverteilung“	114
Tab. 40:	Beispielhafte Übersicht über anthropogene Strukturen im Untergrund von München, welche die Grundwassertemperatur beeinflussen können	124
Tab. 41:	Matrix der Grundwassertemperatur in der Tiefe im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schot-terebene in Abhängigkeit des Flurabstands und der grundwassererfüllten Mächtigkeit.	131
Tab. 42:	Wärmeleitfähigkeit, volumetrische Wärmekapazität und Dichte der einzelnen hydrogeologischen Einheiten	137
Tab. 43:	Beispiele berechneter mittlerer Wärmeleitfähigkeit unter Berücksichtigung des Flurabstandes	138
Tab. 44:	Anlagen zum Thema „Geothermische Nutzung“	138
Tab. 45:	Genehmigte Entnahmemengen und Jahresentnahmemengen geothermischer Anlagen im Projektgebiet.	140
Tab. 46:	Vergleich der geothermischen Kühl- und Heiznutzung in der Stadt München	140
Tab. 47:		142
Tab. 48:	Anlagen zum Thema „Detailbetrachtungen: Grundwasserneubildungsrate“	148
Tab. 49:	Wasserhaushaltsbilanz in München, Untersuchungszeitraum 2000-2009.	150
Tab. 50:		152

1 Projektrahmen

Am 28.03.2012 wurde der Antrag für die Durchführung des Forschungsvorhabens „Erstellung einer Datengrundlage für die Abschätzung des geothermischen Potenzials im oberflächennahen Untergrund des quartären Grundwasserleiters des Großraum Münchens“ von Seiten der TU München eingereicht. Das Vorhaben wurde mit dem Schreiben des Bayerischen Landesamtes für Umwelt vom 01.06.2012 bewilligt und begann am 01.07.2012 bis einschließlich 31.12.2015.

2 Aufgabenstellung

Mit dem Forschungsvorhaben soll eine erstmalige flächendeckende Erarbeitung von hydrogeologisch-geothermischen Grundlagendaten für den oberflächennahen Untergrund, speziell des quartären Grundwasserleiters, im Großraum München erarbeitet werden. Darauf aufbauend soll das oberflächennahe geothermische Potenzial der Münchener Schotterebene abgeschätzt und die Dynamik der thermischen Verhältnisse detailliert untersucht werden.

Das Forschungsvorhaben hat übergeordnet die nachstehenden Ziele:

- Aufbau einer konsistenten Datenbasis für geothermische Fragestellungen unter der Nutzung der bestehenden Datengrundlage (LfU, WWA, RGU, SWM, Tiefbauamt, Abschlussarbeiten).
- Verbesserung des Detaillierungsgrades.
- Erstmalige Bearbeitung der gesamten Münchener Schotterebene.
- Wissenschaftliche Aufarbeitung regionaler Problemfelder (Promotionen).

Um diese Ziele zu erreichen sind in Absprache mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) folgende organisatorischen und thematischen Arbeitsschritte festgelegt worden:

2.1

- [REDACTED]

2.2 Thematische Arbeiten

- Erarbeitung der Datengrundlage zur Abschätzung des geothermischen Potenzials:
 - Recherche der geologischen, hydrogeologischen und thermischen Grundlagedaten im Forschungsgebiet (Bohrungen, Grundwassermessstellen, Brunnen, geothermische Wärmenutzung) mit digitaler Aufbereitung.
 - Ergänzung der Datenrecherche durch Datenerhebung im Gelände und nach Notwendigkeit und Möglichkeit Ergänzung von fehlenden Objekten und Daten (Nivellement, etc.)
 - Hydrogeologische Interpretation der geologischen Grundlagen zu hydrogeologischen Einheiten.
 - Erstellung von mind. zehn aussagekräftigen hydrogeologischen Profilschnitten im Forschungsgebiet nach Absprache mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt.

- Interpretation und Regionalisierung der Basis des quartären Grundwasserleiters, hier einmal mit der stratigraphischen Grenze Quartär/Tertiär und der hydraulisch wirksamen Grenze der Oberkante der ersten tertiären Geringleiter.
- Planung und Durchführung einer Stichtagsmessung des quartären Grundwasserleiters mit Auswertung der Grundwasserhöhengleichen.
- Interpretation von hydraulischen Wechselwirkungen zwischen den Grundwasserleitern.
- Darstellung von Grundwassermächtigkeiten.
- Auswertung der mittleren Flurabstände für den quartären Grundwasserleiter.
- Darstellung von Grundwasserfließgeschwindigkeiten und Grundwasserfließrichtungen.
- Recherche und Erhebung von hydraulischen Daten des quartären Grundwasserleiters zur Auswertung der spez. Ergiebigkeit und Durchlässigkeitsbeiwerte.
- Ergänzende Recherche und Erhebung sowie die Auswertung von Grundwassertemperaturdaten des quartären Grundwasserleiters.
- Auswertung von repräsentativen Grundwassertemperaturganglinien.
- Interpretation der hydrogeologischen Einheiten bezüglich ihrer Wärmeleitfähigkeiten.
- Digitale Erstellung der thematischen Auswertungen (Hydrogeologische Profilschnitte, Basis des quartären Grundwasserleiters, Grundwasserdynamik, Geothermisches Potenzial) mit Metadatenbeschreibung nach Absprache mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt.
- Erstellung einer redaktionsreifen Erläuterung zu den thematischen Inhalten nach Absprache mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt mit Beschreibung der angewandten fachlichen Auswertemethoden.

[Redacted]

3

[Redacted]

[Redacted]

4 Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden

Für die Erhebung der hydraulischen und thermischen Grundwasserverhältnisse im Projektgebiet wurden, im Rahmen des Forschungsvorhabens, unterschiedliche Methoden der Messtechnik, der Parametererhebung im Gelände und der Auswertung angewendet, über die nun ein kurzer Überblick gegeben wird.

Im Zuge des GEPO Projekts wurde eine Reihe von [Produkte](#) erstellt, die unter Kapitel 6 detailliert beschrieben werden. Inhalt dieser Beschreibung, ist neben allgemeinen Informationen und Ergebnissen, auch der Unterpunkt „Datengrundlage und Methodik“. In diesen Unterpunkten wird jeweils detailliert auf die Produkterstellung bzw. Methodik eingegangen. Deswegen wird an dieser Stelle bewusst auf eine Erläuterung dieser verzichtet und auf Kapitel 6 verwiesen.

In Kapitel 7 wird ein Überblick über die im Projektzeitraum durchgeführten [Forschungsarbeiten](#), wie Dissertationen oder Abschlussarbeiten, gegeben, deren Erkenntnisse in das GEPO Projekt einfließen. Neben den in Kapitel 6 erläuterten Methoden der zu erstellenden Produkte, finden sich in diesem Kapitel weitere angewandte Methoden und Auswerteverfahren. Kapitel 5.3 listet [weitere Messungen / Geländearbeiten](#) im Rahmen des GEPO Projekts auf, die z.T. weiter unten bereits erwähnt werden.

Die genaue Bestimmung der räumlichen Verteilung der dynamischen hydraulischen und thermischen Parameter im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene, erfordert einen hohen Messaufwand mit unterschiedlichen Herangehensweisen. Die Parametererhebung verfolgt das Ziel, die Flächenverteilung der Parameter detailliert zu bestimmen, die flächenverteilte Dynamik der Parameter zu untersuchen und qualitative und quantitative Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Systemen im Untersuchungsgebiet abzuschätzen. Hier wären beispielsweise die Oberflächengewässer-Grundwasser Interaktion oder die thermische Beeinflussung des Grundwassers durch Untergrundbauwerke sowie Oberflächeneinflüsse zu nennen.

Überblick der Parametererhebung im Gelände:

- Über einen festgelegten Zeitraum, wöchentliche [Messungen von Grundwasserhöhen](#) (Druckpotenziale) an ausgewählten Messstellen (Referenzmessstellen, entlang der Isar, entlang der U-Bahnlinien, etc.) (siehe Kapitel 5.3; 7). Die Messungen der Grundwasserhöhen wurden durchgeführt, um die hydraulischen Verhältnisse und ihre dynamischen Entwicklungen an ausgewählten Punkten zeitlich aufgelöst zu erheben.
- Über einen festgelegten Zeitraum, wöchentliche [Messung von Tiefentemperaturprofilen](#) an ausgewählten Messstellen (siehe Kapitel 5.3; 7). Die vertikal differenzierten Grundwassertemperaturen sind zum einen erhoben worden, um die Temperaturverteilung im Grundwasser zu bestimmen und verschiedene Einflussfaktoren auf die Grundwassertemperatur über die Fläche herausarbeiten zu können. Zum anderen kann die vertikal differenziert gemessene Grundwassertemperatur einen Hinweis über die Qualität der gemessenen Grundwassertemperaturen an den Stichtagen geben, indem sie die vorhandene Messtiefe an bestimmten Messstellen mit den Tiefenprofilen der Grundwassertemperatur gegenüberstellt und herausstellt, ob diese Messungen in der Tiefe auch die von der Oberfläche unbeeinflusste Grundwassertemperatur repräsentiert (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 1983).
- Über einen festgelegten Zeitraum, wöchentliche Messung der vertikal differenzierten, [spezifisch elektrischen Leitfähigkeit](#) an ausgewählten Messstellen (siehe Kapitel 5.3; 7).

- Einmalige, zeitgleiche Messungen der **vertikal differenzierten Parameter** pH-Wert, Redoxpotenzial, Sauerstoffsättigung, spez. elektr. Leitfähigkeit, Temperatur, Druckpotenzial mittels einer Multiparametersonde an ausgewählten Messstellen (siehe 7.1).
- **Stichtagsmessung** der Grundwasserstände und partiell der Grundwassertemperaturen (siehe 5.2): Für die Ermittlung der flächenhaften Verteilung des hydraulischen Potenzials und der Grundwassertemperatur, wurde eine Stichtagsmessung im gesamten Projektgebiet durchgeführt. Hierfür wurden großräumig eigene Feldmessungen durchgeführt und Messungen anderer Institutionen, die zum selben Zeitpunkt ausgeführt wurden, eingearbeitet. Zur Ermittlung des hydraulischen Potenzials, wurde nach Möglichkeit zeitgleich die Temperatur an möglichst vielen Messstellen gemessen, um weitere Grundwassertemperaturdaten für die Auswertung zur Verfügung zu haben. Zudem wurden Daten für Gebiete, insbesondere im Umland der Stadt München, erschlossen, von denen bis dato keine Grundwassertemperaturmessungen vorlagen. Einzelheiten zum Thema Stichtagsmessung finden sich unter Kapitel 5.2.

Für die **Auswertung** der Daten hinsichtlich der Projektziele wurden wiederum unterschiedliche Methoden angewandt. Hierbei wurden Auswerteverfahren unterschieden, deren Parameter aus bestehenden oder erhobenen Daten abgeleitet wurden, zur qualitativen Unterscheidung von Wechselwirkungen dienen oder zum hydraulischen und thermischen Systemverständnis beitragen. Zudem wurden Verfahren zur quantitativen Beschreibung statischer und dynamischer Verhältnisse und Methoden zur Regionalisierung der Parameter auf die Fläche des Arbeitsgebietes angewendet. Jegliche Auswerteverfahren werden detailliert in den betreffenden Kapiteln (5, 6 und 7) erläutert.

5 Grundlagen der Bearbeitung

5.1 Datenerhebung und BIS-Eingabe

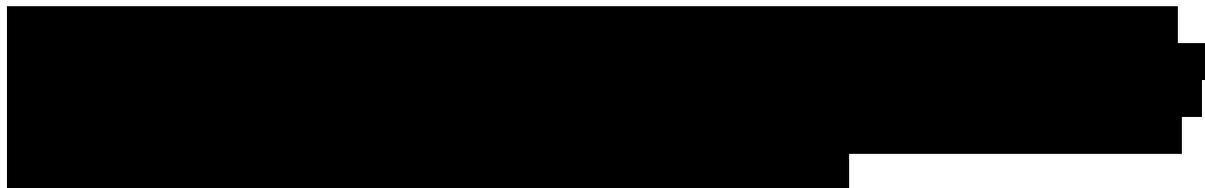
Im Rahmen des Projekts sind bereits umfangreiche geowissenschaftliche Fachdaten bei Behörden, Versorgungsunternehmen, Ingenieurbüros und sonstigen Stellen nach strengen Prioritäten erhoben (s. u.) worden. Nach erster Priorität sind Daten des öffentlichen Grundwassermessnetzes, Brunnen und Grundwassermessstellen der öffentlichen Trinkwasserversorgung, Geothermiebohrungen (Grundwasserwärmepumpen, Erdwärmesonden, etc.), Grundwassermessstellen und Brunnenanlagen gewerblicher Nutzung (z. B. Kiesgruben) erhoben worden. Mit Priorität zwei erfolgte die Recherche von Trinkwassernotbrunnen, Privatbrunnen und privaten Grundwassermessstellen. Mit dritter Priorität wurden Altlasten- und Deponiemessstellen und Sonstige (z. B. Brunnen Teichwirtschaft, Brunnen Gartenbewässerung etc.) recherchiert. Damit hat das GEPO-Team die kompletten Recherchearbeiten im GEPO-Arbeitsgebiet in allen relevanten Institutionen erledigt.

Zu diesen Objekten standen folgende Daten im Recherchefokus:

- Geologische & Hydrogeologische Gutachten
- Stammdaten (z. B. Lage, Höhe, Messpunkthöhe, Nutzung)
- Stammdaten (z. B. Objektname, Rechts- und Hochwert, Messpunkthöhe, Nutzung), ergänzt mit Informationen über die Messstellenart: aktiv oder inaktiv, Messturnus, Art der Messung (manuell/Datenlogger)
- Schichtenverzeichnisse
- Ausbaupläne
- Pumpversuchsdaten
- Ganglinien (Grundwasserstandsaufzeichnungen, GW-Stand, Schüttung)
- Grundwassergleichenpläne
- Sonstige Messungen im Grundwasser (z. B. Wassertemperatur, Leitfähigkeit, etc.)

Wegen der großen Anzahl der Daten, wurde primär für das Münchner Umland recherchiert, da für das Stadtgebiet schon sehr viele Informationen vorhanden waren. Im Hinblick auf die Zielvorgaben, unter anderem auch die Erstellung eines Grundwassergleichenplans für den quartären Grundwasserleiter auf Grundlage einer Grundwasserstichtagsmessung im Projektgebiet, wurden alle benötigten Recherchearbeiten im Arbeitsgebiet durchgeführt.

Nachdem die Daten recherchiert und im PDF-Format zusammengestellt wurden, sind in der GEPO-PDF-Datenbank detaillierte Tabellenlisten der recherchierten Objekte aufgeführt, die die wichtigsten Informationen wie z. B. Betreiber, Lage und Nutzung beinhalten. Eine darin eingepflegte Datenbankdokumentation gewährleistet jederzeit einen schnellen und stets aktuellen Überblick über die Daten.



Derzeit befinden sich etwa 28.000 Objekte in der GEPO-PDF-Datenbank. Davon wurden im Bodeninformationssystem Bayern (BIS-BY):

- mehrere BIS-Export und Datenabgleiche mit jeweilige etwa 30.000 Objekte durchgeführt
- Etwa 3300 BIS-Daten ergänzt bzw. umfanglich überarbeitet (z. B.: AB, SV)
- Etwa 2300 Objekte komplett neu im BIS erfasst.

(*Stand der Datenpflege bis 26.11.2015)

Die Eingabe/Pflege der Daten in das BIS-BY erfolgte nach vergleichbarer Priorisierung wie bei der Recherche. Dabei hatten wasserwirtschaftlich relevante, ausgebaute und detailliert aufgenommene tiefe Bohrungen / GWM (mit GW-Stand und Pumpversuch) Vorrang. Ein besonderes Augenmerk lag auf allen Grundwassermessstellen und Brunnen, die für die STM 2014 in Frage kamen bzw. benötigt wurden.

Neben der Neuaufnahme von Objekten ins BIS-BY kam insbesondere dem Datenabgleich von bereits vorhandenen Objekten sehr große Bedeutung zu. Dieser gestaltet sich sehr aufwändig, da neben den bayernweiten DB- Systemen BIS und InfoWAS noch weitere für den Großraum München relevante Datenbanken existieren. So entstand ein ständiger Datenabgleich mit den in Tab. 1 aufgeführten Datenbanken. Zum Arbeitsstand des Datenabgleichs bis Dezember 2015 siehe ebenfalls Tab. 1.

Tab. 1: Relevante Datenbanken im Großraum München.

Institution	Datenbank Abkürzung
Landeshauptstadt München	Referat für Gesundheit und Umwelt (RGU)
	Referat Ingenieurbau Datenbank (BAU-H)
	Münchner Stadtentwässerung (MSE)
WWA-München	Brunnenkataster (BK)
	Messstellen Dritter (MD)
Stadtwerke München GmbH	SWM
Flughafen München GmbH	FLM-DB

Dieser zentrale Datenabgleich war ein wichtiger Teil des Projekts und wurde demzufolge regelmäßig durchgeführt und kontrolliert. Da dies weitgehend nur über eine Objekteinzelpflichtung realisierbar war, wurden entsprechende Zeitkontingente eingeplant. Dabei war stets die unterschiedliche Qualität der Datenbanken zu beachten. Nach Anmerkungen einzelner Betreiber und Hinweisen vom WWA-M, sind beispielsweise die Daten aus dem BK und LHM- Ing-DB verlässlicher als jene aus der RGU-DB.

Nachdem am WWA-M bis Ende des Jahres 2013 viele Daten hinsichtlich der Lage kontrolliert und ggf. korrigiert wurden, erfolgte noch vor der STM 2014 ein abschließender Abgleich durch das GEPO-Team. Dieser betraf alle bis dahin bearbeiteten Objekte.

Am Ende des Projekts wurde eine MS-Excel© Tabelle erstellt, die alle bearbeiteten Objekte der Stichtagsmessung 2014 mit spezifischen Attributen, in der Regel Namen und Schlüssel-IDs aller verwendeten Datenbanken, enthält, damit in Zukunft jederzeit eine Beziehung zwischen BIS und externen Datenbanken hergestellt werden kann. Die Kommunikation zwischen den einzelnen Nutzern soll dadurch erleichtert und Redundanzen vermieden werden. Die MS-Excel© Tabelle befindet sich auf dem USB-Stick im „Ordner 04“ (Messpunkte_GEPO.xls).

Eine Übersicht der Daten zu den recherchierten Jahresberichten von EÜV pflichtigen Anlagen im Gebiet der LHM München [REDACTED] wird in Kapitel 6.5.5 (Geothermische Nutzung) ausgewertet.

5.2 Geländearbeiten - Stichtagsmessung 2014

Die umfassende Organisation und Durchführung der Stichtagsmessung 2014, eine der Hauptaufgaben im Rahmen des GEPO-Projekts, wird in den nachfolgenden Organisationspunkten näher erläutert.

5.2.1 Zeitraum und Messgebiet

Aufgrund der sehr hohen Messstellenanzahl (insg. ca. 9000) war es nicht möglich, eine klassische, eintägige Stichtagsmessung durchzuführen. Daher wurden für die Festlegung der geplanten „Stichtagswoche“ folgende Faktoren berücksichtigt. Zur Vermeidung von Zeiträumen mit extremen Grundwasserbedingungen, wie Hoch- oder Niedrigwasser im quartären Grundwasserkörper, wurden 49 vorhandene, langfristige Grundwasserganglinien des Niedrigwasser-Informationsdienstes Bayern (LfU /WWA-M) ausgewertet. Diese Auswertung zeigte, dass vor allem die Monate März und April statistisch gesehen die besten Voraussetzungen bieten würden, da langfristig betrachtet zu dieser Zeit die wenigsten Messstellen Hoch- oder Niedrigwasser führen. Zudem musste der Zeitpunkt der Messkampagne so gewählt werden, dass möglichst viele Helfer keine anderweitigen Verpflichtungen hatten. Schließlich wurde die Stichtagsmessung auf die Kalenderwoche 14 (31.03. - 06.04.2014) festgelegt. Nach der Stichtagsmessung stellte sich jedoch heraus, dass es sich, durch den extrem niederschlagsarmen Winter 2013/2014, bei den gemessenen Grundwasserständen eher um mittlere Niedrigwasserstände, als um die anvisierten Mittelwasserstände, handelt. Deutlich wird dies in nachstehender Abbildung einer Grundwasserganglinie der zentral in München gelegenen Messstelle KP 95 (Abb. 1), sowie den Niederschlägen des Monats März 2014, die bei 19,5 l/m² (Dt. Wetterdienst – Station München Flughafen) lagen.

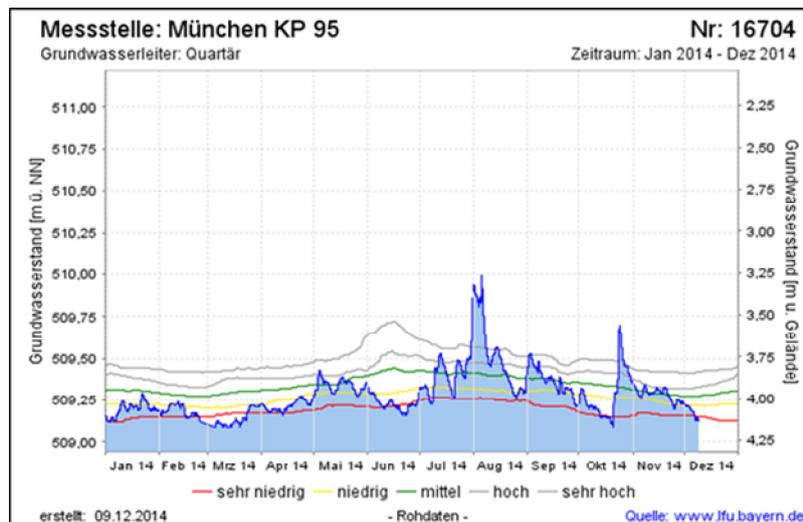


Abb. 1: Grundwasserganglinie des Jahres 2014 der Messstelle KP 95 in der Münchner Innenstadt. Sehr deutlich sichtbar sind die niedrigen Grundwasserstände im März und April 2014 im Gegensatz zum langjährigen Mittelwert.

Das Messgebiet erstreckte sich über die gesamte Münchner Schotterebene und somit dem festgelegten GEPO-Projektgebiet. Teilweise wurden auch Messobjekte erfasst, die kurz hinter der Grenze des Messgebietes lagen, um eine Art Pufferzone für die spätere Auswertung zu bilden. Es wurde beson-

ders darauf geachtet, dass vor allem das Münchner Umland intensiv bearbeitet wird, da die Messstellendichte in der Stadt wesentlich höher ist und somit automatisch eine wesentlich detaillierte Datenverteilung bietet. Zudem muss angemerkt werden, dass v.a. in den großflächigen Waldgebieten im Münchner Süden nur eine geringere Messdichte erreicht werden konnte, da es dort grundsätzlich eine geringere Messstellendichte als im übrigen Umland gibt.

5.2.2

[REDACTED]

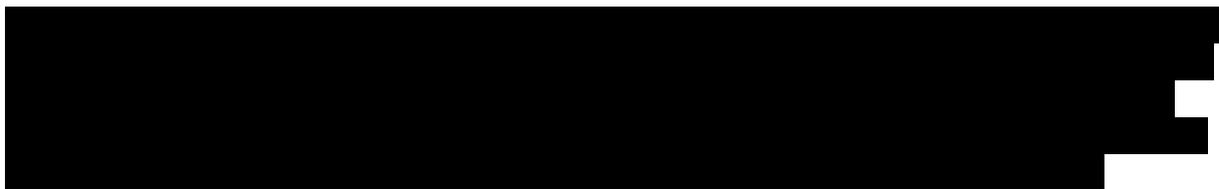
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

5.2.3

[REDACTED]



5.2.4 Messstellen externer Institutionen und Ämter

Um eine möglichst erfolgreiche Stichtagsmessung durchzuführen und zu einem späteren Zeitpunkt einen detaillierten Grundwassergleichenplan anfertigen zu können, ist eine hohe Datendichte von großem Vorteil. Wie bereits im Zwischenbericht von 2013 erläutert, gibt es im Großraum München eine große Anzahl von Großbetreibern, Institutionen und Ämtern mit eigenen Messstellen. Eine Großzahl dieser Betreiber, zumeist auch in der AG GEPO vertreten, stellten zur Stichtagsmessung die eigenen Messstellen bzw. einen aktuellen Datensatz ihrer „aktiven“ Messstellen zur Verfügung. „Inaktive“ Messstellen, die von den Betreibern nicht mehr regelmäßig gemessen werden, wurden im Zuge der Stichtagsmessung aufgearbeitet und soweit noch vorhanden vom Projektteam aufgesucht.

Im Vorlauf zur Stichtagsmessung wurden die übermittelten Informationen zu den Messstellen umfassend aufgearbeitet. Es wurden aktualisierte Listen und Übersichtspläne erstellt, zusätzliche Informationen ergänzt (Eingabe ins BIS-BY) und die gesammelten Daten in eine einheitliche, GIS-kompatible Form gebracht.

Aufgrund der hohen Anzahl von Messstellen, teilweisen Überschneidungen, veralteten oder unvollständigen Unterlagen oder nicht mehr auffindbarer Messstellen im Gelände, konnte zu Beginn der Stichtagsmessung nur eine grobe Abschätzung der zu messenden Objekte getroffen werden. Jedoch konnte dadurch, dass viele der inaktiven Messstellen im Zuge der Stichtagsmessung vom Projektteam aufgesucht wurden, eine aktuelle Übersicht erstellt werden, aus der ersichtlich wird, welche Messstellen der externen Institutionen noch vorhanden und nutzbar sind. Eine Übersicht dieser Messstellen („Messstellen externer Großbetreiber“) befindet sich in Tab. 2.

Zusätzlich erfolgte die Übermittlung von Daten der Messstellen des Landesgrundwasserdienstes sowie des Grunds, Verdichtungs- und Sondernetzes. Jedoch wurden diese Messdaten nicht ausschließlich extern erhoben, so dass diese unter 5.2.6 miteinbezogen wurden. Eine Gesamtübersicht aller

übermittelten und erhobenen Daten befindet sich in der finalen MS-Excel© Tabelle der Stichtagsmessung, die bereits fertiggestellt wurde und digital verfügbar ist ([REDACTED] „Messpunkte_GEPO.xls“).

5.2.5 Messstellen Dritter

Durch die intensive Zusammenarbeit und den Austausch mit einzelnen Projektpartnern, wurden bereits im Laufe des Jahres 2013 landkreisspezifische Listen erstellt, in denen relevante, messbare Objekte, hauptsächlich Grundwassermessstellen und Brunnen, mit zugehörigem Eigentümer bzw. Betreiber (soweit verfügbar), z.B. von regionalen Wasserversorgern, Kiesgruben, Deponien, Betriebe und Privatpersonen, aufgelistet wurden. Die Messstellen der unter Punkt 5.2.4 (bzw. Tab. 2) genannten Großbetreiber blieben hierbei außen vor.

Relevante Informationen zu den einzelnen Messobjekten, wie der aktuelle Ausbau oder die wasserwirtschaftliche Nutzung, wurden dem Bodeninformationssystem Bayern (BIS-BY), sowie der InfoWAS-Datenbank entnommen. Außerdem wurden zusätzliche Listen, z.B. über Betreiber geothermischer Anlagen im Stadtgebiet München, von verschiedenen Seiten bereitgestellt und verarbeitet.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

5.2.6 Gesamtübersicht der finalen Messpunkte

Neben der bereits beschriebenen Organisation und Planung zu den Messstellen von großen externen Institutionen und Ämtern (5.2.4), sowie den Messstellen Dritter (5.2.5), wurde die Gesamtanzahl der Messstellen noch durch weitere Objekte ergänzt.

So wurden weitere „Messstellen Dritter“ recherchiert, die sich nur schwer einem Betreiber zuordnen ließen bzw. über die nur fraglichen und unzureichenden Informationen vorhanden waren. Diese digital mit dem Default-Wert „999“ belegten Messstellen wurden den Messteams als zusätzliche Messstellen mit geringerer Priorität zur Verfügung gestellt und konnten bei Gelegenheit im Gelände aufgesucht und in die Stichtagsmessung einbezogen werden. Von insgesamt 110 dieser Messstellen konnten bis zum Ende der Stichtagswoche Daten gewonnen werden. Weitere 73 wurden angefahren, konnten aber nicht gemessen werden. Diese Informationen wurden allerdings dafür benutzt etwaige rückgebaute Messstellen in der Datenbank zu korrigieren.

Zusätzlich enthielt diese Auswahl einen Großteil der Messstellen des Landesmessnetzes, insofern diese sich noch nicht unter den Messstellen den einzelnen Betreuern befanden. Insgesamt konnte ca. die Hälfte dieser Messstellen an der STM gemessen, bzw. danach per Fernauslese über das Internet ergänzt werden.

Des Weiteren wurden zusätzliche Messstellen mit vorhandener BIS-ID (Objekte „BIS“) recherchiert, die bislang noch nicht in die „Betreiber Dritte“ Liste aufgenommen oder berücksichtigt wurden, da nur ungenügende Informationen über die Messstellen vorhanden waren. Zum Teil wurden hier auch Objekte ergänzt, die noch nachträglich von den Betreibern eingereicht wurden und bereits eine BIS-ID besaßen. Von 174 dieser Messstellen konnten im Zuge der Stichtagsmessung Daten gewonnen werden. Weitere 118 Messstellen wurden im Gelände aufgesucht, waren aber nicht messbar, unzugänglich oder zerstört. Auch hier wurden die Informationen für die Aktualisierung der Datenbank bzw. des BIS verwendet.

Ähnlich verhielt es sich mit einer weiteren Kategorie, der „neuen Objekte“. Im Zuge der Stichtagsmessung wurden neue Objekte der Liste hinzugefügt, die verspätet von den Betreibern Dritte eingereicht wurden, noch keine BIS-ID besaßen, oder erst zum Teil im Gelände aufgefunden wurden und keinem bekannten Objekt zugeordnet werden konnten. So konnten an 211 bislang unbekanntem Objekte Daten gewonnen werden, an insg. 22 war keine Messung möglich.

Allgemein muss nochmals angemerkt werden, dass alle Objekte, die mit „Keine Messung“ gekennzeichnet sind, nicht von vornherein ausgeschlossen wurden. Ein Großteil dieser Objekte wurde angefahren und zumeist stellte sich erst im Gelände heraus, dass diese nicht mehr messbar bzw. nicht mehr vorhanden waren.

In Tab. 2 ist eine Übersicht der Messobjekte dargestellt.

Tab. 2: Detailübersicht zu den Messobjekten der Stichtagsmessung 2014.

Detailübersicht zu den Messobjekten - Stichtagsmessung Münchener Schotterebene				
	Grundwasserstandsmessung			Messstellen angefahren (aber Messung nicht möglich)
	Intern: GEPO-Team, LFU, WWÄ	Extern: Betreiber Dritte	Intern: GEPO-Team, LFU, WWÄ	Extern: Betreiber Dritte
Messstellen Betreiber Dritte	1179	996	608	46
Insgesamt	2175			654
Messstellen externer Großbetreiber	1131	2630	287	56
Insgesamt	3761			343
Anzahl Messstellen Betreiber Dritte + AG-Mitglied	5936			997
Gesamt	6933			

5.2.7 Oberflächengewässer

Neben der Ermittlung von Grundwasserständen an Grundwassermessstellen und Brunnen war die Einmessung von Oberflächengewässern ein weiterer wichtiger Faktor der Stichtagsmessung. So wurden im Vorlauf wichtige Messpunkte an Fließgewässern (z.B. Würm und Isar) und stehenden Gewässern (diverse Baggerseen, Badeseen, usw.) per topographischer Karte und GIS-Analyse ausgewählt. Diese Vorauswahl wurde mit dem LfU sowie dem WWA abgesprochen und erweitert. Im Zuge der Stichtagsmessung wurden von 2 Mitarbeitern des LfU sowie einem Mitarbeiter des WWA-Münchens die festgelegten Punkte eingemessen und zum Teil noch sinnvoll ergänzt. Insgesamt wurden innerhalb einer Woche 364 Messwerte an fließenden und stehenden Gewässern erhoben. Die Werte wurden im Gelände präzise mit GPS (Genauigkeit 0,1 – 2,0 m) eingemessen und in vorbereitete Messprotokolle übernommen, später durch zusätzlichen Informationen (z.B. Art des OFG, Art des Messpunktes, Verbindung zur Vorflut, natürliches oder künstliches Gewässer, usw.) ergänzt und abschließend ins BIS-BY übertragen. Die 364 Messwerte spielen im Zuge der Erstellung des Grundwassergleichenplans (6.4.1) eine wichtige Rolle, sowohl bei der Konstruktion der Grundwasserhöhengleichen, als auch bei der Interpretation der hydraulischen Verhältnisse. In Tab. 3 ist eine Übersicht der gemessenen Oberflächengewässer dargestellt.

Tab. 3: Übersicht der gemessenen OFG

	Anzahl	Messung durch:
Messpunkte Fließgewässer	38	BK, LfU
Messpunkte stehende Gewässer	121	TS, WWA-M
Messpunkte Fließgewässer und stehende Gewässer	205	MS, LfU

5.2.8 Statusseminar März 2014

Am 27. Februar 2014 veranstaltete das GEPO Projektteam ein Statusseminar zur Stichtagsmessung 2014. Sinn und Zweck dieses Statusseminars war es, die projektbeteiligten Institutionen, Partner und Helfer über den aktuellen Stand und die Planungen zur Stichtagsmessung im April 2014 zu informie-

ren und zugleich offene Fragen zu beantworten. Neben den Verantwortlichen des Bay. Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit und des Bay. Landesamtes für Umwelt, sowie den Projektangestellten der TU München, nahmen vor allem die beteiligten Mitarbeiter der WWÄ, der SWM, von E.ON, der Autobahndirektion Südbayern, des Flughafen Münchens sowie des Referates für Gesundheit und Umwelt (RGU), der Münchner Stadtentwässerung (MSE) und des Baureferates für Tiefbau teil.

Neben dem aktuellen GEPO-Projektstand (Recherche und Projektfortschritt, Planungen für 2014 sowie Überblick über die Dissertationen), lag das Hauptaugenmerk auf der Stichtagsmessung. Die Motivation, die größte zusammenhängende Stichtagsmessung im Großraum München, mit vielen verschiedenen Beteiligten, mehreren tausend Messstellen und der Neuerung der gleichzeitigen Grundwassertemperaturmessung, bildete den Auftakt. Danach stellte die allgemeine Planung und Organisation, der Überblick über die mehreren tausend Messstellen von verschiedenen Organisationen, die Aufteilung der Messteams und Helfern sowie die Ziele der Auswertung, den nächsten großen Block des Statusseminars dar. Abschließend wurde, neben der Erläuterung der angestrebten Produkte (Datengrundlage, Grundwassergleichenplan, hydrogeologische Profile, Flurabstands- und Temperaturkarte - für Stadt und Umland), die Zielsetzung der Erarbeitung einer gemeinsamen Daten- und Planungsgrundlage, den Einsatz der Parameter bei der Kalibrierung von Rechenmodellen und die dadurch ermöglichte Abschätzung des geothermischen Potenzials der Münchner Schotterebene, erneut in den Fokus gerückt. In der abschließenden Diskussion wurden letzte Unklarheiten und offene Fragen geklärt und beantwortet.

5.2.9 Durchführung der Stichtagsmessung im April 2014

Den Beginn der Stichtagsmessung stellte der Infotermin für alle Helfer am 27.03.2014 dar. Es wurde nochmals die genaue Vorgehensweise erläutert, die Messgebiete unter den Bearbeitern aufgeteilt, das Werkzeug und die Unterlagen ausgegeben, sowie an einer Messstelle vor Ort (Pinakotheken) die korrekte Vorgehensweise bei einer Messung im Gelände demonstriert. Die Mitarbeiter des WWA Münchens und des Landesamtes für Umwelt wurden per E-Mail über die letzten organisatorischen Neuigkeiten informiert und bekamen auch Ihre Unterlagen digital übermittelt. Ebenso wurde die Verteilung der Werkzeuge, der Lichtlote und die Organisation der Fahrzeuge intern geregelt. Im Vorfeld hatte bereits ein Termin am WWA-München stattgefunden, bei dem die Aufteilung der Messstellen und Messpunkte für einen Teil der Oberflächengewässer, die von den Mitarbeitern des WWA übernommen wurden, abgeklärt wurden.

Die Durchführung der eigentlichen Stichtagsmessung war vom 31.03. bis zum 06.04.2014 (KW 14) angesetzt. Jedoch wurde in einzelnen Fällen, aus organisatorischen Gründen, zusätzlich bereits das Wochenende der KW 13 in die Messkampagne eingebunden. Die insgesamt 14 Mitarbeiter der TUM (inkl. Studenten), 10 Mitarbeiter des Landesamtes für Umwelt und 9 Personen des WWA-Münchens, führten die Messungen zeitgleich mit den Kollegen des WWA Rosenheims und des WWA Weilheims durch. Die Messkampagne führte jeder Mitarbeiter, je nach seiner verfügbaren Anzahl von Arbeitstagen, eigenständig durch, da so eine möglichst große Anzahl von Messobjekten bearbeitet werden konnte. Bei allgemeinen Fragen und Problemen, wenn beispielsweise Lichtlote den Dienst versagten oder Werkzeug ausgetauscht werden musste, konnten sich alle Mitarbeiter telefonisch und auch persönlich vor Ort an das Organisationsteam der TU München wenden.

Ebenso erfolgte die Messung der Oberflächengewässer, die von zwei Mitarbeitern des Landesamtes für Umwelt und einem Mitarbeiter des WWA Münchens durchgeführt wurden, komplett eigenständig. Nach der Stichtagsmessung wurden die Messwerte, bereits digital überarbeitet und eigepflegt, an das Projektteam übermittelt.

Allgemein lief die Stichtagswoche ohne nennenswerte Probleme ab. Ein Großteil der recherchierten Messobjekte konnte gemessen werden und die im Vorfeld kontaktierten Betreiber verhielten sich in

den meisten Fällen sehr kooperativ. Zudem waren die Witterungsverhältnisse in dieser Woche nahezu ideal. Am häufigsten machte die Nutzung der Lichtlote Probleme, da mehrere von ihnen während der Woche Fehlfunktionen aufwiesen und ausgetauscht werden mussten.

Neben der eigentlichen Messkampagne wurden noch ein TV-Termin an der Isar für SAT.1-Bayern, sowie ein Interview für eine Zeitung (Germeringer Anzeiger) und eine Radiostation (Deutschlandfunk) durchgeführt. Ebenso wurde zur Stichtagsmessung vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz eine Pressemitteilung zur Information der Bevölkerung veröffentlicht.

5.2.10 Auswertung und Nachbearbeitung der Stichtagsmessung

Nachdem die Stichtagsmessung erfolgreich beendet war, begann ab der KW 15 (2014) die Zusammenstellung der ausgefüllten Messprotokolle. Ebenso wurden von allen Mitarbeitern die Werkzeuge und Lichtlote eingesammelt, sortiert und falls kein TUM-Eigentum an die jeweiligen Besitzer zurückgegeben, bzw. zurückgesendet.

Viele der im Gelände ausgefüllten Messprotokolle wurden von WWA und LfU dankenswerter Weise bereits digital überarbeitet dem Projektteam zurückgesendet. Dies beschleunigte die Aufarbeitung und Zusammenführung. Zudem setzte bereits während der KW 14 der Rücklauf den verschickten Formblättern der „Betreiber Dritte“ und der Datenpakete der größeren Institutionen ein. Die per Hand ausgefüllten Messprotokolle der beteiligten Mitarbeiter (TUM, WWÄ, LfU) wurden vom GEPO-Team in eine MS-Excel® Tabelle übertragen und fehlende Felder soweit möglich ergänzt. Genauso wurde mit den digital übermittelten Messprotokollen sowie mit den Formblättern der „Betreiber Dritte“ verfahren, die zum Teil erhebliche Lücken bzw. nicht ausgefüllte Felder aufwiesen, die zeitaufwendig nachrecherchiert werden mussten. Die umfangreichen Datenpakete der großen Messinstitutionen (RGU, MSE, Baureferat, Flughafen, E.ON, SWM) wurden ebenfalls aufgearbeitet.

Objekte, zu denen trotz intensiver Datenrecherche und Informationen in Datenbanken, keine verlässlichen Angaben zur Messpunkthöhe gemacht werden konnte, mussten im Gelände erneut aufgesucht und korrekt eingemessen werden. Diese Arbeit wurde dankenswerterweise von [REDACTED] übernommen.

Nach einer ersten Zusammenführung und Sichtung der Daten Anfang Mai 2014 wurde festgestellt, dass in manchen Bereichen des Stadtgebietes München nicht ausreichend Temperaturmessungen durchgeführt wurden. Dies war primär dem Engpass an Lichtloten mit Temperatursonde geschuldet. Da eine flächendeckende Ermittlung der Grundwassertemperatur wünschenswert war, wurde in betreffenden Gebieten eine Nachmessung veranlasst. So wurden von zwei Mitarbeitern des Projektteams und einer studentischen Hilfskraft noch ca. 120 Messstellen nachgemessen und die Daten abschließend in die Stichtagsmessungstabelle eingepflegt. Die Temperaturmessungen werden auf Grund der relativ stabilen klimatischen Verhältnisse auch als repräsentativ angesehen.

Parallel zur Aufarbeitung und Eingabe der Daten in die Tabelle, wurden die Messstellen und Brunnen, die an der Stichtagsmessung gemessen wurden, im BIS-BY ergänzt oder falls nötig neu angelegt. Eine Eingabe aller verfügbaren Messobjekte der Stichtagsmessung ist bis Projektende anvisiert und wird voraussichtlich erfüllt. Leider gibt es von vielen Messobjekten kleinerer Betreiber nur spärliche oder keine Unterlagen, so dass auf die Eingabe verzichtet werden musste. Außerdem gestaltete es sich teilweise als sehr schwierig, verlässliche und aktuelle Unterlagen von beteiligten größeren Institutionen und „Betreibern Dritte“ zu bekommen.

Ziel der Aufarbeitung war eine finale Tabelle, in der alle erfassten Messwerte und Daten, nach Betreiber und Betreuer sortiert, eingegeben und mit wichtigen, zusätzlichen Informationen, wie beispielsweise der Gelände- und Messpunkthöhe, ergänzt wurden. Dieser Vorgang dauerte bis Mitte 2015 an,

da die Aufarbeitung von ca. 9000 recherchierten Messpunkten einen erheblichen Nachbearbeitungsaufwand benötigte und immer wieder Ergänzungen bestimmter Informationen, je nach Art und Zweck der Weiterverarbeitung, erforderte. So mussten beispielsweise von allen gemessenen Objekten (knapp 6000) nachträglich die Messdaten auf Plausibilität geprüft und mit den Werten des BIS-BY abgeglichen werden. Zudem mussten die Gw-Horizonte der einzelnen Messobjekte für jedes Objekt einzeln ergänzt werden, da die vorhandenen Informationen oft fehlerhaft oder nicht mehr aktuell waren. Zusätzlich änderten sich von vielen recherchierten Objekten im Laufe des Jahres 2014 die Objekt-IDs, da im BIS-BY eine neue Fachklasse eingeführt wurde. Auch diese Objekte mussten einzeln erneut recherchiert und aktualisiert werden, um die Tabelle aktuell zu halten.

Nach der Auswertung und Aufarbeitung der Daten, die im Zuge der Stichtagsmessung erhoben wurden, konnte mit der Erstellung der im GEPO-Projekt geforderten Produkte begonnen werden. Auf jedes der Produkte wird in Kapitel 6 gesondert eingegangen. Es erfolgt jeweils eine allgemeine Einführung, eine Erläuterung zur Datengrundlage und Methodik sowie die Präsentation der Ergebnisse.

5.3 Weitere Geländearbeiten

Einen Überblick über das Thema „Geländearbeiten“ wurde bereits im Kapitel 4 gegeben. Zudem wird bei den jeweiligen Produkten in Kapitel 6 und Detailbetrachtungen in Kapitel 7 auf erforderliche Geländearbeiten gesondert eingegangen.

Anbei folgt eine kurze Auflistung der schon zum Teil in Kapitel 4 erwähnten Messungen:

Bis zum August 2015 wurden wöchentliche Messungen des Grundwasserstandes, der Grundwassertemperatur und der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit an repräsentativen Orten im Stadtgebiet Münchens durchgeführt. Diese Messungen wurden als Tiefentemperaturprofile aufgenommen, d.h. alle genannten Messwerte in 1 m Abständen gemessen und protokolliert.

- Bereich der U3 Erweiterung im Bereich Oberwiesenfeld: 6 Grundwassermessstellen
- Bereich Reichenbachbrücke / Au: 7 Grundwassermessstellen
- Bereich Flaucher / Thalkirchen: 10 Grundwassermessstellen
- Bereich Marienklausenbrücke: 6 Grundwassermessstellen
- Bereich Südharlaching: 1 Grundwassermessstelle
- Bereich der U5 zw. „Laimer Platz“ und Theresienwiese: 30 Grundwassermessstellen
- Bereich U-Bahnhof U6 „Nordfriedhof“: 7 Grundwassermessstellen

6 Produkte und Ergebnisse

6.1 Hydrogeologische Einheiten und deren Eigenschaften

Die Tab. 4 enthält eine Beschreibung der im Arbeitsgebiet auftretenden hydrogeologischen Einheiten. Die Bildung der Einheiten erfolgte unter besonderer Berücksichtigung der Petrographie und in Anlehnung an die Ergebnisse der Hydrogeologischen Landesaufnahme nach Kainzmaier et al (in Vorbereitung). In der Spalte „Gesteinsausbildung und Mächtigkeit“ erfolgt eine Beschreibung der jeweiligen Einheit nach dem grundsätzlichen Schema Vorkommen - petrographische Ausbildung - Mächtigkeiten; die geologischen Beschreibungen orientieren sich im Wesentlichen an der Vorlage der geologischen Landesaufnahme (Manuskript E. Kroemer i. Entwurf). Bei Bedarf wird auf Besonderheiten hingewiesen. In der Spalte „Hydrogeologische Kurzbeschreibung“ wird eine kurze Charakterisierung des Grundwasserleiters bzw. -geringleiters, seine Bedeutung und Funktion im hydrogeologischen Aufbau und für die Grundwasserverhältnisse im Gebiet sowie in der wasserwirtschaftlichen Nutzung abgehandelt. Je nach Verfügbarkeit werden zur Veranschaulichung Beispiele angeführt. Die als Deckschichten klassifizierten Einheiten werden in Tab. 5 kurz erläutert. Die Tab. 6 enthält eine Übersicht der Attribute der hydrogeologischen Einheiten und Deckschichten.

Tab. 4: Hydrogeologische Legendeneinheiten

Hydrogeologische Einheit (Kürzel)	Gesteinsausbildung und Mächtigkeit	Hydrogeologische Kurzbeschreibung
QUARTÄR		
qGF: fluvioglaziale Schotter, z. T. mit hydraulischer Anbindung an die Talschotter	Würmzeitliche Schmelzwasserschotter der eiszeitlichen Niederterrasse sind das dominierende Element der Münchner Schotterebene und bilden zusammen mit den holozänen Talfüllungen einen über die Gesamtfläche des Arbeitsgebietes weit verbreiteten vielfach zusammenhängenden Schotterkörper. Sofern ältere z. T. an den steilen Talflanken auskartierte Hochterrassen- und Vorstoßschotter diese unterlagern, werden sie in dieser Einheit mitgeführt (z. B. Würmtal bei Mühlthal). Im Bereich Krailing-Planegg unterlagern den Niederterrassenschottern z. B. 4 – 15 m mächtige Hochterrassenschotter. Vor allem im Ausstrich ist Nagelfluhbildung weit verbreitet. Die Schmelzwasser- bzw. Terrassenschotter bestehen vorwiegend aus alpinen Karbonatgeröllen und -sanden. Der Kristallinanteil kann im Ablagerungsbereich des Isar-Loisach-Gletschers bis zu 30% in der Grobkiesfraktion betragen. Im Ablagerungsbereich des Inngletschers ist die Zusammensetzung wesentlich variabler. Die Schotter liegen bezüglich ihrer Kornzusammensetzung als Grobkies, sandig, steinig, schluffig vor. In Moränennähe kann der Feinkornanteil zunehmen, auch Blöcke können dann im Kornspektrum auftreten.	Der Schotterkörper bildet das quartäre Hauptgrundwasserstockwerk. In ihm erfolgt der hauptsächlichliche Grundwasserumsatz im Gebiet. Es handelt sich um einen Poren-Grundwasserleiter mit überwiegend mittleren bis sehr hohen Durchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, in Bereichen mit Nagelfluhbildung um einen Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter mit variablen Durchlässigkeiten. Vor allem in Randbereichen gehen die Durchlässig- und Ergiebigkeiten aufgrund höherer Schluffanteile etwas zurück. Nach Norden stehen die fluvioglazialen Schotter zunehmend mit seitlich angrenzenden bzw. überlagernden holozänen Talschottern hydraulisch in Verbindung. Die jüngeren Talfüllungen und die angekoppelten Fließgewässer übernehmen dann in weiten Teilen die Vorflutfunktion für das Grundwasser im quartären Grundwasserstockwerk (z. B. im Bereich Moosburg a.d.Isar). Bereichsweise besteht auch hydraulische Verbindung zu angrenzenden Schottermoränen (z. B. ehem. WV Rechtmehring). Einschübe von bindigen Beckensedimenten und Moränenablagerungen führen lokal zu komplexen Grundwasserverhältnissen mit differenzierbarem Stockwerksbau (vgl. Kapitel 6.2.3: Profil C – Markt Schwaben). An einigen Stellen besteht hydraulische Kopplung zum tertiären

	<p>Mächtigkeiten nach Norden nehmen tendenziell ab (vgl. Profil A: im Raum Moosburg a.d.Isar von 4 m bis 7 m), im Süden</p> <p>ist im Bereich der Prallstelle der Isar: mächtige, lockere Schotter (50 m), die bis zum Flinz hinunterreicht. In der Bohrung M14 des Förderwerks der Stadtwerke München ca. 32 m. Nach PENCK (1913) kann die Mächtigkeit der Deckenschotter bis zu 70 m erreichen. Bei Föching beträgt die Gesamtmächtigkeit der quartären Schotterterrasse ca. 76 m.</p>	<p>Grundwasserstockwerk durch Flinzsandlin- sen (z. B.: im nordöstlichen Bereich des Ar- beitsgebietes). Im Bereich von Molasse- hochzonen erfolgt mit der damit verbunde- nen Anhebung der Grundwassersohle stel- lenweise eine hydraulische Abtrennung einzelner Schotterkörper. Der südliche Isarverlauf trennt die Schotter in einen westlichen und bezüglich der Grundwas- sersohle (Tertiärhoch) in einen höher lie- genden östlichen Teil (vgl. Kapitel 6.2.3: Profil F – Stadt München-Moosach-Per- lach). Am Südrand und z. T. an der Ost- grenze des Gebiets ist durch häufiger auf- tretende Altmoränen eine Zergliederung des Schotters in einzelne hydraulisch von- einander unabhängige in Schüttungsrich- tung ausgerichtete Rinnen und Stränge ausgeprägt. Nach GLA (1982) strömen über diese Rinnen bis zu 400 l/s aus den Moränengebieten der Schotterebene zu. In diesen am Südrand liegenden Rinnen be- finden sich zahlreiche Wasserversorgun- gen (z. B. Gemeinde: Puchheim, Baier- brun, Fürstenfeldbruck, Mammendorf, Al- ling, Gilching, Starnberg, Germering, Krail- ling, Königswieser Forst, Grünwalder Forst, Wangen, Gauting, u.a.).</p> <p>Bekannt sind auch die stark schüttenden Quellen bei Mühlthal (bis 142 l/s), die sich aus einer unter der Niederterrasse tief ein- geschnittenen mindelzeitlichen Schotter- rinne speisen (Würmtalrinne). Nach Blasy (1974) werden sie deshalb als hydraulisch eigenständig gesehen.</p> <p>Sohlschicht des quartären Grundwasser- stockwerks sind vielfach gering durchläs- sige Feinsedimente der Oberen Süßwas- sermolasse sowie bindige Beckensedi- mente und Moränenablagerungen.</p> <p>Je nach Deckschichtenausbildung und lo- kalem Grundwasserstand herrschen frei bis gespannte Grundwasserverhältnisse vor (z. B. im Bereich der deckende Mergel im Stadtgebiet). Die Flurabstände nehmen von Süden nach Norden tendenziell ab ein- hergehend mit der Ausdehnung gespann- ter Bereiche. Artesische Druckverhältnisse traten punktuell nur einmal im Arbeitsgebiet auf.</p> <p>Lokale bis überregionale</p> <p>wasserwirtschaftlicher Bedeutung, z. B. Nutzung der Niederterrassenschotter im Gemeinde Höhenkirchen-Siegertsbrunn für öffentliche Wasserversorgung (Ergiebigkei- ten bis über 100 l/s); Nutzung der fluviogla- zialen Schotter vor allem im Bereich von Schmelzwasserrinnen (Pullacher Rinner,</p>
--	--	---

		Ergiebigkeiten bis über 105 l/s), dort teilweise Erschließung zusammen mit sandig-kiesiger Schottermoräne; Schwebende Grundwasservorkommen lokal durch Einzelwasserversorgungen genutzt. Insgesamt intensive gewerbliche Nutzung durch Brauchwasserbrunnen (z. B. zu Kühl- und Heizzwecken).
Hochterrasse (Deckenschotter) (qGFh)	<p>Isar-Loisach-Gletscher: An den Altmoränen setzen Flächen mit sog. Hochterrassenschottern an, die sich im Gebiet als Schotterstränge zungenförmig in das Gebiet des Forstrieder Parks und des Kreuzlinger Forstes erstrecken [REDACTED]. Zum Teil unterlagern sie die Niederterrassenschotter und werden dann hydrogeologisch mit diesen zusammen betrachtet (siehe qGF).</p> <p>Mit zunehmender Entfernung vom Moränenrand sind die Schotter besser sortiert. Sie enthalten jedoch auch noch in größerer Entfernung einen hohen Anteil an abgerollten Steinen und Blöcken (über 20 cm). Das Material entstammt überwiegend dem Kalkalpin, der Kristallinanteil liegt etwa bei 10%.</p> <p>Mächtigkeiten stark wechselnde von 15 bis ca. 45m.</p> <p>Inn-Gletscher und östlicher Isar-Loisach-Gletscher: Die Hochterrassenschotter, die östlich von Holzkirchen über die Niederterrasse aufragen, bestehen aus sandigen Kiesen. Häufig tritt, an einzelne Horizonte gebunden, eine nagelfluhartige Verfestigung auf. Das Material besteht überwiegend aus Karbonatgesteinen des kalkalpinen Liefergebiets.</p> <p>Im Bereich Erding schließen nördlich an die Moränenwälle weitere Hochterrassen an (vgl. Profil H – Fürstenfeldbruck, Kapitel 6.2.3).</p> <p>Karbonatisch zementierte Abschnitte sind speziell in den Profilen als qGFN („Nagelfluh“) ausgewiesen worden (vgl. Profile G, K und J).</p> <p>Mächtigkeiten von 10 bis 15 m in der Hochterrasse des Fichtholzes, ca. 20 bis 30 m in Mangfall-Schlierach-Platte.</p>	Poren-Grundwasserleiter mit überwiegend mittleren bis sehr hohen Durchlässigkeiten (z.B. Semptal), in Bereichen mit Nagelfluhbildung Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter mit variablen Durchlässigkeiten. Sofern keine Kopplung an die Niederterrassenschotter besteht sind die isolierten Vorkommen aufgrund der geringen, lückenhaften Verbreitung nur gering bis mäßig ergiebig und daher wasserwirtschaftlich nur vereinzelt lokal genutzt.
qG_S: Holozäne Tal-schotter- und sande	Bei den holozänen Talfüllungen handelt es sich um an die größeren Fließgewässer (Amper, Würm, Isar, Mangfall) gebundene rein fluvial gebildeten Ablagerungen mit karbonatischem	Poren-Grundwasserleiter mit mäßigen bis mittleren Durchlässigkeiten und geringen Ergiebigkeiten.

	<p>Grobkies bis Sand. Im Allgemeinen führen sie umgelagertes Material der kaltzeitlichen Ablagerungen (Moränen und Schotter), sowie Beimengungen von Molassesedimenten. Die Flussbettfazies wird beständig von feinsandig bis schluffigen Hochflutablagerungen unterschiedlicher Mächtigkeit und Verbreitung überlagert. Sie hat meist eine klar bessere Sortierung als die benachbarten Schmelzwasserschotter (Manuskript E. Kroemer i. Entwurf). In den Schotter dominierten Abschnitten ist der Schluffgehalt meist untergeordnet.</p> <p>Mächtigkeiten bis 8m.</p>	<p>In den Flusstälern i. d. R. mit hydraulischer Interaktion zum Fließgewässer (influente oder effluente Verhältnisse); mit seitlich an die Täler angrenzenden und unterlagernden Schottern der hydrogeologischen Einheit qGF hydraulisch in Verbindung.</p> <p>Vereinzelte lokale wasserwirtschaftliche Nutzung.</p>
<p>Moräne im Alpenvorland, undifferenziert (qmo10)</p>	<p>Aufgrund des kleinräumig wechselnden Aufbaus und inhomogener Petrographie werden analog zu den Erl. Region 18 hier alle Moränenablagerungen undifferenziert (qmo10) betrachtet.</p> <p>Falls eine petrographische Abgrenzung speziell in den Profilen möglich war, wurde folgende Differenzierung gemacht:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Moräne, tonig-schluffig (qmo2) – Grundmoräne • Moräne, kiesig-schluffig (qmo3) – meist Endmoräne • Moräne, sandig-kiesig (qmo4) – Schottermoräne <p>Obertägig aufgeschlossen sind die Moränen meistens in Form von Wällen entlang der SW-Grenze des Gebietes (Isar-Loisachgletscher) und entlang der NE-Grenze (Inn-Gletscher). Sie verzahnen sich randlich mit den angrenzenden Schottern oder sind im Untergrundaufbau Teilglieder derselben. Bei Ausschwemmung des Feinkornanteils ist ein Übergang in eisrandnahe fluvioglaziale Schotter bzw. Schottermoräne grundsätzlich möglich.</p> <p>Außerhalb der Wälle treten vor allem Geschiebemergel (matrixgestützte Moränen), Ablationsmoränen aber auch überfahrene Schotter auf.</p> <p>Es handelt sich überwiegend um korngestützte Diamikte, Geschiebemergel sind vorwiegend im Erdinger Lobus verbreitet. Die Korngrößen rei-</p>	<p>Kleinräumiger Wechsel von Poren-Grundwasserleitern mit geringen bis mäßigen Durchlässigkeiten, in kiesbetonten Bereichen mit mäßigen bis mittleren Durchlässigkeiten, und Grundwassergeringleitern (insbes. Moräne, tonig-schluffig) ohne nennenswerte Durchlässigkeit.</p> <p>Eine nennenswerte Grundwasserführung beschränkt sich weitestgehend auf die sandig-kiesigen Einschübe; im Allgemeinen entstehen horizontal eng begrenzte, meist isolierte geringmächtige Grundwasservorkommen in unterschiedlichen hydraulischen Niveaus. Übereinander lagernde Schottermoränen vermitteln einen lokalen Stockwerksbau, der jedoch i. d. R. keine horizontale Beständigkeit aufweist. Über die vielerorts sandig-kiesige Ausbildung im Randbereich der Moränenwälle erfolgt z. T. eine hydraulische Anbindung an die angrenzenden Schotter (z. B. NW FFB). Es liegen vorwiegend gespannte Grundwasserverhältnisse vor (z. B. N Argelsried).</p> <p>Aufgrund des meist bindigen Ausgangsmaterials und dessen Verwitterungsprodukte entstehen im Bereich der Moränen zahlreiche Hochmoorkomplexe mit eigenständigem Wasserhaushalt.</p> <p>Lokal zur Grundwassergewinnung in bescheidenem Umfang genutzt, als schützende Grundwasserüberdeckung jedoch bedeutend.</p>

	<p>chen von fein bis blockgröße; sie bestehen vorwiegend aus kalkalpinen Gesteinen, untergeordnet aus Gesteinen der Flysch- und Molassezone. Der Anteil kristalliner Komponenten liegt meist unter 20%. Häufig sind sie stark verlehmt (entkalkt) und bilden eine mehr oder minder mächtige Lößlehm-Deckschicht. Vor allem in Senken und Rinnen akumulieren Fließerden bestehend aus Lößlehm und verwittertem Moränenmaterial. In Zusammenhang mit diesem sehr bindigen Material entstehen die zahlreichen, charakteristischen Hochmoorbildungen. Bereichsweise sind Schotterstränge- oder zungen zwischengeschaltet. Gelegentlich kommt es zu nagelfluhartigen Verfestigungen.</p> <p>Mächtigkeiten grundsätzlich stark schwankend; Im Erdinger Lobus treten vorwiegend Geschiebemergel mit Mächtigkeiten bis 35 m auf; Im Bereich des Isar-Loisach-Gletschers wenige Meter bis auf über 20 m (bei Holzkirchen Mächtigkeiten zwischen 3 und 13 m);</p> <p>Im Bereich des Inn-Gletschers werden bis 19 m erreicht. Schottermoräne zeigen im Allgemeinen Mächtigkeiten von wenigen Metern bis mehreren 10er Metern.</p>	
<p>Seeablagerungen (TI_SI)</p>	<p>Obertägig nur an sehr wenigen Stellen aufgeschlossen, aufgrund der Bohrbeschriebe sind im Untergrund jedoch auch lateral beständigere, mehrere Meter mächtige Lagen zu vermuten.</p> <p>Es handelt sich um Beckenschluffe- und tone, zum Rand hin auch in sandiger Ausbildung.</p> <p>Mächtigkeiten wenige Meter bis 10er Meter (z.B. bei Bayerbrunn bis 18 m).</p>	<p>Überwiegend Lockergesteins-Grundwassergeringleiter ohne nennenswerte Durchlässigkeit und Grundwasserführung. Bei sandiger Ausbildung geringe, jedoch unbedeutende Grundwasser Führung möglich.</p> <p>Häufig Sohlschicht für lokale Grundwasservorkommen in fluvioglazialen Schottern (qGF) oder Schottermoränen. Lateral beständigere Seeablagerungen können lokal zu einer hydraulischen Interngliederung größerer Grundwasserkörper führen.</p> <p>Im Aufschluß bzw. in Oberflächennähe entwickeln sich häufig ausgedehnte Moorflächen und Vernässungszonen.</p>

VORLANDMOLASSE / TERTIÄR

<p>Obere Süßwassermolasse, undifferenziert (OSM)</p>	<p>Die Gesteine der Oberen Süßwassermolasse sind nur in den tief eingeschnittenen Tälern und im randlichen Bereich der Moränenwälle aufgeschlossen. Über die zahlreichen Bohrungen ist sie im Untergrund jedoch flächenhaft mit einen lebhaften von Hochlagen und tiefen Erosionsrinnen</p>	<p>Wechselfolge von Poren-Grundwasserleitern bzw. Kluft-(Poren)Grundwasserleitern mit geringen, selten mäßigen Durchlässigkeiten und Ergiebigkeiten sowie Grundwassergeringleitern.</p> <p>Geringe i. d. R. unbedeutende Grundwasserführung in sandigen und kiesigen Par-</p>
--	---	---

	<p>gegliedertem Relief nachgewiesen (Hinweis auf Q/T-Grenze).</p> <p>Es handelt sich um eine Wechselfolge von Schluffen und Tonen, Sanden (Fein- bis Mittelsand, glimmerführend, karbonatführend), vereinzelt Kieslagen, Sandsteinen (mit karbonatischem Bindemittel), glimmerführenden Mergeln, Tonmergeln und Sandmergeln; Aufgrund ihrer charakteristischen Glimmerführung werden die die tertiären Sande und Mergel vielfach auch als Flinzsande und -mergel bezeichnet. Die feingeschichteten Sande sind schwach verfestigt oder locker. Vor allem im Osten treten mitunter auch gröbere Quarzsande sowie quarzreiche und Kristallin führende Kiese und Kies-Sand-Gemische auf, denen die quartären Schotter direkt aufliegen. Stellenweise sind kohlige Lagen nachgewiesen. Mächtigkeiten von 500 bis 600 Meter.</p>	<p>tien (z. B. Flinzsandlinse). Die Grundwasserhältnisse sind meistens gespannt. Stellenweise stehen die Stockwerke des Quartärs und Tertiärs in hydraulischem Kontakt (bei Eichenau), jedoch ist aufgrund der deutlichen Durchlässigkeitsunterschiede eine flächenhafte Diskontinuität vorhanden.</p> <p>Vorwiegend im südlichen Gebietsteil als bedeutender Stauhorizont linienhaft austretender Quellen entlang der tief eingeschnittenen Täler erschlossen (z. B. Mühlthaler Quellen, Würmtal).</p> <p>Als flächenhaft verbreitete Sohlschicht des quartären Grundwasserstockwerks wasserwirtschaftlich regional von Bedeutung. Zur Grundwassergewinnung über Tiefbrunnen für einzelne Unternehmen (z. B. Brauereien) relevant.</p>
--	--	---

Tab. 5: Deckschichten klassifizierter Einheiten

Kürzel (HGLE)	Hydrogeologische Einheit	Gesteinsausbildung und Mächtigkeit	Vorkommen
Quartär			
Kam	Alm (Wiesenkalk) bis Wiesenmergel	terrestrisches Karbonatlockergestein, in situ im Bereich von Vernässung durch karbonatische Grundwässer gebildet; sowohl als feinkörnige Variante im Schluffbereich als auch grieslige Variante im Sandkornbereich vorliegend, meist Umrüstung von Pflanzenteilen. Mächtigkeit: überwiegend geringmächtige Einschaltungen.	eng an die Verbreitung von Niedermoor und Anmoor gebunden (z. B. im Bereich des Erdinger und Freisinger Moores).
HM: Moor/ Anmoor	Hn: Niedermoor	Schilf und Rohrkolben als Zeigerpflanzen (eutrophe Variante); Entweder olivbraun mit erkennbaren Pflanzenresten (im frischen Zustand) oder schwarz (zersetzt). Mächtigkeiten mehrere Meter.	größere Vorkommen in den nördlichen Teilen der Schotterebene, sowie innerhalb des Erdinger Altmoränenlobus.
	Hh: Hochmoor	Torfmoos (Sphagnum) und Wollgras, oligotrophe Variante von organischen Akkumulationen; Olivbraun mit erkennbaren Pflanzenresten im frischen Zustand oder schwarz (zersetzt). Mächtigkeiten bis 3 m.	im randlichen Bereich des Arbeitsgebietes im Bereich der Endmoränen oder im Bereich der Altmoränen unter Löß ältere Hochmoortorfe.
	Hm: Anmoor, Moor	Anmoor-Moor, Torf, mit hohem Anteil an organischer Substanz mit braunschwarzen bis schwarzen Farben. Mächtigkeiten einige dm.	Anmoor-Moor im Einflussbereich von Flüssen, Bächen und Seen sowie im Bereich der Seeablagerungen und in Hohlformen der Moränen; Torflagen entstanden in vernässten Tallagen über stauenden Schichten. Häufig sind in den randlichen Bereichen der Moorkommen Anmoore entwickelt.
y	Anthropogene Bildungen	Künstliche Ablagerungen und Künstlich verändertes Gelände wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit im Arbeitsgebiet zusammengefasst. Die Ablagerungen können sehr unterschiedlich aufgebaut sein und sehr häufig anthropogene Komponenten wie Ziegel oder Bauschutt enthalten. Mächtigkeiten variabel, von einigen Metern bis 10er m.	vorwiegend in Gewerbe- und Industriegebieten, Flughafen München-Erding vorkommend. Ortsgebiete werden im Allgemeinen nicht als anthropogen verändert dargestellt.
q(t)	polygenetische Talfüllungen, Bach- und Flussablagerungen, Auen- und Hochflutablagerungen	Polygenetische Talfüllungen bestehen größtenteils aus Sand und Lehm mit unterschiedlichen Anteilen an Kies, Steinen und Blöcken, je nach Einzugs- und Liefergebiet. Mächtigkeiten bis 2 m, im Bereich von Zusammenflüssen und Schwemmfächern auch über 5 m.	Polygenetische Talfüllungen wurden beispielhaft nur im Bereich der Altmoränen zwischen Germering und Fürstenfeldbruck ausgeschieden Im Bereich von Neben- und Kerbtälern treten Ablagerungen mit unterschiedlicher Entstehung auf, die aufgrund ihrer Ausdehnung oder Verzahnung oft nicht abgrenzbar sind und als polygenetische Talfüllung zusammengefasst werden. Bach- und Flussablagerungen als Talgrundakkumulationen mit ebenem Talboden wurden nur im randlichen Bereich des Arbeitsgebietes ausgeschieden.

			Als Auenablagerungen oder feinkörnige Hochflutablagerungen z. B im NE Bereich des Arbeitsgebiet.
u	Lhg: Hanglehm	Ton bis Schluff, Feinsand; Mächtigkeiten bis wenige Meter.	Als umgelagerten Lehm wurden die Talbildungen im Bereich des Erdinger Altmoränenlobus ausgeschieden, da hier in den Tälern vor allem umgelagerter Lößlehm und Ackerkolluvien als Füllung zu erwarten sind.
	u: Umlagerungsbildungen	Als Umlagerungsbildungen wurden zwei Bereiche ausgeschieden. Einerseits an der Altmoräne südlich von Fürstenfeldbruck, hier liegen vor allem Abschwemm Massen mit untergeordnet Rutschbereichen vor, andererseits in den steilen Flanken des Mangfalltals, mit vorwiegend Rutschungen und gravitativen Verlagerungen (von Konglomeraten). Diese Bereiche sind direkt mit den zum Teil linearen Quellaustritten an der Grenze zur OSM verbunden. Mächtigkeiten wenige m bis 10er m.	an der Altmoräne südlich von Fürstenfeldbruck; in den steilen Flanken des Mangfalltals
	rusz: Rutsch- und Sturzmassen	wechselnde Zusammensetzung: Rutschmassen aus der Mollasse sowie aus den hängenden quartären Ablagerungen (hauptsächlich Konglomerate und Schotter). Mächtigkeiten bis mehr als 10 m.	vor allem im Isartal zwischen Hohenschäftlarn und Großhesselohe ausgeschieden; weiteren zwei Vorkommen sind südlich Deisenhofen und Zwei bei Weyarn an der Mangfall. Abgesehen von den Vorkommen bei Deisenhofen sind die Rutschmassen direkt im Zusammenhang mit den Quellaustritten an der Grenze zur OSM zu sehen.
Loll	Lößlehm; Löß, verlehmt; Decklehm	gelbgrauer - bis orangebrauner Schluff, feinsandig, tonig, lehmig Ablagerungen sind Verwitterungsbildungen von Löß oder Sandlöß. Stellenweise eingebettete Lößkindel. Fremdmaterial in unterschiedlichem Maße kann lokal beigemischt sein. Verbreitet Verschwemmungsbildungen und zum Teil als Basisfließerde oder als Lößlehmfließerde verlagert. Mächtigkeiten auf Altmoräne und Hochterrasse liegt durchschnittlich bei 1-2 m, zum Teil sogar auch mehr (bis zu 3 m). Auf Ostabdachungen und im Bereich des Erdinger Altmoränenlobus können die Mächtigkeiten erheblich zunehmen.	liegt den Altmoränen und Hochterrassen auf, flächenhafte Verbreitung auf diesen Bereich beschränkt.

Tab. 6: Erläuterungstabelle – Attribute der hydrogeologischen Einheiten und Deckschichten

Erläuterungstabelle - Attribute											
		Legendeneinheit	Kürzel (HGLE_Kurznr)	Nr.	Hydrogeol. Klassifikation	Leiter- charakter	Durchlässigkeit	Gesteinsart	Verfestigung	Hohlraumart	Hydrogeochem.
Hydrogeologische Einheiten											
QUARTÄR		Fluvioglaziale Schotter, z. T. mit hydraulischer Anbindung an die Talschotter	qGF	1	ph	GWL	2	S	L	P	k
		Hochterrasse (Deckenschotter)	qGFh	2	kpg	GWL/GWG	4	S	LF	KP	k
		postglaziale Flussschotter und -sande	qG_S	3	ph	GWL	2	S	L	P	k
		Moräne im Alpenvorland, undifferenziert	qmo10	4	pg	GWL/GWG	11	S	L	P	m
		Seeablagerungen	TI_SI	5	lg	GWG	10	S	L	P	m
VORLANDMOLASSE	Tertiär	Obere Süßwassermolasse, undifferenziert	OSM	6	pg/kpg	GWL/GWG	10	S	L/F	K/P	m
Deckschichten											
QUARTÄR		Alm (Wiesenkalk)	Kam	7	dv	DS	12	S	LF	P	k
		Moor, Anmoor	HM	8	dmog	DS	5	S	L	P	o
		Anthropogene Bildungen	y	9	dv	DS	11	S	L	P	a
		polygenetische Talfüllungen, Bach- und Flussablagerungen, Auen- und Hochflutablagerungen	q(t)	10	dv	DS	11	S	L	P	m
		Umlagerungsbildungen	u	11	dv	DS	11	S	L	P	m
		Lößlehm, Löß, verlehmt oder Decklehm	Loll	12	db	DS	10	S	L	P	m

6.2 Hydrogeologische Profilschnitte

Eine Übersicht über die verfügbaren Anlagen in diesem Bericht zu den hydrogeologischen Profilschnitten gibt Tab. 7.

Bezeichnung der Anlage:	Inhalt
Anlage 3	Darstellung von 10 Profilschnitten

Tab. 7:
Anlage zum Thema „Hydrogeologische Profilschnitte“

6.2.1 Allgemeines

Um eine bessere räumliche Interpretation der hydrogeologischen Verhältnisse in der Münchner Schotterebene zu ermöglichen, wurden 10 hydrogeologische Profile in repräsentativen und aussagekräftigen Bereichen angefertigt. Der Verlauf der Profilschnittlinien ist der Abb. 2 zu entnehmen. Die Profilschnitte verlaufen unter Berücksichtigung geeigneter Bohrdaten und soweit möglich in NW-SE-Richtung, senkrecht zur Schüttungsrichtung. Es wurden Knickpunkte bei mehreren Profilen eingesetzt, um die Bohrdatendichte entlang der Profillinien zu erhöhen. Profilknicke, die mehr als 30° betragen, sind in den Profilen gesondert ausgewiesen. Aufgrund der geringen Mächtigkeiten mussten sehr große Überhöhungen gewählt werden. Dabei erscheint die topographische Oberfläche häufig als unverhältnismäßig extrem ausgeprägt. Die Auflösung der in den Profilen dargestellten lithologischen und hydrogeologischen Einheiten ist abhängig von der vorliegenden Bohrdatendichte und Bohrdatenqualität. Es wurden zunächst 10 Profillinien und ein Ersatzprofil angelegt (Abb. 2). Bei der Bearbeitung der Profile wurde festgestellt, dass Profil I (Raum Holzkirchen) eine zur Konstruktion unzureichende Datengrundlage aufweist, worauf dieses Profil verworfen wurde. Deshalb wurde auf das Ersatzprofil K (Raum Erding) zurückgegriffen.

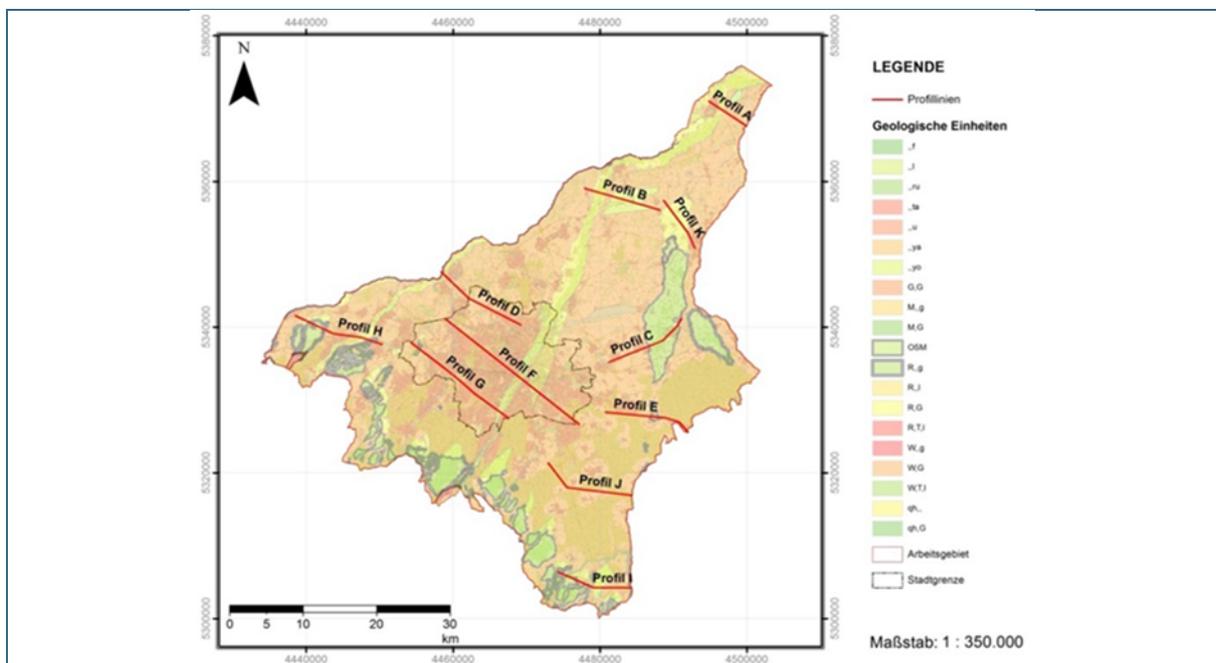


Abb. 2: Profilverläufe im GEPO Arbeitsgebiet

6.2.2 Datengrundlage und Methodik

Die Datengrundlage der hydrogeologischen Profile stellen die Bohrungsdaten des GeoFachdatenAtlas (Bodeninformationssystem Bayern) dar. Dabei wurden für die Konstruktion aller Profile insgesamt 235 Bohrungen mit Schichtdaten verwendet. Zur Interpretation der Profilschnitte wurde zusätzlich auf Bohrgutachten, falls vorhanden, zugegriffen. Die Daten für die Darstellung der Grundwasseroberfläche wurden priorisiert der projektintern durchgeführten Stichtagsmessung (Kapitel 5.2) entnommen. Falls im Zuge dieser Messungen keine Daten für einzelne Bohrungen erhoben wurden, wurden die Grundwasserstände aus dem BIS (falls hier vorhanden) als Orientierungshilfe verwendet.

Die Profile wurden mit Hilfe des Tools „X-section“ erstellt, einem Tool des Illinois State Geological Survey. Die Vorgehensweise dabei wurde der „Anleitung Profilerstellung mit X-section“ von [REDACTED], zur Verfügung gestellt vom LfU (Stand 15.05.2014), entnommen.

Im Folgenden eine kurze Übersicht der anfallenden Arbeitsschritte und der dafür benötigten Software und Tools:

- BIS: Export der benötigten Daten
- BDE Tool: Aufbereitung der exportierten BIS-Daten
- MS-Access©: Erstellung einer dbase IV Datei
- ArcCatalog©: Erstellung eines Punkt-Shape-Files mit den Aufschlussdaten sowie der/des Linien- Shapefiles der Profillinie(n)
- ArcGIS10©: Umbenanntes ArcMap© Dokument „Xacto_ArcGIS10_xsection.mxd“ mit dem „Create Cross Section Tool“

Benötigte Datensätze:

- Schichtdaten (fe_profil_ext) [dbase IV-Format] bzw. Stratigraphiedaten (fe_profil) aus BIS-Export
- Punktdatensatz erzeugt aus dbaseIV-Datei [shp-Format]
- DGM 5 [grid-Format / img-Raster]
- Profillinie [shp-Format]
- Geologische bzw. hydrogeologische Karte [shp-Format]

Die erstellten Profilschnitte wurden zunächst in geeignetem Maßstab ausgedruckt. Die hydrogeologische Interpretation der Daten erfolgte daraufhin per Hand in den gedruckten Versionen. Die fertig gezeichneten Profile wurden eingescannt, im jeweiligen ArcGIS© Projekt georeferenziert und anschließend digitalisiert.

Die weitere Bearbeitung der Daten wurde anhand der „Anleitung zur digitalen Verarbeitung und Vorkhaltung der Daten für die Erstellung der Hydrogeologischen Profile im Rahmen des Projektes GEPO“ von [REDACTED] (Stand: Juni 2015) vorgenommen. Abweichend von dieser Anleitung wurde das Attribut des „Störungslayers“ (Linien-shapefile) nicht angelegt, da im Falle der erstellten Profile dieses Attribut nicht relevant ist. Das Attribut des Linienlayers „Profilknick“ wurde in das Attribut des Punktlayers „Topographische Punkte“ integriert, wie auch in der Vorgabe optional vorgeschlagen. Die geforderten Layerfiles für jedes Profil wurden einzeln bearbeitet und Attributtabelle gemäß den Vorgaben angelegt und ausgefüllt. Zusätzlich wurde für die beiden Linienlayer der „Grundwasseroberfläche“ (gwo) und „Schichtgrenzen“ (sgr) jeweils das Attribut „FREITEXT“ (Typ: Text; Länge: 50) hinzugefügt, um hier Bereiche zu kennzeichnen, die aufgrund ihrer mangelnder Datengrundlage als ungesichert (gestrichelt) einzuschätzen sind.

Die hydrogeologischen Einheiten wurden der aktuellen Generallegende des LfU (Stand Juli 2015) entnommen, die lithologischen Einheiten dem Dokument „HK100_Profile_Lithologie“ vom 11.06.2015.

Nach Absprache mit dem LfU wurde die Geländeoberkante in den Profilen nicht geglättet. So können durch die großen Überhöhungen Autobahnen, Bahnunterführungen, o.ä. mit sehr großen Höhendifferenzen in der Geländeoberfläche erscheinen.

Die Grundwasserführung wird in den Profilen mit unterschiedlichen Farben dargestellt. Dabei werden je nach Durchlässigkeiten die grundwassererfüllten Bereiche in Blautönen dargestellt: Bereiche mit mittleren bis hohen Durchlässigkeiten (dunkelblau), Bereiche mit geringen bis mäßigen Durchlässigkeiten (hellblau), Grundwasserleiter/-geringleiter mit (stark) variablen Durchlässigkeiten und wechseln-

der Grundwasserführung (blau schraffiert). Grundwassergeringleiter ohne nennenswerte Grundwasserführung erscheinen gelb, Grundwasserleiter ohne nennenswerte Grundwasserführung im Bereich der Grundwasserüberdeckung werden farblos dargestellt. Für die Ausweisung von Bereichen mit gespannten Grundwasserverhältnissen wurden Druckpfeile und eine gestrichelte Grundwasseroberfläche verwendet, die die Grundwasserdruckfläche repräsentiert. Die lithologischen Einheiten sind entsprechend der Legende zu entnehmen. Lithologische Einheiten sind nur soweit dargestellt, soweit sie im Maßstab der Profile darstellbar sind. Zu kleine Pakete wurden nicht berücksichtigt.

In einem Treffen mit [REDACTED] vom LfU wurden alle Profile nach Fertigstellung eingesehen und diskutiert. [REDACTED] verwies unter anderem auf die strukturelle Oberfläche der tertiären Oberkante, die häufig von Erosionsrinnen durchzogen ist und nur selten aus glatten Flächen besteht. So wurde die Oberfläche der Oberen Süßwassermolasse in den Profilen entsprechend überarbeitet und interpretiert.

Die Profile werden in einer Arbeitsversion in gedruckter Form in [Anlage 3](#) abgegeben, um einen ersten Eindruck des Produkts zu ermöglichen. Dies stellt nicht die finale Version der Profile dar. Die Profile werden ebenso in digitaler Version abgegeben und anschließend vom LfU und der zuständigen Kartographie Abteilung nochmals komplett neu gelayoutet. Als Hilfe soll dabei die Abgabe von Layerfiles zu relevanten Shapefiles dienen.

6.2.3 Ergebnisse und Interpretation

Im Folgenden werden die Profilschnitte einzeln diskutiert und dabei auf besondere lithologische und hydrogeologische Verhältnisse entlang der Profillinien eingegangen.

Profil A – Moosburg

„Profil A – Moosburg“ im Norden der Münchner Schotterebene erstreckt sich über eine Länge von ca. 6,2 km. Das Profil verläuft dabei von NW nach SE über Moosburg, die Isar, die Autobahn A82, den Mittleren Isarkanal bis an die NE' Grenze der Münchner Schotterebene. Es ist aufgrund der geringen Mächtigkeiten mit einer 60-fachen Überhöhung dargestellt. Die dominante geologische Einheit bilden würmzeitliche Schmelzwasserschotter, die den Hauptgrundwasserleiter des quartären Grundwassers mit überwiegend mittleren bis sehr hohen Durchlässigkeiten darstellen. Die Schotter sind im Bereich des Profils relativ homogen als Kiese, sandig, schwach schluffig, selten steinig anzusprechen. Über große Abschnitte des Profils bedecken schluffig, sandige Deckschichten bis maximal 3,5 m Mächtigkeit die Schmelzwasserschotter, welche vermutlich als Sandlöß-Ablagerungen der Würmeiszeit zu interpretieren sind und eine heterogene Verteilung von mäßig bis gering bis keine Durchlässigkeiten besitzen. Im Bereich des Moosburger Baggersees liegt das Niveau der Grundwasseroberfläche über der Basis der überlagernden Schluffe, wodurch sich gespannte Grundwasserverhältnisse ergeben, die in einer Bohrung nachgewiesen sind. Die Grundwassermächtigkeit beträgt im Maximum ca. 7 m und dünnt an der NE-Grenze des Profils mit dem tertiären Hügelland gänzlich aus. Als Basis des quartären Grundwasserleiters dienen die Tone und Schluffe der Oberen Süßwassermolasse, die als Aquiclude das Aquifer nach unten abgrenzen. Im Westen des Profils unterhalb Moosburg ist eine Flinzsandlinse erbohrt worden die als Top der tertiären Ablagerungen eingestuft wird, jedoch dem quartären Grundwasseraquifer zugeordnet werden muss. W' des Mittleren Isarkanal wurde in einer Bohrung eine knapp 2 m mächtige Torfablagerung erbohrt. Der Grundwasserspiegel liegt in diesem Bereich nur knapp unterhalb der Torfablagerungen. Der Flurabstand bewegt sich entlang des Profils in einer Größenordnung von etwa 2 bis 7 m.

Isarwasser infiltriert im Bereich des Profils in den quartären Grundwasserleiter. Die Sempt steht nicht in direkter Interaktion mit dem Grundwasserleiter, ebenso wie der Mittlere Isarkanal.

Profil B – Flughafen

„Profil B – Flughafen“ erstreckt sich über eine Länge von 10,7 km mit einer WNW – ESE‘ Orientierung. Dabei werden Pulling, die Isar, die Autobahn A92, das Gelände des Flughafen Münchens und Schwaig erschlossen. Das Profil wird mit einer 50-fachen Überhöhung dargestellt. Würmzeitliche Schotter der Korngrößen Kies, sandig, leicht schluffig und vereinzelt steinig stellen auch hier den sehr gut durchlässigen Hauptgrundwasserleiter des quartären Aquifers dar. Auffällig sind beinahe über die gesamte Länge des Profils, besonders jedoch im Bereich des Flughafens und E‘ davon, die geringen Flurabstände. Hier kann der Grundwasserspiegel örtlich in weniger als 1 m unter der Erdoberfläche angetroffen werden. Dies ist auf die Lage im Erdinger Moos zurückzuführen, das durch die Anlegung von Kanälen und Gräben ab der Mitte des 19. Jahrhunderts zur landwirtschaftlichen Nutzbarkeit großflächig trocken gelegt wurde. Mit dem Bau des Flughafen Münchens waren weitere wasserwirtschaftliche Eingriffe verbunden. Die (stauende) tertiäre Oberkante stellt in mehreren Bereichen des Profils nicht die Basis des quartären Aquifers dar. Zwei Flinzsandlinsen erweitern die Mächtigkeit des Aquifers um wenige Meter. E‘ des Flughafen Terminals kann auf Grundlage der Bohrdaten ein tertiäres Grundwasserfenster interpretiert werden, das eine Ausdehnung von 1,5 bis 2 km erreicht. Die hier angetroffenen, bis zu 8 m mächtigen Flinzsande werden von stark durchlässigen Kiesen unterlagert und stellen somit einen relativ großen Grundwasserleiter in der Oberen Süßwassermolasse dar, der mit dem quartären Aquifer in Verbindung steht. Ob die durchlässigen Sedimente in diesem Bereich eine hydraulische Verbindung zum obersten tertiären Grundwasserstockwerk besitzen, kann aufgrund der unzureichenden Teufe der vorhandenen Bohrungen nicht geklärt werden.

Das Isarwasser infiltriert im Profilbereich in den quartären Aquifer. Die Region ist stark von kleinen Bächen und Entwässerungsgräben geprägt, die die anmoorigen Böden trocken legen sollen.

Profil C – Markt Schwaben

„Profil C – Markt Schwaben“ erstreckt sich über eine Länge von ca. 11,9 km, und besitzt eine 50-fache Überhöhung. Das Profil startet bei Feldkirchen in ENE‘-Richtung und schwenkt über zwei Knicke < 30° auf NNE nahe Ottenhofen. Von WSW aus schneidet die Profillinie des Weiteren die Autobahn A99, Heimstetten, Poing und Markt Schwaben. Die Basis des quartären Grundwasserleiters stellen über das gesamte Profil Tone und Schluffe der oberen Süßwassermolasse dar. Während sich im westlichen Teil bis Poing der quartäre Grundwasserleiter zum Großteil aus würmzeitlichen Schottern mit schwankendem Feinkornanteil zusammensetzt, wird ab der östlichen Dorfgrenze eine N-S-orientierte, rißzeitliche Altmoräne angeschnitten. Das NNE‘ Ende des Profils tritt wieder knapp aus der Rißmoräne heraus. Innerhalb der Moränenablagerungen ergeben sich spezielle hydrogeologische Verhältnisse. Trotz relativ geringer Bohrdatendichte, ist davon auszugehen, dass die Altmoräne, wenn auch sehr kleinräumig und heterogen, überwiegend aus bindigem Material aufgebaut ist. Im westlich angeschnittenen Teil befindet sich eine Bohrung mit gespannten Verhältnissen. Das angebohrte Grundwasser aus einer knapp 5 m mächtigen Ablagerung aus Kiesen und Steinen steigt auf eine Druckfläche, die dem Level des quartären Grundwasserspiegels in den Schmelzwasserschottern entspricht, weshalb ein hydraulischer Kontakt zwischen beiden interpretiert wurde. Die weiteren Bohrungen innerhalb der Altmoräne weisen auf kleinräumige, heterogene lithologische Verhältnisse hin, bei denen davon auszugehen ist, dass häufig linsenartige Körper mit höherem Grobkornanteil schwebende Grundwasserspiegel führen, die nur selten eine hydraulische Verbindung untereinander besitzen. So ist es auch möglich, dass innerhalb der Moräne mehrere geringmächtige Grundwasserstockwerke in einer Bohrung angetroffen werden. Eine durchgehende Wasserführung von W nach E an der Basis der Moräne ist sehr unwahrscheinlich, ist jedoch aufgrund fehlender Datendichte in dieser Teufe nicht endgültig zu klären. Vielmehr wahrscheinlich ist eine Umströmung des quartären Grundwassers um die Moräne. Am NNE‘ Ende des Profils liegt der E‘ Rand der Moräne in bindiger Ausbildung auf älteren Schmelzwasserschottern auf. Das in diesen Schottern angebohrte Grundwasser ist bis über das Top

der Moränenablagerungen in diesem Bereich gespannt und stellt wieder das Level des umliegenden quartären Grundwasserspiegels dar. Die Potentialdifferenz des quartären Grundwasserspiegels W' und E' der Reißmoräne beträgt etwa 15 m. Der Flurabstand außerhalb der Moräne schwankt ca. zwischen 2,5 bis 8 m. Die Profillinie schneidet keine größeren Oberflächengewässer.

Profil D – Dachau

„Profil D – Dachau“ besitzt eine Länge von 13,2 km und eine 50-fache Überhöhung. Vom NW' Rand der Münchener Schotterebene verläuft das Profil über Dachau, Amper, Würm, Würmkanal, Feldmoching, Hasenbergel bis Milbertshofen - Am Hart in NW - SE Orientierung. NE' von Karlsfeld macht die Profillinie einen Knick $< 30^\circ$ Richtung ESE. Würmzeitliche Schmelzwasserschotter stellen auch hier die dominante hydrogeologische Einheit des quartären Aquifers dar, werden jedoch an mehreren Stellen durch Sande und Kiese der Oberen Süßwassermolasse zum Liegenden hin erweitert. Im westlichen Teil des Profils befindet sich die tertiäre Oberkante nur wenige Meter unter der GOK, fällt dann jedoch ca. 1 km SE' der Würm steil um ca. 7 m ab. Die Grundwassermächtigkeit in diesem westlichen Bereich beträgt trotzdem über weite Strecken über 10 m, da das Top der OSM hier aus überwiegend bis zu 8 m mächtigen, sandigen Ablagerungen besteht und als Grundwasserleiter dient. Im E steigt die TOK wieder an, was dem NW-Rand der Altstadt-Tertiärhochfläche entspricht. Auch hier erweitern Feinsande und -Kiese der OSM den quartären Aquifer an der Basis. Die Interpretation eines echten tertiären Fensters (Kontakt mit dem obersten tertiären Grundwasserstockwerk), lassen die vorliegenden Daten aufgrund unzureichender Teufe und Datendichte jedoch nicht zu. Die Flurabstände sind über weite Teile des Profils sehr gering. E' der Würm bis Feldmoching beträgt der Abstand von Grundwasserspiegel zu GOK stellenweise weniger als 1 m.

Die Amper ist an das quartäre Grundwasser angebunden. Die Würm interagiert zumindest teilweise mit dem quartären Grundwasserleiter, der Würmkanal dagegen besitzt keine Anbindung.

Profil E – Zorneding-Kirchseeon

Das „Profil E - Zorneding-Kirchseeon“ erstreckt sich über eine Länge von ca. 12,0 km und verläuft dabei in W-SE'-Richtung über die A99, den südlichen Ortsrand von Vaterstetten, Zorneding, bis Kirchseeon und damit bis an die Ostgrenze der Münchener Schotterebene. Für die Darstellung wurde eine 50-fache Überhöhung gewählt. E' von Zorneding orientiert sich die Profillinie mit einem $< 30^\circ$ Knick, auf Höhe Kirchseeon mit einem $> 30^\circ$ Knick weiter SE'. Als hydrogeologische Besonderheit ist im Bereich des südlichen Schwellenwerkes Kirchseeon eine vertikale hydraulische Barriere durch Bohrdaten belegt, die den quartären Grundwasseraquifer in zwei Bereiche mit deutlichem Niveauunterschied im Grundwasserstand teilt. Die dominante lithologische Einheit des Quartärs stellen die zum größten Teil aus sandigem Kies aufgebauten würmzeitlichen Schmelzwasserschotter dar. Sie besitzen als Hauptgrundwasserleiter überwiegend mittlere bis sehr hohe Durchlässigkeiten. Im W des Profils wurden einige lithologische Pakete mit bis zu 9 m Mächtigkeit erbohrt, die einen erhöhten feinklastischen Anteil aufweisen. Im Bereich Zorneding ist eine Reißmoräne angeschnitten, die aufgrund der geringen Datendichte hinsichtlich der Grundwasserführung nur unzureichend zu interpretieren ist. Drei Erdwärmesonden liegen auf der Profillinie innerhalb der Moräne und geben jeweils nur unsichere Angaben über den angebohrten Grundwasserspiegel. Es liegen hier keine weiteren Daten von Grundwasserstandsmessungen vor. Eine durchgehende Anbindung an den quartären Grundwasserleiter ist jedoch nicht wahrscheinlich.

Die in Kirchseeon durch die Profillinie angeschnittene hydraulische Barriere teilt den quartären Grundwasserleiter in einen nördlichen und einen südlichen Bereich. Zwischen beiden besteht ein Niveauunterschied des Grundwasserspiegels von fast 10 m, wobei der Abstand beider gemessener Pegel nur wenige 10-er Meter beträgt. Für diese außergewöhnliche geologische Struktur einer kleinräumigen,

vertikalen hydraulischen Barriere gibt es verschiedene Erklärungsansätze. Im Rahmen einer Altlastensanierung wurden in diesem Bereich gründlichere Untersuchungen im Jahr 2001 durch die Deutsche Bahn AG angestellt. Nach Rücksprache mit [REDACTED], konnte dabei das Phänomen noch nicht eindeutig geklärt werden. In Diskussion befinden sich folgende Theorien: Eine schmale, wenige Meter breite hydraulische Barriere, entweder aus einer Tertiärhochlage oder aufgeschupptem Tertiärmaterial; Eine limnische Ablagerung, die im Uferbereich schräg stehende, dünnmächtige Feinklastika akkumuliert hat; Eine vor einem Eisvorstoß vorangeschobene feinklastische Ablagerung. Es wurde über eine Untersuchung von Mikrofossilien versucht das Alter des Materials der Barriere zu bestimmen, jedoch konnte nicht geklärt werden, ob es sich dabei um tertiäres oder quartäres Material handelt. An einer Doppelmessstelle wurde laut [REDACTED] eine Überlagerung beider Grundwasserstockwerke von 20 m festgestellt. Oberhalb der Barriere wurden mehrere Schluffkomplexe erbohrt, die aufgrund sehr heterogener Lagerungsverhältnisse nicht in einen zusammenhängenden oder aushaltenden Komplex eingeordnet werden konnten. Diese Stauhorizonte bilden in Abhängigkeit saisonaler Niederschläge und der räumlichen Ausdehnung begrenzte Grundwasserkörper mit bis zu 1,5 m Mächtigkeit. Es ist davon auszugehen, dass Niederschläge sich auf einem Schluffkomplex stauen und dann kaskadenartig auf den nächsten Komplex absinken. Aufgrund der kleinräumigen Strukturen dieses Phänomens sind die Geometrien leider nur schlecht im Profil aufgelöst.

Die Basis des quartären Aquifers stellen Schluffe und Tone der Oberen Süßwassermolasse dar. Nur eine sehr geringmächtige Flinzsandlinse E' der hydraulischen Barriere erweitert den Grundwasserleiter zum Liegenden hin. Die Grundwassermächtigkeit bewegt sich im Bereich von etwa 5 bis 15 m. Der Flurabstand beträgt im W ca. 16 m und erhöht sich bis zur hydraulischen Barriere im SE auf bis zu 35 m. Im Profilbereich befinden sich keine relevanten Oberflächengewässer.

Profil F – Stadt München-Moosach-Perlach

„Profil F - Stadt München-Moosach-Perlach“ erstreckt sich über eine Länge von ca. 23,3 km und wird in einer 50-fachen Überhöhung dargestellt. Es stellt das längste Profil dar und verläuft in NW-SE' Richtung direkt durch die Münchner Innenstadt, ausgehend von Allach-Untermenzing über die Würm, Moosach, Neuhausen, Lehel, Au-Haidhausen, Neuperlach bis Neubiberg. Die Mächtigkeit der dominanten, gut durchlässigen Schmelzwasserschotter ist über den Profilverlauf relativ gering, von NW mit 20 m über die Stadtmitte mit nur wenigen Metern bis am SE' Ende mit etwa 27 m. Erweitert wird der quartäre Grundwasserleiter abschnittsweise durch Flinzsande der Oberen Süßwassermolasse. Dabei ist vor allem der Bereich E' des Marienplatzes zu erwähnen, hier sinkt der Grundwasserspiegel unter die Quartärbasis ab und das quartäre Grundwasser bewegt sich in einem bis zu 10 m mächtigen Flinzsandpaket. Die Flurabstände sind W' der Isar mit fast durchgehend um 5 m relativ gering, E' der Isar steigen sie bis zum SE-Ende des Profils bis auf etwa 27 m an.

Das Profil schneidet mehrere tertiäre Rinnenstrukturen an. Dazu gehören im Bereich der Würm der nördliche Ausläufer der Würmtalrinne, die „Pasinger-Obermenzinger Rinne“, die „Waldfriedhofer-Neuhausener Rinne“ im Bereich des Nymphenburger Kanals, die Isartalrinne (siehe Kapitel 0). Die „Altstadt-Tertiärhochfläche“ ist ebenso deutlich im Profil aufgeschlossen, wie die rißzeitliche Hochterrasse E' der Isar. Am steilen Hang der Hochterrasse zur Isar sind im Bereich des Profils (Nähe Muffathalle) Quellaustritte in W' Schüttungsrichtung vorhanden. Die tertiäre Oberkante fällt hier steil ab und das Grundwasser fließt die Terrassenkante herunter. Da in der geologischen Karte die Obere Süßwassermolasse an dieser Stelle nicht ausbeißt, wurde sie parallel zur Terrassenkante gezogen. Es ist davon auszugehen, dass im Hangbereich Schutt auftritt der mitunter bindiges Material enthält und dadurch das Grundwasser als Quelle aus dem Hang austreten lässt. Auch möglich ist es allerdings, dass die tertiären bindigen Sedimente am Hang ausbeißern und das Wasser an diesen Stellen austritt.

Die Würm ist im Profilbereich nicht direkt an den quartären Grundwasserleiter angebunden, ebenso wie der Nymphenburger Kanal, während die Isar deutlich mit dem quartären Grundwasser interagiert.

Profil G – Stadt München-Gröbenzell-Harlaching

Mit 16,8 km Länge und 50-facher Überhöhung verläuft „Profil G – Stadt München-Gröbenzell-Harlaching“ im südlichen Teil des Stadtgebiets in NW-SE' Richtung und dabei über die Aubinger Lohe, Aubing, Pasing, Würm, Hadern, Obersendling, Isar bis Harlaching. Die stark durchlässigen würmzeitlichen Schmelzwasserschotter weisen Mächtigkeiten von 0 bis 25 m auf. W' der Isar treten unterhalb der Quartbasis relativ geringmächtige, dafür jedoch lateral aushaltende Flinzsande auf. Sie wurden bis an die W'-Flanke des Isaruferes in einer Bohrung aufgeschlossen. Auf beiden Isarufer-Hängen sind in diesem Bereich Quellaustritte zu beobachten. Im W des Profils ist die Aubinger Lohe angeschnitten, ein tertiäres Hoch, das an seiner E' Flanke von geringmächtigen quartären Sedimenten überlagert wird. Das Tertiärhoch dient vermutlich, zumindest teilweise, als hydraulische Barriere für den quartären Grundwasserstrom, wobei der Grundwasserspiegel E' der Aubinger Lohe ein niedrigeres Niveau aufweist, als auf der W' Seite. Der Flurabstand beträgt am NW-Rand des Profils nur ca. 2 m, während im SE ca. 26 m auftreten. Im Bereich der angeschnittenen tertiären Würmtalrinne werden maximale Grundwassermächtigkeiten von bis zu 13 m erreicht. Nördlich des Südparks, zwischen Hadern und Obersendling, ist der südliche Ausläufer der „Waldfriedhofer-Neuhausener Rinne“ im Verlauf des Profilschnitts abgebildet. Am E' Isarufer ist eine bis zu 10 m mächtige Nagelfluh-Bank erbohrt worden. Auf der gegenüberliegenden Uferseite ist das Paket weniger als 1 m mächtig. Die Würm fließt im Profilbereich in einem bindigen, feinklastischen Sedimentbett und besitzt so keine Anbindung an das quartäre Grundwasseraquifer. Der Isarkanal besitzt, im Gegensatz zur Isar selbst, ebenso keine Grundwasser-Interaktion.

Profil H – Fürstenfeldbruck

„Profil H – Fürstenfeldbruck“ mit 12,5 km Länge und einer 40-fachen Überhöhung verläuft in W-E Richtung am W' Rand der Münchener Schotterebene. Es schneidet dabei Mammendorf, Fürstenfeldbruck, die Amper und Eichenau. Die dominante grundwasserführende hydrogeologische Einheit wird erneut durch würmzeitliche Schotter aufgebaut, jedoch an zwei Stellen durch Tertiärhochs unterbrochen. Zwischen Mammendorf und Fürstenfeldbruck befindet sich ein tertiäres Hoch, das von einer rißzeitlichen Moräne überlagert wird. Die Bohrdatendichte ist vor allem innerhalb der Moräne sehr gering, wobei jedoch im E' Teil der morphologischen Erhebung die tertiäre Oberkante bis an die Hangkante gezogen wurde, da die Obere Süßwassermolasse auf Hinweis von Dr. Ernst Kroemer hier ausbeißt. Das Tertiärhoch stellt eine hydraulische Barriere dar, die eine Differenz des Grundwasserspiegels von fast 9 m verursacht, mit höheren Grundwasserständen W' der Barriere. Das E' Tertiärhoch wird nur an seiner höchsten Erhebung von Rückständen einer mindelzeitlichen Moräne überlagert. Aufgrund fehlender Bohrdaten wurde die Moräne anhand der geologischen Karte im Profil interpretiert. Auch hier dient das Tertiärhoch als hydraulische Barriere für das quartäre Grundwasseraquifer und erzeugt eine ca. 10 m hohe Grundwasserspiegel-Differenz. E' der Erhebung liegt die Grundwasseroberfläche deutlich höher und besitzt mit Flurabständen von unter 1 m die niedrigsten Werte entlang des Profils. Die größten Flurabstände sind im Bereich Fürstenfeldbruck mit etwa 12 m zu beobachten. W' und E' des Tertiärhochs bei Eichenau sind bis zu 12 m mächtige Flinzsandpakete erbohrt worden, die den quartären Aquifer zum Liegenden hin erweitern. Auch in der Mitte des Profils liegen nur wenige Bohrdaten vor, weshalb die Quartärbasis hier gestrichelt dargestellt wurde. W' von Fürstenfeldbruck sind eine Kiesgrube und ein Baggersee (Pucher Meer) angeschnitten. Letzterer ist mit quartärem Grundwasser gefüllt. Das Profil wurde über seinen Verlauf an zwei Stellen mit Knicken < 30° abgelenkt um die Bohrdatendichte zu erhöhen. Die Amper ist im Profilbereich an den quartären Aquifer angeschlossen.

Profil J – Dürrnhaar

„Profil J – Dürrnhaar“ erstreckt sich über 13,2 km, mit 30-facher Überhöhung zunächst in NW-SE' Richtung und nach einem Knick $> 30^\circ$ nahe der Autobahn-Raststätte „Hofoldingen Forst“ in W-E' Richtung. Es verläuft dabei über die A995 (Nahe Ausfahrt Sauerlach), A8, S' Brunenthal, Dürrnhaar bis zur E' Grenze der Münchener Schotterebene. Durch die südliche Lage innerhalb der Münchener Schotterebene sind die Mächtigkeiten der quartären Ablagerungen hier relativ groß und erreichen Maximalwerte von bis zu 50 m. Der Profilschnitt ist geprägt durch die großen Nagelfluh-Pakete, die in diesem Bereich erbohrt wurden. Auf Höhe der A8 wurden hierbei maximale Mächtigkeiten von bis zu 20 m aufgeschlossen. Die zu Konglomeraten verfestigten Bereiche wurden als Grundwasserleiter interpretiert, jedoch mit einer geringen bis mittleren Durchlässigkeit ausgewiesen. Der E' Rand des Projektgebiets wird hier von einer rißzeitlichen Moräne begrenzt, die im Profil noch zu einem kleinen Teil an der Geländeoberkante ansteht. Aufgrund der Bohrdaten ist davon auszugehen, dass die lithologisch heterogenen Ablagerungen der Rißmoräne noch bis zu 2,5 km unterhalb der Geländeoberkante in Richtung W fortreichen. Da jedoch die Basis der quartären Sedimente hier wieder relativ homogene sandige Kiese darstellen, wurde dieses etwa 15 m mächtige Paket als mindelzeitliche Schmelzwasserschotter interpretiert. In der Mitte des Profils ist die Bohrdatendichte, bzw. die Auflösung der lithologischen Beschreibungen der Bohrungen relativ gering. So konnten keine detaillierten lithologischen Abstufungen gemacht werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit, wie auch mit [REDACTED] diskutiert, dass über die Strecke des Profils immer wieder Rückstände von rißzeitlichen Moränen oder auch lithologisch heterogeneren rißzeitlichen Schmelzwasserschottern anstehen, die jedoch nicht an der Geländeoberkante aufgeschlossen sind. Während der Flurabstand im NW noch etwa 10 m beträgt, steigt er im E bis auf ca. 45 m an. Die Grundwassermächtigkeiten bewegen sich um 2 – 16 m. W' von Dürrnhaar ist die Kiesgrube Dürrnhaar angeschnitten und stellt eine deutliche morphologische Senke in der Geländeoberkante des Profils dar. Im Profilbereich sind keine Oberflächengewässer aufgeschlossen.

Profil K – Erding

„Profil K – Erding“ verläuft mit 50-facher Überhöhung, über 7,8 km Länge in NNW-SSE' Richtung. Dabei werden der Bach Dorfen, Weichgraben, Mittlerer Isarkanal, die Flughafentangente, und Erding angeschnitten. Über weite Strecken des Profils liegt Decklehm den würmzeitlichen Schmelzwasserschottern auf. Die Deckschichten erreichen dabei Mächtigkeiten von bis zu 6 m und wurden als feinklastische Sedimente und Grundwassergeringleiter klassifiziert. Der W' Rand der Decklehm-Ablagerungen ist vom Weichgraben durch seine mäandrierende Geometrie mehrmals angeschnitten. In diesem Bereich erscheinen projizierte Bohrungen durch den lateralen Versatz höher gelegener Flächen oberhalb der Geländeoberkante, spiegeln jedoch die anstehende Lithologie wider. Unterhalb des Weichgrabens wurden feinklastischere Ablagerungen erbohrt. Nur zwei geringmächtige Flinzsandpakete erweitern den quartären Aquifer zum Liegenden. In der Mitte des Profils, wie auch unterhalb des Weichgrabens, liegen nur unzureichende Bohrdaten vor, weshalb die Quartärbasis und die Grundwasseroberfläche hier gestrichelt dargestellt wurden. Die Grundwassermächtigkeit bewegt sich im Bereich von 3 bis 10 m, die Flurabstände zwischen 1 und 9 m. Im E des Profils wurden knapp unter der Geländeoberkante etwa 4 m mächtige Wiesenkalkausfällungen erbohrt. Es handelt sich dabei um sekundäre Kalkauscheidungen im Bodenprofil, die durch den Kapillaraufstieg von kalkhaltigem Wasser entstehen. In den Profilen im Anhang wurde diese Lithologie mit der Signatur für Kalksteine gekennzeichnet, auch wenn die Ausfällungen nicht als Festgestein vorliegen. Unterhalb des Bachs Dorfen sprechen die Bohrdaten für die Ausprägung einer flachen tertiären Rinne. Der Bach Dorfen ist nicht an das quartäre Grundwasser angeschlossen, es ist jedoch möglich, dass er in das quartäre Grundwasserstockwerk exfiltriert. Der Mittlere Isarkanal besitzt keinerlei Anbindung.

6.3 Basis des quartären Grundwasserleiters

Eine Übersicht über die verfügbaren Anlagen in diesem Bericht zur Basis des quartären Grundwasserleiters gibt Tab. 8.

Bezeichnung der Anlage:	Inhalt
Anlage 4.1	Quartärbasis Arbeitsgebiet
Anlage 4.2	Quartärbasis Stadtgebiet
Anlage 4.3	Standartabweichung Arbeitsgebiet
Anlage 4.4	Standartabweichung Stadtgebiet
Anlage 4.5	3D-Modell

Tab. 8:
Anlagen zum Thema „Basis des quartären Grundwasserleiters“

6.3.1 Allgemeines

Die Quartärbasis (Anlage 4.1, 4.2) stellt die Grenze zwischen den quartären Sedimenten und der Oberen Süßwassermolasse dar. Dieser Horizont besteht im Allgemeinen aus sandigen, tonigen und mergeligen Ablagerungen. In weiten Teilen des Untersuchungsgebiets besteht die Tertiäroberkante aus geringdurchlässigen Tonen und Schluffen. In diesem Fall stellt die Tertiäroberkante die grundwasserstauende Basis des quartären Grundwasserleiters dar. Bereichsweise können statt der tertiären Tone und Schluffe jedoch sog. „Flinzsande“ auftreten, welche dem quartären Hauptgrundwasserleiter, der dem oberen Grundwasserstockwerk entspricht, zugerechnet werden.

Im GEPO Forschungsgebiet wurde das Relief der Quartärbasis bzw. Tertiäroberfläche bezüglich der stratigrafischen Einstufung untersucht. In Bereichen der stauenden Tone und Schluffe, bildet die Tertiäroberkante gleichzeitig die Quartärbasis und kann daher direkt für die Berechnung der grundwassererfüllten Mächtigkeit herangezogen werden. Treten flächendeckende Flinzsande auf, bildet die Tertiäroberkante nicht automatisch die Untergrenze des quartären Grundwasserleiters. Hier muss von einer zusätzlichen grundwassererfüllten Mächtigkeit in den tertiären Flinzsanden ausgegangen werden.

6.3.2 Datengrundlage und Methodik

Die Abb. 3 zeigt die eingesetzte Methode zur Ermittlung der Quartärbasis in verschiedenen Phasen.

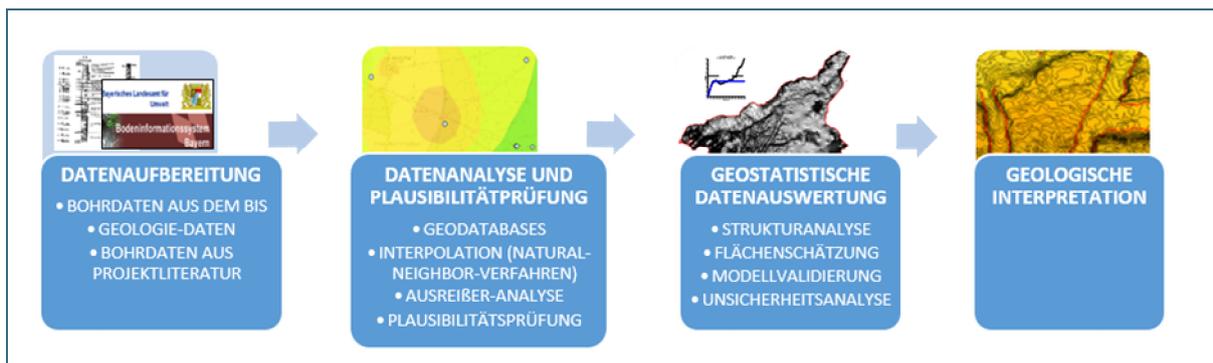


Abb. 3: Methode zur Ermittlung der Quartärbasis.

Datenaufbereitung

In vorliegender Studie stellen die Datenbank des Bodeninformationssystems Bayern (BIS-BY), die geologischen Fachdaten des Landesamtes für Umwelt (Geologische Landesaufnahme), sowie relevante Projektliteratur (siehe Literaturverzeichnis), die wichtigsten Informationsquellen dar.

In Tab. 9 sind alle verwendeten Daten, gegliedert nach Art, dargestellt. Konzentriert man sich ausschließlich auf Bohrdaten des BIS-BY, wurden primär Objekte verwendet, die über lithologische und/oder stratigraphische Angaben verfügen und im Forschungsgebiet liegen (ca. 24300). Dazu zählen Einfach- und Mehrfachmessstellen, Brunnen sowie Erdwärmebohrungen. Um die räumliche Verteilung der Bohrdaten zu erhöhen und Gebiete mit wenigen Daten zu verdichten, wurden z.T. ebenfalls BIS-Objekte ohne Schichtdaten verwendet, deren Daten durch die Sichtung von Unterlagen händisch ergänzt wurden (ca. 5700).

Tab. 9: Übersichtstabelle der aufbereitenden Daten für die Konstruktion der Quartärbasis

Aufbereitete Daten		Plausibilitätsprüfung			Verwendete Daten zur geostatischen Auswertung
Art der Daten	Gesamtdatenanzahl	Daten mit detaillierter Plausibilitätsprüfung	Daten mit allgemeiner Plausibilitätsprüfung	Daten ohne Plausibilitätsprüfung	
BIS-Objekte mit Schichtdaten (Lithologie und/oder Stratigraphie)	24.340	10.708 (davon 6.520 treffen das Tertiär an)	13.632 (davon 13.009 treffen das Tertiär an)	-	19.529
BIS-Objekte ohne Schichtdaten	5.726	1.955 (davon 610 treffen das Tertiär an)	Nur detaillierte Plausibilitätsprüfung möglich	3.771 (keine Schichtdaten im BIS verfügbar)	610
BIS-Objekte Gesamt	30.066	12.663 (davon 7.129 treffen das Tertiär an)	13.632 (davon 13.009 treffen das Tertiär an)	3.771	20.139
Stützpunkte aus Literaturquellen und händisch eingegeben	104	104 (davon nur 4 händisch eingegeben)	-	-	104
Stützpunkte (tertiäre Aufschlüsse)	28.222	-	28.222	-	28.222
Stützpunkte Gesamt	28.326	104	28.222	-	28.326
Gesamt	58.392	12.767	41.854	3.771	48.465

Datenanalyse und Plausibilitätsprüfung

Um integrierte räumliche Analysen durchführen zu können, wurden die Daten zuerst in mehreren Geodatabases integriert.

Dieser Vorgang ermöglichte, Werte der Tertiäroberkante durch eine umfangreiche Datenfiltrierung auszusortieren und eine erste Interpolation per „Natural Neighbor-Verfahren“ durchzuführen. Auf Basis dieser Interpolation wurde eine Analyse der „Ausreißer“ möglich.

Die Qualität und Verfügbarkeit der Daten im gesamten Untersuchungsgebiet haben einen großen Einfluss auf den Genauigkeitsgrad der Flächenschätzung des tertiären Tiefenreliefs. Darum ist die Plausibilitätsprüfung der verwendeten Daten von außerordentlicher Bedeutung. Es wurden einerseits rund 42 % der verwendeten BIS-Objekte (ca. 12.600 BIS-Objekte) hinsichtlich ihrer Plausibilität kontrolliert, und Rohdaten bzw. Schichtdaten individuell überprüft. Zudem wurden mehr als 13.600 BIS-Objekte im Rahmen einer allgemeinen Plausibilitätskontrolle überprüft. Eine Einzelprüfung der Rohdaten fand in

diesem Fall nicht statt, sondern wurde durch eine generelle Datenkontrolle durch eine Ausreißeranalyse ersetzt.

Tab. 9 enthält eine ausführliche Darstellung der aufbereiteten Daten und der durchgeführten Plausibilitätsprüfung. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass ca. 70 % der gesamten betrachteten BIS-Objekte, das entspricht etwa 20.100 Bohrdaten, das Tertiär antrafen und in der geostatistischen Datenauswertung verwendet wurden.

Geostatistische Datenauswertung

Die geostatistische Auswertung erfolgte mit dem Softwarepaket Surfer Version 9 (Golden Software®). Das Ziel war, die existierende, räumliche Abhängigkeit der verwendeten Daten zu definieren und mathematisch auszudrücken. Darauf basierend sollten die Werte der Variablen (Höhe des Tiefenreliefs) zusammen mit den verbundenen Variabilitätsmaßen, für jeden Raumpunkt des Untersuchungsgebietes abgeschätzt werden.

Strukturanalyse der Daten

Die Structural Analysis ist eine Untersuchung der bestehenden räumlichen Korrelation zwischen den erhobenen Tertiärwerten der regionalisierten Variable.

Diese Korrelation wird in einem späteren Schritt für die Flächenschätzung des tertiären Tiefenreliefs verwendet. Die Strukturanalyse der Daten geschieht mittels Variogrammanalysen bzw. der Ermittlung des empirischen Semivariogramms und der Anpassung eines theoretischen Modells an das Semivariogramm. In einem ersten Schritt wird anhand der gesamten Daten des Untersuchungsgebiets das empirische Semivariogramm erstellt und analysiert. Dies stellt die reale räumliche Beziehung zwischen den Tertiärwerten in einer Grafik dar (siehe blaue Linien, Abb. 5 und Abb. 6).

Mit dem Ziel, im Münchner Stadtgebiet sowie im Umland einen höchstmöglichen Detaillierungsgrad zu erreichen, wurde nach der Prüfung mehrerer „Lag-Richtungen“ entschieden, das Untersuchungsgebiet in zwei Interpolationsgebiete aufzuteilen und geostatistisch getrennt auszuwerten. Die großen Abweichungen der Bohrdatendichte, sowie das Vorhandensein sehr vieler Tertiärstrukturen unterschiedlicher Ausrichtung und Ausprägung, verstärkten diesen Entschluss.

Das „innere“ Interpolationsgebiet, mit hoher Bohrdatendichte und sehr guter räumlicher Korrelation, beinhaltet das Stadtgebiet und einen im Norden angrenzenden Bereich (blaues Gebiet, Abb. 4). Dem gegenüber steht das „äußere“ Interpolationsgebiet, das das restliche Umland mit niedriger Bohrdatendichte und geringer räumlicher Abhängigkeit umfasst (rotes Gebiet, Abb. 4).

Für jedes Interpolationsgebiet wurde das empirische Semivariogramm analysiert und dargestellt. Während im inneren Interpolationsgebiet ein sphärisches Verfahren beobachtet werden konnte, wurde im äußeren Bereich ein exponentielles Verfahren identifiziert.

Anschließend erfolgte die Ermittlung einer mathematischen Funktion ermittelt, die sich am besten an das jeweilige empirische Semivariogramm anpasste.

Auf Basis dieser Funktion wurde das theoretische Semivariogramm in jedem Interpolationsgebiet erstellt. Dieses stellt die Grundfunktion der geostatistischen Auswertung dar. Als Folge konnte beispielsweise eine Anisotropie im inneren Interpolationsgebiet festgesetzt werden, die auf eine höhere Variabilität in der 160°-Richtung hinwies. Die entsprechenden Variogramme sind in Abb. 5 und Abb. 6 dargestellt und ihre Eigenschaften in Tab. 10 und Tab. 11 zusammengefasst.

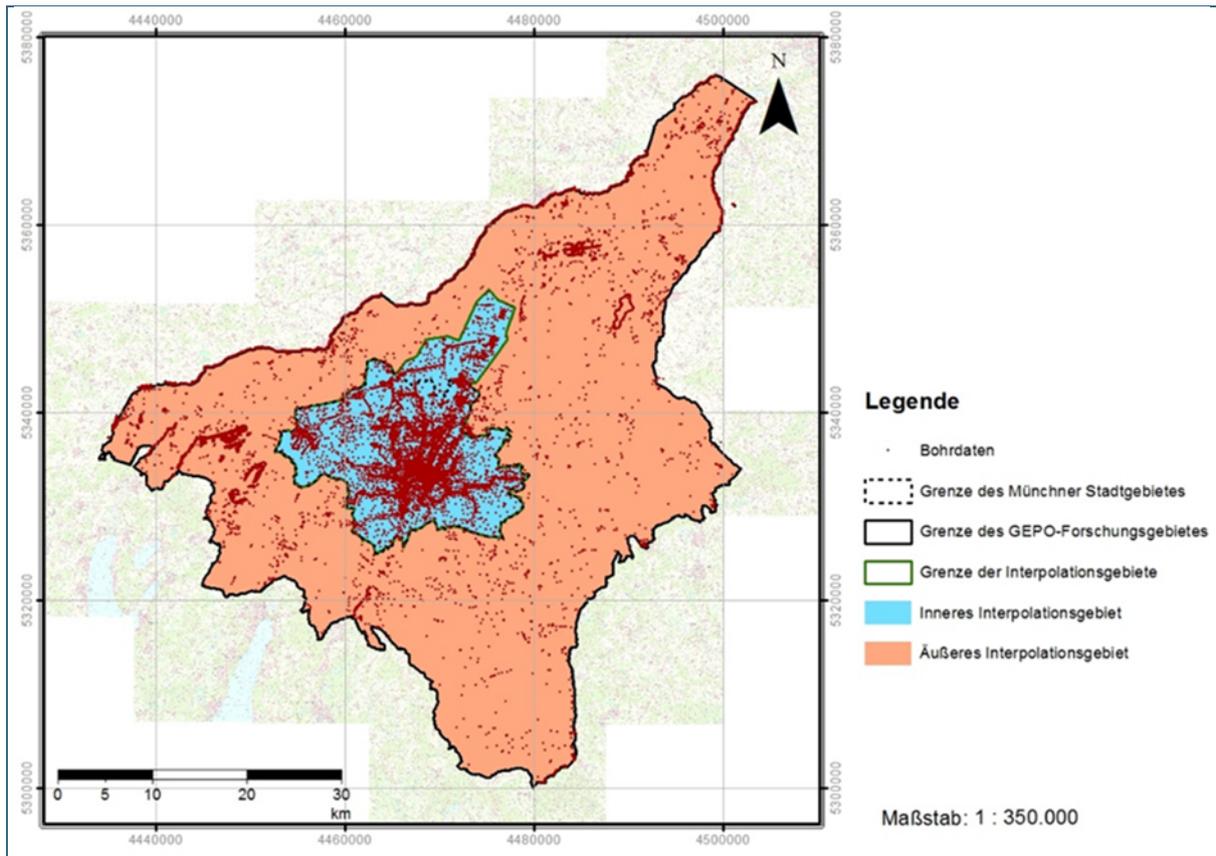


Abb. 4: Unterteilung des gesamten Untersuchungsgebiets in zwei Interpolationsgebiete.

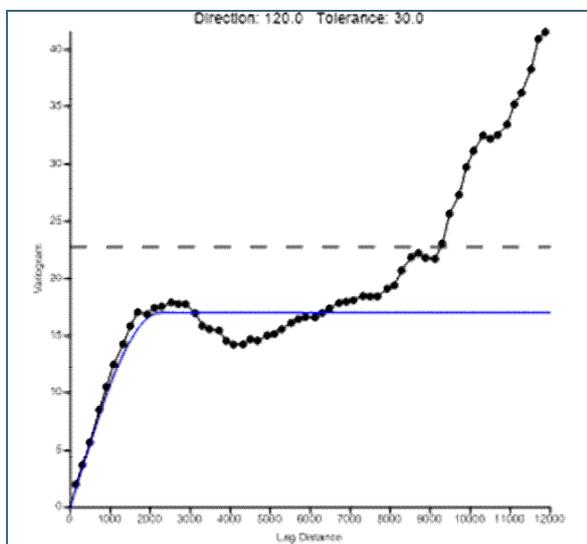


Abb. 5: Variogramm des inneren Interpolationsgebietes.

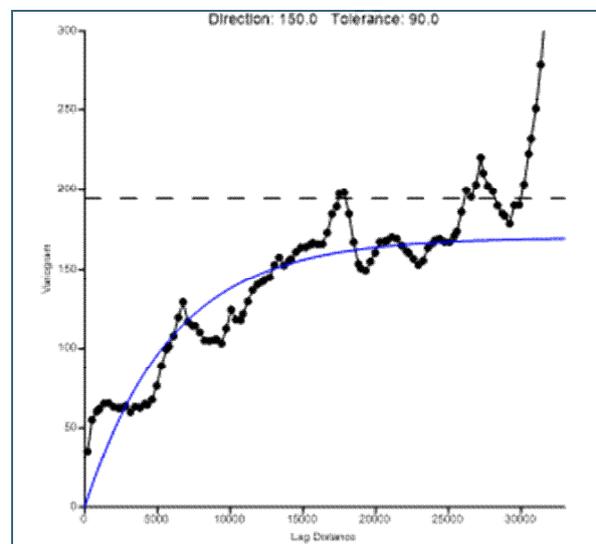


Abb. 6: Variogramm des äußeren Interpolationsgebietes.

Experimental Semivariogram	Theoretical Semivariogram
Lag Direction: 120	<i>Spherical Model</i>
Tolerance: 30	<i>Scale: 17</i>
Step Amount: 10	<i>Length: 1.800</i>
Max. Lag. Dist.: 12.000	<i>Anisotropy ratio: 0,4</i>
Number of Lags: 60	<i>Anisotropy angle: 160</i>
Lag Width: 200	
Vertical Scale: 41,6	

Tab. 10:
Semivariogramm-Eigenschaften des inneren Interpolationsgebietes

Experimental Semivariogram	Theoretical Semivariogram
Lag Direction: 150	<i>Exponential Model</i>
Tolerance: 90	<i>Scale: 170</i>
Step Amount: 10	<i>Length: 6.000</i>
Max. Lag. Dist.: 33.000	<i>Anisotropy ratio: 1</i>
Number of Lags: 110	<i>Anisotropy angle: 0</i>
Lag Width: 500	
Vertical Scale: 300	

Tab. 11:
Semivariogramm-Eigenschaften des äußeren Interpolationsgebietes

Flächenschätzung

Im nächsten Schritt fand die Flächenschätzung des tertiären Tiefenreliefs statt. Ziel war es, eine Oberfläche zu generieren, welche die vorher analysierten statistischen Merkmale aufnimmt. Dafür ist die Anwendung von Interpolationsverfahren notwendig. Zwischen verschiedenen deterministischen und geostatistischen Interpolationsmethoden wurde das geostatistische Universal-Kriging-Verfahren ausgewählt. Dieses Verfahren setzt voraus, dass die Tendenz der räumlichen Veränderung aus den Daten zu entnehmen ist. Da es sich um Höhendaten handelt, wurde hierbei eine lineare Tendenz eingegeben. Bei der Flächenschätzung des Kriging-Verfahrens wird die räumliche Korrelation der Datenbasis berücksichtigt. Anders formuliert bedeutet dies, dass das Kriging auf Basis des theoretischen Semivariogramms angewendet wird. Diese Methode ermöglicht die Werte der Quartärbasis (Variable) je Raumpunkt abzuschätzen. Tab. 12 und Tab. 13 zeigen die verwendeten Kernparameter bei der Interpolation im inneren und äußeren Interpolationsgebiet.

Nach der Flächenschätzung des inneren und äußeren Interpolationsgebietes, erfolgte eine Verbindung per ArcGIS©. Das Ergebnis ist eine flächenhafte Schätzung des Tertiärreliefs im Untersuchungsgebiet (Abb. 7).

<i>Gridding Method</i>	Kriging
<i>Kriging Type</i>	Point
<i>Polynomial Drift Order</i>	1
<i>Original Data</i>	17.138
<i>Active Data</i>	16.949
<i>Spacing X Direction</i>	100
<i>Spacing Y Direction:</i>	100
<i>Grid Size</i>	273 rows x 263 columns
<i>Total Nodes</i>	71.799

Tab. 12:
Interpolationsparameter im inneren Interpolationsgebiet

<i>Gridding Method</i>	Kriging
<i>Kriging Type</i>	Point
<i>Polynomial Drift Order</i>	1
<i>Original Data</i>	48.465
<i>Active Data</i>	35.749
<i>Spacing X Direction</i>	200
<i>Spacing Y Direction:</i>	200
<i>Grid Size</i>	378 rows x 343 columns
<i>Total Nodes</i>	129.654

Tab. 13:
Interpolationsparameter im äußeren
Interpolationsgebiet

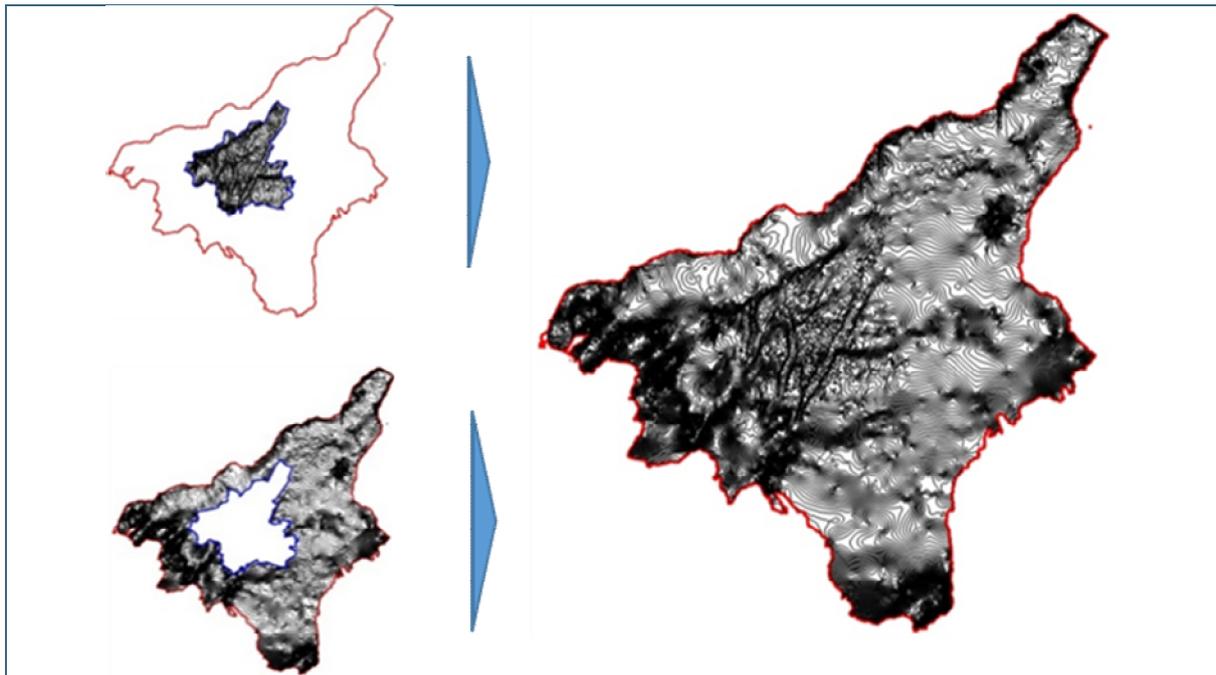


Abb. 7: Flächenschätzung der Quartärbasis im gesamten Untersuchungsgebiet.

Modellvalidierung

Nach der Flächenschätzung erfolgt die Validierung des verwendeten theoretischen Modells. Die Messung der Güte des Modells wird durch das sogenannte Cross-Validation-Verfahren durchgeführt. Bei dieser Methode wird eine Vorhersage für die Werte einer repräsentativen Anzahl von Daten aus dem Datensatz durchgeführt. Den Differenzen zwischen den erwarteten und den geschätzten Werten entsprechen die Residuen, die zu einer Identifikation von potentiellen Ausreißern führt. Infolgedessen fanden zusätzliche Plausibilitätskontrollen statt. Die Anwendung dieses Verfahrens ermöglicht auch, den mittleren Fehler und den mittleren quadratischen Fehler zu bestimmen. Diese zwei statistischen Parameter geben einen wichtigen Hinweis auf die Güte der Modellanpassung. Hierbei wurde ein mittlerer Fehler von etwa null (0,001 für das innere und 0,015 für das äußere Interpolationsgebiet) und ein mittlerer quadratischer Fehler von ca. 1 (1,043 bzw. 1,314) ermittelt, was eine gute Anpassung verdeutlicht.

Unsicherheitsanalyse

Die Unsicherheitsanalyse identifiziert unsichere Bereiche der Flächenschätzung des tertiären Tiefenreliefs.

Die Unsicherheitsanalyse basiert auf der Ermittlung von Streuungsmaßen. Die Streuung bzw. Dispersion stellt den Abstand zwischen einem interpolierten Wert und dem arithmetischen Mittelwert dar. Als wichtiges Streuungsmaß wird die Standardabweichung des Schätzfehlers betrachtet, die als Kennwert der Unsicherheit angegeben wird. Wie auch in den vorangegangenen Schritten der geostatistischen Datenauswertung, wurde eine Unsicherheitsanalyse sowohl für das innere als auch für das äußere Interpolationsgebiet durchgeführt. Es erfolgt somit die Unterteilung der Unsicherheit in verschiedene Grade.

6.3.3 Ergebnisse und Interpretation

6.3.3.1 Tiefenrelief und geologische Interpretation der Tertiärstrukturen

Im vorliegenden Abschnitt wird das tertiäre Tiefenrelief im gesamten Untersuchungsgebiet auf einer Karte in [Anlage 4.1](#) und [4.2](#) dargestellt und die relevanten, identifizierten Tertiärstrukturen mit dem derzeit höchstmöglichen Detaillierungsgrad ausführlich erläutert.

Aufgebaut wird das großräumige Tiefenrelief der Tertiäroberfläche, welches durch Isolinien auf der Karte dargestellt wird, durch kleinräumige Tertiärstrukturen. Eine detaillierte Beschreibung und Identifikation einzelner Strukturen erfolgte mittels geologischer Interpretation.

Bei der Realisierung dieser Aufgabe wurde nicht nur das hier interpolierte Tiefenrelief der Tertiäroberfläche betrachtet, sondern zudem zahlreiche bibliografische Unterlagen analysiert. Die Ergebnisse der geologischen Interpretation wurden neben dem Tiefenrelief auf [Anlage 4.1](#) und [4.2](#) dargestellt.

Das Relief der Quartärbasis gliedert sich in Einsenkungen und Erhebungen, die ein kompliziertes mäandrierendes Rinnensystem bilden. Aus diesem Grund werden in der vorliegenden Studie die tertiären Untergrundstrukturen in zwei Kategorien eingeteilt: Einerseits in die **Hochlagen** („H“), die sich in eine Vielfalt von Erhebungen, wie beispielsweise kleinräumige inselartige Aufragungen, langgestreckte Höhenrücken sowie breite Mittel- und Hochflächen untergliedern.

Andererseits sind **Einsenkungen** („E“) zu beobachten, die im Untersuchungsgebiet in Form von Rinnen, kleinräumigen oder kolkartigen Einsenkungen, Tertiärbuchten, leicht ausgeprägten Eintiefungen und breiten Tiefenzonen vorliegen. Jeder relevanten Tertiärstruktur wurde eine eindeutige Bezeichnung gegeben.

Falls bestimmte Strukturen in der Literatur bereits konkrete Bezeichnungen aufweisen, werden diese in dieser Studie verwendet. Ansonsten stützen sich die Bezeichnungen rein auf geographischen Gegebenheiten.

6.3.3.2 Tertiärstrukturen westlich der Isar

Ein erster Blick auf die Karte in [Anlage 4.1](#) und [4.2](#) zeigt deutlich, dass die Tertiäroberfläche im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes markantere morphologische Ausprägungen besitzt als im Ostteil.

Besonders im südwestlichen Teil, im Bereich der Altmoränen zw. Mammendorf und dem Ostufer der Isar, wechseln sich mehrere tertiäre Rinnenstrukturen mit markanten Aufragungen ab. Die rinnenförmigen Strukturen verlaufen, vorwiegend in südwest-nordöstlicher Richtung, bis in den Landkreis Dachau und ins Stadtgebiet München.

Bemerkenswert ist eine abrupte Änderung des Gefälles im Nordteil des Stadtgebiets, auf der Linie Gröbenzell-Allach-Feldmoching-Oberschleißheim-Freising Süd. Unmittelbar nördlich dieses starken Abfalls verläuft parallel eine WSW-ENE gerichtete, breite Tiefenzone, deren Nordgrenze das tertiäre

Hügelland darstellt. Diese Struktur vereinigt sich am nordöstlichen Ende mit der Isartal-Rinne. Viele der süd- und südostverlaufenden Rinnen münden in diese tiefgelegene Tertiärstruktur.

In den folgenden Abschnitten wird eine detaillierte Beschreibung der relevantesten Tertiärstrukturen zusammengestellt:

H01 – Höhenrücken westlich von Fürstenfeldbruck

Dieser Höhenrücken befindet sich bei den Ortschaften Puch, Fuchsberg, Aich und Landsberied. In diesem Gebiet sind mehrere OSM-Tagesaufschlüsse vorhanden, wie zum Beispiel bei Fuchsberg im Westen, bei Hartholz im Nordosten und entlang der Ostflanke der Struktur. Nordöstlich von Landsberied erreicht das Tertiär Höhen von über 590 m ü. NN.

E01 und **E02** – Mammendorfer-Jesenwanger Rinne und Mammendorfer-Maisacher Rinne

Unmittelbar westlich des obgenannten Höhenrückens zwischen den Ortschaften Jesenwang und Mammendorf, verläuft eine Rinne in Nord-Süd-Richtung. Das Einfallen des Tertiärs zwischen Fuchsberg (ca. 554 m ü. NN) und Egg (ca. 526 m ü. NN) beträgt im Mittel 2,3 %. Am nördlichen Ende findet diese Eintiefung ihre Fortsetzung in der Mammendorfer-Maisacher Rinne. Diese zweite Struktur verläuft ca. 700 m südlich, parallel der Maisach und wird von dem tertiären Hügelland im Norden und dem südgelegenen Höhenrücken westlich von Fürstenfeldbruck eingerahmt. Das Gefälle zwischen dem Betonwerk (549 m ü. NN), das südlich von Galgen liegt, und der Laich-Waldfläche (518 m ü. NN) ist etwa 1,5 %. Die Einsenkung erstreckt sich von Mammendorf über Malching bis Maisach. Das östlich davon gelegene Gebiet zwischen Maisach und Olching stellt eine im Vergleich zur vorherigen Rinne breitere Tiefenzone dar, wo sich die Mammendorfer-Maisacher Rinne mit der Ampertal-Rinne vereinigt. Diese Senke setzt sich in Richtung ENE fort, und führt an den markanten Veränderungen des Gefälles im nördlichen Stadtgebiet vorbei (**G01**).

H02 und **E03** – Höhenrücken östlich von Fürstenfeldbruck und Eichenauer Rinne

Diese ca. 4 km breite Tertiärerhebung liegt zwischen der Amperleite im Westen, der Emmeringer Leite im Norden und den Ortschaften Hoflach und Germannsberg im Osten. Auf ihrem Nordteil, direkt nördlich von Gelbenholzen, steigt das Tertiär bis auf ca. 564 m, im Süden sogar auf 581 m ü. NN (westlich von Holzhausen). Auffallend ist, dass die Nordflanke dieses Höhenrückens in der Verlängerung der weiter im Osten auftretenden, und bereits beschriebenen, Gefälleveränderung auftritt. Im nordöstlichen Teil verläuft eine kleinräumige, WSW-ENE gerichtete Rinne. Im Raum Puchheim-Bahnhof vereinigt sich diese Struktur mit der Gilchinger Rinne.

E04 – Ampertal-Rinne

Die Ampertal-Rinne verläuft, wie schon von Grottenthaler (1985) erwähnt, ca. 1 km westlich versetzt parallel zur Amper. Die Rinne verläuft in SW-NE-Richtung auf der Höhe den Ortschaften Schöngeising und Fürstenfeldbruck und mündet, zusammen mit der Mammendorfer-Maisacher Rinne, in eine breite Tiefenzone im Raum Gernlinden. Der Bereich Gernlinden weist eine geringe Datendichte auf, daher ist der Unsicherheitsgrad entsprechend hoch (Standardabweichung bis 6,5 m).

E05 – Gilchinger Rinne

Diese sehr markante Struktur verläuft in SW-NE-Richtung zwischen dem Höhenrücken östlich von Fürstenfeldbruck und dem Höhenrücken bei Argelsried-Puchheim Ort. An beiden Flanken der Gilchinger Rinne fällt das oberflächigen Relief des Tertiärs steil ab. So wird beispielsweise zwischen den Tertiäraufschlüssen, die südlich von Wagelsried bei 561 m ü. NN liegen, und dem Gebiet unmittelbar westlich von Alling (516 m ü. NN) ein starkes Einfallen von etwa 4,5 % erreicht. Südwestlich von Alling

biegt die Rinne nach Süden um und verläuft unmittelbar westlich von Gilching in Süd-Nord-Richtung bis Sankt Gilgen bei Gilching. Ungefähr 1,5 km weiter im Süden, im Raum Flughafen Oberpfaffenhofen, scheint sich diese Rinne mit der Neugerminger Rinne zu vereinigen.

E06 – Gröbenzeller Rinne

Parallel zur Stadtgebietsgrenze im Raum Gröbenzell, verläuft eine Süd-Nord gerichtete, schmale Rinne. Sie verläuft parallel zur Langwieder- und Allacher Rinne im Osten.

In ihrem Zentrum, westlich des Erlbachs auf der Höhe der Bahnstrecke, fällt das Tertiär bis auf ca. 496 m ü. NN ab. Das Gefälle zwischen diesem Teil der Rinne und dem Bereich unmittelbar westlich vom Wertstoffhof Gröbenzell (503 m ü. NN) beträgt ca. 1,2 %. Am nördlichen Ende mündet sie, auf der Höhe von im Norden verlaufenden Tiefenzone.

Zudem hat es den Anschein, dass diese Struktur weiter nach Süden sich erstreckt. Aufgrund der relativ großen Standardabweichung (vorwiegend größer 2,5 m) im Bereich zwischen dem Höhenrücken bei Argensried-Puchheim Ort und dem Tertiärhoch der Aubinger Lohe ist ihre Fortsetzung nach Süden schwer nachzuverfolgen.

H03 und **H04** – Höhenrücken bei Argelsried-Puchheim Ort und der Aubinger Lohe

Zwischen Argelsried und Puchheim Ort verläuft ein SW-NE gerichteter tertiärer Höhenrücken. Ebenso wie bei den Höhenrücken, die westlich und östlich von Fürstenfeldbruck liegen, überlappt sich diese breite Tertiärauftragung mit dem Hügelland den Altmoränen. Zudem ist eine Vielzahl von Tertiäraufschlüssen in diesem Gebiet zu verzeichnen. Das Tertiär erreicht im Süden im Raum Steinberg mit 596 m ü. NN seine höchste Erhebung.

Bemerkenswert ist zudem, dass ca. 3 km nordöstlich dieser Struktur, eine gleichgerichtete Erhebung (Aubinger Lohe) mit tertiären Aufschlüssen vorhanden ist. Diese zwei Erhebungen lassen sich als Reste eines ehemaligen durchgehenden tertiären Höhenrückens interpretieren (BLASY, 1974).

E07 – Neugerminger Rinne

Die Rinne erstreckt sich von Oberpfaffenhofen (Gemeinde Weßling) in Nord-Ost-Richtung über Germering bis ins Münchner Stadtgebiet. Die südliche Fortsetzung dieser Rinne hatte BLASY (1974) in Richtung Unering erwartet. Wie der Verlauf der Tertiäroberfläche südlich von Oberpfaffenhofen vermuten lässt, zieht die Rinne (siehe gestrichelte Linie der Struktur **E08**) westlich von Unterbrunn und Oberbrunn weiter nach Süden in Richtung Unering. Bezüglich ihrer nördlichen Fortsetzung im Stadtgebiet München (**E09**), lässt sich im Stadtbezirk Aubing ein breites, leicht ausgeprägtes Tertiärbecken, zwischen dem Höhenrücken der Aubinger Lohe und der Hochfläche des Kreuzlinger Forsts, erkennen.

Eine weitere Fortsetzung dieser Rinne im Stadtgebiet gliedert sich vermutlich in zwei Arme, die Langwieder Rinne und die Allacher Rinne, die westlich, parallel zur Würmtal-Rinne verlaufen.

E10 – Langwieder Rinne

Diese Rinne bildet die teilweise Fortsetzung der Neugerminger Rinne im Stadtgebiet. Die am westlichsten gelegenen Rinne, die hier als Langwieder Rinne bezeichnet wird, lässt sich erst unmittelbar östlich der Aubinger Lohe in der Mündung zwischen Fischbach und Landwieder Bach erkennen. Diese Einsenkung verläuft über Langwied in Nord-Ost-Richtung bis zum Dachauer Moos und weist im Nordteil, auf Höhe des Sand- und Kieswerks Riebel einen maximalen Höhenunterschied von ca. 10 m auf.

E11 – Allacher Rinne

Die östliche Fortsetzung der Neugermeringer Rinne im Stadtgebiet wird als Allacher Rinne bezeichnet und verläuft zwischen zwei sehr schmalen Tertiärrücken. Diese Rinne erstreckt sich von der Überführung zwischen Mühlangerstraße und Bundesautobahn 8 (A8), durch Allach bis ins Dachauer Moos.

H05 und **H06** – Zwei schmale Höhenrücken im Raume Langwied-Allach

Zwischen obengenannter Langwieder und Allacher Rinne verläuft ein tertiärer Höhenrücken (**H05**). Diese Nord-Süd gerichtete Tertiärerhebung erstreckt sich nördlich und südlich des Autobahnkreuzes München-West und grenzt im Norden an die bereits erwähnte markante Veränderung des tertiären Gefälles.

Parallel dazu, ca. 1 km weiter im Osten, zwischen der markanten Würmtal- und relativ wenig ausgeprägten Allacher-Rinne, lässt sich ein zweiter tertiärer Rücken interpretieren. Dieser verläuft zw. Allach und Parkfriedhof (**H06**).

Auffällig ist die ähnliche Orientierung wie der südlich gelegene Höhenrücken beim Kreuzlinger Forst und die Hochfläche im Raume Unterbrunn, Frohnloh, Pentenried und Königswiesen.

H07 – Hochfläche beim Kreuzlinger Forst

Südlich des Stadtteils Freiham und nördlich des Kreuzlinger Forsts (Gemeinde Gräfelfing) erreichen fast zehn Bohrungen eine Tertiärerhebung mit Höhen von 530 bis 548 m ü. NN. In Anbetracht der großen Ausdehnung dieser Hochfläche, wurde diese Struktur nur durch wenige Bohrungen bereichsweise nachgewiesen. Vor allem südlich Gräfelfing ist die Ausdehnung unklar (siehe Karte zur Unsicherheitsanalyse). Diese Struktur stellt eine morphologische Trennung zw. Würmtal- und Neugermeringer Rinne dar.

H08 – Hochfläche im Raume Unterbrunn, Frohnloh, Pentenried und Königswiesen

Das Oberflächenrelief des Tertiärs weist zwischen der Neugermeringer Rinne im Westen und der Würmtal-Rinne im Osten einen Anstieg auf, dessen höchster Punkt bei Unterbrunn (580 m ü. NN) liegt.

H09 – Höhenrücken bei Gauting

Auf der Höhe von Gauting und unmittelbar westlich parallel zur Würmtal-Rinne, treffen mehrere Bohrungen eine schmale tertiäre Erhebung an.

Es muss erwähnt werden, dass zwischen dieser Struktur und der nördlichen Grenze der Hochfläche **H08** eine schmale, tiefer gelegene, von Süd nach Nord gerichtete Einsenkung (**E12**) verläuft. Hier liegt das Tertiär auf ca. 520 m ü. NN, also ca. 30 m tiefer als in der unmittelbaren Umgebung des Höhenrückens Gauting.

E13 – Hanfelder Rinne

Weiter südlich, zwischen Mamhofen und Königswieser Forst, lässt sich nur mit Mühe eine Eintiefung erkennen, die nach Nordosten abfällt. Diese Eintiefung wird in der Literatur als nordöstlicher Teil der Hanfelder Rinne interpretiert (BGU - DR.SCHOTT & PARTNER, 1995). Südlich der Hanfelder Rinne steigt die Tertiäroberfläche wieder an. Dieser Höhenrücken (**H10**) trennt die Hanfelder- von der südlich gelegenen Maisinger Rinne, die außerhalb des Projektgebietes liegt, ab (BGU - DR.SCHOTT & PARTNER, 1995).

E14 – Würmtal-Rinne

Während die Würmtal-Rinne im südlichen Teil des Untersuchungsgebiets dem aktuellen Würmverlauf relativ gut entspricht und scheinbar in Form einer einzigen Eintiefung verläuft, ermöglicht uns die hohe Bohrdatendichte im Stadtgebiet eine detaillierte Beschreibung.

Die Ausdehnung der Würmtal-Rinne ist im Stadtgebiet, insbesondere in ihrem südwestlichsten Teil, sehr komplex. Zwischen Krailling und Lochham scheint sich die Würmtal-Rinne in drei Armen zu teilen, die durch leichte Tertiärerhebungen getrennt werden (siehe z.B.: Pasinger Stadtpark). Zwei lateralen Armen werden als Pasinger-Obermenzinger Rinne und als Westkreuzer Rinne bezeichnet und später separat analysiert. Der mittlere Arm, der als Würmtal-Rinne bezeichnet wird, entspricht meist dem aktuellen Verlauf der Würm. Die Nord-Süd-Ausrichtung verläuft parallel der Untersendlinger-Neuhausener Rinne und erstreckt sich bis zum Allacher Forst in Richtung Karlsfeld. Maximalwerte für den Höhenunterschied liegen zw. 10 m im Raum Parkfriedhof und über 15 m im Allacher Forst.

E15 – Westkreuzer Rinne

Im Stadtbezirksteil Aubing-Süd, zwischen den Bahnhöfen München-Leienfelsstraße und München-Westkreuz, erkennt man eine westlich und parallel zum Würmtal verlaufende, rinnenartige Struktur. Diese SSW-NNE gerichtete Einsenkung vereinigt sich auf Höhe von Schloss Blutenburg mit der Würmtal-Rinne. Ähnlich wie bei der Pasinger-Obermenzinger Rinne kann beobachtet werden, dass diese Einsenkung im Süden in die Würmtal-Rinne mündet. Die Datengrundlage in diesem Gebiet ist gering, was eine erhebliche Unsicherheit nach sich zieht.

E16 – Pasinger-Obermenzinger Rinne

Westlich Lochhamer Schlag und Nymphenburg lässt sich eine von Süd nach Nord verlaufende Rinne erkennen, die als Pasinger-Obermenzinger Rinne bezeichnet und gestrichelt dargestellt wird. Im Südteil verläuft die Eintiefung parallel zur Würmtal-Rinne. Beide Einsenkungen werden durch einen leicht erhobenen Tertiärrücken unmittelbar westlich des Pasinger Stadtparks getrennt. Südlich davon scheinen beide Rinnen den gleichen Verlauf zu haben, wobei die Bohrdaten in diesem Bereich sehr spärlich sind. Auf Höhe des Bahnhofs München-Obermenzing ändert sich die Ausrichtung der Rinne in Richtung NNE. Im nördlich anschließenden Bereich verläuft die Rinne zwischen einem schmalen Tertiärrücken im Westen (**H11**) und dem Hang der Nymphenburger Mittelhochfläche im Osten. Es erfolgt eine Verbreiterung der Struktur in Richtung Moosach bis in die Nähe des Rangierbahnhofs München-Nord. Hier vereinigt sie sich mit der Untersendlinger-Neuhausener Rinne. Weiter in Richtung Norden bzw. Nordosten lassen sich nur wenige Strukturen erkennen, die für eine Unterbrechung des Gefälles nördlich des Stadtgebietes sorgen. Hier sind zum Beispiel Eintiefungen wie die Hasenbergler Rinne und Strukturen unterhalb des Feldmochinger Sees sowie auf Höhe des Dreiecks München-Feldmoching (siehe unten) zu nennen.

H12 – Buchendorfer Hochfläche

Unmittelbar südlich des Landkreises München, zwischen dem Würmtal im Westen und der Pullacher Rinne im Osten, erkennt man einen allgemeinen Anstieg der Tertiäroberfläche, deren höchster Punkt bei Buchendorf mit 579 m ü. NN liegt. Nordwestlich der Buchendorfer Hochfläche, im Raum Planegg, finden sich im Bereich der Bayerischen Asphalt-Mischwerke tertiäre Aufschlüsse. 3 km in südöstliche Richtung steigt das Tertiär auf bis zu 556 m ü. NN ab.

H13 – Forstenried-Solln Hochfläche

Zwischen dem Stadtteil Solln und dem Forstenrieder Park tritt ein in Richtung WSW-ENE verlaufender Höhenrücken mit 557 m ü. NN in Erscheinung. Diese Tertiärauftragung stellt die nordwestliche Abgrenzung der Pullacher Rinne dar.

E17 – Pullacher Rinne

Diese Rinne, deren Morphologie bereits von BLASY (1974) und JERZ, K. ET AL. (1987) untersucht wurde, erstreckt sich zwischen Pullach und Baierbrunn parallel zum Isartal. In der Literatur gibt es keine Auskunft über den südlich anschließenden Verlauf der Rinne. Vermutlicher Weise setzt sich die Rinne in zwei getrennten Armen nach S bzw. WNW fort. Die Fortsetzungen sind auf der Karte parallel des Baierbrunner Höhenrückens in Richtung Süden (E19) und bis zum Eichelgarten im Forstenrieder Park (E18) zu verfolgen.

E20 – Rinne bei Wangen

Trotz einer Standartabweichung von über 2 m, deutet sich bei Wangen eine rinnenförmige Eintiefung an, die sich nach Nordosten fortsetzt. Wahrscheinlich handelt es sich dabei um die in der Literatur (z.B. JERZ, K. ET AL., 1987) erwähnte Rinne, die von Buchendorf über Wangen in Richtung Oberdill verläuft und dort Anschluss an die Pullacher Rinne findet.

H14 – Baierbrunner Höhenrücken

Unmittelbar südlich bzw. südöstlich der Pullacher Rinne erstreckt sich ein Höhenrücken entlang des Ostufers der Isar. Mehrere tertiäre Aufschlüsse streichen auf seiner Ostflanke aus. Diese schmale und langgestreckte Tertiärerhebung verläuft zwischen dem S-Bahnhof Höllriegelskreuth im Norden bis Höhenschäftlarn im Süden und weist eine Unterbrechung auf der Höhe von Geudergraben bei Baierbrunn auf.

E21 – Neuforstenrieder Rinne

Zwischen der Nordostseite der Buchendorfer Hochfläche und des Forstenrieder-Sollner Höhenrückens, kann eine nach Norden ausgerichtete, rinnenförmige Senke ausgemacht werden. Diese verläuft buchtartig in Richtung Nordwest und vereinigt sich mit der Waldfriedhofer-Neuhausener Rinne bei Forstenried. Diese Rinne weist einen maximalen Höhenunterschied von etwa 15 m auf.

E22 – Waldfriedhofer-Neuhausener Rinne

Diese markante, Süd-Nord gerichtete Rinnenstruktur erstreckt sich vom Südpark des Stadtteils „Am Waldfriedhof“ über den Westpark, den Bahnhof Hirschgarten, den Bereich des Nymphenburger Schlosskanals in Neuhausen und den Westfriedhof bis nach Moosach im Norden. Die Rinne verläuft zwischen der „Nymphenburger Mittelhochfläche“ und der „Altstadt-Mittelhochfläche“. Der Südteil dieser Einbuchtung läuft zwischen „Untersendlinger Hochfläche“ und den Tertiärhochlagen bei Neuhausen aus und mündet westlich Solln, bei Forstenried in die „Neuforstenrieder Rinne“ (E21). Bemerkenswert sind die mit bis zu 10 m auftretenden Höhenunterschiede auf beiden Rinnenseiten, sowie die Gesamterstreckung von ca. 10 km. Der Sicherheitsgrad der Prognose dieser Rinnenausdehnung ist mit Werten, die vorwiegend unter 1-2 m liegen, sehr hoch.

H15 – Hochflächen im Raume Pasing-Hadern

Zwischen dem „Pasinger Feld“ im Westen und der Kurparksiedlung im Osten sind drei SSW-NNE gerichtete Tertiärrücken zu beobachten. Unmittelbar östlich davon lässt sich eine vierte breitere Erhebung erkennen. Die östliche Flanke dieser Struktur verläuft parallel zum Waldfriedhof und stellt einen Teil der westlichen Grenze der „Waldfriedhofer-Neuhausener Rinne“ dar. Diese vier Hochflächen haben drei, auf der Karte gut erkennbare Einbuchtungen zur Folge. Wegen ihrer großen Ausdehnung ist vor allem die westlichste Hochfläche von Bedeutung. Diese erstreckt sich von „Lochhamer Schlag“ bei Gräfelfing über Pasing bis ins Stadtgebiet. Im Raum des S-Bahnhofs Pasing verliert diese Erhebung an Ausprägung, wobei sich Ihre westliche Begrenzung weiter nach Norden verfolgen lässt und in Grenze der „Nymphenburger Mittelhochfläche“ übergeht. Wie bereits beispielsweise bei BLASY (1974) erwähnt, liegt die Oberfläche dieser Hochflächen bereichsweise über dem Grundwasserspiegel.

E23 – Einbuchtungen im Raume Hadern-Laim-Nymphenburg

Eine erste Vertiefung verläuft in Richtung Nordost durch den Stadtteil Blumenau. Parallel dazu zieht sich eine zweite Senke in Richtung Waldwiesenstraße und der Autobahn A96 hin. Die dritte Einbuchtung erstreckt sich parallel ab der Nähe des U-Bahnhofes „Haderner Stern“ in Richtung Autobahnüberführung der „Fürstenrieder Straße“. Eine Fortsetzung der drei Rinnen nach Richtung Norden, in Richtung „Mittelhochfläche Nymphenburg“, wurde auf der Karte gestrichelt dargestellt (E24). Im besagten Gebiet treten maximale Höhenunterschiede von etwa 5-6 m auf.

H16 – Nymphenburger Mittelhochfläche

Diese tertiäre Mittelhochfläche liegt zwischen der „Waldfriedhofer-Neuhausener Rinne“ im Osten, der „Pasinger-Obermenzinger Rinne“ im Nordwesten und den Hochflächen im Raum Pasing – Hadern im Süden. Der südliche Bereich der Hochfläche weist eine hohe Datendichte auf, was den Unsicherheitsgrad der Prognose der Einbuchtungen im Raum „Hadern-Laim-Nymphenburg“ auf unter 1 m senkt. Der nordwestliche Teil, der Raum des Nymphenburger Schlossparks, hingegen, hat eine deutlich geringere Datendichte, was den Unsicherheitsgrad auf knapp über 2 m erhöht.

H17 – Untersendlinger Hochfläche

Bereits BLASY (1974) hatte schon „ausgeprägte Tertiärerhebungen über dem Grundwasserspiegel südwestlich der Theresienwiese“ erwähnt. Solche Erhebungen sind nicht nur deutlich zu identifizieren, sondern ein Teil einer markanten, großräumigen Hochfläche, der hier entsprechend als „Untersendlinger Hochfläche“ bezeichnet wird. Die östliche Flanke der Hochfläche entspricht der Terrassenkante zwischen der spätglazialen Altstadtstufe und der Niederterrasse. Nördlich bzw. nordöstlich der „Untersendlinger Hochfläche“ erstreckt sich die „Altstadt-Mittelhochfläche“.

H18 – Altstadt-Mittelhochfläche

Diese Hochfläche erhebt sich zwischen der „Isartal-Rinne“ im Osten und der „Waldfriedhofer-Neuhausener Rinne“ im Westen. Im Norden, auf einer Linie zwischen dem Olympischen Dorf – U-Bahnhof „Am Hart“ und Freimann, verstärkt sich das Gefälle des Tertiärs und bildet eine Abgrenzung. So beträgt dieses, zwischen der „Zentralen Hochschulsportanlage“ im Olympiapark (501 m ü. NN) und der Kreuzung zwischen Moosacherstraße und „Bundesstraße 304“ (494 m ü. NN), im Mittel 1 %. Die südliche Abgrenzung bilden der Hangbereich der „Untersendlinger Hochfläche“ und der nördliche Teil Thalkirchens.

Bezüglich der Morphologie des Reliefs, weist diese Struktur einen leichten Abfall in S-N-Richtung auf. So wird im Westteil, zwischen Hackerbrücke und Olympiastadion, ein durchschnittliches Gefälle von ca. 0,3 % erreicht. Zwischen Großmarkthalle (519 m ü. NN) und EURO-Industriepark (494 m ü. NN) liegt ein ähnlicher Wert (0,28 %) vor.

Eine Besonderheit ist das Vorhandensein von kleinräumigen Gebieten nahe der Nord- und Ostgrenze, wo tertiäre Mergel und Sande den oberen GW-Spiegel überragen können. Diese Bereiche sind in der Karte als hügeliges Relief erkennbar.

E25 – Eintiefung im Raum Feldmochinger See

Auf Höhe des Rangierbahnhofs München-Nord, im Nordteil von Moosach, scheinen sich die „Waldfriedhofer-Neuhausener Rinne“ und die „Pasinger-Obermenzinger Rinne“ zu vereinigen. Unmittelbar nördlich davon, im Raum „Feldmoching – Hasenberg“, erkennt man eine SSE-NNW gerichtete Fortführung dieser Struktur. Diese verläuft in Richtung Feldmochinger See bis nach Norden ins Dachauer Moos. Auf Höhe der Regattaanlage bei Oberschleißheim verlagert sich die Struktur nach NE und vereinigt sich mit einer breiten Tiefenzone, die den Nordteil des Untersuchungsgebiets prägt (siehe Beschreibung **E28**). In diese Tiefenzone mündet ebenfalls die nachfolgend beschriebene Eintiefung im Raum des Autobahndreiecks „München-Feldmoching“.

E26 – Eintiefung im Raum Autobahndreieck München-Feldmoching

Ungefähr 2 km westlich des Feldmochinger Sees und direkt südlich des Autobahndreiecks „München-Feldmoching“ verläuft eine weitere SSW-NE gerichtete Einsenkung. Diese Struktur lässt sich als Verlängerung der sich südlich vereinigten Rinnen interpretieren und läuft im Norden auf Höhe Oberschleißheim aus.

E27 – Hasenbergler Rinne

Im NE des Stadtteils „Am Hart“ verläuft die SW-NE orientierte „Hasenbergler Rinne“, teilweise auf dem Naturschutzgebiet „Panzerwiese“ und „Hartelholz“. Die erwartete Standardabweichung liegt maximal zwischen 2-3 m. Die Rinne verläuft vermutlich in Richtung Süden bis Oberwiesenfeld, nördlich des Olympiaparks. Im Norden vereinigt sie sich möglicherweise im Raum Oberschleißheim mit den westlich gelegenen Rinnen, wobei in diesem Bereich die Anzahl der Bohrunterlagen, und somit die Aussagekraft, relativ gering ist.

E28 – Tiefenzone zwischen Dachauer Moos und Freising

Diese großräumige Struktur hat eine Gesamtausdehnung von ca. 30 km und verläuft parallel der Linie der markanten Gefälleänderung im nördlichen Stadtgebiet (**G1**). Die Tiefenzone erstreckt sich vom Raum „Gerlinden-Olching“ in WSW-ENE Richtung über Karlsfeld, Oberschleißheim, Eching und Pulling bis nach Seilerbrück im SW der Stadt Freising. Hier scheint die Tiefenzone in die Isartal-Rinne zu münden. Wie auf der Karte ersichtlich, verläuft das Relief der Tertiäroberkante nicht homogen. Im Gegensatz zur nördlichen, ist die südliche Begrenzung stets klar verfolgbar. Zudem lassen sich innerhalb der Tiefenzone eine Vielzahl kleinräumiger Erhebungen, und besonders im Westteil, Einsenkungen erkennen. So fällt die Oberfläche des Tertiärs im Bereich des Autobahndreiecks „München Eschenried“ (**E29**) auf rund 480, beim Golfplatz Eschenried (**E30**) auf 479 m ü. NN ab. Weiter Richtung Osten tritt im Bereich der Regattaanlage eine ausgeprägte, SW-NE gerichtete Rinne auf (**E31**). Parallel dazu findet sich nordwestlich eine weitere Eintiefung (**E32**), welche von der vorherigen durch eine schmale Tertiärerhebung getrennt wird. Im Bereich zwischen Dachau-Ost und Unterschleißheim stehen keine Bohrdaten zur Verfügung. Infolge dessen bestehen bezüglich der Tertiäroberfläche größere Unsicherheiten (Standartabweichung bis 7 m). Nördlich dieses Bereichs, südöstlich von Hebertshausen, ist

eine rinnenförmige Struktur entlang der Amper auszumachen (**E33**). Der Abfall des Reliefs zw. Ober-schleißheim und Freising verläuft relativ kontinuierlich und wird daher nicht im Detail diskutiert.

E34 – Eintiefung zwischen Garching und Neufahrn

Am Ostufer der Isar, auf Höhe des Forschungsinstituts Garching, liegt die Tertiäroberkante mit 467 m ü. NN tiefer als in unmittelbare Umgebung. Dieses tieferliegende Gebiet verläuft langgestreckt in S-N Richtung und vereinigt sich bei Neufahrn mit der WSW-ENE verlaufenden Tiefenzone. Zwischen diesem Gebiet und der Isar deutet sich ein geringmächtiger Tertiärrücken (**H19**) an. Ca. 3 km nördlich des Forschungszentrums, auf Höhe des Klärwerks „Gut Marienhof“, kann ebenfalls eine kleinere Zone mit tief liegender Tertiäroberkante identifiziert werden. Weiter Richtung Norden kann die morphologische Ausprägung, mangels Bohrdaten, nicht weiter nachgewiesen werden.

6.3.3.3 Tertiärstrukturen östlich der Isar

Im Gegensatz zum westlichen Bereich, verläuft das Relief der Tertiäroberfläche östlich der Isar, nach Auswertung der Bohrdaten, erheblich ruhiger. Das Untersuchungsgebiet östlich der Isar ist von schmalen, in bestimmten Abständen auftretenden Bereichen, mit abrupten Änderungen des tertiären Gefälles, gekennzeichnet (**G2, G3, H22, G4, G5**). Zudem treten viele gering ausgeprägte, S-N und WSW-ENE verlaufende Eintiefungen in Erscheinung, die sich im Nordteil des Untersuchungsgebiets mit der Isartal-Rinne (**E59**) vereinen.

H20 – Darchingener Höhenrücken

Der bereits in der Literatur erwähnte „Darchingener Höhenrücken“ (SCHIRM, 1968, INGENIEURBÜRO WATEC, 1988) tritt östlich Holzkirchen nahe der Straßenkreuzung B318 und St2073 in Erscheinung. Östlich davon erstreckt sich diese Struktur in Form einer SW-NE gerichteten Ausbuchtung über die Gemeinde Valley bis Oberdarching. Nach Süden verläuft sie bis Draxlham (Gemeinde Warngau) und von hier bis Unterdarching im Osten. Zudem ist eine schmale Rinnenstruktur zu beobachten (siehe „Mühltal-Rinne und Mangfalltal-Rinne“). Der Zentralbereich des Höhenrückens, mit tertiären Höchstständen, liegt im Bereich des Golfplatzes Valley und östlich Oberlaindern (ca. 645 m ü. NN), sowie zwischen Draxlham und dem Süden von Mitterdarching (ca. 640 m ü. NN). An den Randbereichen, z.B. dem Mangfalltal, treten Oberflächenaufschlüssen mit Werten von ca. 625 m ü. NN zu Tage. Nördlich Fichtelholz fällt die Oberfläche von ca. 625 auf ca. 580 m ü. NN im Raum Fellach ab. Dieses Gebiet stellt einen Teil des Südrandes der „Münchner Schotterebene“ dar. Südlich der Linie „Draxlham-Oberdarching“ steigt das Oberflächenrelief in Richtung Taubenberg stark an.

E35 und **E36** – Mühltal-Rinne und Mangfalltal-Rinne

Innerhalb des obengenannten „Darchingener Höhenrückens“ verläuft eine SW-NE gerichtete, schmale Tertiärrinne. Diese Struktur, auf die in der Vergangenheit schon mehrere Autoren, z.B. SCHIRM (1968) und WATEC (1988), hingewiesen haben, hat eine maximale Höhendifferenz von ca. 25 m. Sie verläuft vom Nordosten Draxlhams nach Mitterdarching und mündet in die „Mangfalltal-Rinne“ im Osten. Im Mangfalltal ist das Tertiär tief abgesenkt und scheint von Unterdarching bis zur „Weyarner Mühle“ um 40 m, von 630 auf 590 m ü. NN, abzufallen. Diese rinnenförmige, Süd-Nord orientierte Vertiefung setzt sich bis nach Grub fort, wo sie nach Westen abbiegt.

E37 und **E38** – Holzkirchner Rinne und Einsenkungen nordöstlich der Gemeinde Dietramszell

Westlich des „Darchingener Höhenrückens“ ist eine N-S gerichtete Rinnenstruktur ausgebildet, die direkt durch das Gebiet Holzkirchens verläuft. Der südliche Verlauf ist aufgrund weniger Bohrdaten unsicher. Durch seismische Messungen wurde von GROTTENHALER (1985) eine südliche Fortsetzung in Rich-

tung Großhartpenning angenommen. Westlich, zwischen Steingau und Plankam (Gemeinde Dietramszell), liegt die Tertiäroberfläche geringfügig tiefer als in der Umgebung. Diese Einbuchtung scheint sich in Richtung NE zu öffnen und sich mit dem tieferliegenden Gebiet nördlich des „Darchingener Höhenrückens“ zu vereinigen.

E39 – Einsenkung zwischen Gumpertsham und Aying

Im Raum „Geilertshausen-Gumpertsham“, westlich von Sauerlach, befindet sich eine W-E gerichtete, rinnenförmige Struktur. Nach Osten hin nimmt die Breite und Ausprägung dieser Struktur zu. Auf Höhe des „Hofoldingener Forsts“ scheint sich diese Struktur mit der Fortsetzung der südlich gelegenen Einbuchtung im Raum „Holzkirchen-Dietramszell“ zu vereinigen. Diese Beobachtung beschreibt auch SCHIRM (1968). Bis in den Raum Aying ändert sich der Verlauf der Struktur in Richtung NE.

H21 – Hofoldingener Flinzrücken

Unmittelbar nördlich der Einsenkung zwischen Gumpertsham und Aying, tritt ein Höhenrücken in Erscheinung, dessen Verlauf sich von W nach E, über Altkirchen, Sauerlach und Hofolding, erstreckt. Das Tertiär erreicht bei Altkirchen und im Westen von Sauerlach eine Maximalhöhe von 583 m ü. NN.

Auf der Karte ist ersichtlich, dass das tertiäre Relief zwischen der Isartal-Rinne im Westen und Sauerlach im Osten bis auf Höhe des Stadtgebiets relativ gleichmäßig abfällt. So liegt das Tertiär bei Straßlach, Gerblinghausen und Altkirchen etwa auf 582 m ü. NN und fällt in Richtung Unterhaching und Neubiberg, mit einem relativ konstanten Gefälle zwischen 0,4-0,5 %, auf ca. 535 m ü. NN ab. Punktuell gibt es kleinräumige Abweichungen, wie die Einbuchtungen südlich Deisenhofens (**E40**) oder westlich Laufzorns (**E41**). Der Raum Oberhaching liegt auf einem flachen Niveau zwischen 560 und 562 m ü. NN, vergleichbar mit dem Bereich zw. Brunnthäl und Otterloh im Osten.

E42 – Einbuchtungen zwischen Brunnthäl und Vaterstetten

Unmittelbar nördlich/nordöstlich der oben genannten Bereiche, lassen sich einige weitere Eintiefungen erkennen. Im Nordteil des „Hofoldingener Flinzrückens“, zwischen Brunnthäl und Hofolding, fällt die Tertiäroberkante ab und bildet eine SW-NE gerichtete Einsenkung aus, die bereits in der Literatur von SCHIRM (1968) und GROTTENHALER (1985) dokumentiert wurde. Es treten in einem Bereich von Siegersbrunn, über Harthausen, Hohenbrunn und Vaterstetten gering ausgeprägte tertiäre Senken auf, die durch Bohrungen belegt sind. Ähnlich der Einbuchtungen im Bereich zwischen Aying und Anzing, die weiter östlich parallel verlaufen, entsteht der Anschein einer Zugehörigkeit zu einer großräumigeren Tertiärstruktur. Jedoch sind die Bohrdaten in diesem Gebiet recht spärlich, was Unsicherheiten zw. 4-6 m zur Folge hat. Nördlich Vaterstetten steigen die Unsicherheiten sogar bis auf größer 7 m. Trotzdem ist eine Vereinigung der S-N gerichteten Rinnenstruktur zw. Vaterstetten und Anzing und den Einsenkungen im Osten anzunehmen. Zudem ist nicht auszuschließen, dass sich diese Struktur, zumindest teilweise, mit der Rinnenstruktur bei Grub, vereinigt.

Einbuchtungen zwischen Hohenbrunn und Berg am Laim

In diesem Fall ist eine WSW-ENE orientierte Einbuchtung (**E43**) südöstlich Deisenhofens auszumachen, die sich nach Putzbrunn erstreckt. Zwischen dieser Einbuchtung und dem Isartal, treten zwei weitere in nordöstliche Richtung verlaufende Eintiefungen (**E44**, **E45**) in Erscheinung. Ein weiterer Verlauf in Richtung Feldkirchen wird angenommen, wo es wahrscheinlich zu einer Vereinigung mit der Einsenkung zw. Aschheim und Neufinsing (**E47**) kommt.

H22 – Hochfläche südlich der Linie Altbogenhausen-Riem

Ungefähr 750 m nördlich der A94, zwischen den Maximiliansanlagen und dem Umschlagbahnhof Riem, verläuft eine parallel zur Autobahn ausgerichtete Zone, in der das tertiäre Relief stark in Richtung Norden, von 515 bis auf unter 500 m ü. NN abfällt. Die Oberfläche senkt sich hier mit über 2 % im Westen und ca. 1,4 % im Osten in Richtung Norden ab. Weiter Richtung Osten verringert sich der Betrag des Gefälles.

Zudem sind zwei tertiäre Hochgebiete, bei Heimstetten (H23) und im Raum „Ottersberg-Poing“ (H24), zu erkennen, zwischen denen kleinräumige Rinnenstrukturen auftreten, die vermutlich bevorzugte Fließwege für das Grundwasser darstellen. Daneben gibt es weitere Rinnensysteme im Bereich Grub (E46) und Feldkirchen (E47).

E48 – Bogenhausener-Aschheimer Eintiefung

Auf Höhe der Max-Joseph-Brücke im Stadtgebiet scheint sich von der Isartal-Rinne ein Ost-Arm abzutrennen, der als „Bogenhausener-Aschheimer Eintiefung“ bezeichnet wird. Im westlichen Bereich ist dieser von Tertiärerhebungen, dem „Johanneskirchner Höhenrücken“ und einem Höhenrücken auf der Linie zw. Altbogenhausen und Riem, begrenzt. Im Stadtgebiet verläuft die Einsenkung vom Ostufer der Isar aus in Richtung „Klinikum Bogenhausen“ und Engelschalking bis zum nördlichen Stadtrand („Dornacher Feld“), wo die Tertiäroberkante einen Minimalwert von 489 m ü. NN erreicht. Eine Verlängerung in Richtung Ortskern Aschheim und ein weiterer Verlauf in Richtung NE des Untersuchungsgebiets, werden anhand vorhandener Bohrdaten angenommen.

E49 – Eintiefung zwischen Aschheim und Neufinsing

Diese SW-NE gerichtete Struktur bildet die Fortsetzung der „Bogenhausener-Aschheimer Eintiefung“. Die Tertiäroberfläche senkt sich auf einer Länge von 9 km, zwischen Aschheim und Neufinsing, von 490 auf 476 m ü. NN ab. Weiter nördlich und östlich von Neufinsing lässt sich diese Struktur, aufgrund großer Standartabweichungen (> 6 m), nur schwer verfolgen.

H25 – Johanneskirchener Hochfläche

Vom Ostufer der Isar, auf Höhe Oberföhring, erstreckt sich in Richtung Osten ein Gebiet, in dem die Tertiäroberfläche im Vergleich zur Umgebung, erhöht ist. Die Oberfläche liegt auf ca. 501 m ü. NN und die markantesten Gefälle befinden sich am Ostufer der Isar sowie nordwestlich des „Dornacher Feldes“ bei Aschheim.

H23 und H24 – Tertiärhoch bei Heimstetten und im Raume Ottersberg-Poing

Bei Heimstetten tritt eine inselartige Erhöhung der tertiären Oberfläche mit 502 m ü. NN auf, die jedoch nur durch eine Bohrung belegt werden kann.

Im Raum Ottersberg wurde bereits von SCHIRM (1968) eine tertiäre Erhebung erwähnt. Eine mögliche Verbindung dieser Erhebung mit dem Tertiärrücken bei Kempfung (Gemeinde Moosinning) wird vermutet. Auffällig ist zudem, dass diese Strukturen eine Verlängerung der Linie „Altbogenhausen-Riem-Heimstetten“ darstellen.

E50 – Einbuchtungen in der Linie Aying-Anzing

Im Bereich zwischen Aying und Anzing fällt eine Abfolge gering ausgeprägter, Süd-Nord orientierter Einbuchtungen auf. Diese wurden bereits von SCHIRM (1968) erwähnt und verlaufen entlang der Ortschaften Aying, Egmatting, Oberpframmern, Zorneding, Pöring, Purfing und Anzing.

H26 – Hochfläche zwischen Zorneding und Kirchseeon

Laut Literatur (SCHIRM, 1968) findet ein generelles Ansteigen der Tertiäroberfläche südlich der Straße zw. Zorneding und Kirchseeon statt. Diese Aussage bestätigt die allgemeine Tendenz und grenzt ebenfalls eine N-S gerichtete, tertiäre Erhebung ab. Unmittelbar nördlich der Bundesstraße 304, zwischen Zorneding und Eglharting, steigt das Tertiär auf bis zu 530 m ü. NN an und bildet weiter südlich bei Buch mit 537 m ü. NN ein Hoch.

E51 – Kirchseeoner Rinne

Im südlichen Teil des „Egelhartinger Forsts“, insbesondere auf Höhe Kirchseeon, verläuft eine NNW-SSE gerichtete Rinnenstruktur mit einer maximalen Höhendifferenz von ca. 10 m. Diese Struktur verläuft nach Norden in Richtung „Anzinger Forst“ (E52), wo sie sich mit den Einbuchtungen des Bereichs „Aying-Anzing“ zu vereinigen scheint. Dies kann aufgrund einer geringen Bohrdatendichte nicht zweifelsfrei belegt werden. In der Fortsetzung der Rinne, südlich von Forstinning, wird die Struktur im Bereich des Kiesabbaus durch eine lokale tertiäre Erhöhung unterbrochen (BLASY + MADER GMBH, 2007).

H27 – Hochfläche im Raum Ebersberger Forst

Östlich der Kirchseeoner Rinne, im Ebersberger Forst, liegt ein genereller Anstieg der Tertiäroberfläche in Richtung Ost und Südost vor.

H28 – Höhenrücken im Raume Auerhäuseln-Dürnberg

Am Ostrand des Untersuchungsgebiets, östlich der Linie „Herdweg – Ottenhofen“, ist ein Anstieg des tertiären Reliefs zu verzeichnen. Bei Unterschwillach erreicht es eine Höhe von 479 m ü. NN, südöstlich, bei Zeilern, liegt es bei 485 m ü. NN. Auf Basis der vorliegenden Bohrdaten, scheint sich dieser Höhenrücken nach Südosten in Richtung Pastetten fortzusetzen, wo eine Höhe von ca. 500 m ü. NN erreicht wird. Eine nördliche Fortsetzung wird parallel zum Fluss Schwillach im Osten, zwischen Dürnberg und Wörth, erwartet (HYDROCONSULT, 2011).

E53 – Sempttal-Rinne zwischen Markt Schwaben und Erding

Wie bereits erwähnt, vereinigen sich die „Kirchseeoner Rinne“ und eine SSW-NNE gerichtete Eintiefung zwischen Anzing und dem „Anzinger Forst“. Diese Tiefenzone setzt sich in Richtung Markt Schwaben fort, wo eine Tertiärsenke (475 m ü. NN) angetroffen wird.

Weiter in Richtung Norden, entlang der Sempt, zwischen den Ortschaften Bergham, Ottenhofen und Herdweg, ist die tertiäre Morphologie durch eine langgezogene Einsenkung gekennzeichnet. Während die Ostflanke dieser Einsenkung gut nachverfolgt werden kann (siehe Höhenrücken im Raum „Auerhäuseln – Dürnberg“), ist die Westflanke, aufgrund eines hohen Unsicherheitsgrades (bis 6,5 m), nur schwer abzugrenzen.

Bei Lupperg wurde vermutlich ein Teil einer tertiären Erhebung durch eine Bohrung angetroffen. Im Bereich des „Aufhausener Walds“, ungefähr 3 km östlich von Moosinning, liegt die Tertiäroberfläche wesentlich tiefer als in der Umgebung. Hier bildet das Relief eine WSW-ENE orientierte Eintiefung (E54), die sich auf Höhe Bergham mit der Sempttalrinne vereinigt.

Bemerkenswert ist zudem eine kleine, in der Literatur (WATEC, 1988) erwähnte Tertiärsenke bei Gänslöhe, unmittelbar östlich Moosinning. Der weitere Rinnenverlauf erstreckt sich in Richtung Norden bis nach Erding.

Eintiefungen zwischen Erding und Langenpreising

Im Nordteil der Gemeinde Erding scheint die „Sempttal-Rinne“ ihren bisherigen Verlauf entlang des Flüsschen Sempt zu verlassen und verliert sich. Nördlich, in Richtung Langenpreising, können mehrere Eintiefungen erkannt werden, die eine Fortsetzung dieser Rinne darstellen könnten.

Nahe der Ortschaft Eitting verläuft eine SE-NW gerichtete Senke (**E55**), die vermutlich mit einer weiteren Eintiefung westlich von Berglern (**E56**) in Verbindung steht. Diese ist im Südosten durch einen Anstieg (ca. 0,9%) des Tertiärs begrenzt (**G5**), und verläuft weiter in Richtung Nordteil der Isartal-Rinne.

Im Osten, westlich von Wartenberg, sinkt die Tertiäroberfläche ab (**E57**). Nordwestlich davon, beim „Mittleren-Isar-Kanal“, sinkt die Tertiäroberkante auf 421 m ü. NN, weiter nördlich, bei Langenpreising, auf bis zu 411 m ü. NN ab.

E58 – Sempttal-Rinne (Nordteil) zwischen Langenpreising und Echinger Stausee

Im Gebiet zwischen Langenpreising und Echinger Stausee verläuft eine rinnenförmige Struktur, die sich zumindest teilweise wieder dem Verlauf der Sempt angleicht. Entlang deren Verlauf treten mehrere tertiäre Einsenkungen auf, wie z.B. bei Langenpreising (411 m ü. NN), nördlich Pottenau (407 m ü. NN) und südlich Aich (406 m ü. NN). Der Verlauf der Sempttal-Rinne setzt sich bis zum Stausee fort, wo sie sich mit der Isartal-Rinne vereinigt.

E59 – Isartal-Rinne (Nordteil)

Zwischen Freising im Westen und Echinger Stausee am nordöstlichen Rand des Untersuchungsgebiets, wird die Isartalrinne linksseitig durch das tertiäre Hügellang begrenzt. Die rechtsseitige Begrenzung ist nicht klar auszumachen, was vor allem an den spärlichen Bohrdaten (Standartabweichung über 5 m) in den Bereichen zwischen Attaching (nördlich des Flughafens) und den Naturschutzgebieten Viehlaßmoos und den Isarauen, bzw. zwischen Hangenham und Moosburg, liegt. Auf Basis der vorhandenen Bohrdaten, wird die südlich des Isartals ausgeprägte Tertiärmorphologie wohl durch mehrere, bereits beschriebene Strukturen (**E55**, **E57**, **E64**) geprägt.

E60 – Rinne im Raum Feldkirchner Au

Auf Höhe der Gemeinde Moosburg wird eine WSW-ENE gerichtete Rinnenstruktur von zwei tertiären Aufragungen eingerahmt. Die Eintiefung verläuft entlang der Ortschaften Weiglschaig, Martlbräuschwaig und dem Moosburger Stadtteil Neustadt und scheint sich dann mit der Isartal-Rinne zu vereinen.

H29 – Höhenrücken im Raum Moosinning, Kempfing und Aufkirchen

In diesem Gebiet tritt das tertiäre Relief durch einen starken Anstieg mehrmals zu Tage. Das stark geprägte Relief erreicht Höhen von über 490 m ü. NN. Das Gefälle liegt zwischen Adelberg (487 m ü. NN) und Gänslöhe (457 m ü. NN) bei ca. 2,35 %, im Raum Aufkirchen bei ca. 4 %.

Eintiefungen zwischen dem Johanneskirchner Höhenrücken und dem Flughafen München

Im Gebiet nördlich des „Johanneskirchner Höhenrückens“ bis zum Flughafen München, wird das tertiäre Relief durch keine auffälligen Strukturen gestört und fällt relativ schwach und konstant ab. Das Gefälle zwischen Unterföhring (493 m ü. NN) und Hallbergmoos (450 m ü. NN) beträgt im Mittel ca. 0,25 % und wird nur durch kleinräumige Einsenkungen unterbrochen. Beispiele hierfür wären die SW-NE orientierten Einsenkungen im Raum Feringasee (**E61**) und Schindertaxet südlich von Ismaning (**E62**). Weiter nördlich, bei Eichenried, liegt eine weitere Einsenkung (**E63**) mit Tertiärhöhen zw. 457

und 454 m ü. NN. Zudem existiert eine Senke westlich von Oberding (**E64**), mit NNW-SSE orientierter Ausrichtung.

Im Bereich des Flughafens München ist die Bohrdatendichte wesentlich höher und erlaubt eine detailliertere Darstellung der Tertiäroberkante. Die Monotonie der oben beschriebenen Fläche wird durch eine Verstärkung des Gefälles in N-S Richtung unterbrochen (**G4**). Zwischen Schwaig (445 m ü. NN) und der östlichen Grenze des Flughafens (431 m ü. NN) beträgt das Gefälle durchschnittlich 0,7 %. Im mittleren und westlichen Bereich des Flughafens und parallel zur Isartalrinne im Norden verläuft eine rinnenförmige Eintiefung (**E65**). Sie verläuft in Richtung WSW-ENE und mündet im Raum Eitting vermutlich in die Isartal-Rinne.

E66 und **E67** – Isartal-Rinne (Süd- und Mittelteil)

Das Isartal ist zum Teil sehr stark in den Tertiäruntergrund eingetieft. Südlich des Münchner Stadtgebietes tritt das Tertiär an zahlreichen Aufschlüssen, vor allem westlich der Isar, zu Tage. Zudem ist das Relief stark ausgeprägt. Das Tertiär fällt am Ostufer der Isar, zwischen dem Wasserkraftwerk Mühlthal und dem Norden von Straßlach, stark, von rund 575 auf 545 m ü. NN, ab. Im Bereich der südlichen Stadtgrenze mündet die „Pullacher Rinne“ in das Isartal. Im Bereich des Stadtgebiets bildet die Isartal-Rinne zum Teil steile Hangflanken aus, die durch eine hohe Bohrdatendichte gut interpretiert werden können. Im Südosten von Solln, fällt das Tertiär von 557 m ü. NN, um 33 m, auf 524 m ü. NN auf Höhe des „Isar-Werkkanals“ ab. Das Gefälle beträgt ca. 1,5 %. Besonders steil ausgeprägt ist zudem die östliche Hangflanke zwischen Max-Joseph-Brücke und Mariahilfplatz. Wie bereits erwähnt, scheint sich, weiter nördlich, von der Isartal-Rinne ein Arm in Richtung Osten abzutrennen („Bogenhausener-Aschheimer Eintiefung“). Nördlich des Stadtgebiets, zwischen Ismaning und Freising, verliert die Isartal-Rinne ihr ausgeprägtes Relief. Vor allem ist die Ostflanke der Isartal-Rinne oft nicht mehr eindeutig auszumachen.

6.3.4 Unsicherheitsanalyse

6.3.4.1 Unsicherheitsanalyse im inneren Interpolationsgebiet

Abb. 8 zeigt die Standardabweichung des Schätzfehlers mit einer Genauigkeit von 1 m. Wie aus der Abbildung zu ersehen ist, schwankt im inneren Interpolationsgebiet die Standardabweichung zwischen 0 und 4 m. Dieses gute Ergebnis ist vor allem auf die höhere Bohrdatendichte zurückzuführen. Fast die gesamte Fläche besitzt ein Wert unter 2 m und nur in sehr begrenzten Bereichen können Werte bis 3 m erreicht werden. Werte über 3 m befinden sich nur am Rande des inneren Gebietes und haben keine praktische Bedeutung.

6.3.4.2 Unsicherheitsanalyse im äußeren Interpolationsgebiet

Im Falle des äußeren Gebiets wird in Abb. 8 ersichtlich, dass die Unsicherheiten in manchen Bereichen wesentlich höher als im inneren Interpolationsgebiet sind. Die Standardabweichung wird in 2-m-Schritten unterteilt, wobei die Werte zw. 0 und 9,5 m liegen. Wie auch im inneren, finden sich die hohen Werte des äußeren Gebiets v.a. an den Randbereichen. Die Gesamtfläche weist im Mittel eine Unsicherheit kleiner 6 m auf.

Zum Thema Unsicherheitsanalyse bzw. Standardabweichung siehe [Anlage 4.3](#) und [4.4](#).

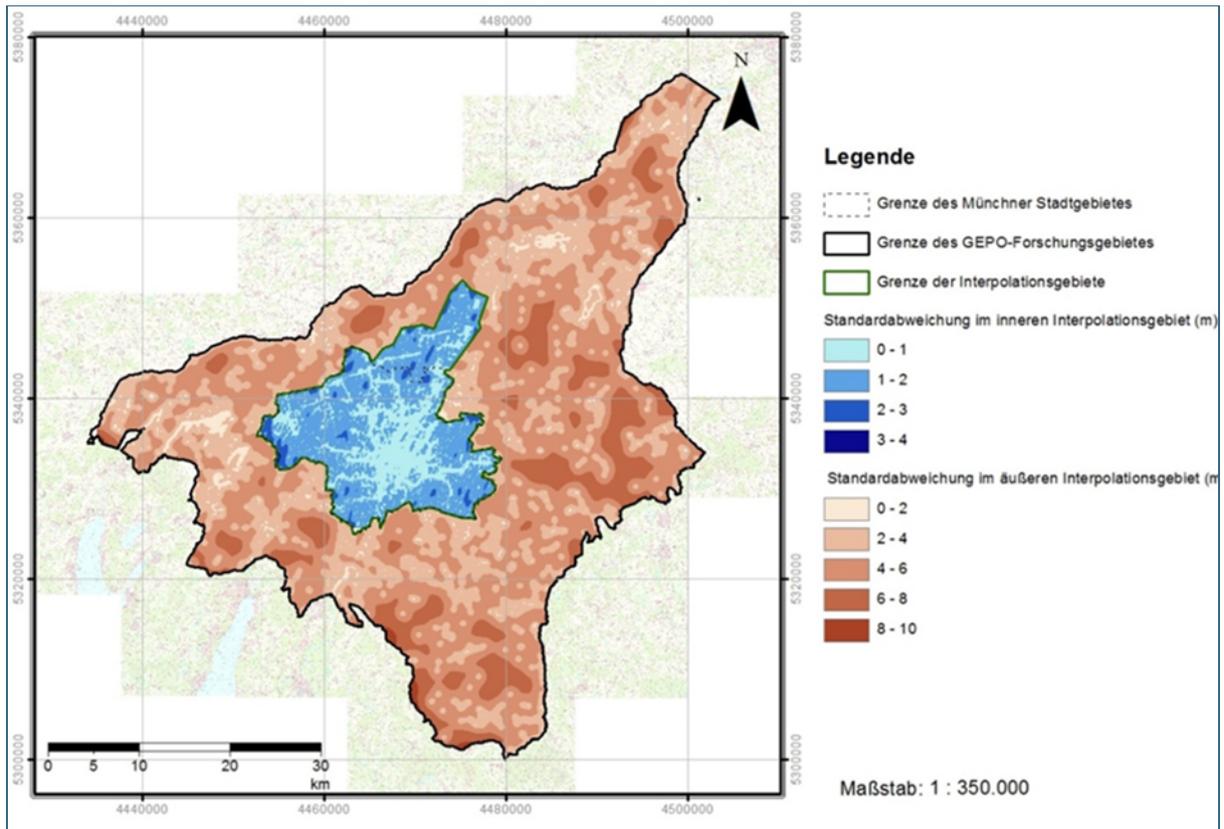


Abb. 8: Unsicherheitsanalyse: Standardabweichung im inneren und äußeren Interpolationsgebiet.

6.3.5 3D-Modellierung

Im Rahmen des GEPO-Projektes wurde ein großräumiges, konzeptionelles 3D-Modell im GEPO-Forschungsgebiet erstellt. Das Ziel war, eine optimale dreidimensionale Visualisierung der relevanten erstellten Produkte mit besonderem Fokus auf die Quartärbasis einzubringen. Dies ermöglichte, eine gemeinsame Perspektive der Produkte im dreidimensionalen Raum festzulegen sowie ihre Konsistenz zu bekräftigen.

Nachstehend ist die Datengrundlage für die Erstellung des 3D-Modells zusammengefasst:

Tab. 14: Übersichtstabelle der verwendeten Inputparameter zur Erstellung des konzeptionellen 3D-Modells

Inputparameter	Erklärung
Digitales Geländemodell	Raster (Zellgröße 5,5)
Topografische Karte	TK25
Quartärbasis	Konstruktionspunkte, Isolinien, Darstellung der Strukturen
Grundwassergleichenplan	Isolinien
Interaktion quartäres und tertiäres GW-Stockwerks	Rasterdaten

Das 3D-Modell wird in [Anlage 4.5](#) dargestellt. Es wurde per Softwarepaket Leapfrog Geothermal© (Version 3.0.0) aufgebaut. Die Modellerstellung erfolgte aus den in Tab. 14 aufgelisteten generierten Linien- und Rasterdaten. Die Modellauflösung beträgt 100 m. Um eine bessere Visualisierung zu ermöglichen, wurde das Modell aufgrund der geringen Mächtigkeiten mit einer 20-fachen Überhöhung dargestellt.

6.4 Grundwasserdynamik

6.4.1 Grundwassergleichenplan

Eine Übersicht über die verfügbaren Anlagen in diesem Bericht zum Thema Grundwassergleichenplan gibt Tab. 15.

Bezeichnung der Anlage:	Inhalt
Anlage 5.1	Grundwassergleichenplan Arbeitsgebiet
Anlage 5.2	Grundwassergleichenplan Stadtgebiet

Tab. 15:
Anlagen zum Thema „Grundwassergleichenplan“

6.4.1.1 Allgemeines

Übersicht der erstellten Produkte des Grundwassergleichenplans

Der im Zuge des GEPO-Projekts erstellte Grundwassergleichenplan (Anlage 5.1, 5.2) zeigt schematisch und generalisiert die Grundwasserhöhengleichen des quartären Hauptgrundwasserleiters zum Zeitpunkt der durchgeführten Stichtagsmessung im April 2014. Es können je nach Situation lokale Abweichungen, z.B. durch Wasserhaltungs- oder Baumaßnahmen, Absenkungen oder Aufstauungen auftreten, die in der Karte nicht berücksichtigt werden konnten. Daher ist der Plan nicht dafür geeignet, belastbare Daten für lokale Bauvorhaben zu liefern und ersetzt keine Detailuntersuchungen für wasserwirtschaftliche, wasserrechtliche oder baugrundtechnische Fragestellungen. Fragliche Bereiche und Gebiete sehr geringer Datendichte, sowie Areale, in denen entweder kein quartärer Hauptgrundwasserleiter vorhanden bzw. keine Interaktion mit diesem besteht, wurden auf dem Plan ausgespart.

Beschreibung des quartären Hauptgrundwasserleiters

Die quartären Schotter der „Münchner Schotterebene“ (MSE) nehmen von Süden nach Norden in Ihrer Mächtigkeit ab und grenzen im Norden an das „Tertiäre Hügelland“. Diese Schotter beherbergen einen weitgehend homogenen Grundwasserkörper, den quartären Hauptgrundwasserleiter. Dieser bildet gemeinsam mit den lokal auftretenden tertiären Flinzsanden das „Obere Grundwasserstockwerk“. Das „Untere Grundwasserstockwerk“, das Tertiärgrundwasser, ist für die Erstellung des quartären Grundwassergleichenplans nur in speziellen Bereichen relevant, auf welche bei Bedarf eingegangen wird.

Aufgebaut ist das „Obere Grundwasserstockwerk“ zumeist aus oberflächennahen quartären Kies-schichten (Schottern) und Sanden. Zum Teil folgen darauf direkt, ohne stauende Zwischenschicht, tertiäre Sande, die in diesem Fall ebenfalls zum oberen Stockwerk gezählt werden. Neben diesen in verschiedene Terrassen und Stufen unterteilten Schotterkörper treten in den Flusstälern holozäne Ablagerungen, das Alluvium, auf (Abb. 9). Diese wurden zur Vereinfachung zum quartären Hauptgrundwasserleiter ergänzt, da zumeist eine Interaktion ersichtlich ist. Das Alluvium hat je nach Ausprägung erheblichen Einfluss auf den lokalen Grundwasserspiegel. Zudem spielt die Wechselbeziehung zwischen Grund- und Isarwasser eine Rolle, da sich im nördlichen Stadtbereich und darüber hinaus, die Grenze liegt im Bereich des Stadtkerns, die Isar noch nicht in die tertiären Schichten eingetieft hat und somit Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter infiltrieren kann. Weiter südlich hingegen fungiert die Isar nur noch als Vorfluter. Es treten im quartären Hauptgrundwasserleiter vornehmlich freie Grundwasserverhältnisse auf. Lokal können diese, meist durch geologische Gegebenheiten („deckende Mergel“, Moränengebiete, bindige Deckschichten) jedoch beeinflusst werden und gespannte

Verhältnisse verursachen. Artesische Verhältnisse konnten im quartären Grundwasserleiter nur in Ansätzen nachgewiesen werden (DOHR & GRUBAN, 1999; GEBHARD, 1986; BLASY, 1974; SCHIRM, 1968).

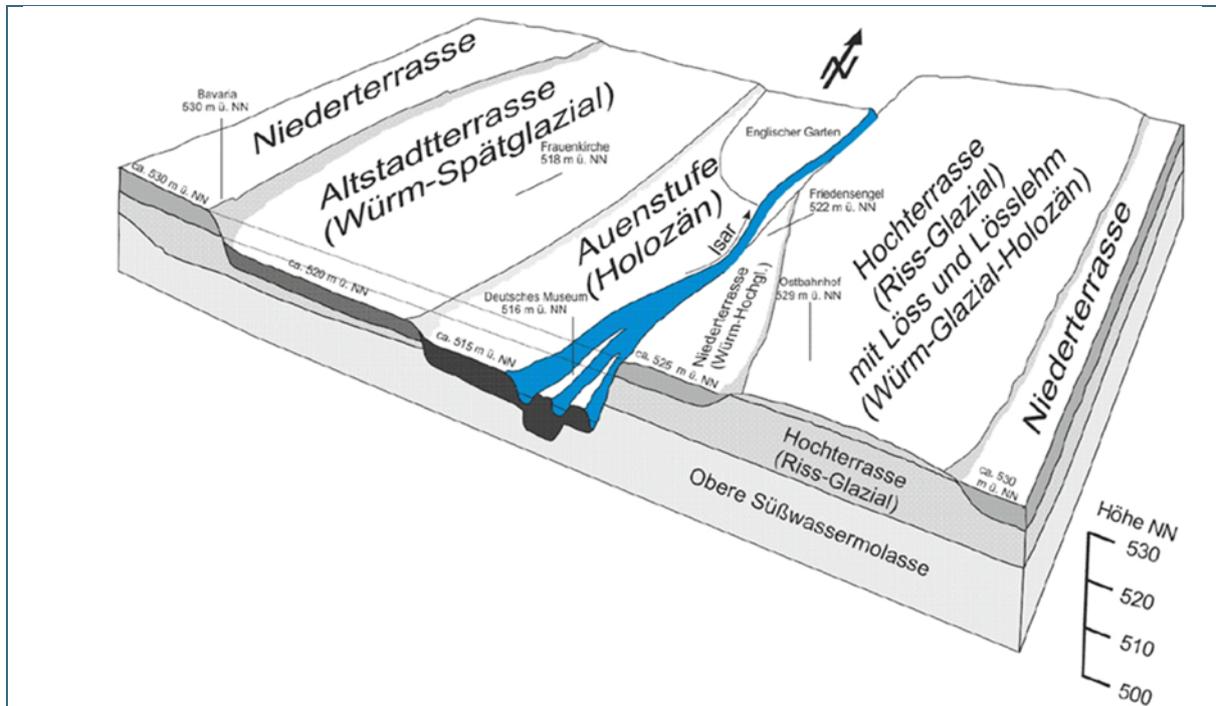


Abb. 9: Blockbild verändert nach MÜNICHSDORFER (1922).

Lokal existieren Zonen, in denen der obere Grundwasserhorizont, zumindest zeitweise, fehlen kann. Ebenfalls gibt es in Bereichen mit fehlender stauender Quartärbasis (Tone und Schluffe der „Oberen Süßwassermolasse“) hydraulische Kurzschlüsse zwischen dem oberen und unteren Grundwasserstockwerk. Diese Möglichkeit der natürlichen Wasserwegsamkeiten ist stets gegeben. Vor allen in Bereichen, in denen sich das Quartär rinnenartig in die Obere Süßwassermolassen eingetieft und mächtige tertiäre Sande angeschnitten wurden, treten erhöhte Wahrscheinlichkeiten einer Interaktion der Grundwässer auf (DOHR & GRUBAN, 1999; GEBHARD, 1986; BLASY, 1974; SCHIRM, 1968).

Die Flurabstände schwanken, je nach geologischen Gegebenheiten, von mehreren 10er Metern im südlichen, bis zum Teil nur wenigen Zentimetern im nördlichen Arbeitsgebiet. Im Stadtgebiet schwanken die Flurabstände zwischen > 20 m im Süden und < 2 m im Norden. Die Grundwassermächtigkeit hängt ebenfalls von lokalen Gegebenheiten ab und schwankt zwischen wenigen Zentimetern und mehreren 10er Metern. Im Zuge des GEPO Projektes wurde sowohl eine Flurabstandskarte, als auch eine Karte zu den Grundwassermächtigkeiten des quartären Hauptgrundwasserleiters erstellt. Die daraus gewonnenen Ergebnisse können in den betreffenden Kapiteln (6.4.4, 6.4.3) nachgelesen werden.

Das durchschnittliche Gefälle des Grundwassers ist mit ca. 2 – 3 ‰ etwas geringer als das der Oberfläche der Münchner Schotterebene (ca. 5 ‰). In Hangbereichen kann das Gefälle jedoch Werte von bis zu 10 ‰ erreichen. Durch das geringe Gefälle und schwankende Grundwasserspiegel kann es im nördlichen Bereich der Münchner Schotterebene zu freien Grundwasseraustritten oder Vernäsungs-zonen kommen. Moorböden und Abscheidungen von Almkalk, Seekreide und Wiesenkalk im Bereich des Erdinger und Freisinger Moores verdeutlichen dies (DOHR & GRUBAN, 1999; GEBHARD, 1986; BLASY, 1974; SCHIRM, 1968).

Die Hauptfließrichtung des Grundwassers im quartären Hauptgrundwasserleiter verläuft westlich der Isar generell von Südwest nach Nordost und östlich der Isar von Südost nach Nordwest. Als Hauptvorfluter fungiert die Isar. Ausgeprägte Rinnensysteme in der Oberfläche der Tertiäroberkante (Obere Süßwassermolasse) stellen bevorzugte Abflussrichtungen des Grundwassers dar, weisen durchwegs erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten auf und können den generellen Verlauf der Fließrichtung deutlich beeinflussen. Im Bereich der Hoch- und Niederterrasse liegen weitgehend gleichmäßige Strömungsverhältnisse vor. Ausnahmen bilden hier die markanten Hang- und Terrassenkanten, die die Grundwasserströmung deutlich in Richtung Isar ablenken. Neben der Isar gibt es weitere kleinere Vorfluter, wie die Amper und Teile der Würm im Westen und die Bäche Dorfen und Sempt im Osten des Projektgebietes, die jedoch untergeordnete Rollen spielen. Außerdem ist vor allem der nördliche Teil des Projektgebietes, in Bereichen der (ehemaligen) ausgedehnten Moorgebiete, durchzogen von anthropogenen Entwässerungskanälen und Abfanggräben. Vor allem der Bereich um den Flughafen Franz-Joseph-Strauß bei Freising wird großräumig entwässert und ist kanalisiert (DOHR & GRUBAN, 1999; GEBHARD, 1986; BLASY, 1974; SCHIRM, 1968).

Die Durchlässigkeiten im quartären Schotterkörper sind aufgrund des sedimentären Gefüges in horizontaler Richtung größer als in vertikaler. Die Schotter sind je nach Feinkornanteil überwiegend als sehr stark bis stark durchlässig einzustufen (10⁻² bis 10⁻⁴ m/s). Bei entsprechenden Bedingungen, beispielsweise guten Durchlässigkeiten und starkem Gefälle, können die Grundwasserfließgeschwindigkeiten bis zu 20 m pro Tag betragen. Durchschnittlich rechnet man aber mit wenigen Metern pro Tag. Die petrographische Zusammensetzung des Speichergesteins besteht hauptsächlich aus Karbonatgeröllen. Daher ist das Wasser des quartären Grundwasserleiters sehr hart und hat eine durchschnittliche elektrische Leitfähigkeit von rund 700 µS/cm. Als mittlere Abflussmengen für das Grundwasser werden in der Literatur Werte von 6 m³/s für östlich der Isar, 4,3 m³/s für westlich der Isar und 14 m³/s für die gesamte Münchner Schotterebene angegeben (DOHR & GRUBAN, 1999; GEBHARD, 1986; BLASY, 1974; SCHIRM, 1968).

Grundwasserentnahmen, sowie temporäre oder permanente Wasserhaltungsmaßnahmen und Versickerungen können die Grundwasserverhältnisse durch Ausbildung von Absenktrichtern und Aufstaukegeln beeinflussen. Eine stetige Behinderung des Grundwasserstroms stellt der Verlauf der Tunnelrassen der Münchner U-Bahn dar und sollte stets beachtet werden. Zudem wird hier auf das künstlich beeinflusste Potential der Isar hingewiesen, das durch zahlreiche Aufstauungen, Wehre und kanalisierte Bereiche beeinflusst, und sich vor allem im Stadtgebiet z.T. nicht mehr mit dem natürlichen Grundwasserstand im Aquifer korrelieren lässt (DOHR & GRUBAN, 1999; GEBHARD, 1986; BLASY, 1974; SCHIRM, 1968).

Generell treten im Schotterkörper des quartären Hauptgrundwasserleiters freie Grundwasserverhältnisse auf. Es gibt wenige Bereiche, in denen flächenhaft gespannte Verhältnisse des quartären Aquifers denkbar sind. Auf diese Bereiche wird im Unterpunkt „Gespannte und artesische Bereiche“ eingegangen.

6.4.1.2 Datengrundlage und Methodik

Im Rahmen der abgeschlossenen Rechercharbeiten wurden an den verschiedenen Institutionen, sowie aus der vorhandenen Literatur, das Projektareal betreffende Grundwassergleichenpläne recherchiert. Hierbei wurden vor allem Pläne berücksichtigt, die ein möglichst großes Gebiet abdecken, wie beispielsweise zwei Grundwassergleichenpläne des Stadtgebietes aus den Jahren 1940 (HHW 40) und 1990 (digital recherchiert am WWA-M), sowie weitere Gleichenpläne aus der Literatur und aus Gutachten. Allgemein lagen die meisten recherchierten Pläne nur in Papierform vor und mussten bei der Recherche eingescannt werden. Um sie für das Projekt nutzbar zu machen, wurden sie anschließend georeferenziert. So wird neben der Erstellung eines aktuellen Grundwassergleichenplans bis

zum Projektende eine digitale Sammlung und GIS-kompatible Übersicht von vorhandenen Grundwassergleichenplänen erstellt [REDACTED]. Eine Digitalisierung der einzelnen Pläne ist ebenfalls angedacht. Bis zum jetzigen Zeitpunkt wurden bereits ca. 34 Pläne georeferenziert. Weitere 50 Pläne sind ebenfalls bereits gescannt und werden noch georeferenziert. Die vorhandenen Pläne wurden zum fachlichen Abgleich mit dem neu erstellten Grundwassergleichenplan verwendet und bereicherten die Auswertung problematischer Bereiche mit nützlichen Zusatzinformationen.

Die Datengrundlage des Grundwassergleichenplans des quartären Grundwasserleiters sind Messdaten der Stichtagsmessung vom April 2014 (Kapitel 5.2), die von der TU München, externen Helfern und Institutionen durchgeführt wurde. Zur Konstruktion der Isolinien wurden nur Grundwassermessstellen und Brunnen verwendet, die ausschließlich im Quartär verfiltert sind. Doppelt erfasste und im Tertiär verfilterte Messstellen, sowie fehlerhafte Messwerte wurden aussortiert. Ebenso wurden Messdaten von Messstellen, die in den Moränen verfiltert sind und wohl keine Anbindung zum quartären Hauptgrundwasserleiter haben, sondern einen lokalen Grundwasserleiter erschließen, nicht verwendet.

Neben den Messdaten von Grundwassermessstellen und Brunnen, wurden erfasste Pegelhöhen von Oberflächengewässern, soweit sie mit dem quartären Hauptgrundwasserleiter korrespondieren, in die Konstruktion miteinbezogen. Die hierbei verwendeten Daten wurden ebenfalls während der Stichtagsmessung 2014 erhoben. Zudem wurden bei den verwendeten Oberflächengewässern zahlreiche Stützpunkte gesetzt, um eine möglichst genaue Interpolation zu gewährleisten. Die Daten von fraglichen und nicht angebundnen bzw. nicht korrespondierenden Oberflächengewässern wurden außen vorgelesen. Zum Teil gibt es Messungen an Oberflächengewässern (z.B. der südliche Teil der Würm), die lediglich in den Grundwasserleiter exfiltrieren. Diese konnten nicht in die Interpolation mit einbezogen werden, da die Abweichungen zw. Grund- und Oberflächengewässern zu extrem sind. Außerdem wurden wenige Messstellen, die zum Messzeitpunkt kein Grundwasser führten, von der Interpolation ausgeschlossen. Diese Bereiche wurden gesondert betrachtet und geben Hinweise auf die hydrogeologische Situation zum Zeitpunkt der Stichtagsmessung.

Alle verwendeten Punkte wurden in Bereiche westlich und östlich des Hauptvorfluters Isar aufgeteilt, um eine möglichst plausible Interpolation zu gewährleisten. Messstellen, die den Hangbereich im südlichen Teil der Isar erschließen, wurden außen vorgelesen, da diese, durch heterogene geologische Verhältnisse, zu hohe Abweichungen aufzeigen. Hier handelt es sich vornehmlich um kleinräumige, lokale Grundwasserleiter.

Die Gesamtzahl der Konstruktionspunkte (Stand 10.11.2015, Tab. 16) beträgt 5368. Darin enthalten sind alle verwendete Messdaten der Grundwassermessstellen, Brunnen, Oberflächengewässern sowie Stütz- und Hilfspunkte.

Tab. 16: Übersicht der verwendeten Konstruktionspunkte

Messpunktart	Stichtagsmessung	Anzahl
Brunnen	31.03. – 06.04.2014	383
Grundwassermessstellen	31.03. – 06.04.2014	3912
Messpunkte Vorfluter	31.03. – 06.04.2014	286
Stütz- und Hilfspunkte	Keine Angabe nötig	756
Messpunkte ohne Angabe	31.03. – 06.04.2014	31

Generell bietet die hohe Anzahl der erhobenen Messdaten eine sehr gute flächenhafte Abdeckung und ermöglicht nach intensiver Qualitätsprüfung eine plausible Interpolation. Die daraus resultierenden Grundwassergleichen verlaufen meist plausibel und stimmen gut mit den vorhandenen Plänen

überein. Ausreißende Messwerte ließen sich meist problemlos identifizieren und überprüfen. Meist handelte es sich hierbei um Mess- und Übertragungsfehler oder falsche stratigraphische Einstufungen bezüglich des erschlossenen Grundwasserleiters. Zum Teil waren die Basisdaten, wie Geländeoberkante oder Messpunkthöhe fehlerhaft und mussten korrigiert werden. Der Großteil der aufgenommenen, interagierenden Oberflächengewässer fügt sich ebenfalls gut ins Gesamtgebiet ein. Lediglich in Bereichen mit vielen Staustufen und Wehren, wie beispielsweise an der Isar im Stadtgebiet, treten Probleme bei der Interpolation auf, da hier der anthropogene Einfluss auf den natürlichen Grundwasserspiegel zu stark ist. Daher bilden die Uferbereiche der Isar die Grenzen des westlichen und östlichen Interpolationsgebietes.

Methodik: Nach der Zusammenführung aller intern und extern erhobenen Messdaten und deren Homogenisierung war das Ergebnis eine umfangreiche MS-Excel© Tabelle [REDACTED] mit vollständigen Informationen zu jedem Objekt. Danach erfolgte eine Prüfung der Datenqualität. Zudem wurden Ergänzungen einzelner Parameter, wie z.B. Messpunkthöhen und die stratigraphische Einstufung, durch Recherche im BIS-BY oder in digital vorhandenen Unterlagen durchgeführt. Fehlende Daten, z.B. Messpunkthöhen und Temperaturdaten, wurden durch erneute Geländearbeit aufgenommen und anschließend ergänzt. Besondere Beachtung erforderten Objekte, die Gw-Entnahmen oder Infiltrationen verursachten. Hier waren besonders Brunnenanlagen, von denen statt einem Ruhewasserspiegel ein Betriebswasserspiegel übermittelt wurde, von besonderer Bedeutung.

Nach der Überprüfung und Ergänzung der Punktdaten, erfolgte eine Prüfung bezüglich der Berandung der Gw-Gleichen an Ausbissbereichen des Quartärs durch eine überarbeitete digitale Version einer geologischen Karte für das Projektgebiet, die vom LfU zur Verfügung gestellt wurde. So konnten Bereiche, die nicht mit dem quartären Hauptgrundwasserleiter in Kontakt stehen, zum Beispiel aufragende Teile der Oberen Süßwassermolasse, von vornherein gesondert betrachtet werden.

Danach erfolgte die Prüfung der Oberflächengewässer auf Anbindung an den quartären Hauptgrundwasserleiter und das Setzen von Zusatzstützpunkten. Die Aufteilung der Interpolationsgebiete in West und Ost erfolgte entlang der Isarufer sowie der jeweiligen Außengrenze des Arbeitsgebietes. Die Isar selbst wurde bei der Interpolation ausgespart, da hier zu viele anthropogene Einflüsse auf den Wasserstand einwirken.

Nach diesen Arbeitsschritten folgte eine Prüfung der Datenqualität durch eine „Ausreißeranalyse über Nachbarschaftsverhältnisse“ („Natural Neighbor“ Verfahren) und Interpolation auf Probe in ArcGIS©. Diese Schritte ermöglichten Korrekturen und Fehleranalysen auf Basis der durchgeführten Zwischeninterpolation. Durch das gezielte Hinzufügen von Hilfs- und Stützpunkten in Bereichen mit geringer Datendichte und einer mehrfachen Wiederholung der Datenprüfung durch Interpolation, wurde die Erstellung eines möglichst fehlerfreien Datensatzes gewährleistet.

Geostatistische Analyse:

Auf Basis dieses qualitätsgeprüften Datensatzes erfolgte die Durchführung einer geostatistischen Analyse mit Struktur- und Fehleranalyse, erneuter Datenprüfung und finaler Interpolation. Diese Analyse wurden im Programm Surfer 9 (Golden Software©) durchgeführt. Das generelle Ziel war die existierende, räumliche Abhängigkeit der Daten zu definieren und die Werte der Variablen (Höhe des Grundwassers) für jeden Raumpunkt des Arbeitsgebietes abzuschätzen. Die dazu eingestellten Parameter finden sich in Tab. 17.

Strukturanalyse:

Dazu wurden die ermittelten Daten des Grundwasserstandes, getrennt nach dem westlichen und östlichen Teil des Arbeitsgebietes, einer Variogrammanalyse (räumliche Strukturanalyse) unterzogen (Tab. 17, Abb. 10, Abb. 11).

Es gibt die Möglichkeit, einen evtl. vorhandenen Trend der Daten zu berechnen und zu entfernen (detrend-Verfahren, linear oder quadratisch). Diese Trend-freien Daten ermöglichen eine bessere Interpretation des Variogramms. Der entfernte Trend wird bei der später durchzuführenden Interpolation wieder hinzugefügt. Die zur Interpolation verwendeten Messdaten der quartären Grundwasserstände wiesen einen Trend auf, der zur Interpretation der Daten entfernt wurde um quasi stationäre Verhältnisse zu erreichen.

Das aus den Messdaten ermittelte, empirische Semivariogramm stellt die räumliche Beziehung eines Punktes zu den Nachbarpunkten dar. Um die räumliche Varianz zu berücksichtigen, werden danach in verschiedenen Entfernungsstufen („lag“) Punktepaare gebildet. Die quadrierte Differenz der Paare wird aufsummiert und durch die Menge der Punkte geteilt. Daraus ergibt sich die Semivarianz, die in einem zweidimensionalen Diagramm als Funktion der Entfernung zum Bezugspunkt dargestellt wird und zu einer Verringerung des Schätzfehlers führt (geringe Schätzfehlervarianz).

Danach erfolgt der Abgleich des Semivariogramms mit einem theoretischen Modell/Variogramm (hier: spherical – sphärisches Variogramm). Durch Festlegung von Scale und Range (Wichtungsfaktoren), wird das Modell für verschiedene Richtungen betrachtet, an das Semivariogramm angeglichen und ggf. mit einer Anisotropie (Angle, Ratio) versehen. Durch diese Einstellungen passt sich das theoretische Modell dem empirischen Variogramm an.

Tab. 17: Variogramm properties

Experimental	Variogram_W (Tab. 10)	Variogram_E (Tab. 11)
Direction	40	170
Tolerance	30	30
Step Amount	10	10
Estimator Type	Variogram	Variogram
Max. Lag. Dist.	28000	26000
Number of Lags	186	173
Lag Width	150.53 (Auto)	150.28 (Auto)
Vertical Scale	50	42.2 (Auto)
Model	Variogram_W (Tab. 10)	Variogram_E (Tab. 11)
Variogram Components	Spherical	Spherical
Scale	12	10
Length (A)	7500	2700
Anisotropy Ratio	0.6	0.5
Anisotropy Angle	160	350
Statistics	Variogram_W (Tab. 10)	Variogram_E (Tab. 11)
X Histogram		
Active (X/Y/Z)	2881 / 2881 / 2881	2451 / 2451 / 2451
Original (X/Y/Z)	2881 / 2881 / 2881	2451 / 2451 / 2451
Excluded (X/Y/Z)	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0

Fehleranalyse und Datenprüfung:

Nach dieser Strukturanalyse erfolgt eine erneute Fehleranalyse am Datensatz. Hierzu wird eine Kreuzvalidierung (cross validation) durchgeführt. Dieses Testverfahren liefert einen verlässlichen Wert für die Güte eines statistischen Modells. Durch iteratives Entfernen eines Beobachtungspunktes aus der Menge der Messwerte und Interpolation auf diesen Punkt, erhält man eine Menge von Wertepaaren (interpolierte und gemessene Werte), deren Differenz (Residuen) man zur Bewertung der Interpolationsgüte heranziehen kann. Die hieraus gewonnene Datei lässt sich hinsichtlich hoher bzw. niedriger Residuen überprüfen und gibt Aufschluss über fehlerhafte Daten (Ausreißeranalyse).

Finale Interpolation:

Nach der Interpretation des Semivariogramms und der erneuten Fehleranalyse per „cross validation“ wurde nun eine flächenhafte Datenschätzung durchgeführt, welche die zuvor ermittelten statistischen Merkmale beinhaltet. Die Interpolation wurde mittels dem geostatistischen (Universal-) „Kriging“-Verfahren durchgeführt. Dieses Verfahren ermittelt Werte an Orten, an denen keine Informationen vorliegen, durch Interpolation („Annäherung“) umliegender Messwerte. Bei der Anwendung des Kriging-Verfahrens wird die räumliche Korrelation der Daten berücksichtigt, sprich die Interpolation auf Basis des Semivariogramms durchgeführt. Der zuvor entfernte Trend der Daten wird bei der Interpolation wieder hinzugefügt. Das „Spacing“ zur Erstellung der Grid-files betrug bei der Interpolation „100“. Aus den Messwerten wurden durch die Interpolation, unter Berücksichtigung der festgelegten Wichtungsfaktoren (Scale, Range, Anisotropy), die geschätzten Variablen erzeugt. Resultat ist die Erstellung einer grid-Datei, aus welcher ein Isolinienplan (contour map) und ein ArcGIS© kompatibles shapefile (Export contours) erstellt werden kann (Quellen: mündl. Auskunft Lehrstuhl für Hydrogeologie).

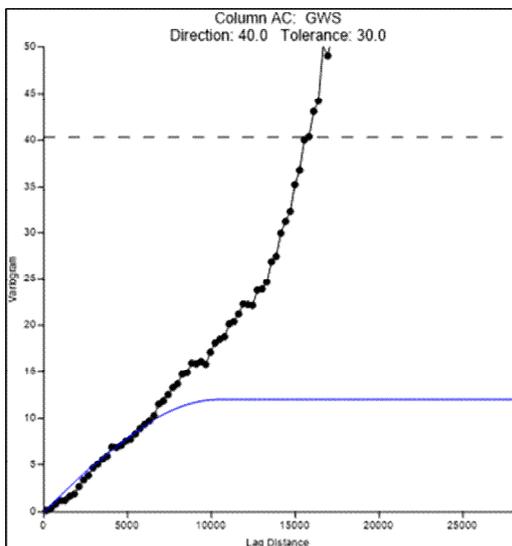


Abb. 10: Variogramm der Daten des westlichen Arbeitsgebietes.

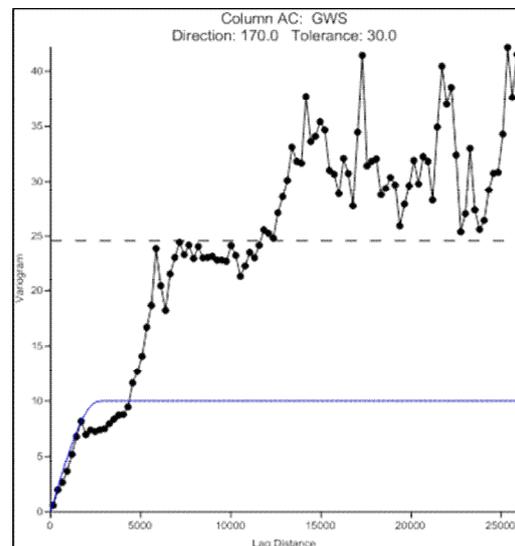


Abb. 11: Variogramm der Daten des östlichen Arbeitsgebietes.

Anmerkung:

Aufgrund der flächenhaften Interpolation des westlichen und östlich Arbeitsgebietes konnten Bereiche, die definitiv nicht mit dem quartären Hauptgrundwasserleiter interagieren (z.B. Auftragungen der OSM oder grundwasserfreie Hangbereiche) und damit „quartär-grundwasserfrei“ sind, nicht ausgespart werden. Innerhalb dieser Flächen existieren keine Konstruktionspunkte. Von daher wurde die Interpolation inklusive dieser Flächen durchgeführt und besagte Bereiche im Nachhinein aus dem Plan herausgeschnitten, so dass hier keine Verbindung zum quartären Hauptgrundwasserleiter besteht. Die Rand-

bereiche dieser Gebiete dienen als scharfe Grenze der Isolinien, welche bewusst nicht um diese Gebiete herum konstruiert wurden. Dies ist hydrogeologisch zum Teil nicht völlig korrekt, dient jedoch der Übersichtlichkeit und dem Verständnis. Hilfreich ist zudem, die geologische Karte bzw. die Tertiär-oberkante dieser ausgesparten Bereiche einzublenden.

Erstellung Raster Grundwassergleichenplan:

Da für die weiteren Arbeitsschritte, z.B. die finale Plausibilitätsprüfung, und für die Erstellung weiterer Produkte, z.B. der Grundwassermächtigkeiten, ein Raster (Raster Dataset) des (korrigierten) Grundwassergleichenplans benötigt wurde, wird nun kurz auf die Erstellung dieses Rasters eingegangen.

Die interpolierten Isolinien werden zuerst per „Vertices to Point“ (ArcToolbox → Data Management Tools → Features→) in einen Punktlayer umgewandelt. Im erstellten Punktlayer werden zwei neue Spalten in der Attributtabelle hinzugefügt („RW“ für Rechtswert und „HW“ für Hochwert) und diese per „field geometry“ befüllt. Danach werden alle Werte des Punktlayers in der Attributtabelle markiert. Per „Selection → „Create layer from selected features“ wird ein neuer Layer erstellt. Aus diesem Layer wird ein Raster-Dataset mit Zellgröße 2 erstellt (ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Interpolation → Natural Neighbor), um die Vergleichbarkeit mit bestehenden Raster-Datasets (z.B. DGM oder Quartärbasis) sicherzustellen.

Eine finale Plausibilitätsprüfung erfolgte durch den Verschnitt der interpolierten Gw-Gleichen mit dem digitalen Geländemodell (DGM_2). Es wurden Bereiche ersichtlich, in denen das Grundwasser knapp unterhalb bzw. oberhalb der Oberfläche auftritt. Lokal konnten somit Hinweise auf mögliche gespannte oder artesische Verhältnisse im quartären Grundwasserleiter gewonnen werden. Eine genaue Anleitung zu diesem Verfahren wurde von Fr. Dr. L. Chavez-Kus erstellt („Beispiel Verschnitt von Grundwassergleichenplan und DGM“, Stand 08.2015, Chavez-Kus).

Kurzbeschreibung Methodik: Im ersten Schritt wurde, durch die Differenzbildung zwischen digitalem Geländemodell und interpoliertem Grundwassergleichenplan, ein Raster des Flurabstands erstellt. Dieses Raster wurde nach oben genannter Anleitung bearbeitet, so dass man den ermittelten Flurabstand in festgelegte Bereiche unterteilen kann. Eine Untergliederung in einen oberflächennahen Bereich (- 1 bis 0 m unter GOK, d.h. Flurabstand zw. 0 – 1 m), sowie einen positiven Bereich (0 bis 1 m über GOK, d.h. negative Flurabstände) und einen „Extrembereich“ (> 1 m über GOK) erschien sinnvoll. Ein vierter Bereich, in dem der Flurabstand >1 m (Bereich von -142 bis -1 unter GOK) ist, muss nicht näher kontrolliert werden. Nach der Unterteilung folgt eine farbliche Kennzeichnung kritischer Bereiche, was eine Plausibilitätsprüfung erleichtert. Die Ergebnisse dieser Überprüfung finden sich im Unterpunkte „Gespannte und artesische Bereiche“. Eine tabellarische Erläuterung der Attribute befindet sich in Tab. 20.

Abschließend erfolgten eine Überprüfung des hydraulischen Gradienten, sowie die Interaktion mit Oberflächengewässern und Tiefbauwerken. Nach vollständiger Erstellung des Grundwassergleichenplans erfolgte ein erneuter Abgleich mit bereits vorhandenen Grundwassergleichenplänen. So konnten für Bereiche mit geringer Datendichte Unsicherheiten ausgeräumt und die Isolinien zum Teil optimiert werden. Für Teilbereiche des Arbeitsgebietes existieren Detailpläne mit höherer Datendichte, die für fachliche Korrekturen verwendet wurden. Speziell im Bereich ausgewiesener Wasserschutzgebiete gab es detaillierte Pläne, die die Genauigkeit des angestrebten Übersichts-Grundwassergleichenplan positiv beeinflussten.

Abschließend wurde ein Raster-Dataset des finalen Grundwassergleichenplans für die Erstellung der abgeleiteten Produkte erstellt. Eine tabellarische und eine ausführliche Erläuterung der Attribute des Grundwassergleichenplans (Tab. 18), sowie der Konstruktionspunkte (Tab. 19), befinden sich unter

Kapitel 6.4.1.3. Eine Zusammenfassung zur Erstellung des Grundwassergleichenplans findet sich in Abb. 12.



Abb. 12: Zusammenfassung der Methodik zur Erstellung des Grundwassergleichenplans.

6.4.1.3 Attributierung

Grundwassergleichenplan - Isolinien: gepo_gwlq_ms

Attributspalten „GW_Sit“ und Kurzbeschreibung „GWSit_Text“ (Tab. 18) beziehen sich auf den quartären Hauptgrundwasserleiter (kurz: qHGWL). Folgende Kategorien und Situationen können in Bezug auf den quartären Hauptgrundwasserleiter, abhängig von der jeweiligen (hydro-)geologischen Situation, zutreffen:

Kategorie I:

Situation 1: Der qHGWL ist mit ziemlicher Sicherheit GW erfüllt [und/oder] eine Interaktion mit dem qHGWL ist vorhanden [und/oder] das fragliche Stockwerk ist angebunden an den qHGWL. Beispiel: Reguläre Verhältnisse des quartären HGWL-Stockwerks; z.T. überlagernde (jüngere) Ablagerungen.

Kategorie II:

Situation 3: Verhältnisse sind unbekannt (keine Informationen/Messungen vorhanden) oder fraglich [und/oder] eine zumindest teilweise Interaktion mit dem qHGWL ist denkbar. Beispiel: z.T. Talfüllungen; Hangrutschmassen; Hangbereiche Stadtgebiet.

Moränengebiet - Situation 8: Die Grundwassersituation in Bezug auf den qHGWL ist fraglich oder unbekannt [und/oder] eine teilweise Interaktion zw. dem Grundwasser der Moräne und des qHGWL ist denkbar.

Kategorie III:

Situation 4: Der qHGWL ist wahrscheinlich mit Grundwasser erfüllt [und/oder] zumindest zeitweise (bei Hochwassersituation) mit Grundwasser erfüllt. Beispiel: Bereich Solln; OSM der Aubinger Lohe.

Situation 9: Der qHGWL ist mit ziemlicher Sicherheit GW erfüllt. Es treten flächenartig „deckende“ Mergel auf, die zu gespannten Verhältnissen führen können.

Moränengebiet - Situation 6: Der qHGWL ist wahrscheinlich mit Grundwasser erfüllt [und/oder] eine Interaktion zw. dem Grundwasser der Moräne und des qHGWL ist wahrscheinlich. Zudem können bereichsweise (zusätzlich) unabhängig agierende, lokale Grundwasserkörper ausgeprägt sein. Beispiel: Moränen, die direkt älteren Schotterkörpern auflagern.

Kategorie IV:

Situation 2: Der qHGWL ist mit ziemlicher Sicherheit NICHT mit Grundwasser erfüllt [und/oder] es besteht keine Interaktion mit dem qHGWL [und/oder] das fragliche Stockwerk ist nicht angebunden an den qHGWL. Beispiel: OSM Aufragungen, Hangbereich zw. Würm und Buchendorfer Hochfläche, Hangkanten entlang der Isar (Quellaustritte, Grenze zw. Quartär und Tertiär). Bereiche der aufragenden Mergel im Stadtgebiet. Diese Bereiche können zeitweise trockenfallen, da das Grundwasser die Mergel inselartig umströmt.

Moränengebiet - Situation 7: Der qHGWL ist wahrscheinlich nicht mit Grundwasser erfüllt bzw. nicht vorhanden [und/oder] eine Interaktion zw. dem Grundwasser der Moräne und des qHGWL ist unwahrscheinlich. Zudem können bereichsweise unabhängig agierende, lokale Grundwasserkörper ausgeprägt sein. Beispiel: Moränen, die direkt der OSM auflagern.

Situation 5: Der qHGWL ist wahrscheinlich nicht mit Grundwasser erfüllt [und/oder] höchstens zeitweise mit Grundwasser erfüllt. Beispiel: Abschnitte des quartären HGWL, die zumeist (abgeschlossen) oberhalb des quartären Gw-Spiegels liegen und ggf. als lokaler, eigenständiger GW fungierend. Nur bei hohem Grundwasserstand sind die überlagernden Schotter in diesen Bereichen grundwassererfüllt.

Anmerkung: Kategorie IV bzw. Situation 2, 5 und 7 wurden im Grundwassergleichenplan ausgespart. Die Auflistung sei nur der Vollständigkeit halber gegeben.

Tab. 18: Kurzbeschreibung zusätzlicher Attribute des Grundwassergleichenplans

Kategorisierung (Kategorie)	Enthaltene Situationen (GW_Sit)	Kurzbeschreibung bezügl. HGWL (GWSit_Text)	Vorschlag Signatur
I	1	gw-erfüllt; Interaktion; angebunden	Durchgezogene Linie
II	3, 8	Verhältnisse unbekannt – fraglich; z.T. Interaktion möglich	Gepunktete Linie
III	4, 6, 9	Wahrscheinlich oder zeitweise gw-erfüllt; Interaktion wahrscheinlich; z.T. gespannte Verh.	Gestrichelte Linie
IV	2, 5, 7	kein qu. GW, keine Interaktion	Keine Linie

Grundwassergleichenplan – Punkdaten: gepo_szwglq_ms

Tab. 19: Erläuterung der Attributtabelle zu den Punkdaten des Grundwassergleichenplans

Belegpunktart (ID BPART)	Freitext	Text	Signatur
1 – 8 nach Kartieranleitung	Erläuterung zur ID BPART	Information zur ID BPART	Nach Kartieranleitung

Grundwassergleichenplan – gespannte und artesische Verhältnisse: gepo_gesp_art_q_ms

Tab. 20: Erläuterung der Attributtabelle der gespannten und artesischen Verhältnisse

Situation	Legendertext (LEG_TEXT)	Anmerkung	Vorschlag Signatur
1	Hinweis auf möglichen gespannte Bereich (geringe Flurabstände)	Geringe Flurabstände aus Verschnitt zwischen DGM und interpol. Gwgl-Plan.	Schraffur „gespannt – vermutet“
2	Hinweis auf möglichen artesischen Bereich (negative Flurabstände)	Negative Flurabstände aus Verschnitt zwischen DGM und interpol. Gwgl-Plan.	Schraffur „artesisch – vermutet“
3	Gespannter Bereich (plus mögliche Ursache)	Daten aus BIS-BY Bohrungen	Schraffur „gespannt – gesichert“
4	Artesischer Bereich (plus mögliche Ursache)	Daten aus BIS-BY Bohrungen	Schraffur „artesisch – gesichert“
5	Mögliche gespannte Verhältnisse durch „deckende Mergel“	Tertiäre Mergel können oberes Grundwasserstockwerk „decken“ (RGU Daten)	Schraffur „gespannt – vermutet“

6.4.1.4 Ergebnisse und Interpretation

Gespannte und artesische Bereiche

Die Überprüfung von Flächen mit negativen Flurabständen und möglichen gespannten oder artesischen Bereichen des quartären Grundwasserleiters ist eine sinnvolle Ergänzung bzw. Kontrollmöglichkeit des quartären Grundwassergleichenplans. Es wurde zu dieser Thematik ein gesondertes shapefile (gepo_gesp_art_q_ms) erstellt, auf das nun genauer eingegangen wird. Eine tabellarische Erläuterung der Attribute befindet sich im Unterpunkt 6.4.1.3.

Der Verschnitt von DGM und interpoliertem Grundwassergleichenplan, auf dessen Methodik bereits unter 6.4.1.2 (Datengrundlage und Methodik) eingegangen wurde, liefert 2 relevante, flächenhaft darstellbare Kategorien (Tab. 20: Situation 1 und 2).

Situation 1: Erstens werden Bereiche ersichtlich, in denen der Grundwasserspiegel knapp unter der Geländeoberkante liegt. Das heißt, die Flurabstände liegen hier im Bereich zw. 1 – 0 m. Flächendeckend treten diese Bereiche vor allem im nördlichen Arbeitsgebiet auf. Dies ist plausibel, da hier die Flurabstände generell deutlich geringer sind als im südlichen Teil des Arbeitsgebietes. Der Abstand der stauenden Oberen Süßwassermolasse zur Geländeoberkante nimmt in Richtung Norden immer weiter ab, was zu einem Auskeilen des quartären Schotterkörpers führt. Diese Verhältnisse mit geringen Flurabständen finden sich somit zumeist in den bereits ausgewiesenen Mooren und Moosgebieten sowie in Talauen der Fließgewässer. Lokal werden Gebiete mit geringen Flurabständen zudem von bindigen und/oder stauenden Deckschichten überlagert, die ein möglicher Auslöser für gespannte Verhältnisse sein können. Wenn in diesen Bereichen zudem punktuell gespannte Verhältnisse, die aus Bohrdaten bekannt sind, auftreten, können diese Deckschichten einen zusätzlichen Hinweis auf gespannte Verhältnisse liefern.

Situation 2: Als zweite Kategorie, die sich durch den Verschnitt zwischen interpoliertem Grundwassergleichenplan und digitalem Geländemodell errechnen lässt, sind Bereiche, in denen negative Flurabstände auftreten. Das heißt, dass hier die flächenhaft interpolierte Grundwasseroberfläche über der Geländeoberkante liegt. Dabei muss beachtet werden, dass Bereiche, die im Grundwassergleichenplan (aufgrund mangelnder Datengrundlage oder geologischer Situation – z.B. OSM Hochgebiete) ausgespart wurden, generell als „negativ“ dargestellt werden und nicht näher betrachtet werden müssen. Daran anschließende Gebiete können ebenfalls Ungenauigkeiten enthalten, wie beispielsweise

zw. Emmering und Olching ersichtlich wird. Hier sind artesische Verhältnisse eher unplausibel und werden wohl durch eine geringe Datendichte verursacht.

Bei den restlichen Bereichen handelt es sich zumeist ebenfalls um (Rand-) Gebiete, z.T. in Mooren, Moosen oder Talauen. Die generell vorherrschenden geringen Flurabstände in Kombination mit der zumeist geringen Datendichte führen zu einem unsicheren Ergebnis im Verschnitt. Jedoch ist ein flächenhafter Grundwasseraustritt in diesen Vernässungszonen denkbar. Weitere negative Flurabstände finden sich im Bereich von Oberflächengewässern, bei denen es geringe Differenzen zw. interpoliertem Plan und DGM gibt. Diese wurden im shapefile nicht näher berücksichtigt.

Das Hauptproblem im Verschnitt des interpolierten Grundwassergleichenplans und dem DGM besteht somit zumeist in Interpolationsfehlern aufgrund geringer Datendichte. Zudem müsste zum Verschnitt korrekterweise die (nicht verfügbare) Oberfläche des quartären Hauptgrundwasserleiters, anstatt dem verwendeten digitalen Geländemodell, welches zusätzlich Deckschichten und jüngeren Ablagerungen enthält, verwendet werden. Dies würde zu einer wesentlich genaueren Ermittlung gespannter und artesischer Bereiche führen. Somit kann man die Ergebnisse, die aus dem Verschnitt von DGM und Grundwassergleichenplan entstanden sind, bestenfalls als Hinweise auf gespannte Verhältnisse deuten.

Situation 3 und 4: Zusätzlich zum Verschnitt zwischen Grundwassergleichenplan und DGM, wurde eine zusätzliche Datenanalyse durchgeführt, um Hinweise auf gespannte oder artesische Verhältnisse zu erhalten. Aus einem aktuellen Datensatz des BIS-BY wurden Bohrdaten (v.a. Grundwassermessstellen und Brunnen) im Bereich des Arbeitsgebietes filtriert, denen der quartäre Grundwasserleiter als „hydrogeologische Einheit“ zugeordnet ist. Diese Messstellen sind also im Quartär verfiltert und weisen als weiteres Kriterium gespannte oder artesische Verhältnisse auf. Diese Kriterien erfüllen erwartungsgemäß nur wenige, nämlich ca. 80 dokumentierte Objekte im Arbeitsgebiet, da unter normalen Umständen zumeist freie Grundwasserverhältnisse zu erwarten sind. Betreffende Punktobjekte wurden, falls sie bereichsweise in höherer Anzahl auftraten, zu Arealen zusammengefasst, in denen gespannte Verhältnisse angetroffen wurden (Situation 3). Zusätzlich wurde vermerkt, ob möglicherweise stauende Deckschichten auftreten, welche eine Ursache für gespannte Verhältnisse sein können. Artesische Bereiche (Situation 4) traten punktuell nur einmal im Arbeitsgebiet auf. Die Qualität dieser Daten ist unsicher. Aufgrund der geringen Datendichte wurde auf die gesonderte Erstellung eines shapefiles für „artesische Verhältnisse“ verzichtet.

Situation 5: Im Stadtgebiet gibt es zudem bekannte Bereiche, in denen sogenannte „deckende Mergel“ auftreten. Aufgrund möglicher gespannter Verhältnisse wurden diese in das shapefile mit aufgenommen. Die „deckenden Mergel“ werden im Unterpunkt „Auftragende und deckende Mergel im Stadtgebiet“ noch genauer erläutert, weshalb an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen wird.

Abschließend muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass die in diesem shapefile ausgewiesenen Bereiche zumeist lediglich Hinweise auf gespannte Verhältnisse geben, die punktuell durch vorhandene Bohrdaten verstärkt werden. Besonders interessant sind die Schnittbereiche zwischen den punktuell gesicherten und flächenhaft vermuteten Verhältnissen. In diesen Bereichen ergänzen sich die ermittelten Daten und können das potentielle Auftreten von gespannten und ggf. artesischen Verhältnissen bekräftigen.

Auftragende und deckende Mergel im Stadtgebiet

Im Stadtgebiet, besonders im Bereich der Altstadtstufe westlich der Isar, aber auch in der Niederterrasse und im Isaralluvium, treten in manchen Gebieten tertiäre Sande und Mergel in spezieller Form auf. Diese werden generell in auftragende und deckende Mergel unterteilt. Die auftragenden Mergel

hängen mit der stauenden Basis des Grundwasserleiters zusammen und bilden lokale inselartige Erhöhungen, die in der Regel vom Grundwasser des quartären Grundwasserleiters umflossen werden. Ein völliges Fehlen von Grundwasser des oberen Stockwerks muss angenommen werden. Ein Beispiel hierfür findet sich im Bereich nördlich Großhadern. Durch lokale Beeinflussungen der natürlichen Fließrichtung durch aufragende Mergel wirkt der Verlauf der Grundwassergleichen in diesen Bereichen unruhig. Daneben treten die sog. deckenden Mergel auf. Hierbei handelt es sich um Mergellagen, unter denen das Grundwasser hindurchströmt und dieses quasi abdeckt. Lokal können sich hierbei gespannte GW-Verhältnisse bilden. Die Bereiche wurden von den Karten des Referates für Gesundheit und Umwelt der Stadt München übernommen, im Grundwassergleichenplan eingearbeitet und kategorisiert (DOHR & GRUBAN, 1999, S. 18).

Hangbereiche, Terrassenkanten und Quellen

Im Arbeitsgebiet gibt es mehrere Hangbereiche, die eine gesonderte Betrachtung benötigen. Zum einen wäre hier der Hangbereich östlich des Würmtals zu nennen. Da es in diesem Bereich mehrere Anmerkungen zur hydrogeologischen Situation gibt, wurden diese in einem eigenen Abschnitt (siehe „Würmtal“) zusammengefasst.

Zum anderen gibt es vor allem die Hangbereiche entlang der Isar. Im südlichen Teil des Arbeitsgebietes sind diese v.a. durch sehr heterogene geologische Verhältnisse gekennzeichnet. So macht die Durchmischung aus quartären Schottern mit eingelagerten Nagelfluhbänken, die oftmals aufgeschlossene Grenze zur Oberen Süßwassermolasse mit zahlreichen Quellaustritten, sowie die flächig auskartierten Hangrutschungsbereiche eine hydrogeologische Einordnung schwierig. Es handelt sich hier zumeist wohl um lokale, hangende Grundwasserstockwerke, die vom angrenzenden quartären Hauptgrundwasserleiter gespeist werden und entlang der Eintiefung der Isar vielfältig zu Tage treten. Aufgrund dieser teils chaotischen Lagerungsbedingungen wurde dieser Bereich von der Interpolation ausgespart. Etwas übersichtlicher wird die Situation dann Richtung Stadtgebiet. Da hier die Hangrutschungen, aufgrund der weniger extremen Eintiefung der Isar, abnehmen, lassen sich die Terrassenkanten der quartären Schotterkörper deutlich von den holozänen Ablagerungen der Talauen abgrenzen. Entlang der Terrassenkanten, v.a. im südlichen Stadtgebiet, tritt die ausstreichende OSM zutage. Aufgrund der stauenden Oberfläche dieser, kommt es zu zahlreichen Quellaustritten entlang der Isarhänge. Hier findet quasi eine Unterbrechung des quartären Grundwasserstroms zur Isar hin statt, was an zahlreichen Sprüngen im Grundwasserstand benachbarter Messstellen zu beobachten ist. In den jüngsten Ablagerungen, den holozänen Talalluvionen, lässt sich jedoch eine Fortsetzung des quartären Hauptgrundwasserleiters interpretieren, da dieser an manchen Stellen nicht gänzlich von den höhergelegenen Terrassenschottern getrennt ist. So wurden im Zuge der Erstellung des Grundwassergleichenplans Bereiche, die offensichtlich die Terrassenkanten mit Quellaustritten zwischen quartärem Hauptgrundwasserleiter und OSM darstellen, ausgespart. Hier befindet sich kein Grundwasser im eigentlichen Sinn. Andere Bereiche, die einen fließenden Übergang zwischen Terrassenschottern und Talalluvium darstellen, wurden gestrichelt bzw. nach Norden hin durchgehend dargestellt, da hier die OSM zurücktritt und zu keiner Trennung führt.

Baggerseen und Kiesgruben

Im Arbeitsgebiet gibt es eine große Anzahl von aktiven Kiesgruben und Baggerseen, die ehemals zum Kiesabbau genutzt wurden. Generell handelt es sich hierbei um Oberflächengewässer, die direkt mit dem quartären Grundwasserleiter korrespondieren und in Verbindung stehen. Gerade bei den aufgelassenen Kiesgruben, die heute zumeist zu Naherholungsgebieten umfunktioniert wurden, ist dies gut ersichtlich. Diese Baggerseen lassen sich problemlos in das Gesamtbild integrieren. Anders ist die Situation bei aktiven Kiesgruben. Der Wasserspiegel der Gruben kann künstlich abgesenkt sein, zudem müssen v.a. die Messwerte der umliegenden Pegel einer besonders genauen Kontrolle unterliegen.

Durch den aktiven Kiesabbau treten in diesen Bereichen oft Veränderungen und Baumaßnahmen an den Pegeln und der Geländeoberkante auf, so dass auf angegebene Werte in Unterlagen der Betreiber bezüglich dieser Größen meist kein hundertprozentiger Verlass ist. Oft wurden bestehende Pegel versetzt, verändert und sogar vollständig entfernt. Hier ist für jeden Pegel, am besten vor Ort, eine gesonderte Prüfung, am besten durch Einmessung von GOK und Messpunkthöhe, nötig, um diese in der späteren Konstruktion des Grundwassergleichenplans verwenden zu können.

Oberflächengewässer

Generell bestand beim Großteil der im Zuge der Stichtagsmessung 2014 eingemessenen fließenden und stehenden Oberflächengewässer eine Interaktion mit dem quartären Hauptgrundwasserleiter. So wurden neben den großen Fließgewässern wie Isar, Amper und Würm, vor allem viele stehende Gewässer, wie Baggerseen oder Kiesgruben, eingemessen. Lediglich wenige dieser Gewässer interagierten nicht mit dem quartären Hauptgrundwasserleiter. Neben dem Speichersee im NE von München und den Bächen im Englischen Garten (Teile des Eisbachs und Schwabinger Bachs), waren es vor allem kleinere Tümpel und Seen, wie zum Beispiel westlich Geisenbrunn, die von einer grundwasserstauenden Schicht (lokal: Moräne) unterlagert sind. Zum Teil sind Fließgewässer auch kanalisiert, was in Abweichungen der Wasserspiegel zur Umgebung deutlich wird. Einen Sonderfall nimmt auch hier wieder der Fluss Würm ein, auf den später gesondert eingegangen wird (siehe Abschnitt „Würmtal“).

Sonderfälle: Stadtgebiet und direkte Umgebung

Im Bereich Solln im südlichen Stadtgebiet, ist seit langem eine problematische hydrogeologische Situation bekannt. Eine intensive fachliche Untersuchung ist ausstehend. In diesem Bereich tritt ein zungenartiger Ausläufer der OSM (siehe Karte Quartärbasis), eine Fortsetzung der Buchendorfer Hochfläche, auf. Ob diese Aufragung durchgehend von SW nach NE in Richtung Stadtgebiet ausgeprägt ist, oder nur inselartig im Bereich Solln auftritt, kann anhand vorhandener Bohrdaten nicht eindeutig belegt werden. Diese Aufragung kann der Grund sein, dass bei niedrigem Grundwasserstand, wie zum Zeitpunkt der Stichtagsmessung im April 2014, im Bereich Solln zum Teil kein Grundwasser in den vorhandenen Pegeln angetroffen wurde. Ob die Aufragung dabei „inselartig“ umflossen wird, oder der gesamte Bereich trocken fällt, konnte nicht eindeutig geklärt werden. Zudem gibt es in diesem Bereich ein massives Aufkommen von mergeligen Nagelfluhbänken, die den Wasserspiegel des quartären Grundwasserleiters erheblich beeinflussen können. Deren Verbreitung ist vor allem in einem breiten Riegel zwischen der Parkstadt Solln und der Isar, durch Überprüfung von Schichtdaten der dort abgeteufte Bohrungen, nachweisbar. Die Ausbildung eines weiteren, hangenden Grundwasserstockwerks, neben dem quartären Hauptgrundwasserstockwerk, welches möglicherweise sogar mit dem tertiären Grundwasserstockwerk (sandige Ausprägung der tertiären Mergel) korrespondiert, ist außerdem denkbar.

Südlich an den Bereich Solln anschließend, verläuft aus Richtung Süden kommend die **Pullacher Rinne**. Diese verläuft von Südwesten in Richtung Nordosten nach Pullach und mündet dort in die Isar (siehe Karte Quartärbasis). Der Hauptgrundwasserzustrom in die Pullacher Rinne erfolgt im Bereich Baierbrunn aus südöstlicher Richtung. Laut BLASY (1974) gibt es entlang der Pullacher Rinne nur kleine lokale Zuströme in Richtung Isar durch die Hangrutschungsbereiche, da die Pullacher Rinne durch einen Tertiärrücken von der Isar abgetrennt ist (siehe Karte Quartärbasis). Dies erklärt zudem die fehlenden Quellaustritte parallel zur Pullacher Rinne. Zudem erfolgt eine massive Behinderung des Grundwasserflusses in Richtung Isar durch auftretende Nagelfluhbänke. Im NW-Bereich der Rinne, Richtung Buchendorfer Hochfläche, kommt es zu einer lokalen Aufragung der Oberen Süßwassermolasse. Hier liegen Teile eines Flinzrückens oberhalb des Grundwasserspiegels, was einen

Grundwasseranstrom aus Westen in Richtung Pullacher Rinne unterbindet. Aufgrund dieser Auftragung und der generell geringen Datendichte, wurde dieser Bereich auf der Karte ausgespart.

Der Bereich der Deponie in München Fröttmaning ist durch das Klärwerk, den Deponieberg und die Mülldeponie stark anthropogen beeinflusst. In diesem Bereich kann es zu Unregelmäßigkeiten in Verhalten des Grundwassers des quartären Grundwasserkörpers kommen.

Sonderfälle: Umland W - E

Die Messwerte der Messstellen im Bereich Landsberied – Jesenwang – Hirschthürl waren zum Teil recht heterogen, konnten aber durch Korrekturen und Beratung mit dem WWA München zu einem stimmigen Gesamtbild vereinigt werden. Einen Einfluss der östlich gelegenen und direkt von der Oberen Süßwassermolasse unterlagerten Altmoräne sowie die Einflussnahme einer vorhandenen Deponie und deren mögliche wasserundurchlässige Sohlschicht, erschwerten die hydrogeologische Interpretation der Daten. Hier beeinflussen wohl kleinräumige Gegebenheiten, beispielsweise die Abdichtung der Deponie, oder ein lokaler Grundwasserzufluss von der Moräne ins Tal, die quartären Grundwasserstände der umliegenden Messstellen.

Zwischen Germering und Krailling wurde durch Bohrdaten eine tertiäre Erhöhung nachgewiesen. Die Oberfläche der vermutlich inselartigen Auftragung überragt die (interpolierte) Grundwasseroberfläche und kann, zumindest bei Niedrigwasserverhältnissen, zu einem Trockenfallen dieses Bereichs führen. Ein Fehlen von Grundwassermessstellen in diesem Bereich verstärkt diese Annahme.

Der Bereich sw Gauting wurde, wie auch schon auf den Grundwassergleichenplänen von BLASY (1974, S. 29) bewusst ausgespart. Die Höhenlage des tertiären Reliefs weist darauf hin, dass sich in diesem Bereich eine tertiäre Auftragung befindet, die den Spiegel des quartären Grundwassers überragt (Abb. 13). Dieser tertiäre Ausläufer trennt ebenfalls das quartäre Grundwasserstockwerk im Westen von der Würmtalrinne im Osten. Ein Zufluss zur Würmtalrinne aus Richtung Westen ist in diesem Gebiet daher nicht zu erwarten. Ggf. können lokale Bereiche grundwassererfüllt sein, eine vollständige Interaktion scheint aufgrund der geologischen Gegebenheiten unwahrscheinlich.

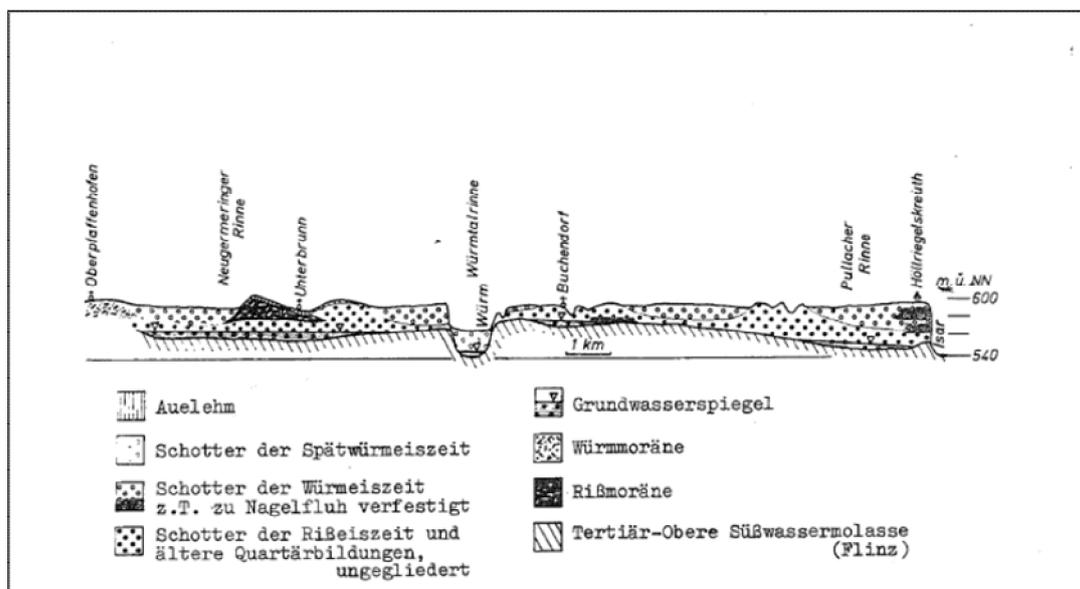


Abb. 13: Schnitt durch den südlichen Teil des Arbeitsgebietes (BLASY, 1974).

Im Bereich Kirchseeon, am östlichsten Rand des Arbeitsgebietes, gibt es ein, durch Messungen mehrerer Grundwasserstände, belegtes, zweites Grundwasserstockwerk im Quartär. Die Messungen, die

das zweite Stockwerk erschließen, wurden in die Erstellung des Grundwassergleichenplans nicht mit einbezogen, da es sich dabei um einen lokal begrenzten, eigenständigen Grundwasserkörper handelt. Auch im Bereich **Oberbrunn bis Unterbrunn** gibt es einen lokalen, quartären Grundwasserkörper in den Würmkiesen. Dieser liegt der dort abgelagerten Rissmoräne auf und wurde durch eine Messung nachgewiesen.

Im Bereich **Höhenkirchen – Valley** befindet man sich am Randbereich der quartären Schotterebene. Der Verschnitt von Grundwassergleichenplan und Tertiäroberkante, sowie fehlende Messdaten bestätigen, dass in diesem Bereich zum Großteil kein Grundwasser mehr im quartären Hauptgrundwasserleiter angetroffen wird. Die nach Norden vorstoßende Obere Süßwassermolasse bildet eine zungenartige Erhöhung, die den Grundwasserspiegel überragt. Lediglich im Mangfalltal ist eine Förderung von Grundwasser aus den quartären Sedimenten möglich. Wie auch schon bei SCHIRM (1968) beschrieben, laufen die Grundwassergleichen an dieser Grenze aus.

Sonderfall „Würmtal“

Das Würmtal, welches von der südlichen Arbeitsgebietsgrenze bis nach Dachau im Norden verläuft, stellt eine im südlichen Teil in die Obere Süßwassermolasse eingetieft Rinnenstruktur dar, die nach Norden immer weiter abflacht und mit quartärem Schotter sowie holozänen Flussablagerungen gefüllt ist. Besonders drastisch ist die Eintiefung im Bereich Mühltal und der dort an der Grenze zwischen Quartär zu OSM austretenden Mühltaler Quellen. Laut BLASY (1974) handelt es sich beim Würmtal bzw. bei der sog. Würmtalrinne, um einen eigenständigen Grundwasserkörper, der weder mit dem östlichen noch mit dem westlichen (quartären) Hauptgrundwasserleiter in direktem Kontakt steht. So verhindert ein Ausläufer der OSM im Bereich Gauting einen Zufluss von Grundwasser in das eingetieft Würmtal von Westen (siehe Karte Quartärbasis). Im Osten des Würmtals schließt ein weiteres tertiäres Hochgebiet (Buchendorfer Hoch) an. Der hier vorhandene Kamm- und Hangbereich schließt einen Zustrom von Grundwasser nach Westen, von dem nach Nordost abfallenden Buchendorfer Hoch, aus. Das Grundwasser des quartären Hauptgrundwasserleiters fließt in diesem Gebiet in nördliche bzw. nordöstliche Richtung ab. Ein weiteres Indiz auf den fehlenden Zustrom in Richtung Würmtal ist, dass im Bereich zwischen „Reismühl“ und „Schloßberg“, östlich der Würm, drei Grundwassermessstellen zur Zeit der Stichtagsmessung 2014 kein Grundwasser führten. Erst im Bereich der südlichen Stadtgrenze interagiert der Grundwasserkörper des Würmtals mit dem quartären Hauptgrundwasserleiter, da das Würmtal hier weniger eingetieft ist. Trotz dieser Sondersituation, wurde der teilweise „lokale“ Grundwasserkörper des Würmtals in den Grundwassergleichenplan mit aufgenommen, da er sich in Richtung Norden mit dem quartären Hauptgrundwasserleiter vereinigt. Interaktion zwischen Würm und Hauptgrundwasserleiter.

Interaktion zwischen Würm und Hauptgrundwasserleiter

Die Messungen des Wasserspiegels der Würm im gesamten Arbeitsgebiet verdeutlichen, dass dieser zumindest im Süden nicht direkt mit dem quartären Hauptgrundwasserleiter korrespondiert. So liegen zwischen den Messwerten der Oberflächengewässer-Messpunkten der Würm und den benachbarten GW-Messstellen Differenzen von bis zu 15 m. Diese Unterschiede sind vor allem im südlichen Bereich, wo sich das Würmtal in die Obere Süßwassermolasse eingetieft hat, markant (Abb. 13). Nach Norden erfolgt eine Abnahme der Differenzen, bis sich auf der Höhe des Karlsfelder Sees ein vergleichbarer Pegel einstellt und zumindest von einer teilweisen Interaktion der Würm und des quartären Grundwasserleiters ausgegangen werden kann. Bis dorthin, so beschreibt es auch BLASY (1974, S. 50-52), exfiltriert die Würm in den quartären Grundwasserleiter, steht aber nicht in direktem Austausch mit diesem. Das Oberflächenwasser fließt hierbei wohl durch holozäne Feinsedimente „abgedichtet“ zum Untergrund in Richtung Norden, so dass nur wenig Wasser direkt versickert. Die Exfiltration im südlichen Bereich speist zudem wohl nur die Würmtalrinne, da hier, wie bereits oben beschrieben,

keine direkte Interaktion zwischen lokalem Grundwasserleiter des Würmtals und umliegendem quartärem Hauptgrundwasserleiter stattfindet.

Sonderfall „Moränengebiete“

Generell ist die Messpunktdichte (Brunnen oder Grundwassermessstellen) im direkten Bereich der würm-, riss- und mindелеiszeitlichen Moränen sehr gering. Dieser Umstand deutet bereits darauf hin, dass in diesen Bereichen meist wenig nutzbares Grundwasser vorhanden, eine Förderung daher nicht lohnt, bzw. eine Beobachtung nicht sinnvoll ist. Das Grundwasser tritt oftmals nur kleinräumig und lokal auf. Besonders im westlichen Arbeitsgebiet werden die Moränenbereiche direkt von der OSM unterlagert, bzw. liegen dieser direkt auf. Bei diesen Gegebenheiten zeigt sich z.T. deutlich, soweit Messstellen und aktuelle Messdaten vorhanden, dass die erschlossenen Gw-Stockwerke zumeist nicht an den quartären Hauptgrundwasserleiter angebunden sind. Es handelt sich um lokale hangende bzw. gespannte Grundwasserkörper wie z.B. nördlich [Argelsried](#). Diese hydrogeologische Situation trifft für den Großteil der Moränen [westlich Germering bis Mammendorf](#), also den westlichen Teil des Arbeitsgebietes, zu. Jedoch gibt es auch hier Bereiche, vor allem an den Randbereichen der Moränen, die mit dem quartären Hauptgrundwasserleiter zu korrespondieren scheinen. Ein Beispiel hierfür ist der Bereich nordwestlich von [Fürstenfeldbruck](#).

Im Gegensatz hierzu gibt es in machen Moränengebieten die hydrogeologische Situation, dass der lokale Grundwasserspiegel gut mit dem des umliegenden quartären Hauptgrundwasserleiters korrespondiert. Diese Moränen liegen meist nicht der OSM, sondern älteren Schotterkörpern auf und es findet zumindest eine teilweise Durch- bzw. Unterströmung des Moränenkörpers statt. Ein Beispiel für diese Situation zeigt sich südwestlich von [Germering](#). Hier sind diverse Messstellen vorhanden, die Moräne wird, zumindest lokal, nicht direkt von der OSM unterlagert und die Gw-Spiegel korrespondieren mit denen der Umgebung. Diese hydrogeologische Situation trifft für den Großteil der Moränen zwischen [Germering und der Isar](#) zu. Bereits BLASY skizzierte in seiner Arbeit von 1974 diese Verhältnisse in einem Profilschnitt (Abb. 13). Jedoch gibt es auch hier lokale Bereiche, die nicht direkt mit dem quartären Hauptgrundwasserleiter in Verbindung stehen, sondern, zum Teil auch zusätzlich, lokale Stockwerke ausbilden (z.B. Gut Hüll, NE Neugilching).

[Östlich der Isar](#) gibt es ein ähnliches Bild. Auch hier liegen die Rissmoränen nicht der OSM, sondern riss- und mindелеiszeitlichen Schottern auf. Aufgrund dieser Situation ist in diesen Gebieten eine Korrespondenz zwischen dem Grundwasserkörper innerhalb und dem Hauptgrundwasserleiter außerhalb der Moräne denkbar. Jedoch gilt auch hier, dass sich lokal zusätzlich unabhängige Grundwassersstockwerke gebildet haben können, die nicht korrespondieren. Teilweise weichen die erhobenen Messwerte deutlich von den umliegenden Messwerten ab.

[Bereich Markt Schwaben - Erding](#): Die am Rand des Moränengebiets zwischen Anzing und Erding gelegenen Messstellen passen von den Messwerten her meist recht gut zu den umliegenden Messstellen, die direkt im quartären Hauptgrundwasserleiter verfiltert sind. Das trifft auch für die Messstellen im südlichen und nördlichen Bereich der Moräne zu. Die Messwerte der Messstellen die zentral im Moränengebiet liegen, unterscheiden sich jedoch zumeist markant von denen außerhalb des Moränengebietes. Vor allem der erschlossene Grundwasserkörper im Innenstadtbereich von Markt Schwaben und entlang der Bahnlinie Poing – Markt Schwaben steht wohl nicht in hydraulischem Kontakt zum quartären Hauptgrundwasserleiter. Die Messwerte im kleineren Moränengebiet östlich von Markt Schwaben scheinen recht gut ins Gesamtbild zu passen. Natürlich können auch hier lokal unabhängige Grundwasserkörper vorhanden sein, die nicht erschlossen sind.

6.4.2 Durchlässigkeitsbeiwerte und deren regionale Verteilung

Eine Übersicht über die verfügbaren Anlagen in diesem Bericht zu den Durchlässigkeitsbeiwerten und deren regionale Verteilung gibt Tab. 21.

Bezeichnung der Anlage:	Inhalt
Anlage 6.1	Durchlässigkeitsbeiwerte Arbeitsgebiet

Tab. 21:
Anlagen zum Thema „Durchlässigkeitsbeiwerte“

6.4.2.1 Allgemeines

Um den quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene als Trinkwasser, Brauchwasser oder geothermisch zu nutzen ist eine flächendeckende Information über die hydrogeologische Durchlässigkeit entscheidend, denn die Ergiebigkeit eines Grundwasserleiters ist unter anderem entscheidend von seiner hydraulischen Durchlässigkeit (kf-Wert) (z.B. SCHIRM 1968: 50) geprägt. In der regionalen Literatur wird die hydraulische Durchlässigkeit in der Regel nur über mittlere Werte beschrieben und liefert somit keine räumliche verteilte Aussage. Zudem ist oftmals nur wenig Information über die genaue Ermittlung der beschriebenen hydraulischen Durchlässigkeit angegeben. Somit sind die Unsicherheiten in den verfügbaren Werten zur hydraulischen Durchlässigkeit oftmals nur als ungenaue Abschätzung zu verwenden. Um eine detaillierte Aussage über die Größen und flächenverteilten Unterschiede der hydraulischen Durchlässigkeit im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene zu geben, wurde im vorliegenden Projekt damit begonnen, die archivierten Informationen zur hydraulischen Durchlässigkeit in der Projektkulisse zusammenzutragen, zu systematisieren und neu auszuwerten. Im Folgenden werden kurz die in der Literatur verfügbaren Angaben für den Durchlässigkeitsbeiwert der quartären Kiese der Münchener Schotterebene erläutert.

ZIMNIOK (1967: 94 ff.) untersuchte anhand von vier Bohrprogrammen die hydrogeologischen Gegebenheiten der Nord-Süd-U-Bahn Trasse. Dabei wurden maximale Durchlässigkeitsbeiwerte von bis zu $3 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ für Rollkieslagen angegeben, während für „verlehnte“ Schotter oder solche mit starker tertiärer Beimengung Durchlässigkeitsbeiwerte von $5 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ ermittelt wurden. Zusammenfassend wird für die quartären Schotter ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert von $1,7 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ angegeben.

Für die V-Trasse zwischen Haupt- und Ostbahnhof München ermittelte EXLER (1967: 110) Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $4 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ und $5 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$. Die Streuung von zwei Zehnerpotenzen ist dabei durch die stark schwankenden Kies/Sand-Verhältnisse der Schotter bedingt. Für das Gebiet gibt er einen Mittelwert von $5 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ an.

SCHIRM (1968) untersuchte die hydrogeologischen Verhältnisse der Münchner Schotterebene östlich der Isar, insbesondere des Grundwasserleiters, welcher vom altdiluvialen Deckenschotter gebildet wird. Dort wurde der geringste Durchlässigkeitsbeiwert im Ostteil des Hohenlindener Feldes mit $3 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$ ermittelt, während der höchste Durchlässigkeitsbeiwert mit $2,7 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ im Raum Trudering angegeben ist. SCHIRM (1968) nimmt weiterhin im Bereich des Abfanggrabens (Aschheim), einen Durchlässigkeitsbeiwert von $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ an. Die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte schwanken hierbei um wenige Zehnerpotenzen. 54% der Werte liegen in der Größenordnung von $1 \cdot 10^{-3}$, 35% bei einer Größenordnung von $1 \cdot 10^{-2}$. Nur weniger als 2% der Werte liegen niedriger.

GEBHARDT (1968) untersuchte die geologischen und hydrologischen Verhältnisse beim Münchner U-Bahn-Bau im Bereich der U-Bahn Strecke zwischen Freimann im Norden und Harras im Süden. Er konnte für die Grobschotter der Münchner Schotterebene einen mittleren Durchlässigkeitsbeiwert von $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ ermitteln. Für Bereiche mit Auffüllungen gibt er einen Wert von $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ an. Insgesamt aber nennt GEBHARDT (1968: 56) eine Schwankungsbreite der Durchlässigkeitsbeiwerte von ca. zwei Dekaden.

BLASY (1974: 27 ff.) hat die Grundwasserverhältnisse westlich der Isar (München - Starnberg) untersucht und ermittelt dabei einen mittleren Durchlässigkeitsbeiwert von $8,0 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$, wobei 68 % der Werte zwischen $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-2}$ und $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ liegen.

SEILER (1973: 352) ermittelte innerhalb eines Grundwasserversuchsfeldes in München (Dornach) die hydraulische Durchlässigkeit und nutzbare Porosität der fluvioglazialen Kiessande der Münchner Schotterebene. Aus einem dreimonatigen Pumpversuch und der Auswertung nach Cooper & Jacob resultierte dabei ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert von $0,45 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$.

PROCHER (1985) untersuchte die hydraulische Durchlässigkeit auf den Trassenbereichen entlang der U-Bahn Linie U8/1 und errechnete dabei 82 Durchlässigkeitsbeiwerte. Diese liegen zwischen einer Spannweite von $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-4}$ und $4,5 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$. Speziell für die Niederterrasse wurde ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert von $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ bestimmt.

Das ehemalige Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) gibt in Ismaning einen Durchlässigkeitsbeiwert von $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ an (LfW, 1983).

VOGT (2006: 11) gibt bei Untersuchungen zur Geotechnischen Begutachtung für die allgemeine hydraulische Durchlässigkeit der quartären Kiese am Münchner Flughafen einen mittleren Bereich von $5 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ an. Bei feinkornfreien und sandarmen Kiesen werden Durchlässigkeitsbeiwerte von $1 \cdot 10^{-1} \text{ ms}^{-1}$ angegeben. Für feinkornreiche Zwischenlagen liegen die Durchlässigkeitsbeiwerte nach (VOGT 2006: 11 f.) bei $1 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$.

SALAMEH (1974) beschäftigte sich mit Hydrogeologie im Nordwesten der Münchener Schotterebene und dem angrenzenden Tertiär zwischen Isar und Paar. Für die Münchener Schotterebene südöstlich der Amper zwischen Fürstenfeldbruck und Ottershausen wird ein Durchlässigkeitsbeiwert von $1,3 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ ermittelt.

GROTTENTHALER et al. (1980) beschreibt in den Erläuterungen zur geologischen Karte Fürstenfeldbruck (1:25 000) einen Bereich für die hydraulische Durchlässigkeit $1 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ bis $9 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$. Für einen Brunnen in Mauern, der Sedimente der Moränenablagerung abteuft, wird ein Durchlässigkeitsbeiwert von $8 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ angegeben. Allerdings wird erwähnt, dass es nicht gesichert ist, ob es sich an der Lokation um Moränenablagerung handelt (GROTTENTHALER et al. 1980: 58).

KRAUSE (2000) beschreibt das Moränengebiet „Andechser Höhenrücken“ südlich von München und gibt einen Durchlässigkeitsbeiwert von $1 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ bis $1 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$ für die Kiese aus dem Günz- und Mindelglazial, $1 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ bis $1 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ für Riss-Hochterrassenschotter und $7,8 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ bis $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ für die Kiese aus dem Würmglazial. Für postglaziale Schotter werden noch höhere Durchlässigkeitsbeiwerte bis zu $1 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ angegeben. KRAUSE (2000) gibt allerdings auch Durchlässigkeitsbeiwerte für die Sedimente der Moränenablagerung an, $3,2 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ bis $7,4 \cdot 10^{-5}$ für kiesige Moränensedimente und $1 \cdot 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$ für feinkörnige Sedimente der Grundmoräne (KRAUSE 2000: 156f.).

6.4.2.2 Datengrundlage und Methodik

Da der quartäre Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene durch die Entnahme von Brauch- und Trinkwasser, durch Wasserhaltungen bei Baumaßnahmen, durch Altlastenuntersuchungen oder auch geothermische Anlagen intensiv genutzt wurde und wird, sind in den Archiven der Wasserwirtschaftsämter, des Referats für Gesundheit und Umwelt der Stadt München, der Münchener Stadtentwässerung oder des Tiefbauamts München viele Gutachten und Aufzeichnungen von Pumpversuchen vorhanden. Auf diese umfangreiche, aber bisher weitgehend ungenutzte Datenbasis wurde im Projekt zurückgegriffen, um die räumliche Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit in der Münchener Schotterebene zu bestimmen. Diese archivierten Pumpversuche wurden im Zuge der Erfassung der

digitalen Punktdaten (Brunnen, Grundwassermessstellen, etc.; siehe Kapitel 5) erfasst. Es wurden zudem auch die Gutachten recherchiert, die Pumpversuche beschreiben. Einschränkend ist zu erwähnen, dass durch die Vielzahl der zur Verfügung stehenden Gutachten aus den oben genannten Arbeitsbereichen bis jetzt nicht der ganze Umfang gesichtet werden konnte. So standen größtenteils die Gutachten zur Altlastensanierung nicht zur Verfügung und fließen bis zum Stand des Projektendes nicht mit in die Datengrundlage für die Bestimmung der Durchlässigkeitsbeiwerte mit ein. Die recherchierten Gutachten wurden zuerst nach ihrer Lokalität sortiert, und dann nach dem Vorhandensein von Pumpversuchsbeschreibungen selektiert. Im Anschluss wurde einzeln überprüft, ob die Beschreibung des Pumpversuchs auch qualitative und quantitative ausreichende Datengrundlage bietet, die sich für eine Auswertung zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes eignet. Um die hydraulische Durchlässigkeit im quartären Grundwasserleiters der Münchener Schotterebene zu beschreiben und gebietsweise Unterschiede herauszuarbeiten, wurden danach die beschriebenen Pumpversuche aus den Gutachten nach verschiedenen Verfahren neu ausgewertet. Zunächst wurden dafür mehrere Auswerteverfahren angewandt, um ein repräsentatives Auswerteverfahren zu ermitteln, welches für die meisten vorhandenen Datengrundlagen anwendbar ist. Dieses Verfahren stellt das Theis-Verfahren (Absenkung und Wiederanstieg) mit Jakob-Korrektur (ungespannte Verhältnisse) dar und wurde prioritär angewendet. In einigen Fällen wurden auch Beobachtungsmessstellen in die Auswertung miteinbezogen und nach Dupuit-Thiem ausgewertet. Vereinzelt wurde auch das Verfahren nach Dupuit-Thiem über die „Einbohrloch“-Methode in die Auswertung miteinbezogen. Bei nur selten auftretenden gespannten Verhältnissen in der Münchner Schotterebene ist mit der Methode nach Theis (ohne Korrektur) ausgewertet worden. Die Auswertungen erfolgten mit der Software Hydrotec® und Aquasol®. Auf Basis dieser Auswertungen soll eine räumliche Datenbank für die Durchlässigkeitsbeiwerte der Münchener Schotterebene aufgebaut und auch über Projektende hinaus erweitert und vervollständigt werden. Hierbei wurden auch ermittelte Durchlässigkeitsbeiwerte aus der Literatur miteinbezogen, wenn ihre Lage mit guter Genauigkeit bekannt war. Dies traf in erster Linie auf die Werte von SCHIRM (1968) zu.

Im Projekt wurden mehrere hundert Pumpversuche aus den Gutachten innerhalb des gesamten Projektgebiets recherchiert und liegen nun als digitale Scan-Daten vor. Es liegen am Projektende für 478 Lokalitäten innerhalb der Münchener Schotterebene Durchlässigkeitsbeiwerte vor. Dabei wurden die dort vorliegenden Daten im Schnitt mit zwei verschiedenen Auswerteverfahren anhand von jeweils zwei Pumpstufe ausgewertet, so dass insgesamt mehr als 1800 Auswertungen vorgenommen wurden. Abgedeckt wurde dabei vornehmlich die Stadt und der Landkreis München, der Raum Erding, Freising und Fürstenfeldbruck.

Um für Gebiete, in denen keine Gutachten mit Pumpversuchen vorliegen, trotzdem Durchlässigkeitsbeiwerte beschreiben zu können, war angedacht, eigene Pumpversuche im Untersuchungsgebiet durchzuführen. Da die Planung und Durchführung der Pumpversuche in der Münchener Schotterebene insbesondere aufgrund ihrer relativ hohen hydraulischen Durchlässigkeit mit einem erheblichen administrativen und technischen Aufwand verbunden ist (hohe Entnahme erforderlich, Ableitung des geförderten Wassers oft problematisch, etc.) wurden lediglich zwei exemplarische Pumpversuche an einem Ort durchgeführt. Die Pumpversuche sollten hierbei untersuchen in wie weit Versandung bzw. die Kolbung eines Brunnens den Durchlässigkeitsbeiwerten in den gut durchlässigen Kiesen der Münchener Schotterebene beeinflussen (DVGW-Merkblatt W 119, 2002: 9; WICKLEIN et al, 2006: 167). Abb. 14 zeigt die Durchführung des Pumpversuchs, die Einleitung in die Abwasserkanalisation mit Genehmigung der Münchener Stadtentwässerung, den Kolben und eine Probe der Sedimentrückstände in der Wanne nach der Kolbung im Brunnen. Bei Betrachtung der durchgeführten Pumpversuche vor und nach der Kolbung konnte festgestellt werden, dass eine Absenkung von 0,71 cm vor der Kolbung sich bei gleicher Entnahmerate von $4,0 \text{ ls}^{-1}$ nach der Kolbung auf 0,62 m reduzierte und die hydraulische Durchlässigkeit somit um $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1} \text{ m/s}$ gestiegen ist. Die hydraulische Durchlässigkeit des

Filterkieses im Brunnen wurde durch die Kolbung merklich erhöht. Eine mögliche Versandung älterer Messstellen und Brunnen sind daher bei der Pumpversuchsdurchführung und -auswertung als mögliche Unsicherheiten in der Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts nach Möglichkeit zu berücksichtigen.



Abb. 14: Durchführung eines Pumpversuchs im Untersuchungsgebiet: Einbau der Pumpe, Ableitung in den Kanal der Münchner Stadtentwässerung, Kolben und Sedimentrückstand nach der Kolbung.

Um die Vergleichbarkeit der Durchlässigkeitsbeiwerte, insbesondere für eine Flächeninterpretation, zu gewährleisten, werden alle recherchierten Pumpversuche, wie oben dargestellt, nach einheitlichen Verfahren neu ausgewertet (Abb. 15). Um einschätzen zu können, ob die Unterschiede zwischen den Werten auch räumlich andere hydraulische Verhältnisse repräsentieren und nicht nur durch die Qualität der Daten und der Auswertung hervorgerufen werden, wurde versucht, alle ermittelten Werte der hydraulischen Durchlässigkeit bezüglich ihrer Aussagegüte zu klassifizieren. Hierfür ist ein Vorschlag für ein Güte-Beurteilungssystem erarbeitet worden. Das erarbeitete Gütesystem ist in generell zwei Bereiche eingeteilt. Der erste Bereich bewertet die Modellgüte des angewandten Auswerteverfahrens. Der zweite Bereich berücksichtigt die Unsicherheiten in den verwendeten Messwerten. Die Güte eines ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerts wird dann weiter, anhand von fünf verschiedenen Kriterien eines Entscheidungsbaums bewertet. Die fünf Kriterien sind: Räumliche Aussagekraft (werden Beobachtungsbrunnen mit einbezogen), Dynamisches Verfahren (wird stationär oder instationär ausgewertet), Brunneneintrittsverluste (Beeinflussen die Brunneneintrittsverluste die Auswertung stark), Angaben zur Grundwassermächtigkeit (Ist die Grundwassermächtigkeit ermittelt/angegeben), Unsicherheiten in der Angabe anderer notwendiger Parameter (Wie genau ist die Förderrate, Absenkung, Abstand zu Beobachtungsmessstellen gemessen bzw. dokumentiert). Die Gütebeurteilung erfolgt nach der Ampel-Methodik. Beeinträchtigt ein Kriterium die Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwerts nicht negativ, sprich erzeugt es keine hohen Unsicherheiten bzw. Varianz bei der Auswertung, so bekommt dieses Kriterium ein „grünes Licht“. Bei einem leicht negativen Einfluss wird das Kriterium „gelb“ markiert und erzeugt es hohe Unsicherheiten bei der Auswertung wird es „rot“ markiert. Am Ende des Entscheidungsbaumes ergeben sich anhand der Farbkodierung in den fünf Feldern und ihrer Kombination drei unterschiedliche Güteklassen. Die Güteklassen wurden aus einer durchgeführten Sensitivitätsanalyse,

die exemplarisch bei den Auswertemethoden durchgeführt wurde, abgeleitet und können folgendermaßen beschrieben werden:

- Güteklasse I (hohe Güte): Die Erfassung der Grundwassermächtigkeit und der Eingangsparameter ist gesichert. Brunneneintrittsverluste können auftreten.
- Güteklasse II (mittlere Güte): Die Erfassung der Grundwassermächtigkeit ist gesichert, die der Eingangsparameter jedoch nicht mehr. Brunneneintrittsverluste können auftreten.
- Güteklasse III (niedrige Güte): In diese Güteklassen fallen alle Durchlässigkeitsbeiwerte, bei denen die Erfassung der Grundwassermächtigkeit nicht gesichert ist und zudem auch andere Parameter mit Unsicherheiten behaftet sind (Brunneneintrittsverluste, unsichere Eingangsparameter).

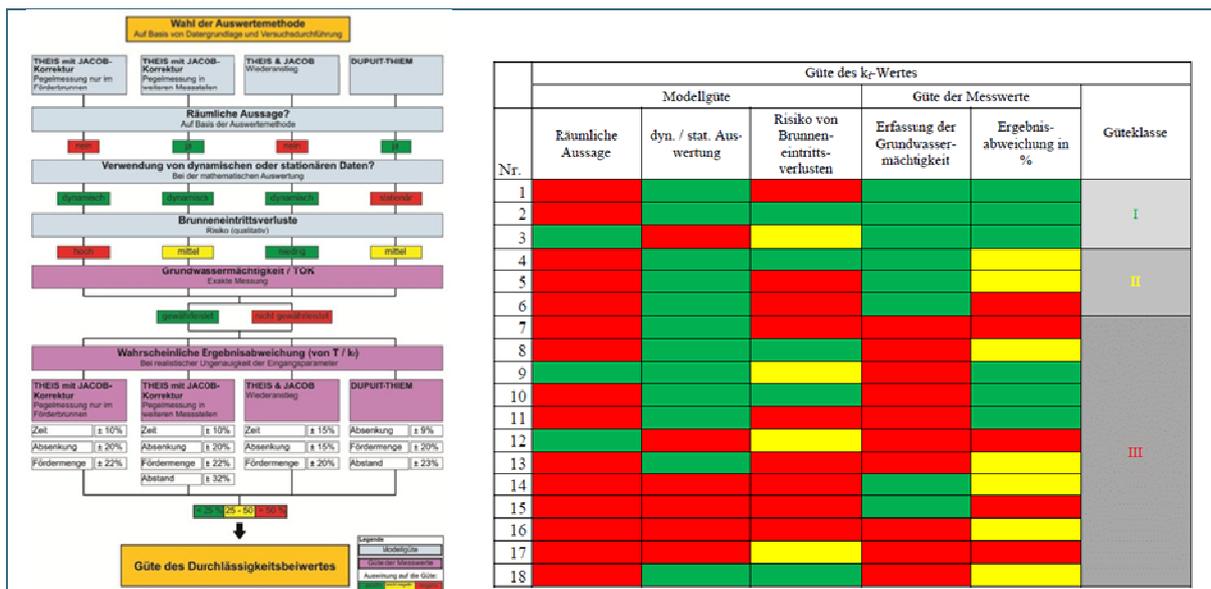


Abb. 15: Entscheidungsbaum nach der Ampelmethode zur Beurteilung der Güte eines ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerts auf Basis der vorhandenen Gutachten (links) und die Kombination der einzelnen begutachteten fünf Kriterien um die drei Güteklassen abzuleiten (rechts).

Nicht alle verwendeten Durchlässigkeitsbeiwerte konnten einer vollständigen Gütebeurteilung unterzogen werden. Bei verwendeten Literaturwerten wurde die Güteklasse 2 oder 3 angesetzt, je nachdem wie es möglich war, die Ermittlung der Werte nachzuvollziehen.

An der Mehrzahl der Lokationen, an denen Gutachten mit Pumpversuchen vorlagen, wurden mehrere Durchlässigkeitsbeiwerte ermittelt. Zum einen wurden, je nach Möglichkeit bzw. Datengrundlage und –güte, alle oben genannten Verfahren (Absenkung und Wiederanstieg nach Theis mit Jacob-Korrektur, Dupuit-Thiem) zur Pumpversuchsauswertung herangezogen. Zudem wurden innerhalb der Auswertung mit den einzelnen Verfahren mehrere Pumpstufen betrachtet, die wiederum einzelne Durchlässigkeitsbeiwerte an einem Pumpversuchsort liefern. Die einzelnen Pumpstufen innerhalb eines Verfahrens (z.B. Absenkung nach Theis mit Jacob Korrektur) wurden zu einem repräsentativen Wert für dieses Verfahren gemittelt. Lagen mehrere Pumpversuche an einem Ort vor, so sind diese einzeln ausgewertet und aufgeführt worden. Für die räumliche Auswertung wurde dann aus allen an einem Ort verfügbaren Durchlässigkeitsbeiwerten einmal das einfache geometrische Mittel gebildet und zum anderen unter Berücksichtigung der zugewiesenen Güteklasse ein gewichtetes geometrisches Mittel angegeben. Die Gewichtung erfolgte dabei in der Weise, dass die Durchlässigkeitsbeiwerte mit einer Güteklasse 1 dreifach höher in die Mittelwertbildung eingingen als die Werte der Güteklasse 3. Die Werte der Güteklasse 2 gingen zweifach höher gewichtet als die Werte der Güteklasse 3 ein. Dadurch, dass teilweise mehrere Werte an einem Standort zur Verfügung standen, konnte dort eine Standardabweichung der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte angegeben werden.

6.4.2.3 Ergebnisse

Die Auswertungen der Pumpversuche ergab nach der Klassifikation nach DIN 18130-1 (1998) allgemein eine sehr gute bis gute hydraulische Durchlässigkeit (ca. 40% zu 60%) im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene. Wie in Tab. 22 und Abb. 16 ersichtlich ist, liegt der ermittelte Durchlässigkeitsbeiwert im Mittel (Median) bei $5,6\text{-}5,7 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$. Dies ist im Einklang mit den oben genannten Werten aus der Literatur (siehe Kapitel 6.4.2.1). In Bereichen mit hoher hydraulischer Durchlässigkeit liegen die Durchlässigkeitsbeiwerte um die $2 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ (90%-Perzentil). Diese Werte resultierten auch relativ häufig aus der Pumpversuchsauswertung (siehe Abb. 16). Selten treten höhere Durchlässigkeitsbeiwerte bis zu $1,0 \cdot 10^{-1} \text{ ms}^{-1}$ auf. Die niedrigen Durchlässigkeitsbeiwerte in der Münchener Schotterebene liegen um die $5 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$, sehr selten niedriger.

Bei der Betrachtung der Unterschiede in den Güteklassen ergeben die statistischen Auswertungen nur geringe Unterschiede. Jedoch zeigt sich die Tendenz, dass die Auswertungen der Pumpversuche in der Güteklasse 3 leicht geringere Durchlässigkeitsbeiwerte ergeben. Die geometrische Standardabweichung lag bei Werten mit mehreren Auswertungen an einem Standort etwa zwischen 1 und 2. Es zeigte sich bei den Untersuchungen, dass die Fehlervarianz in der Pumpversuchsauswertung an einem Ort in der Regel doch deutlich kleiner ist als die räumliche Varianz der Durchlässigkeitsbeiwerte. Dies stellt die Grundvoraussetzung für die räumliche Interpretation der hydraulischen Durchlässigkeit mit dem zur Verfügung stehenden Datensatz dar.

Tab. 22: Statistische Lagemaße der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene

Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	Anzahl	Min	10%-Perzentil	25%-Perzentil	50%- Perzentil (Median)	75%-Perzentil	90%-Perzentil	Max
alle Werte (geometrisches Mittel mehrerer Werte an den einzelnen Lokationen)	472	1,1E-05	5,3E-04	2,2E-03	5,6E-03	1,2E-02	2,1E-02	1,3E-01
alle Werte (nach Güteklasse gewichtetes geometrisches Mittel mehrerer Werte an den einzelnen Lokationen)	472	1,1E-05	5,0E-04	2,2E-03	5,7E-03	1,2E-02	2,1E-02	1,3E-01
Werte der Güteklasse 1	133	1,1E-05	4,6E-04	1,6E-03	5,7E-03	1,5E-02	2,6E-02	1,0E-01
Werte der Güteklasse 1+2	246	1,1E-05	7,1E-04	2,2E-03	5,6E-03	1,4E-02	2,6E-02	1,0E-01
nur Werte der Güteklasse 3	287	3,6E-05	4,3E-04	1,6E-03	5,1E-03	1,0E-02	1,7E-02	1,3E-01

Es wurde der Versuch unternommen einen räumlichen Unterschied der Durchlässigkeitsbeiwerte in Abhängigkeit der unterschiedlichen geologischen quartären Einheiten bzw. Lithologien herauszuarbeiten. Jedoch ergaben sich hierbei keine signifikant auswertbaren Unterschiede. Die Punktdicht der bis zum Projektende verfügbaren ausgewerteten Daten lässt hier noch keine aussagekräftige Beurteilung zu. Um eine Übersicht über die Flächenverteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte in der Münchener Schotterebene wurden die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte mit Werten aus der Literatur (SCHIRM, 1968) ergänzt und über geostatistische Verfahren interpoliert (siehe Anlage 6.1). Da die flächenverteilten Durchlässigkeitsbeiwerte auf der einen Seite auf kurzen Abständen eine relativ hohe Varianz zeigen können und auf der anderen Seite die Punktdichte für die Größe des Untersuchungsraums relativ gering ist, kann die räumliche Varianz der Werte mit der vorliegenden Datengrundlage nicht adäquat abgebildet werden. Um dennoch ein räumliches Bild der Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte zu bekommen, wurde ein vereinfachtes Modell für die räumliche Schätzung herangezogen. Bei der Variogrammanalyse wurde daher ein geschachteltes Modell an die räumliche Varianz der Daten angepasst, dass zum einen die hohe Änderung der Werte auf kurzer Distanz berücksichtigt und zum anderen eine ansteigende globale Trendkomponente bei weiteren Entfernungen beinhaltet (siehe Abb. 17).

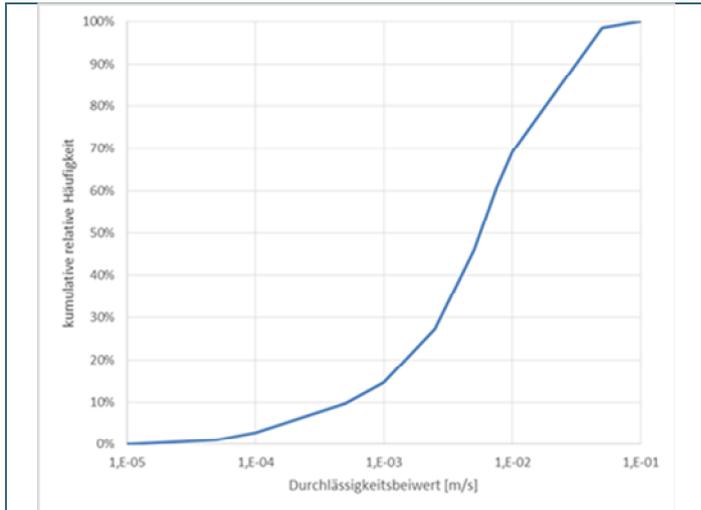


Abb. 16: Kumulative Häufigkeiten der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene.

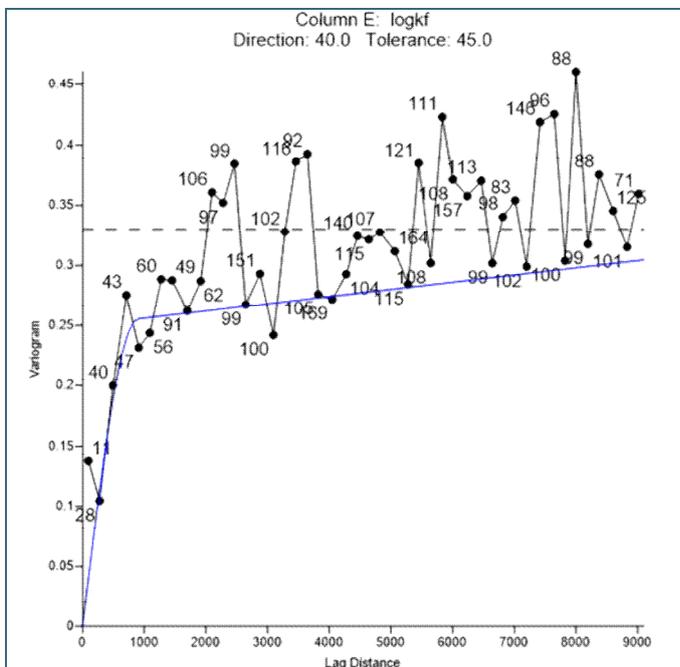


Abb. 17: Variogramm-Anpassung an die Varianzwerte der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte

Bei der Betrachtung der räumlichen Interpolation lassen sich einige Hypothesen ableiten (Abb. 18). Zuerst fällt auf, dass die Randbereiche der Münchener Schotterebene tendenziell eine relativ geringe hydraulische Durchlässigkeit aufweisen. Als ein Beispiel für die Ursachen von den niedrigeren Durchlässigkeitsbeiwerten am Rand der Schotterebene werden die geologischen Verhältnisse im Raum Erding im Nordostern der Münchener Schotterebene angeführt. Dieses Gebiet stellt einen Übergangsbereich zum tertiären Hügelland, mit heterogenen geologischen Verhältnissen, dar. Zum einen kann der quartäre Grundwasserleiter unbedeckt auftreten. Zum anderen befinden sich über ihm häufig Löß-, Moor- und Moränenablagerungen. Außerdem kann die Nähe zum tertiären Hügelland niedrigere hydraulische Durchlässigkeit hervorrufen, da es hier zu einem Übergang von kiesig-sandigem zu sandig schluffigem Untergrund kommt (DOBEN et al. 1996). Eine deutliche Ausnahme zu den randlich auftretenden niedrigeren Werten stellt hier der nordwestliche Teil mit sehr hohen Durchlässigkeitsbeiwerten dar. Im Stadtgebiet Münchens zeigt sich eine hohe räumliche Varianz der Durchlässigkeitsbeiwerte. Es lässt sich vermuten, dass die hydraulische Durchlässigkeit im Osten Münchens leicht erhöht ist. In wie weit die engräumige räumliche Variation der hydraulischen Durchlässigkeit auf geologische Strukturen wie tertiäre Rinnen oder lithologische Unterschiede, z.B. zwischen der Hoch- und Niederterrasse,

zurückzuführen ist, kann erst mit einer höheren Punktdichte der Durchlässigkeitsbeiwerte beurteilt werden. Hierzu soll zukünftig über das Projekt hinaus die Pumpversuchsdatenbank weiter vervollständigt werden.

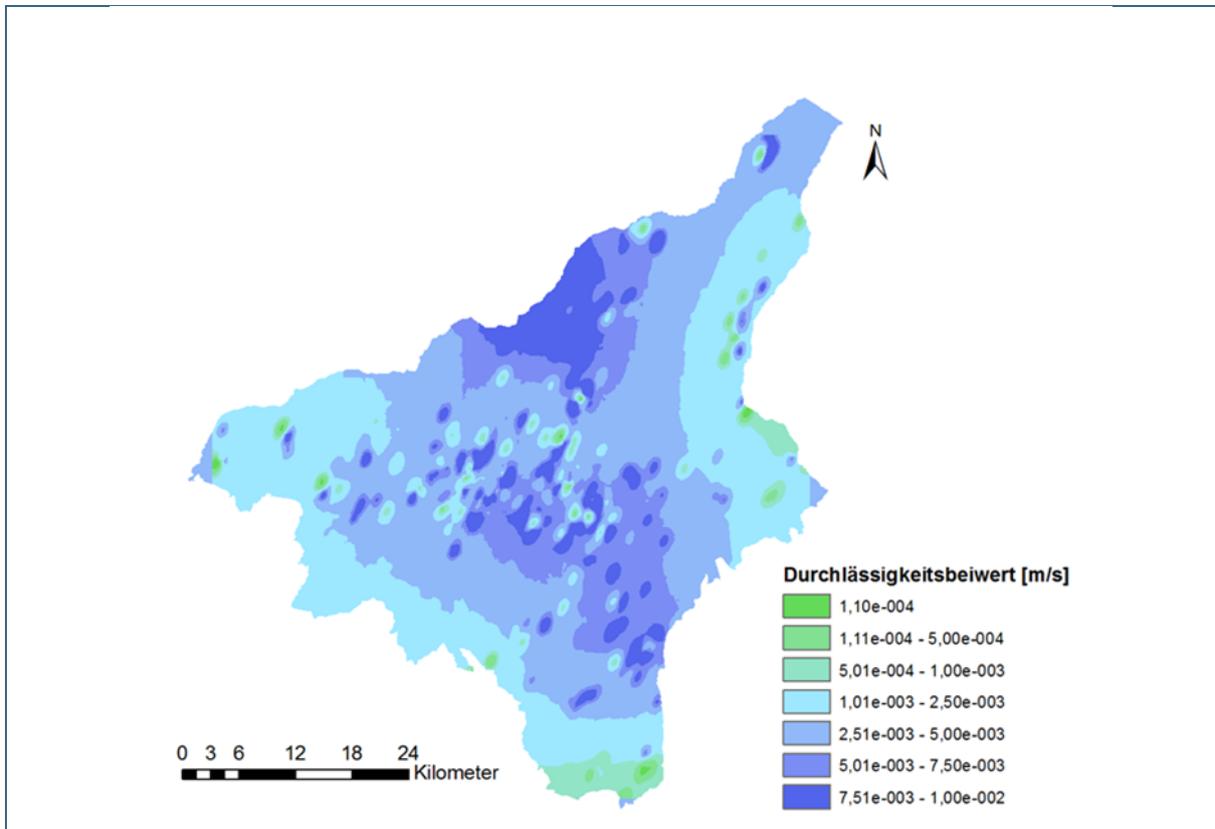


Abb. 18: Die regionalisierte Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte in der Münchener Schotterebene auf Basis der erarbeiteten Werte und ihrer Gütebeurteilung. An den einzelnen Lokalitäten wurden die vorliegenden Durchlässigkeitsbeiwerte über ihre Güte gewichtet gemittelt.

Um eine weitere räumlichen Beurteilung der hydraulischen Durchlässigkeit durchzuführen, sind die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte für einige Gemeinden, in denen Gutachten zur Auswertung zur Verfügung standen und die bereits von Seiten der TUM bearbeitet wurden, in Abb. 19 separiert dargestellt. Im Raum Fürstenfeldbruck wurden auch Durchlässigkeitsbeiwerte aus Pumpversuchen an Brunnen ermittelt, die in Moränenablagerungen abgeteuft wurden. Aus den Auswertungen der vier verfügbaren Pumpversuche, die eindeutig auf Moränen bezogen werden konnten, ergab sich ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert von $4,3 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$. Dieser Wert zeigt eine gute Übereinstimmung mit den von KRAUSE (2000) angegebenen Werten für die hydraulische Durchlässigkeit in Moränen.



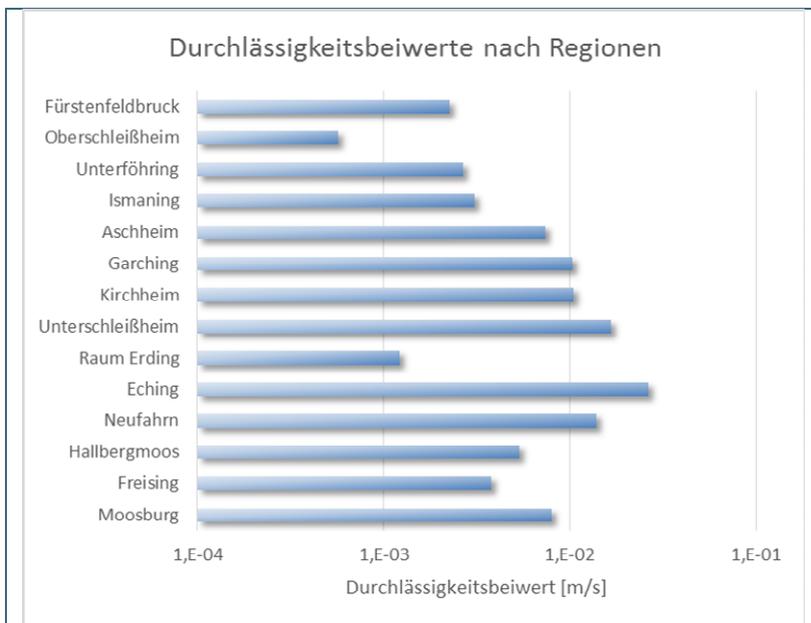


Abb. 19: Exemplarische regionale Unterschiede in den ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerten im quartären Grundwasserleiter der Münchner Schotterebene.

6.4.3 Grundwassermächtigkeiten

Eine Übersicht über die verfügbaren Anlagen in diesem Bericht zu den Grundwassermächtigkeiten gibt Tab. 23.

Bezeichnung der Anlage:	Inhalt
Anlage 7.1	Grundwassermächtigkeiten Arbeitsgebiet
Anlage 7.2	Grundwassermächtigkeiten Stadtgebiet

Tab. 23: Anlagen zum Thema „Grundwassermächtigkeiten“

6.4.3.1 Allgemeines

Die im Zuge des GEPO Projekts erstellte Karte der quartären Grundwassermächtigkeiten (Anlage 7.1, 7.2), zeigt schematisch und generalisiert die Differenz zwischen der interpolierten Grundwasseroberfläche des Grundwassergleichenplans und der lithologischen Grenze zum Tertiär (Quartärbasis).

Wichtige Anmerkung: Es muss beachtet werden, dass es sich hierbei um **Mindestmächtigkeiten** handelt, da das Grundwasser teilweise, ohne stauende Zwischenschicht der Flinzmergel, in den Flinzsanden seine Fortsetzung finden kann. Dies kann in der Karte generell zu geringeren Mächtigkeitsangaben des Grundwassers führen, als dies in der Realität der Fall ist. Zwischen der im Projekt ermittelten Mächtigkeit des Grundwassers im quartären Aquifer und der des Grundwassers im „Oberen Grundwasserstockwerk“ ist demnach zu unterscheiden.

Es können je nach Situation lokale Abweichungen, z.B. durch Wasserhaltungs- oder Baumaßnahmen, Absenkungen oder Aufstauungen auftreten, die in der Karte nicht berücksichtigt wurden. Daher ist die Karte nicht dafür geeignet, belastbare Daten für lokale Bauvorhaben zu liefern und ersetzt keine Detailuntersuchungen für wasserwirtschaftliche, wasserrechtliche oder baugrundtechnische Fragestellungen. Eine Zusammenfassung von statistischen Angaben zu den grundwassererfüllten Mächtigkeiten zeigt Tab. 24.

Grundwassererfüllte Mächtigkeiten im Arbeitsgebiet (Anzahl Einzelwerte: 51.056)	[m]
Minimum	0
Perzentil 25	4,57
Median	8,08
Perzentil 75	12,94
Maximum	36,52

Tab. 24:
Grundwassererfüllte Mächtigkeiten im Arbeitsgebiet

Die für die statistischen Angaben verwendeten Werte der Grundwassermächtigkeiten wurden aus den Rasterdaten (Differenz Grundwassergleichenplan zu Quartärbasis) gewonnen. Das Rasterfile der grundwassererfüllten Mächtigkeit wurde, aufgrund des hohen Detaillierungsgrades von 2 m, auf ein Raster mit einer Zellgröße von 100 m umgerechnet. Danach wurden aus dem erstellten Raster per „raster to point“ in ArcGIS© Punktdaten (51.056 positive Werte) der einzelnen Grundwassermächtigkeiten gewonnen, die danach in MS-Excel© ausgewertet werden konnten.

6.4.3.2 Datengrundlage und Methodik

Als Datengrundlage zur Berechnung der Grundwassermächtigkeit dienten die bereits erstellten Produkte „Grundwassergleichenplan“ und „Quartärbasis“. Detaillierte Informationen zur Erstellung dieser beiden Produkte befinden sich jeweils unter „Datengrundlage und Methodik“ der jeweiligen Kapitel. Zur Ermittlung der Grundwassermächtigkeit wurde von beiden vorangegangenen Produkten das jeweilige Raster-file benötigt. Beide Raster haben eine „Cell Size“ von 2. Danach wurde die Differenz dieser beiden Raster berechnet. Dazu wurde in ArcMap© die ArcToolbox geöffnet und das „Raster Calculator“ Tool (→ Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator) ausgewählt. Beide Raster wurden eingeladen und die Differenz gebildet. Ergebnis war ein weiteres Raster-file mit einem Wertebereich (Value) von 39 bis -65,9. Der positive Wertebereich entspricht der Mächtigkeit des Grundwassers im quartären Aquifer, wobei die negativen Werte gesondert betrachtet werden müssen. Abschließend wurde aus dem Raster-file ein Polyline shapefile erstellt (ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Surface → Contour) und dieses mit dem Vorlagen-shapefile des LfU „gemerged“ um alle geforderten Attribute einzufügen.

Danach erfolgte die gesonderte Bearbeitung dieses shapefiles, wobei der Verlauf der Isolinien kontrolliert und teilweise händisch überarbeitet wurde. Dabei wurde auch auf den bereits genannten Fall eingegangen, dass gesonderte Bereiche negative Werte aufwiesen. Dabei handelte es sich größtenteils um Wertebereiche im Raster-file des Grundwassergleichenplans, in denen kein Grundwasser im quartären Aquifer angetroffen wurde oder aufgrund geringer Datendichte keine Interpolation möglich war,

und deshalb im Grundwassergleichenplan bewusst ausgespart wurden. Es handelt sich dabei beispielsweise um Aufragungen der Oberen Süßwassermolasse oder Bereiche des Isartals im Süden. Durch die Differenz der Raster-Werte der Quartärbasis und der „0-Werte“ der Grundwassergleichen, entstanden negative Wertebereiche im Raster der Grundwassermächtigkeiten, die daher ausgespart werden mussten. Bereichsweise geben diese negativen Werte jedoch auch Aufschluss über das Vorhandensein tertiärer Flinsande. Handelt es sich bei den negativen Werten nicht um Bereiche oben genannter Kriterien, kann davon ausgegangen werden, dass hier der interpolierte Grundwasserspiegel im Tertiär, also in den Flinsanden liegt, und sich bei der Berechnung daher negative Werte (meist im Bereich weniger Meter) ergeben. Diese Erkenntnis ist jedoch nicht Teil der Auswertung der Grundwassermächtigkeiten im quartären Aquifer und sollte getrennt behandelt werden. Zu diesem Thema wurde ein gesondertes shapefile erstellt, auf das nachfolgend eingegangen wird.

6.4.3.3 Attributierung

Aufgrund unterschiedlicher hydrogeologischer Situationen musste in der Attributierung der „Isolinien gleicher Grundwassermächtigkeit“ unterschieden werden (Tab. 25). So wurden die regulären Verhältnisse, grundwassererfüllte Bereiche, als „gesichert“ attribuiert. Im Gegenteil dazu wurden Bereiche, in denen die Verhältnisse unklar und nur mit einer gewissen Unsicherheit von einer grundwassererfüllten Mächtigkeit (im quartären Grundwasserleiter) ausgegangen werden kann, als „fraglich“ eingeordnet. Ein kurzer Hinweis auf die Gründe steht in der dazugehörigen Spalte „Text“.

Tab. 25: Erläuterung der Spalten „Situation“ und „Text“ in der Attributtabelle „gepo_gwmq_ms“

Situation	Text	Signaturvorschlag
Gesichert	Reguläre Verhältnisse	Durchgezogene Linie (schwarz)
Fraglich	Erläuterung weshalb „fraglich“	Gestrichelte Linie (schwarz)

Bereiche, die mit hoher Wahrscheinlichkeit grundwasserfrei sind, bzw. wenn kein quartärer Grundwasserleiter vorhanden ist (z.B. bei Aufragungen der OSM), wurden auf der Karte ausgespart. Ebenso wurde für Bereiche mit ungenügender Datengrundlage verfahren. Um diese Bereiche optisch unterscheiden zu können, wurde ein zweites shapefile (Tab. 26) angelegt. Dieses enthält alle Grenzen der Bereiche, in denen kein Grundwasser im quartären Aquifer vorhanden ist, bzw. dieser vollständig fehlt. Zudem können die vermuteten Außengrenzen eingeblendet werden, in welchen das Grundwasser in den Flinsanden verläuft. Ergänzende Angaben zur Mächtigkeit werden nicht gemacht.

Tab. 26: Erläuterung der Spalten der Attributtabelle „gepo_gwmq_ms_frei_fraglich“

Grundwasserleiter (GWL)	Situation	Text	Signaturvorschlag
ka	frei	Grundwasserfrei bzw. kein quartärer GWL	Durchgezogene Linie (rot)
t_om	fraglich	Grundwasser vermutlich in den Flinsanden der OSM (versch. Beschreibungen)	Gestrichelte Linie (rot)

6.4.3.4 Ergebnisse

Generell beträgt die Mächtigkeit des Grundwassers im quartären Aquifer im Projektgebiet zw. 0 bis 38 m, wobei sich die Werte größer 30 m nur auf einen kleinen Ausschnitt am östlichen Rand des Projektgebietes, im Bereich Hohenlinden, konzentrieren. Größtenteils schwanken die Mächtigkeiten im Projektgebiet zw. 0 bis 15 m. Bereichsweise gibt es rinnenartige Verläufe und größere Gebiete in denen Mächtigkeiten von größer 15 m erreicht werden. Im nördlichen Teil des Projektgebietes, in etwa ab der nördlichen Stadtgrenze, treten die Mächtigkeiten im Allgemeinen zurück und es überwiegt ein Wertebereich zw. 0 bis 10 m. Dies liegt an der Ausdünnung des quartären Schotterkörpers in Richtung Norden, welcher an der Nordgrenze z.T. nur noch wenige Meter Mächtigkeit erreicht und damit den grundwassererfüllten Bereich limitiert.

Im zentralen, von Süd nach Nord verlaufenden Teil des **Stadtgebietes**, das sich von Großhessellohe in einem breiter werdenden Bereich bis nach Freimann erstreckt, betragen die Grundwassermächtigkeiten meist nur wenige Meter (zw. 0 und 5 m). Im nördlichen Bereich von Solln ergibt sich, durch eine Depression in der dort abflachenden tertiären Aufragung, lokal eine höhere Mächtigkeit von bis zu 13 m. Im übrigen Teil dieses breiten Streifens werden Mächtigkeiten von > 5 m jedoch höchstens punktuell erreicht. Zudem gibt es zahlreiche Aufragungen tertiärer Mergelstrukturen, die das vollständige Fehlen von Grundwasser zur Folge haben können („0-Werte“).

Im östlichen Teil des Stadtgebietes nehmen die Grundwassermächtigkeiten in zwei Buchten auf bis zu 16 m zu. Den Grenzbereich dieser beiden Buchten stellt der Bereich um die Messestadt Ost dar. Weiter in Richtung Nordost, außerhalb des Stadtgebietes, nehmen die Mächtigkeiten, bis auf kleinräumige Ausnahmen weiterhin zu, um im Bereich Forstinning mit 27 m ihr Maximum zu erreichen.

Im westlichen Teil des Stadtgebietes fallen vor allem die zwei bekannten, Süd-Nord gerichteten Rinnenstrukturen auf, die bereits im Kapitel zur Quartärbasis detailliert erläutert wurden. Daneben befindet sich westlich anschließend die deutlich erkennbare Würmtalrinne. Da diese in das Tertiär eingetieften Rinnen mit mächtigen, grundwassererfüllten Sanden und Schottern gefüllt sind, erhöhen sich die Mächtigkeiten in diesen Bereichen auf teilweise über 20 m. Eine Vereinigung dieser Rinnen im nordwestlichen Teil des Stadtgebietes ist anzunehmen, wobei sich ein weitere Verlauf in nordöstliche Richtung, ersichtlich durch grundwassererfüllte Mächtigkeiten zw. 10 und 20 m, abzeichnet. Im Bereich der Aubinger Lohe werden keine Grundwassermächtigkeiten für den quartären Aquifer angegeben, da hier ein Unterfließen der Struktur in den tertiären Sanden angenommen wird.

Der südliche Teil des **Umlandes** ist geprägt durch den Moränengürtel. Dieser erstreckt sich im Projektgebiet von westlich Fürstenfeldbruck bis nach Holzkirchen im Südosten. Dabei ist anzumerken, dass die westlich gelegenen Moränen zum Großteil direkt Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse aufliegen, und daher als „grundwasserfrei“ (bezogen auf den quartären Aquifer) dargestellt werden. Östlich des Würmtals ändert sich die Situation, da die Moränen nun zum Großteil älteren quartären Schotterkörpern aufliegen, die, wie auch Teile der Moränen selbst, in hydraulischer Verbindung zum quartären Hauptgrundwasserleiter stehen können. Daher wurden diese Bereiche als „fraglich“ gekennzeichnet. Vergleichbare Situationen treffen auch für die Moränen im nordöstlichen Teil des Arbeitsgebietes (Bereich Markt Schwaben – Erding) zu und sollten bei Betrachtung der Isolinien der Grundwassermächtigkeit bedacht werden.

Im angesprochenen westlichen Teil des Projektgebietes zeigen sich zwischen den Moränen, die quasi frei von Grundwasser sind, Grundwassermächtigkeiten zwischen 10 und 20 Metern. Diese in rinnenartigen Strukturen verlaufenden Grundwasserströme vereinigen sich mit dem Grundwasser der bereits erwähnten Rinnen nordwestlich des Stadtgebietes. Östlich des Würmtals, auf der Buchendorfer Hochfläche, herrschen generell eher geringe Mächtigkeiten vor, bis auf eine Ausnahme östlich Buchendorf, wo sich durch eine Depression in der Quartärbasis eine signifikante Erhöhung einstellt. Östlich der Isar sind die Verhältnisse wesentlich homogener. Lediglich in einem West-Ost gerichteten Bereich nördlich Otterfing steigen die Mächtigkeiten auf bis zu 22 m an. In südöstliche Richtung werden die Mächtigkeiten aufgrund der dort auslaufenden tertiären Hochfläche immer geringer, wogegen westlich dieses Gebietes eine Zunahme der Mächtigkeiten beobachtet werden kann.

Nördlich des Stadtgebietes setzt sich im westlichen Teil des Umlandes die bereits erwähnte Rinnenstruktur mit erhöhten Grundwassermächtigkeiten (> 10 m) in Richtung Nordosten fort und vereinigt sich schließlich mit dem auslaufenden Isartal. Östlich der Isar schwanken die Mächtigkeit größtenteils zwischen 5 und 10 Metern, wobei diese mit Annäherung an das tertiäre Hügelland abnehmen. Lediglich kleinräumig kommt es zu Erhöhungen auf über 15 m, beispielsweise im Gebiet westlich Berglern.

6.4.4 Grundwasserflurabstände

Eine Übersicht über die verfügbaren Anlagen in diesem Bericht zum Thema Flurabstände gibt Tab. 27.

Bezeichnung der Anlage:	Inhalt
Anlage 8.1	Flurabstände Arbeitsgebiet
Anlage 8.2	Flurabstände Stadtgebiet

Tab. 27:
Anlagen zum Thema „Grundwasserflurabstände“

6.4.4.1 Allgemeines

Die im Zuge des GePo Projekts erstellte Flurabstandskarte (Anlage 8.1, 8.2), zeigt schematisch und generalisiert die Flurabstände, also die Differenz zwischen Geländeoberkante (GOK) und Grundwasserspiegel (GWS) des quartären Hauptgrundwasserleiters zum Zeitpunkt der durchgeführten Stichtagsmessung im April 2014. Es können je nach Situation lokale Abweichungen, z.B. durch Wasserhaltungs- oder Baumaßnahmen, Absenkungen oder Aufstauungen auftreten, die in der Karte nicht berücksichtigt wurden. Daher ist die Karte nicht dafür geeignet, belastbare Daten für lokale Bauvorhaben zu liefern und ersetzt keine Detailuntersuchungen für wasserwirtschaftliche, wasserrechtliche oder baugrundtechnische Fragestellungen.

Der Flurabstand bezeichnet die Differenz zwischen Geländeoberkante und Grundwasserspiegel, hier dem Grundwasserspiegel des „oberen Grundwasserstockwerks“, also dem quartären Hauptgrundwasserleiter. Der Flurabstand unterliegt den Schwankungen des Grundwasserspiegels, welche anthropogene und natürliche Ursachen haben können. Die im Zuge des GePo Projekts ermittelten Flurabstände spiegeln die Verhältnisse eines Zeitraums mit relativ niedrigen Grundwasserständen wieder. Aufgrund des niederschlagsarmen Winters 2013/2014 und einer länger anhaltenden Trockenperiode im ersten Quartal 2014 muss davon ausgegangen werden, dass die Flurabstände üblicherweise kleiner sind, als in der Karte dargestellt. Die Karte stellt somit eine Situation mit Niedrigwasserverhältnissen dar und kann sich somit von bestehenden Plänen unterscheiden, deren Datengrundlage auf mittleren oder hohen Grundwasserständen beruht.

Wie bereits erwähnt, bestehen die vorhandenen Punktdaten aus Messwerten der Stichtagsmessung 2014. Die Genauigkeit der Flurabstands-Isolinien ist abhängig von der jeweilig vorhandenen Punktdichte, welche im Arbeitsgebiet erheblich schwankt. So gibt es vor allem im Bereich des Umlandes größere Flächen (Forste, Moorgebiete und Moränen), an denen das Messstellennetz sehr lückenhaft ist und die Interpolation mit nur wenigen Punkten durchgeführt wurde. Die hier errechneten Isolinien sind weniger genau als beispielsweise im Stadtgebiet, wo eine sehr enge Messpunktdichte vorherrscht. Die Darstellung der Flurabstände erfolgt in Isolinien mit einem Abstand von 1 m bzw. in flächenhaft eingefärbten Bereichen. Analog zum Grundwassergleichenplan wurden grundwasserfreie Bereiche und Gebiete ohne Daten (z.B. Hangbereiche der Isar im südlichen Arbeitsgebiet) ausgespart. An den Randbereichen dieser Gebiete wurden die Isolinien auslaufen gelassen, anstatt sie um diese Gebiete herum- bzw. entlangzuführen und ggf. zu verbinden. Dies würde aufgrund der darstellerischen Möglichkeiten und späteren Lesbarkeit der Karte wenig Sinn ergeben und wurde daher höchstens angedeutet bzw. schematisiert.

Neben anthropogenen Veränderungen und Einwirkungen auf den Untergrund, spielt vor allem die natürliche Topographie eine wichtige Rolle in Bezug auf Flurabstandsänderungen. Analog zum Grundwassergleichenplan haben natürliche Anschnitte im Gelände, wie beispielsweise Flusstäler und Terrassenkanten, markante Auswirkungen auf den Flurabstand. Künstliche Veränderungen, wie Aufschüttungen und Abtragungen, beeinflussen ihn meist kleinräumig. Diese Veränderungen, beispielsweise im Bereich des Olympia- oder des Westparks, führen zu lokalen Änderungen der Flurabstände, wobei die generelle hydrogeologische Situation relativ unverändert bleibt. Um das Gesamtbild der

Karte durch kleinräumige Extrembereiche nicht zu stören, wurden diese in der Konstruktion des Plans zumeist, sofern vorhanden, nicht berücksichtigt. Ein weiterer Punkt zur Aussparung dieser Bereiche war die nur lückenhaft Erfassung der Extremwerte, da zumeist in solchen Strukturen keine Messpunkte vorhanden sind. Einzelne dieser Strukturen darzustellen wäre somit eher verwirrend und inkonsequent. Jegliche Arten von temporären oder permanenten Wasserhaltungsmaßnahmen oder Versickerungen wirken sich, durch die Bildung von Absenktrichtern bzw. Aufstaukegeln, auf den Flurabstand aus. Aufgrund der Vielzahl dieser Maßnahmen und deren zeitliche Variabilität, konnten diese in der Karte nicht einzeln berücksichtigt werden. Zudem beeinflussen die natürlichen jahreszeitlichen Schwankungen den Grundwasserspiegel, und damit direkt den Flurabstand. Das Referat für Gesundheit und Umwelt gibt für das Stadtgebiet einen Schwankungsbereich von bis zu 1,0 m an (DOHR & GRUBAN, 1999).

Die allgemeine hydrogeologische Situation, der Verlauf der Grundwassergleichen und die Veränderungen bzgl. des Flurabstandes, wurden bereits im Kapitel zum Grundwassergleichenplan erläutert. Deshalb wird im Folgenden größtenteils nur noch auf Sonderfälle eingegangen, die sich bei der Betrachtung der Flurabstandskarte ergeben. Eine Zusammenfassung der statistischen Werte zu den Flurabständen gibt Tab. 28.

Die für die statistischen Angaben verwendeten Werte der Flurabstände befinden sich in der MS-Excel®-Tabelle „Messpunkte_GEPO.xls“ [REDACTED]

6.4.4.2 Datengrundlage und Methodik

Die Daten zur Erstellung der Flurabstandskarte wurden fast ausschließlich im Zuge der Stichtagsmessung 2014 erhoben. Hauptsächlich besteht die Datengrundlage aus Messwerten, die an Grundwassermessstellen und Brunnen erhoben wurden. Zudem wurden Messungen an fließenden und stehenden Oberflächengewässern durchgeführt. Lediglich wenige Stütz- und Hilfspunkte wurden aus externen Quellen (BIS-BY) hinzugefügt.

Flurabstände im Arbeitsgebiet (Anzahl Einzelwerte: 6888)	[m]
Minimum	0
Perzentil 25	2,19
Median	4,55
Perzentil 75	8,12
Maximum	103,52

Tab. 28:
Flurabstände im Arbeitsgebiet

Generell standen zur Erstellung der Flurabstandskarte zwei Möglichkeiten zur Diskussion. Als erstes bestand die Möglichkeit, den bereits durch Interpolation erstellten Grundwassergleichenplan mit einem vorhandenen digitalen Geländemodell zu verrechnen und aus der Differenz der beiden Raster-Dateien den flächendeckenden Flurabstand zu ermitteln. Auf den genauen Berechnungsvorgang wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen, da diese Methode leider kein zufriedenstellendes Ergebnis lieferte. Das Hauptproblem bestand vor allem in der Beschaffenheit des digitalen Geländemodells, welches jegliche Oberflächenstrukturen, wie z.B. Autobahnen, Gebäude und Brücken enthält, und somit die benötigten Werte der (natürlichen) Geländeoberkante verfälscht. Daher wurden lokal zu hohe Flurabstände errechnet, welche das Gesamtbild verfälschen und nachträglich nicht korrigiert werden können.

Die zweite Möglichkeit bestand, analog zur Erstellung des Grundwassergleichenplans, aus einer Interpolation der im Gelände ermittelten Werte. Die bei der Stichtagsmessung ermittelten Grundwasserstände wurden mit bestehenden Werten der GOK verrechnet (Flurabstand = Differenz zw. GOK und GWS). Da aufgrund der hohen Anzahl der ermittelten Daten nicht jeder Wert der GOK im Gelände

eingemessen werden konnte, wurde auf vorhandene GOK-Werte im BIS-BY zurückgegriffen und diese zur Kontrolle mit digitalisierten Unterlagen der Messstellen und dem digitalen Geländemodell (2 m Zellengröße) abgeglichen und auf Plausibilität geprüft. Es stellte sich heraus, dass dies ebenfalls sehr genaue und verlässliche Daten liefert und diese für eine Übersichtskarte eine zufriedenstellende Datengrundlage bilden. Einzelne fragliche Werte der GOK (und Messpunkthöhen) wurden im Nachgang der Stichtagsmessung durch eine erneute Geländebegehung vom LfU eingemessen. Im Endeffekt standen zur Interpolation der Flurabstandskarte 5.325 Messwerte zur Verfügung, eingeschlossen Messwerte der Oberflächengewässer sowie Stütz- und Hilfspunkt. Alle Daten wurden vor der Interpolation in einer MS-Excel® Tabelle erfasst und qualitätsgeprüft (siehe auch Kapitel: 6.4.1).

Bei der Interpolation wurde analog zur Erstellung des Grundwassergleichenplans vorgegangen.

Geostatistische Analyse:

Auf Basis dieses qualitätsgeprüften Datensatzes erfolgte die Durchführung einer geostatistischen Analyse mit Struktur- und Fehleranalyse, erneuter Datenprüfung und finaler Interpolation. Diese Analyse wurden im Programm Surfer 9 (Golden Software®) durchgeführt. Das generelle Ziel war die existierende, räumliche Abhängigkeit der Daten zu definieren und die Werte der Variablen (Betrag des Flurabstandes) für jeden Raumpunkt des Arbeitsgebietes abzuschätzen. Die dazu eingestellten Parameter finden sich in Tab. 29.

Strukturanalyse:

Dazu wurden die ermittelten Daten des Flurabstandes, getrennt nach dem westlichen und östlichen Teil des Arbeitsgebietes, einer Variogrammanalyse (räumliche Strukturanalyse) unterzogen (Tab. 29, Abb. 20, Abb. 21).

Es gibt die Möglichkeit, einen evtl. vorhandenen Trend der Daten zu berechnen und zu entfernen (detrond-Verfahren, linear oder quadratisch). Diese Trend-freien Daten ermöglichen eine bessere Interpretation des Variogramms. Der entfernte Trend wird bei der später durchzuführenden Interpolation wieder hinzugefügt. Die zur Interpolation verwendeten Messdaten des Flurabstandes wiesen einen Trend auf, der zur Interpretation der Daten entfernt wurde um quasi stationäre Verhältnisse zu erreichen.

Das aus den Messdaten ermittelte, empirische Semivariogramm stellt die räumliche Beziehung eines Punktes zu den Nachbarpunkten dar. Um die räumliche Varianz zu berücksichtigen, werden danach in verschiedenen Entfernungsstufen („lag“) Punktepaare gebildet. Die quadrierte Differenz der Paare wird aufsummiert und durch die Menge der Punkte geteilt. Daraus ergibt sich die Semivarianz, die in einem zweidimensionalen Diagramm als Funktion der Entfernung zum Bezugspunkt dargestellt wird und zu einer Verringerung des Schätzfehlers führt (geringe Schätzfehlervarianz).

Danach erfolgt der Abgleich des Semivariogramms mit einem theoretischen Modell/Variogramm (hier: spherical – sphärisches Variogramm). Durch Festlegung von Scale und Range (Wichtungsfaktoren), wird das Modell für verschiedene Richtungen betrachtet, an das Semivariogramm angeglichen und ggf. mit einer Anisotropie (Angle, Ratio) versehen. Durch diese Einstellungen passt sich das theoretische Modell dem empirischen Variogramm an.

Tab. 29: Variogram-properties

Experimental	Variogram_W (Abb. 20)	Variogram_E (Abb. 21)
Direction	160	40
Tolerance	30	30
Step Amount	10	10
Estimator Type	Variogram	Variogram
Max. Lag. Dist.	28000	26000
Number of Lags	186	130
Lag Width	150.53 (Auto)	200 (Auto)
Vertical Scale	25	60
Model	Variogram_W (Abb. 20)	Variogram_E (Abb. 21)
Variogram Components	Spherical	Spherical
Scale	7	16
Length (A)	4000	2800
Anisotropy Ratio	1.2	0.6
Anisotropy Angle	-30	130
Statistics	Variogram_W (Abb. 20)	Variogram_E (Abb. 21)
X Histogram		
Active (X/Y/Z)	2872 / 2872 / 2872	2453 / 2453 / 2453
Original (X/Y/Z)	2872 / 2872 / 2872	2453 / 2453 / 2453
Excluded (X/Y/Z)	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0

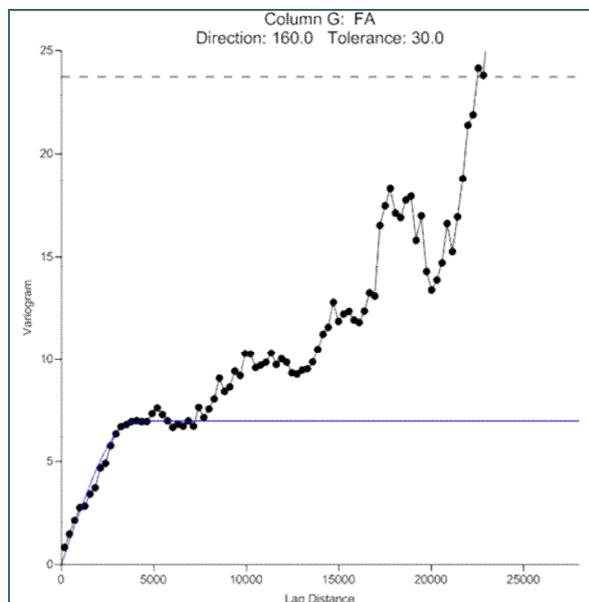


Abb. 20: Variogramm der Daten des westlichen Arbeitsgebietes.

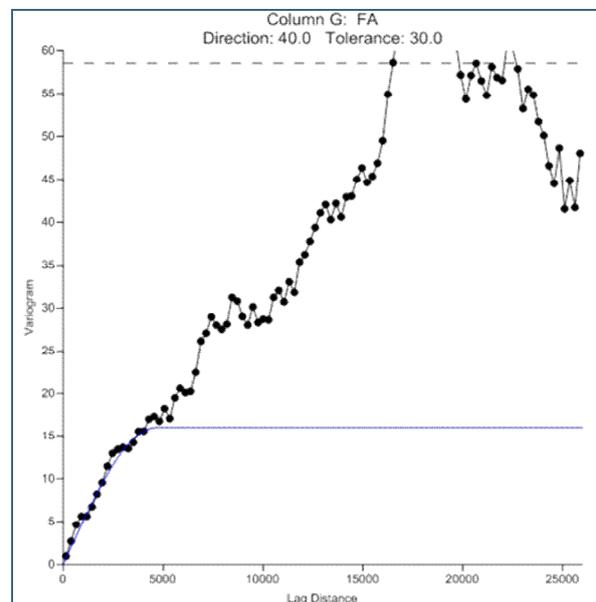


Abb. 21: Variogramm der Daten des östlichen Arbeitsgebietes.

Fehleranalyse und Datenprüfung:

Nach dieser Strukturanalyse erfolgt eine erneute Fehleranalyse am Datensatz. Hierzu wird eine Kreuzvalidierung (cross validation) durchgeführt. Dieses Testverfahren liefert einen verlässlichen Wert für die Güte eines statistischen Modells. Durch iteratives Entfernen eines Beobachtungspunktes aus der Menge der Messwerte und Interpolation auf diesen Punkt, erhält man eine Menge von Wertepaaren (interpolierte und gemessene Werte), deren Differenz (Residuen) man zur Bewertung der Interpolationsgüte heranziehen kann. Die hieraus gewonnene Datei lässt sich hinsichtlich hoher bzw. niedriger Residuen überprüfen und gibt Aufschluss über fehlerhafte Daten (Ausreißeranalyse).

Finale Interpolation:

Nach der Interpretation des Semivariogramms und der erneuten Fehleranalyse per „cross validation“ wurde nun eine flächenhafte Datenschätzung durchgeführt, welche die zuvor ermittelten statistischen Merkmale beinhaltet. Die Interpolation wurde mittels dem geostatistischen (Universal-) „Kriging“-Verfahren durchgeführt. Dieses Verfahren ermittelt Werte an Orten, an denen keine Informationen vorliegen, durch Interpolation („Annäherung“) umliegender Messwerte. Bei der Anwendung des Kriging-Verfahrens wird die räumliche Korrelation der Daten berücksichtigt, sprich die Interpolation auf Basis des Semivariogramms durchgeführt. Der zuvor entfernte Trend der Daten wird bei der Interpolation wieder hinzugefügt. Das „Spacing“ zur Erstellung der Grid-files betrug bei der Interpolation „100“. Aus den Messwerten wurden durch die Interpolation, unter Berücksichtigung der festgelegten Wichtungsfaktoren (Scale, Range, Anisotropy), die geschätzten Variablen erzeugt. Resultat ist die Erstellung einer grid-Datei, aus welcher ein Isolinienplan (contour map) und ein ArcGIS© kompatibles shapefile (Export contours) erstellt werden kann (Quellen: mündl. Auskunft Lehrstuhl für Hydrogeologie).

Abschließend wurde ein „Merge“ des westlichen und östlichen Plans erstellt und bearbeitet (shapefile: gepo_flurq_ms, Tab. 30). Da in manchen Bereichen, beispielsweise im südlichen Teil des Arbeitsgebietes, die Datendichte ungenügend ist, gab es Probleme bei der Interpolation. Eine Darstellung der Isolinien in diesen Bereichen machte aufgrund der geringen Anzahl von Interpolationswerten wenig Sinn, daher wurden sie ausgespart. Ebenso wurde mit Bereichen verfahren, in denen kein Grundwasser im quartären Aquifer vorliegt, bzw. dieser komplett fehlt. Dies gilt für aufragende Bereiche der Oberen Süßwassermolasse, grundwasserfreie Hang- und Terrassenkanten, Bereiche der Moränen und Gebiete der aufragenden tertiären Mergel im Stadtgebiet. Bei der Betrachtung des Plans ist es daher ratsam, neben der Geologie auch die verwendeten Stützpunkte einzublenden.

Um Bereiche optisch unterscheiden zu können, in denen entweder kein Grundwasser vorhanden ist oder keine sinnvolle Interpolation möglich war, wurde ein zweites shapefile (gepo_flurq_ms_gwfrei; Tab. 31) angelegt. Dieses enthält vermutete Grenzen der Bereiche, in denen kein Grundwasser im quartären Aquifer vorhanden ist, bzw. dieser vollständig fehlt.

Zum Teil mussten die Isolinien händisch bearbeitet werden, um eine plausible Darstellung zu erreichen. Zudem wurden die Isolinien mit verschiedenen Attributen versehen, um diese später entsprechend der hydrogeologischen Situation darzustellen. Unterschieden wurde hierbei in „reguläre“ und „fragliche“ Verhältnisse (Tab. 30, Spalte: Freitext). In Bereichen des quartären Hauptgrundwasserleiters oder mit Anbindung an diesen, in denen keine Unregelmäßigkeiten zu erwarten sind, wurden die Isolinien des Flurabstandes mit „regulär“ attribuiert. Im Gegensatz hierzu wurden die Isolinien in Bereichen, in denen besondere Verhältnisse herrschen können oder keine gesicherte Anbindung zum quartären Hauptgrundwasserleiter besteht (z.B. in Moränengebieten), mit „fraglich“ attribuiert.

6.4.4.3 Attributierung

Tab. 30: Erläuterung der Spalten „Situation“ in der Attributtabelle „gepo_flurq_ms“:

Situation	Freitext	Signaturvorschlag
Reguläre Verhältnisse	regulär	Durchgezogene Linie (schwarz)
Fragliche Verhältnisse	fraglich	Gestrichelte Linie (schwarz)

Tab. 31: Erläuterung der Spalten der Attributtabelle „gepo_flurq_ms_gwfrei“:

Grundwasserleiter (GWL)	Situation	Text	Signaturvorschlag
Keine Angabe	frei	Grundwasserfrei bzw. kein quartärer GWL	Durchgezogene Linie (rot)

6.4.4.4 Ergebnisse

Generell nehmen die Flurabstände in Richtung Norden ab. Die Mächtigkeit des quartären Schotterkörpers verringert sich und der quartäre Grundwasserspiegel nähert sich der Oberfläche an. Dies zeigt sich an einer Zunahme von Moor- und Moosgebieten im nördlichen Arbeitsgebiet. Im südlichen Teil des Arbeitsgebietes werden Flurabstände von bis zu 100 m, was jedoch auf die bereichsweise Erhöhung der Geländeoberkante im Moränengebiet zurückzuführen ist, erreicht. Generell liegen die Flurabstände zw. ca. 60 m im Süden und bis zu unter einem Meter im Norden. Es ist zudem eine generelle Abnahme der Flurabstände in Richtung der Vorfluter, insbesondere der Isar, zu beobachten. Nur lokal kann es, wie zum Beispiel im östlichen Stadtgebiet durch die Hochterrassen, zu einer Umkehr der Verhältnisse kommen. Dann erhöhen sich die Flurabstände, durch eine Aufragung der Geländeoberkante, flächenhaft.

Im **Stadtgebiet** nehmen die Flurabstände, wie auch im gesamten Arbeitsgebiet, von Süden nach Norden ab. Dabei finden sich an der südlichen Stadtgrenze, im Bereich Solln – Großhessellohe, die höchsten Flurabstände von ca. 30 m. Ansonsten fällt im südlichen Stadtgebiet eine zonale, von West nach Ost gerichtete, Unterteilung der Flurabstände auf, die sich grob auch über die Isar hinweg verfolgen lässt. Der zentrale Bereich des Stadtgebietes weist Flurabstände im Bereich zw. 5 und 10 m auf, wobei diese nach Norden hin, zum Teil in Form von Buchten, auf kleiner 5 m abnehmen. Dies ist beispielsweise im östlichen Stadtgebiet zw. Bahnhof Trudering und Johanneskirchen und im westlichen Stadtgebiet von Moosach in Richtung Karlsfeld bzw. Regattaanlage zu beobachten. Ebenso kommt es in kleinräumigen Bereichen zu markanten Schwankungen der Flurabstände, was zumeist an den lokalen topographischen Gegebenheiten liegt. Als Beispiele dienen hier die Hochbereiche westlich der Theresienwiese (Übergang Altstadtstufe zur Niederterrasse), der Westpark und die Bereiche der Hochterrassen östlich der Isar. Zu einer auffälligen, aber plausiblen Zunahme der Flurabstände kommt es zudem im Bereich der Aubinger Lohe. Hier unterströmt das Grundwasser des quartären Hauptgrundwasserleiters die natürliche Geländeerhöhung. Westlich der Isar muss erneut auf die Zonen der deckenden und aufragenden Mergel eingegangen werden. Diese wurden bereits im Kapitel zum Grundwassergleichenplan ausführlich erläutert und sollen an dieser Stelle nur nochmals in Erinnerung gerufen werden, da sich die Flurabstände im Bereich der deckenden Mergel durch die Differenz zwischen Geländeoberkante und gespanntem Grundwasserspiegel, anstatt wie sonst üblich durch den freien Grundwasserspiegel, definieren können.

Im Bereich des **Isaralluviums** herrschen generell niedrige Flurabstände, meist zw. 0 – 5 m. Lokal kann es auch hier zu Erhöhungen kommen, beispielsweise im Bereich „Südlicher Friedhof“ bis Lehel. Hier steigen die Flurabstände lokal bis auf 7 m an.

Im Bereich der **Moränen** im Umland gibt es starke Anstiege der Flurabstände. Wurden in diesen Bereichen Messpunkte zur Konstruktion verwendet, unterströmt das Grundwasser des quartären Aquifers, zumindest bereichsweise, die Moränen. Durch den lokalen Anstieg der Geländeoberkante erhöhen

sich in gleichem Maße die Flurabstände. Zu beobachten ist dies beispielsweise östlich von Moosinning im nördlichen Teil des Arbeitsgebietes, oder im Moränengürtel im Süden.

Neben diesen teils drastischen Anstiegen des Flurabstandes gibt es im Umland auch Bereiche, in denen die Veränderungen moderat vorstattengehen. Auf der Buchendorfer Hochfläche, die sich südlich an das Stadtgebiet anschließt, schwanken die Flurabstände nur geringfügig, wobei die genauen Verhältnisse, durch einen Mangel an Messpunkten, nicht genau wiedergegeben werden können. Weiter in Richtung Südosten, in Richtung Pullacher Rinne, nehmen die Abstände dann stetig zu, bis sie bei Baierbrunn ihr Maximum erreichen. Die Differenzen von Geländeoberkante und Grundwasserspiegel unterscheiden sich auf der tertiären Hochfläche, im Gegensatz zu der mit mächtigen quartären Sedimenten gefüllten Rinne deutlich und führen zu einer konstanten Zunahme der Flurabstände in Richtung Südosten.

Generell nehmen die Flurabstände, wie bereits erwähnt, von Süden nach Norden hin auf ähnlicher West-Ost-Ausrichtung ab. Der Abfall der Flurabstände ist von der südlichen Begrenzung des Arbeitsgebietes bis auf Höhe des südlichen Stadtrandes am drastischsten. Natürlich spielen dabei die zahlreichen natürlichen Erhöhungen durch Moränen und die generell mächtigen quartären Schotter eine entscheidende Rolle. Von der südlichen Stadtgrenze bis zum Nordrand des Arbeitsgebietes schwanken die Flurabstände zumeist nur noch zw. 0 und 10 m, wobei eine generelle Abnahme nach Norden hin zu beobachten ist. Auffällig ist hierbei ein spornartiger Fortsatz, der sich vom westlichen Stadtgebiet bis nach Unterschleißheim erstreckt. Hier sind die Flurabstände flächenhaft höher als auf vergleichbarer Höhe im östlichen Teil des Arbeitsgebietes. Die Moräne im Nordosten sei hierbei außer Acht gelassen.

In Bereichen der angebundenen, stehenden Oberflächengewässer bilden sich zumeist trichterartige Strukturen aus. Dies ist plausibel und liegt an dem Abfall der Geländeoberkante bis auf Höhe der Gewässer. Die Flurabstände nehmen hier radial ab und erreichen im Bereich der Gewässer den „0“-Wert.

Im südlichen Teil des Arbeitsgebietes, wo steile Hang- und Terrassenkanten entlang der Isar auftreten, schwanken die Flurabstände beträchtlich. Dies liegt vor allem an heterogenen Werten der Gelände- und Grundwasseroberfläche, die in diesen Bereichen durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden. Zum Teil wurden diese Bereiche auf der Karte ausgespart, da eine sinnvolle Konstruktion der Isolinien hier nicht möglich ist.

6.4.5 Grundwasserfließgeschwindigkeiten

Eine Übersicht über die verfügbaren Anlagen in diesem Bericht zu den Grundwasserfließgeschwindigkeiten gibt Tab. 32.

Bezeichnung der Anlage:	Inhalt
Anlage 9.1	Grundwasserfließgeschwindigkeiten Arbeitsgebiet
Anlage 9.2	Grundwasserfließgeschwindigkeiten Stadtgebiet

Tab. 32:
Anlagen zum Thema „Grundwasserfließgeschwindigkeiten“

6.4.5.1 Allgemeines

Die Grundwasserfließgeschwindigkeit spielt beim konvektiven Wärmetransport und damit bei der geothermischen Nutzung des Grundwassers eine wichtige Rolle. Beim „advektiven“ Wärmetransport wird die gespeicherte Wärme im Grundwasser mit der Abstandsgeschwindigkeit der Grundwasserströmung verfrachtet. Daher hat die Abstandsgeschwindigkeit einen großen Anteil an der Verteilung der

Wärme im grundwassererfüllten Untergrund und bestimmt den Transport der gespeicherten Wärme zu einem Nutzungsstandort und den Abtransport der Wärme über die Wärmestromfahnen im Abstrom einer Nutzung mit.

Im Allgemeinen wird für den quartären Grundwasserleiter des Projektgebietes Grundwasserfließgeschwindigkeiten von wenigen Metern pro Tag angegeben (DOHR & GRUBAN 1999: 24). Bei speziellen Verhältnissen, wie sehr gut durchlässige Schotter und relativ großes Grundwassergefälle, werden maximale Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 20 m pro Tag möglich (DOHR 1995: 4). MÜLLER (1952), SEILER (1979) und KÜHNHARDT & NIESSNER (1995) beschreiben Werte von 12-15 m·d⁻¹ in den quartären Kiesen aus der Münchner Schotterebene. ZOSEDER (2007) ermittelte über einen Tracerversuch im quartären Grundwasserleiter Abstandsgeschwindigkeiten zwischen 12 und 26 m·d⁻¹ mit mittleren Geschwindigkeiten von 16 m·d⁻¹. KISSKALT (1940) beschreibt maximale Abstandsgeschwindigkeit von über 63 m·d⁻¹.

Um die flächenhafte Variation der Grundwasserfließgeschwindigkeit im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene abschätzen zu können, wurde im Projekt die Grundwasserfließgeschwindigkeit über eine statische Darcy-Strömungsanalyse (in ArcGIS©) flächenabdeckend berechnet.

6.4.5.2 Datengrundlage und Methodik

Die Grundvoraussetzung für die flächenabdeckende Berechnung der Grundwasserfließgeschwindigkeit ist mit den im Projekt erarbeiteten, räumlich hoch aufgelösten Grundlagendaten gegeben. Dabei fließen die Grundwasseroberfläche, die über die konstruierte Quartärbasis abgeleitete grundwassererfüllten Mächtigkeit und die ermittelte hydraulische Durchlässigkeit mit ein.

Die in ArcGIS© implementierte Darcy-Strömungsanalyse berechnet über das Darcys-Gesetz ein Flussfeld. Das Flussfeld ist ein Vektorfeld von Grundwasserfließgeschwindigkeiten und wird durch zwei Raster dargestellt, eines für den Betrag und eines für die Richtung (siehe Kapitel 6.4.6) (www-01). Dabei wird eine durchschnittliche Geschwindigkeit (Abstandsgeschwindigkeit v_a) berechnet, indem die Darcy-Geschwindigkeit v durch die effektive Porosität n_e des Mediums geteilt wird. Die Berechnung erfolgt auf Basis der Rasterzellen. Im Projekt wurde dabei eine Zellengröße für das Raster von 10 m x 10 m gewählt. Die Berechnung erfolgt nach unten stehender Formel, wobei K die hydraulische Leitfähigkeit ist, Δh das hydraulische Gefälle, T die Transmissivität und b die grundwassererfüllte Mächtigkeit ist (www-01). Eine genauere Beschreibung der Berechnungsmethode über die Rasterzellen ist zum Beispiel in www-01 beschrieben.

$$v_a = \frac{v}{n_e} = \frac{-K \cdot \Delta h}{n_e} = \frac{-T \cdot \Delta h}{b \cdot n_e}$$

Als Eingangsdaten für die Geschwindigkeitsfeldberechnung wurden der im Projekt konstruierte Grundwassergleichenplan (Kapitel 6.4.1), die grundwassererfüllte Mächtigkeit (Kapitel 6.4.3) und die regionalisierte hydraulische Durchlässigkeit (Kapitel 6.4.2) verwendet. Mit der grundwassererfüllten Mächtigkeit und der regionalisierten Durchlässigkeit wurde eine Verteilung der Transmissivität berechnet (siehe Abb. 22).

Die Variation der effektiven Porosität zeigt in der Regel einen engen Zusammenhang mit der Variation der hydraulischen Durchlässigkeit (ENTENMANN, 1992). Daher ist um die effektive Porosität im Projektgebiet abzuleiten ein empirischer Zusammenhang über eine Regressionsanalyse gewählt worden (ZOSEDER, 2007). Dadurch ergaben sich Werte für die effektive Porosität zwischen 16% und 25%. Die räumliche Verteilung der effektiven Porosität ist gemäß der räumlichen Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte.

Bei der Interpretation der berechneten Grundwasserfließgeschwindigkeiten ist zu beachten, dass die in die Berechnung mit einfließenden Grundwassergleichen einen relativen Grundwasserniedrigstand im April 2014 repräsentieren. Daher kommt es sicherlich bei geänderten Grundwasserpotentialen in manchen Bereichen zu Abweichungen in den Fließgeschwindigkeiten. Eine noch deutlich höhere Unsicherheit bei der Berechnung der GW-Fließgeschwindigkeiten stellt jedoch sicherlich die Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit dar, deren Regionalisierung nur mit einer relativ geringen Punktdichte durchgeführt wurde (Kapitel 6.4.2).

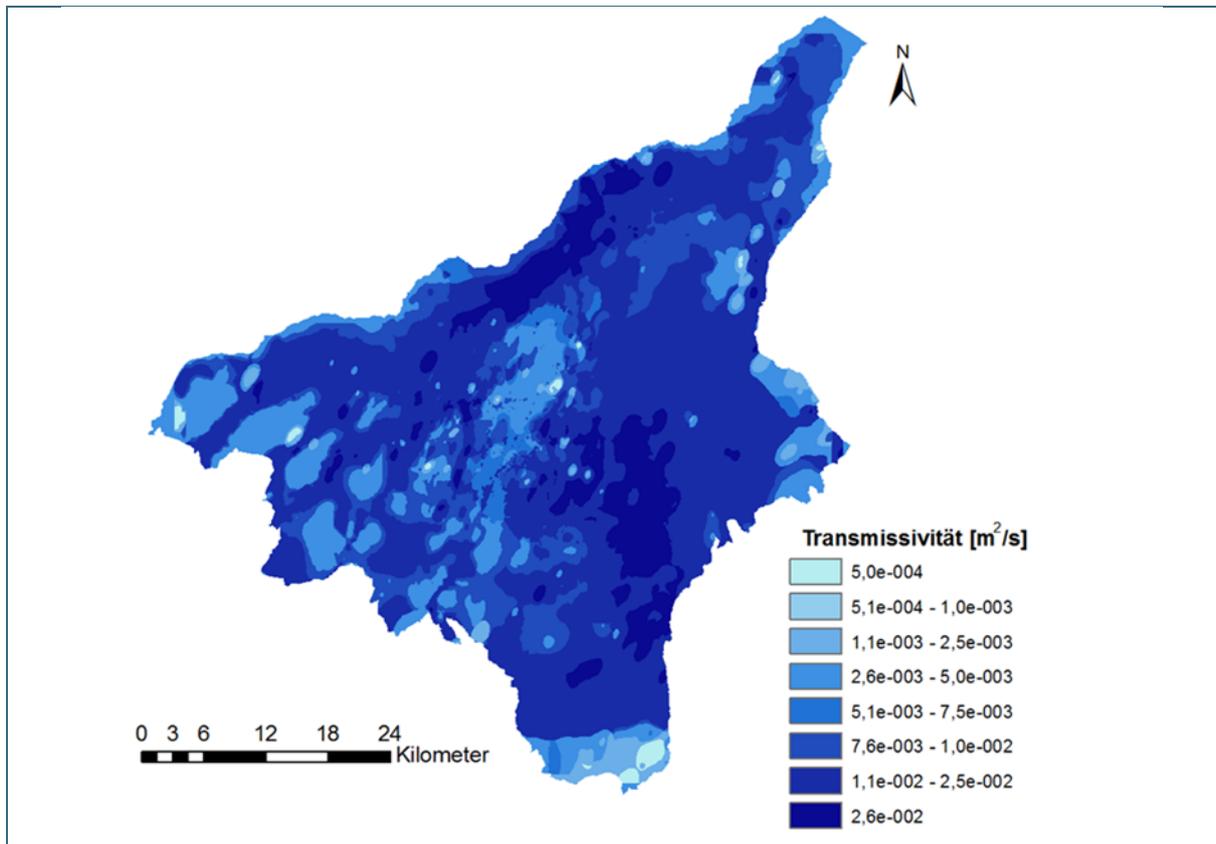


Abb. 22: Über die regionalisierte Durchlässigkeit und die grundwassererfüllte Mächtigkeit berechnete Verteilung der Transmissivität im Projektgebiet.

6.4.5.3 Ergebnisse

Die berechnete Verteilung der Grundwasserfließgeschwindigkeiten im Projektgebiet ist in Anlage 9.1 und 9.2 dargestellt. Dort ist ersichtlich, dass im Projektgebiet vorzugsweise Geschwindigkeiten zwischen 5 und 10 m³/d-1 auftreten (siehe Abb. 23). Der über die ganze Fläche des Projektgebiets berechnete Mittelwert liegt bei ca. 11 m³/d-1 (im Stadtgebiet München bei etwa 14 m³/d-1). Jedoch sind auch in größeren Flächen immer wieder Geschwindigkeiten zwischen 10 und 20 m³/d-1 zu finden. Dies fällt speziell im westlichen Stadtgebiet und südlich der Stadt München auf. In den Randbereichen der Schotterebene zeigen sich vermehrt geringere Fließgeschwindigkeiten. Die extrem hohen Fließgeschwindigkeiten mit über 30 m³/d-1 befinden sich an den Hangkanten an der Isar (Isartalrinne), besonders im Stadtgebiet und entlang des Höhenrückens Gauting bzw. der Würmtaler Rinne (siehe Anlage 4.1, 4.2, 9.1, 9.2). Diese Beobachtungen bestätigen die Annahme von DOHR (1995: 4), dass dort sehr hohe Grundwasserfließgeschwindigkeiten auftreten. Im Vergleich der berechneten Grundwasserfließgeschwindigkeiten im gesamten Bereich der Münchener Schotterebene und nur im Stadtgebiet fällt auf, dass die niedrigen Geschwindigkeiten im Stadtgebiet weniger häufig auftreten, dafür aber die Fließgeschwindigkeiten zwischen 10-20 m³/d-1 vermehrt vorkommen. Jedoch ist dazu einschränkend

zu erwähnen, dass die räumliche Auflösung der Grundwasserhöhengleichen und damit auch der hydraulischen Gefälle im Stadtgebiet um ein Vielfaches höher ist. Das kann bewirken, dass die lokal auftretenden hohen hydraulischen Gefälle im Umland von München nicht erkennbar sind und daher auch weniger häufig höhere GW-Fließgeschwindigkeiten auftreten.

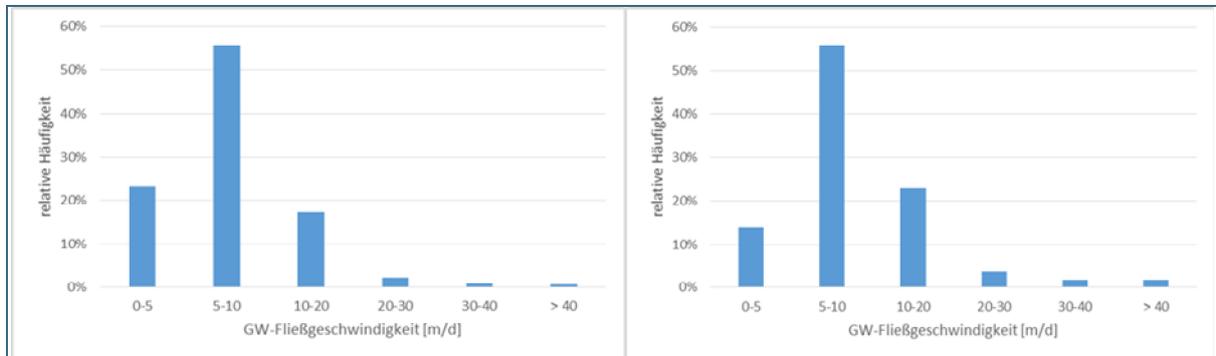


Abb. 23: Häufigkeit des Auftretens der Grundwasserfließgeschwindigkeiten in der Münchener Schotterebene (links) und nur im Stadtgebiet (rechts) (Berechnet aus einem 10 x 10 m Raster).

6.4.6 Grundwasserfließrichtung

Eine Übersicht über die verfügbaren Anlagen in diesem Bericht zu den Grundwasserfließrichtungen gibt Tab. 33.

Bezeichnung der Anlage:	Inhalt
Anlage 10.1	Grundwasserfließrichtungen Arbeitsgebiet
Anlage 10.2	Grundwasserfließrichtungen Stadtgebiet

Tab. 33: Anlagen zum Thema „Grundwasserfließrichtung“

6.4.6.1 Allgemeines

Die Grundwasserfließrichtung in der Münchener Schotterebene ist im Allgemeinen östlich der Isar von Südost nach Nordwest gerichtet und westlich der Isar von Südwest nach Nordost. (DOHR 1995: 4). Auf der Hoch- und Niederterrassen nimmt man weitgehend gleichmäßige Strömungsverhältnisse an. Im Bereich geomorphologischer Terrassenkanten kommt es allerdings zu Störungen im generellen Fließfeld und die Grundwasserfließrichtung verlagert sich teilweise deutlich in Richtung Isar (DOHR 1995: 5). In anderen Bereichen hat sich das Quartär rinnenartig in die Tertiäroberfläche eingeschnitten (Kapitel 6.3). In diesen Rinnen fließt das Grundwasser bevorzugt ab, sodass hier höhere Grundwasserfließgeschwindigkeiten auftreten und die Strömungsrichtung deutlich vom generellen Verlauf abweichen kann (DOHR 1995: 4).

6.4.6.2 Datengrundlage und Methodik

Die Berechnung der Grundwasserfließrichtung folgt analog der Berechnung wie sie unter Kapitel 6.4.5.2 beschrieben ist. Die maßgebliche Basis für die Ableitung der räumlichen Grundwasserfließrichtungen liefern naturgemäß die Grundwasserhöhengleichen (Kapitel 6.4.1). Die berechneten Fließgeschwindigkeiten wurden für eine einheitlichere und besser interpretierbare räumliche Darstellung nach nachfolgender Tab. 34 in Richtungsklassen zusammengefasst. Dabei sind die südlichen Richtungen Südost, Süd und Südwest in eine Klasse zusammengefasst worden, da alle diese Richtungen nur sehr untergeordnet in der Münchener Schotterebene vorkommen (siehe Abb. 24). Bei der Interpretation der Grundwasserfließrichtungen ist anzumerken, dass ihre Genauigkeit in Abhängigkeit der räumlichen Auflösung des Grundwassergleichenplans zu beurteilen ist. Daher sind die berechneten Fließrichtungen in Gebieten mit geringerer Messpunktdichte (Kapitel 6.4.1.4) mit höheren Unsicherheiten behaftet. Zudem gilt zu beachten, dass die Berechnungen eine GW-Fließrichtungen zum Zeitpunkt der Stichtagsmessung im April 2014 bei einem relativen Grundniedrigwasser darstellen.

Tab. 34: Klassifizierung der GW-Fließrichtung im Projektgebiet

Richtungsklassifizierung	N	NO	O	SO-S-SW	W	NW
Richtung in °	337,5-22,5	22,5-67,5	67,5-112,5	112,5-247,5	247,5-292,5	292,5-337,5

6.4.6.3 Ergebnisse

Das quartäre Grundwasser in der Münchener Schotterebene fließt in mehr als der Hälfte der Fläche direkt nach Norden. Die zweite Hauptfließrichtung ist Nordost (siehe Abb. 24). Jedoch treten auch Fließrichtungen nach Nordwesten und direkt nach Osten zu einem signifikanten Teil auf. Bei der Betrachtung der GW-Fließrichtungen (Anlage 10.1, 10.2) wird der große Einfluss der Isar auf das Fließregime deutlich. Wie bereits in der Literatur beschrieben, dominiert östlich der Isar in der Nähe des Flusses die Fließrichtung nach Nordwest. Diese Richtung kann sich jedoch auch lokal weiter ausbreiten. Es kann vermutet werden, dass dafür Rinnenstrukturen in der Quartärbasis verantwortlich sein können, wie im Südosten von München, wo eine Rinne bei Grub vorhanden ist (siehe Anlage 4.1, 4.2). Weiter markant ist, dass sich die Fließrichtung des Grundwassers westlich der Isar in Flussnähe auch direkt nach Osten, ohne nördliche Strömungskomponente, ausrichtet. Zudem treten westlich der Isar großräumig, und nicht nur in Flussnähe, Strömungsrichtungen des Grundwassers nach Nordwesten auf. Insbesondere ist dies erkennbar im Nordwesten der Münchener Schotterebene. Generell zeigt der westliche Teil im Vergleich mit dem östlichen Teil ein unruhigeres Strömungsregime.

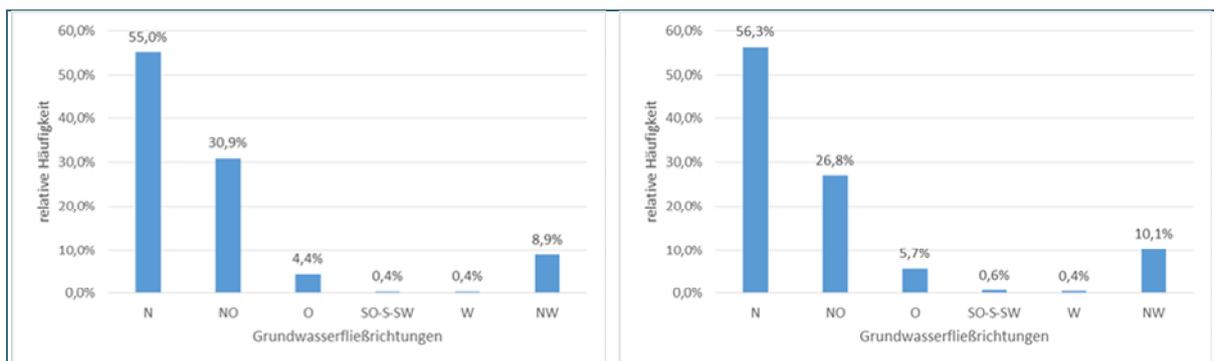


Abb. 24: Häufigkeit des Auftretens der Grundwasserfließrichtung in der Münchener Schotterebene (links) und nur im Stadtgebiet (rechts) (Berechnet aus einem 10 x 10 m Raster).

6.4.7 Interaktion zwischen dem quartären und tertiären Grundwasserstockwerk

Eine Übersicht über die verfügbaren Anlagen in diesem Bericht zur Interaktion zwischen dem quartären und tertiären Grundwasserstockwerk gibt Tab. 35.

Bezeichnung der Anlage:	Inhalt
Anlage 11.1	Interaktion Q/T Arbeitsgebiet
Anlage 11.2	Interaktion Q/T Stadtgebiet

Tab. 35: Anlagen zum Thema „Interaktion zwischen dem quartären und tertiären Grundwasserstockwerk“

6.4.7.1 Allgemeines

Direkt unterhalb des quartären Schotterkörpers treten im Bereich der Münchner Schotterebene, getrennt durch eine Erosionsdiskordanz, verschiedenartig ausgeprägte Sedimente des Tertiärs auf, die regional allgemein als „Flinz“ bezeichnet werden. Unterschieden wird hierbei in gering- bis quasi undurchlässige Flinzmergel und durchlässige, meist glimmerhaltige Flinzsande. Diese können zum Teil auch durch tertiäre Kieslagen unterbrochen sein.

Unter hydrogeologischen Gesichtspunkten zählen diese Flinzsande, bei gering ausgeprägter Mächtigkeit und Unterlagerung von undurchlässigen Sedimenten, zum quartären Grundwasserleiter („Oberes

Grundwasserstockwerk“). Bei höheren Mächtigkeiten dieser Sande kann davon ausgegangen werden, dass diese in (hydraulischem) Kontakt zu anderen tertiären Sedimenten stehen und mit dem tieferliegenden Tertiärgrundwasserleiter („Unteres Grundwasserstockwerk“) interagieren. Diese Kontaktzonen können somit einen hydraulischen Kurzschluss zwischen den Grundwasserstockwerken darstellen. Infolgedessen werden sie nachfolgend als „Hydraulische Fenster“ bezeichnet. Das hydraulische Potential in diesen Bereichen ähnelt, aufgrund des hydraulischen Kontaktes, dem des quartären Schotterkörpers. Dieses Kriterium ist ein weiterer Hinweis zur Identifizierung der „Hydraulischen Fenster“ (Anlage 11.1, 11.2).

6.4.7.2 Datengrundlage und Methodik

In diesem Kapitel erfolgt die Erläuterung der Methodik, die bei der Identifizierung des hydraulischen Kontakts zwischen dem quartären und tertiären Grundwasserleiter angewendet wurde.

Die Identifizierung der potentiellen hydraulischen Fenster beruht in erster Linie auf der Untersuchung der geologischen Gegebenheiten im Untergrund. Diese wurden in einer späteren Phase durch die Einbeziehung der hydraulischen Aspekte des Grundwassers ergänzt. Diese Maßnahmen ermöglichten es, auf Basis der Geologie, eine Regionalisierung von potentiellen Flinzsandbereichen im GEPO-Forschungsgebiet vorzunehmen, welche möglicherweise Kontaktzonen zwischen quartärem und tertiärem Grundwasserleiter darstellen. Diese wurden, wie bereits erwähnt, abschließend mit der Grundwasserhydraulik versucht zu bekräftigen.

Untersuchung der geologischen Gegebenheiten

Die Untersuchung der geologischen Gegebenheiten basiert ausschließlich auf den Bohrdaten des Bodeninformationssystems Bayern (BIS-BY). Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen mussten die Bohrdaten zwei Voraussetzungen erfüllen. Zum einen mussten sie das Tertiär antreffen, zum anderen über lithologische Daten und eine stratigraphische Einstufung verfügen. Die schon im Rahmen der Ermittlung der Quartärbasis (Verweis) kontrollierten BIS-Objekte, bildeten die Ausgangsdaten für die hier beschriebene Untersuchung. Es wurden insgesamt 19.547 BIS-Objekte mit einbezogen. Rund 45% dieser Objekte trafen an der Quartärbasis durchlässige tertiäre Ablagerungen an, wobei es sich dabei zum Großteil um Flinzsande handelte. Tab. 36 zeigt einen Überblick über die verwendeten Bohrdaten.

Verhältnisse an der Quartärbasis	Datenanzahl
Bohrungen mit geringdurchlässigen Ablagerungen an der Quartärbasis	10.622
Bohrungen mit durchlässigen Ablagerungen an der Quartärbasis (insgesamt)	8.925
<i>Davon: Tertiärer Sand</i>	203
<i>Davon: Tertiärer Kies</i>	20
<i>Davon: Tertiärer Sand und Kies</i>	
Gesamt	19.547

Tab. 36: Übersichtstabelle der verwendeten Daten zur Analyse des hydraulischen Kontakts zwischen Quartär und Tertiär.

Die Entwicklung intelligenter Suchverfahren für Massendaten, kombiniert mit der Durchführung einer umfangreichen Filtrierung auf Basis der im BIS-BY verzeichneten petrografischen Bezeichnung (Hauptbestandteile) und Stratigraphie, ermöglichte die Ermittlung und Unterteilung nach der an der Quartärbasis angetroffenen lithologischen Parametern. Im Folgenden konnten somit die Mächtigkeiten der Flinzsande je BIS-Objekt berechnet werden, wobei hier auch die Kiesbeimengungen mit einbezogen wurden. Den 10.622 Bohrungen die keine Flinzsande aufweisen, wurde ein Mächtigkeitswert (der Flinzsande) mit „0“ zugewiesen. Eine erste Interpolation per „Natural-Neighbor-Verfahren“ ermöglichte, analog zur Quartärbasis (Kapitel 6.3), „Ausreißer“ zu identifizieren und erneute Datenkorrekturen durchzuführen.

Die sich daraus ergebenden Mächtigkeiten wurden in einer späteren Phase Gegenstand der geostatistischen Auswertung. In diesem Fall wurde ein exponentielles Modell zur geostatistischen Auswertung ausgewählt. Abb. 25 und Tab. 37 zeigen jeweils das empirische (blaue Linie) und das theoretische (schwarze Linie) Semivariogramm, sowie ihre wichtigsten Eigenschaften.

Die nachstehende Flächenschätzung der Mächtigkeitsverteilung wurde per Ordinary-Kriging-Verfahren durchgeführt. Die wichtigsten Parameter beinhaltet Tab. 38. Danach wurde per ArcGIS© eine räumliche Untersuchung für das gesamte GEPO-Forschungsgebiet durchgeführt. Ziel war es, eine Auswahl der Flinzsandbereiche festzulegen, in denen die höchsten Mächtigkeiten auftreten. In diesem Sinn wurde es als zweckmäßig erachtet Bereiche auszuwählen, wo Mächtigkeiten von größer 4 m verzeichnet sind. Diese Bereiche der Flinzsande stellen, nach dem Kriterium der Geologie, potentielle Gebiete hydraulischer Fenster dar.

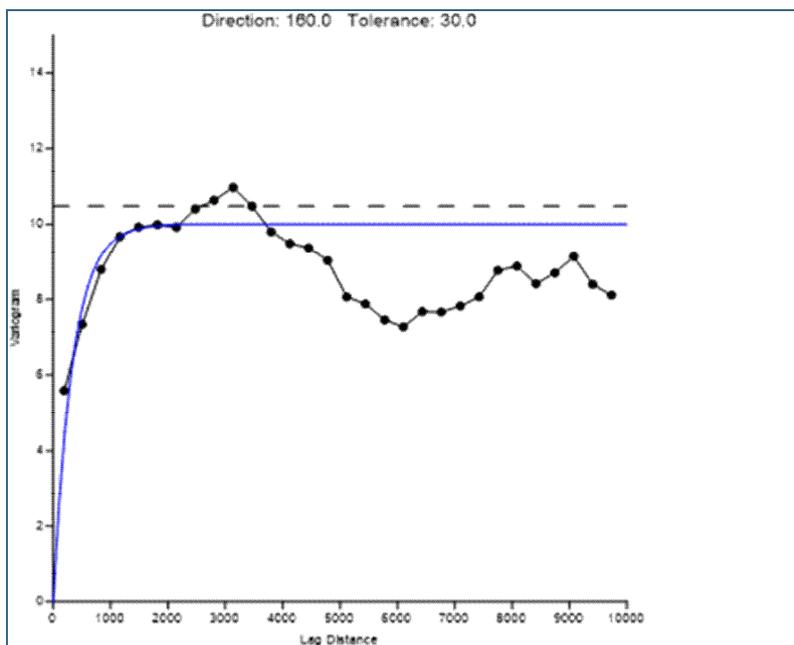


Abb. 25: Variogramm der Mächtigkeitsverteilung der Flinzsande.

Experimental Semivariogram	Theoretical Semivariogram
Lag Direction: 160	<i>Exponential Model</i>
Tolerance: 30	<i>Scale: 10</i>
Step Amount: 10	<i>Length: 350</i>
Max. Lag. Dist.: 10.000	<i>Anisotropy ratio: 2</i>
Number of Lags: 66	<i>Anisotropy angle: -10</i>
Lag Width: 151,52	
Vertical Scale: 15	

Tab. 37: Semivariogramm-Eigenschaften der Mächtigkeitsverteilung der Flinzsande

Ergänzung hydraulischer Aspekte

Parallel zu den geologischen Gegebenheiten wurden auch hydraulische Aspekte des Grundwassers betrachtet. Hierbei wurden Messstellen betrachtet, bei denen im Zuge der Stichtagsmessung 2014 Grundwasserstände für den tertiären Grundwasserleiter erfasst wurden.

An den Punkten dieser Messstellen wurde die Differenz zwischen quartärem, aus dem interpolierten Grundwassergleichenplan, und tertiärem Grundwasserstand ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Differenzen an ausgewählten Messstellen annähernd 0 m betragen. Damit ist in diesem Fall das

hydraulische Potential der beiden Grundwasserleiter auf dem annähernd selben Niveau, was ein Hinweis auf einen hydraulischen Kontakt zwischen diesen darstellt. Mittels räumlichen Analysen per ArcGIS®, wurden die tertiären Messstellen ausgewählt, die sich zudem mit den bereits identifizierten Flinzsandbereichen überlappen. So konnten Areale festgesetzt werden, wo neben erheblichen Mächtigkeiten an Flinzsanden auch geringe Potentialdifferenzen (zw. -1 und 1 m) auftreten, und ein hydraulischer Kontakt vermutet werden kann. Es muss angemerkt werden, dass Messungen von tertiären Grundwasserständen kein Hauptbestandteil des Projekts waren und demnach recht spärlich vorhanden sind. Dementsprechend konnten nicht alle Bereiche potentieller hydraulischer Fenster durch die Hydraulik be- oder entkräftet werden.

Gridding Method	Kriging
<i>Kriging Type</i>	Point
<i>Polynomial Drift Order</i>	0
<i>Original Data</i>	19.547
<i>Active Data</i>	19.517
<i>Spacing X Direction</i>	50
<i>Spacing Y Direction:</i>	50
<i>Grid Size</i>	1505 rows x 1341 columns
<i>Total Nodes</i>	2.018.205

Tab. 38:
Interpolationsparameter der Mächtigkeitsverteilung der Flinzsande

6.4.7.3 Ergebnisse und Interpretation

Das Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen wird in Anlage 11.1 und 11.2 dargestellt. Diese zeigt die Verteilung der Flinzsande mit vermuteten hydraulischen Fenstern im GEPO-Gebiet. Alle dargestellten Bereiche weisen Mächtigkeiten der Flinzsande von größer 4 m auf. Insgesamt wurden 280 Strukturen identifiziert, die potentielle hydraulische Fenster, aufgrund der Geologie, darstellen können. Davon können 15 Strukturen durch die hydraulischen Potentiale bekräftigt werden. Die Mächtigkeiten der Flinzsande liegen im Projektgebiet zw. 4 – 50 m, wobei Werte größer 18 m nur sehr lokal auftreten.

Parallel wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Daher werden die folgenden Ergebnisse mit mehreren Zitaten aus der Literatur abgeglichen und ergänzt, die zusätzliche Hinweise auf hydraulische Fenster geben.

Lokalität Moosburg / Semptwiesen (Kiesabbau)

Nach BLASY + MADER (2002, S. 3) fehlt eine durchgehende, trennende Schicht zwischen dem oberen Tertiär und den quartären Schottern im Raum des Kiesabbaus Moosburg / Semptwiesen. Wie aus Abb. 26 ersichtlich, wurde dies auch durch die durchgeführten Analysen bestätigt. So treten nördlich der B11 Mächtigkeiten der Flinzsande von bis zu 12 m, südlich von bis zu 50 m (GWM 4a) auf.

Lokalität Stadtgebiet München entlang der U-Bahn-Trasse

Laut BLASY (1974, S. 10) und GEBHARD (1968) treten entlang der U-Bahn im Münchner Stadtgebiet oftmals Flinzsande- oder Mergeln auf. Wie aus Abb. 27 ersichtlich, liegen die ermittelten Bereiche der Flinzsande oftmals im Bereich der U-Bahn-Trasse und bestätigen die Aussagen.

Lokalität südlich der Pionierkaserne Krailling

Laut BLASY (1974, S. 10) existiert im Bereich der Pionierkaserne Krailling ein Gebiet mit einer ca. 4 m mächtigen Feinsandschicht. Abb. 28 zeigt einen Ausschnitt dieses Gebiets. Ebenso existiert hier eine Zone, zwischen Sportplatz und Pentenrieder Straße, mit Mächtigkeiten von bis zu 6,5 m.

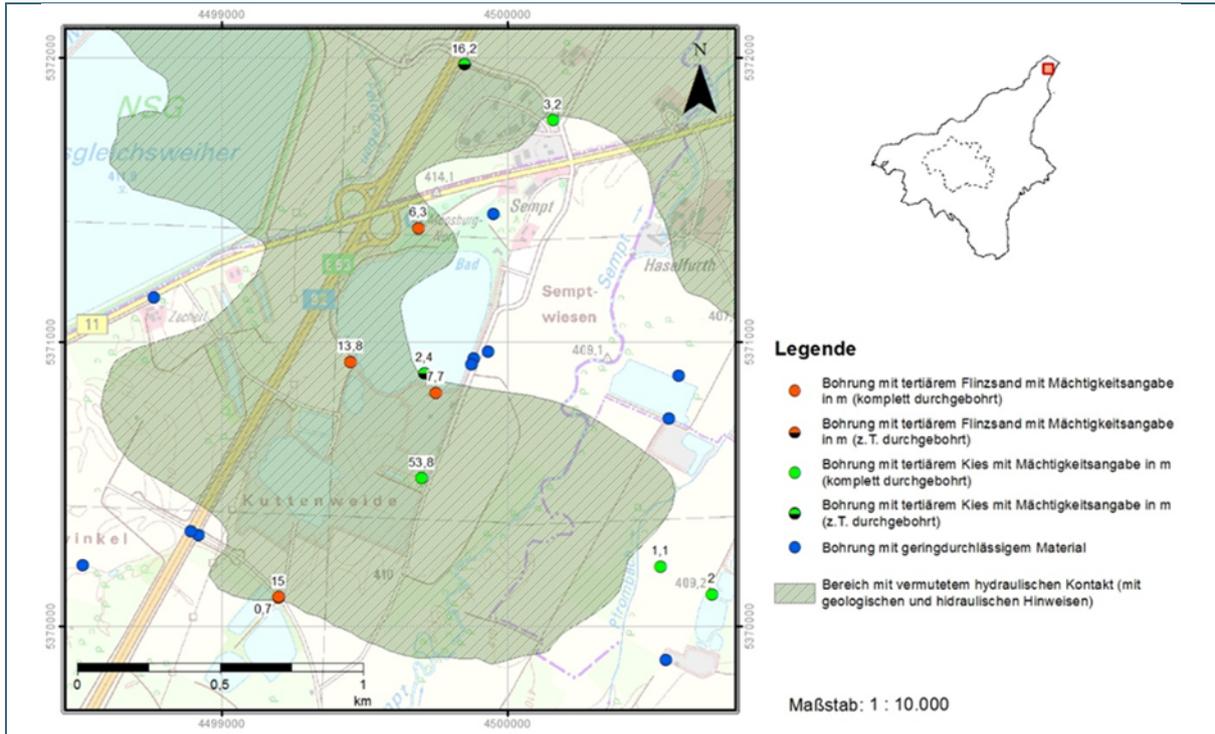


Abb. 26: Bereich der Flinzsande mit vermutetem hydraulischen Kontakt zw. Quartär und Tertiär (Lokalität: Moosburg / Semptwiesen).

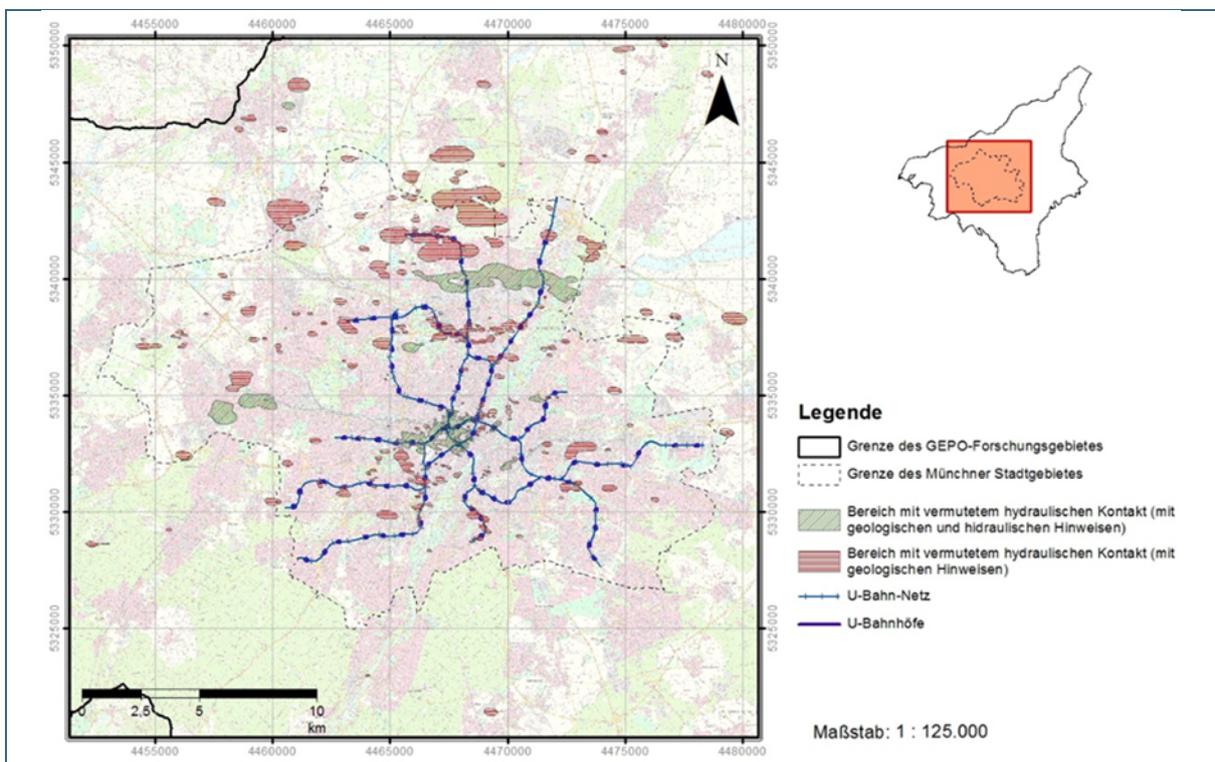


Abb. 27: Bereich der Flinzsande mit vermutetem hydraulischen Kontakt zw. Quartär und Tertiär (Lokalität: Stadtgebiet München entlang der U-Bahn-Trasse).

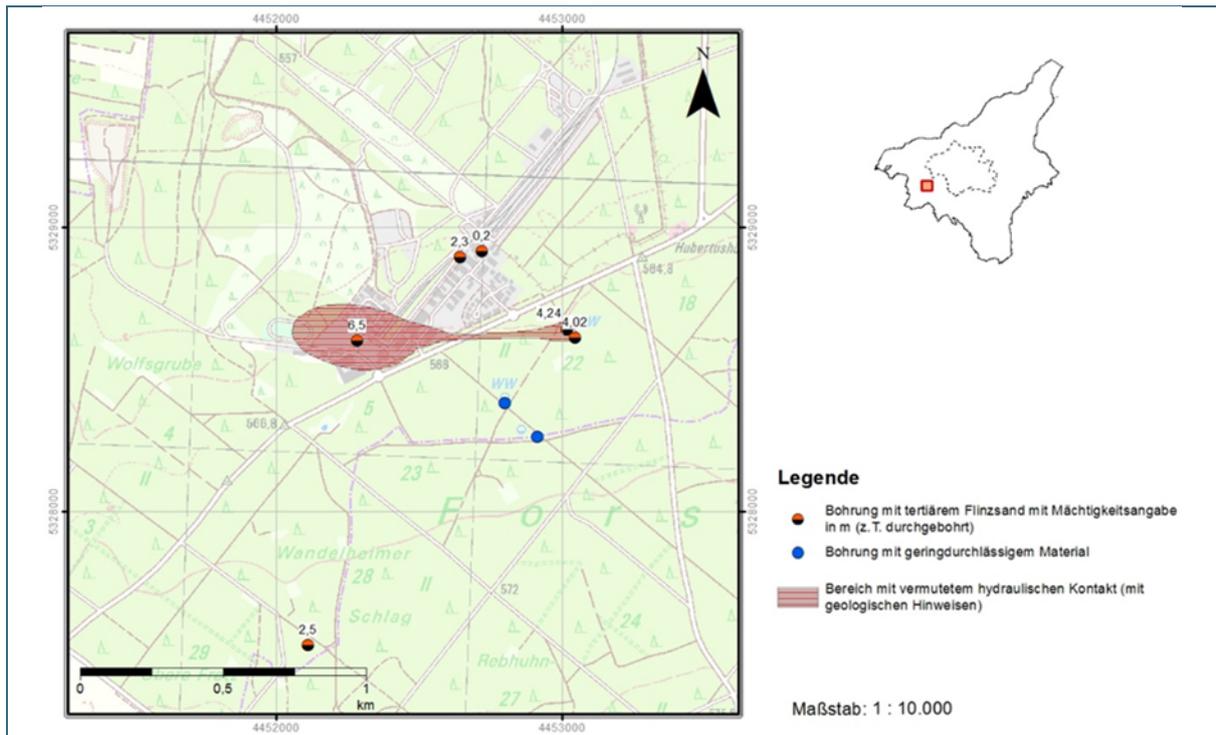


Abb. 28: Bereich der Flinzsande mit vermutetem hydraulischen Kontakt zw. Quartär und Tertiär (Lokalität: südlich der Pionierkasernen Krailling).

Lokalität Abfanggraben

Laut SCHIRM (1968, S. 10) wird im Bereich des Abfanggrabens eine Mächtigkeit von mindestens 12,5 m erreicht. Diese Annahme stimmt weitgehend mit den Ergebnissen der durchgeführten Analyse überein. Wie aus der Teilübersicht Abb. 29 zu erkennen ist, sind laut geologischer Analyse mehrere hydraulische Fenster in diesem Gebiet zu erwarten. Zwischen Abfanggraben und A99 ist ein Bereich mit Mächtigkeiten von mindestens 12,5 m zu erkennen.

Sowohl westlich, im Raum der Trainingsbahn, als auch östlich, bei der Kiesgrube, werden Mächtigkeiten der Flinzsande von mindestens 9 m erreicht.

Lokalität Deisenhofener Forst / Raum Deisenhofen

Nach SCHIRM (1968, S. 10-14) wird im Bereich des Deisenhofener Forstes an der Quartärbasis Flinzsand mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit zwischen 5 - 10 m und mit einem Maximalwert von 14 m angetroffen. Zudem wurden im Raum Deisenhofen beträchtliche Vorkommen an Flinzsand erwähnt. Die durchgeführten Studien bekräftigen die Aussagen SCHIRMS, mit Mächtigkeiten von 14 m nordwestlich Otterlohs und ca. 8 m im Deisenhofener Forst sowie im Raum Deisenhofen (Abb. 30).

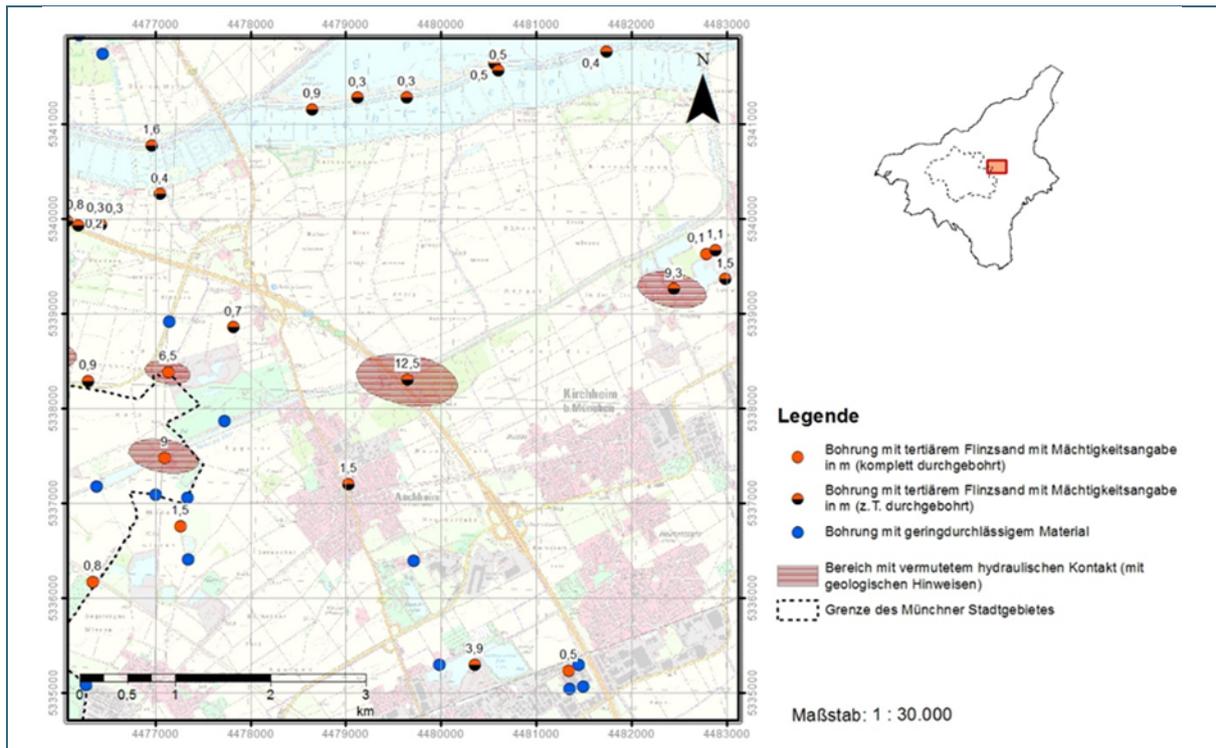


Abb. 29: Bereich der Flinzsande mit vermutetem hydraulischen Kontakt zw. Quartär und Tertiär (Lokalität: Abfanggraben).

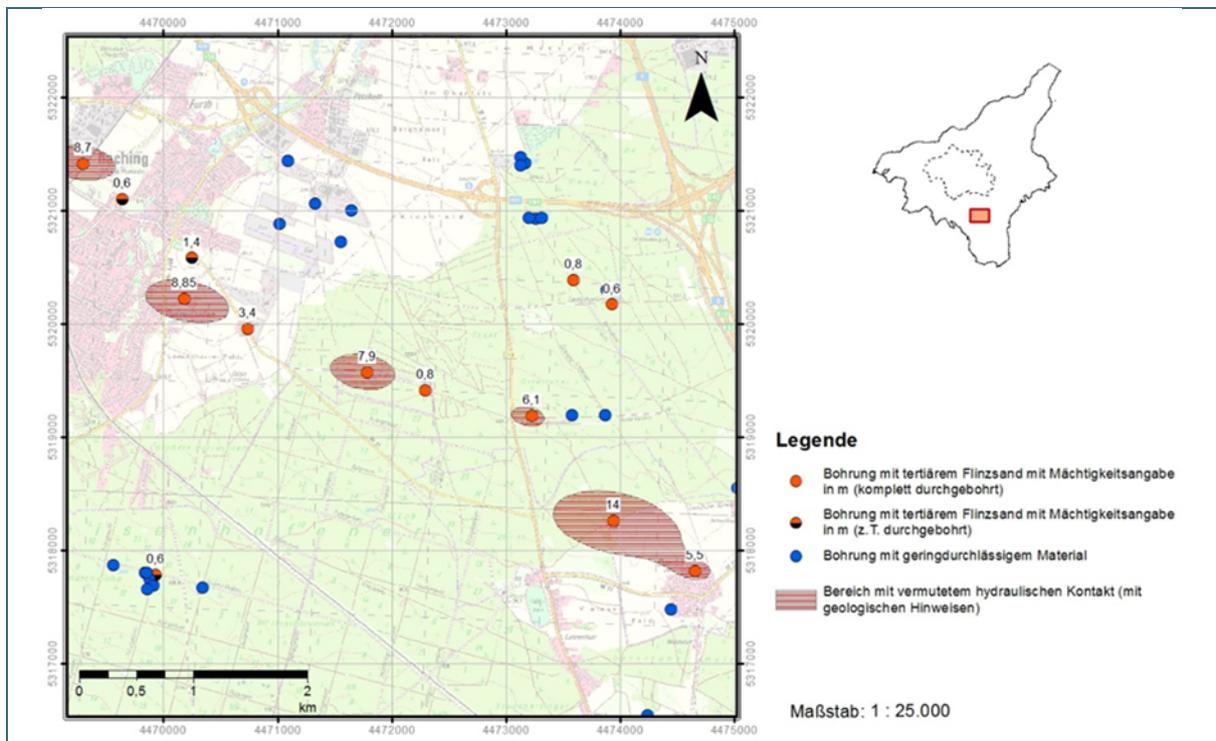


Abb. 30: Bereich der Flinzsande mit vermutetem hydraulischen Kontakt zw. Quartär und Tertiär (Lokalität: Deisenhofer Forst / Raum Deisenhofen).

6.5 Geothermisches Potential

6.5.1 Auswertung der flächenhaften Grundwassertemperaturverteilung

Eine Übersicht über die verfügbaren Anlagen in diesem Bericht zur Auswertung der flächenhaften Grundwassertemperaturverteilung gibt Tab. 39.

Bezeichnung der Anlage:	Inhalt
Anlage 12.1	Grundwassertemperaturen Arbeitsgebiet
Anlage 12.2	Grundwassertemperaturen Arbeitsgebiet
Anlage 12.3	Grundwassertemperaturen Stadtgebiet

Tab. 39:
Anlagen zum Thema „Auswertung der flächenhaften Grundwassertemperaturverteilung“

6.5.1.1 Allgemeines

Die genaue Kenntnis der lokalen Verteilung und der zeitlichen Variation von Grundwassertemperaturen ist notwendig, um das geothermische Potenzial in der Fläche abschätzen zu können. Dabei wird die Grundwassertemperatur von klimatischen und anthropogenen Einflüssen bestimmt. Direkt werden die Grundwassertemperaturen dabei von Wärmeeintrag und Wärmeentzug beeinflusst. Die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen in Abhängigkeit Luft- und Bodentemperatur, sowie der Temperatur des Niederschlags stellen einen der bedeutendsten Einflüsse dar (DOHR 2011: 41). Zu jeder Jahreszeit lässt sich ein charakteristisches Tiefentemperaturprofil zuweisen (Abb. 31). Im Winter ist die Grundwassertemperatur an der Oberfläche kälter und nimmt mit zunehmender Tiefe zu. Im Sommer lässt sich genau das Gegenteil beobachten. Generell nimmt der Einfluss der Oberflächentemperatur mit zunehmender Tiefe ab (DOHR 2011: 34).

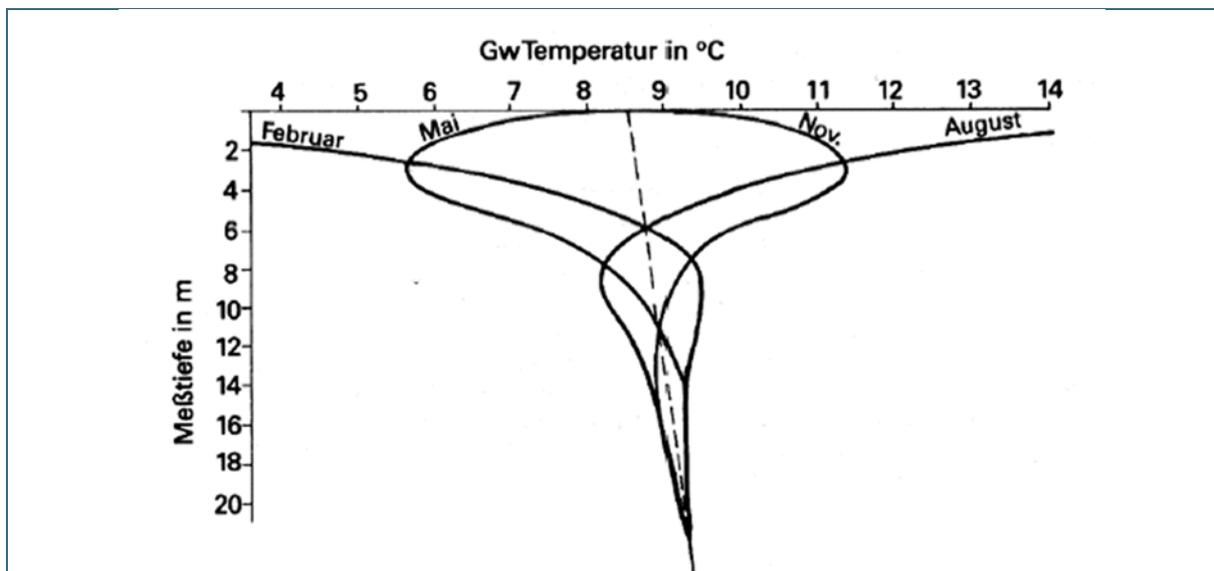


Abb. 31: Saisonales Profil eines anthropogen unbeeinflussten Temperaturverlaufs (DOHR 2011: 34).

Der Temperaturverlauf der einzelnen Jahreszeiten tritt phasenverschoben auf. Demzufolge wird das Temperaturmaximum eines Jahres im vierten Quartal gemessen und das Temperaturminimum im zweiten Quartal (DOHR 2011: 34). Anzumerken ist, dass der dargestellte Temperaturverlauf ein von anthropogenen Einflüssen ungestörtes Profil zeigt. Auch die Infiltration von Oberflächengewässern kann für Veränderungen der Grundwassertemperatur verantwortlich sein. Im Sommer bewirkt eine Infiltration einen positiven Wärmeeintrag und im Winter eine negative Temperaturänderung (DOHR 2011: 41).

Anthropogene Einflussfaktoren können verschiedenste Wärme- bzw. Kältequellen sein. Abb. 32 veranschaulicht die wichtigsten anthropogenen Einflussparameter auf die Grundwassertemperatur in einer Stadt (MENBERG et al. 2012: 127, Abb. 32). Dabei unterscheidet man Gebiete wie Stadtkern, Wohnorte, Industrie und Umland, in denen sich die Grundwassertemperatur deutlich unterscheiden kann.

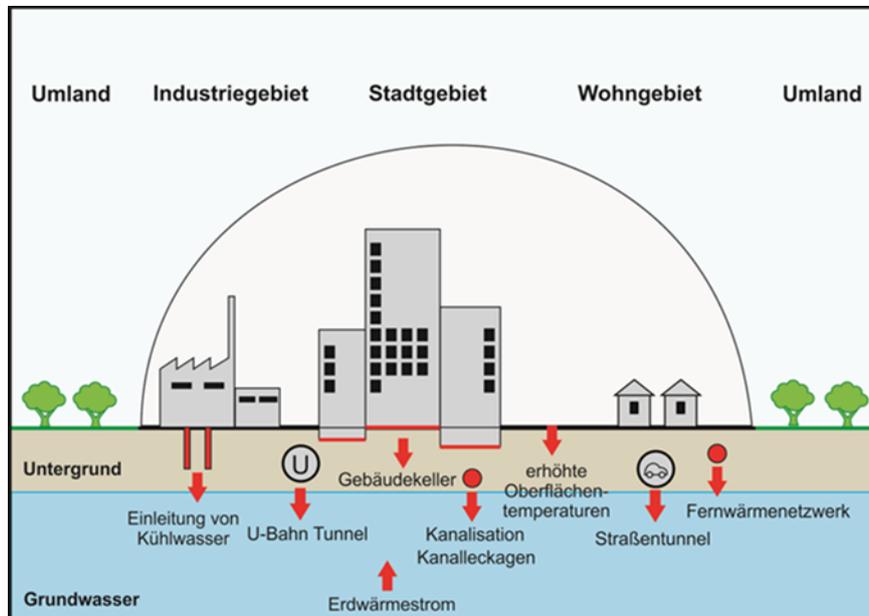


Abb. 32: Anthropogene Wärmequellen in urbanem Gebiet (MENBERG et al. 2012: 127).

Untersuchungen über die urbane Grundwassertemperaturverteilung in den Städten Berlin, München, Frankfurt, Köln, Karlsruhe und Darmstadt zeigten, dass eine heterogene Grundwassertemperaturverteilung in allen sechs Städten deutlich erkennbar ist. Es gibt Bereiche mit stark erhöhten Grundwassertemperaturen, sowie mit kühleren Grundwassertemperaturen. Außerdem weist die Anstromseite der Städte eine generell niedrigere Grundwassertemperatur auf, als die Abstromseite. Die höchsten Grundwassertemperaturen liegen meist im Stadtzentrum (13°C-18°C). Die kältesten Messwerte liegen zwischen 7°C und 11°C im Umland mit niedriger Bebauungsdichte und Wald- und Wiesengebieten. In Wohngebieten, Vororten und innerstädtische Grünflächen ist dagegen eine leicht erhöhte Grundwassertemperatur bemerkbar (MENBERG et al. 2012: 126 f.).

In DOHR (1989), DOHR & GRUBAN (1999) und DOHR (2011) wurde bereits die Grundwassertemperaturverteilung der Stadt München untersucht und Einflussfaktoren aufgezeigt. Diese Arbeiten weisen einen deutlichen Anstieg der Grundwassertemperaturen in Richtung der Stadtmitte auf. Unbeeinflusste Bereiche liegen im Süd- und Nordrand der Stadt. Im Forstgebiet im Süden repräsentieren die Temperaturen zwischen 8 °C und 9 °C die "natürlichen" Grundwassertemperaturverhältnisse. Es wurde beobachtet, dass die jährlichen Temperaturschwankungen bei kleinen bis mittleren Flurabständen (vorwiegend im Norden der Stadt) eine höhere Dynamik aufweisen als bei großen (südlicher Stadtbereich) Flurabständen. Im Stadtzentrum ließen sich generell Grundwassertemperaturen flächenhaft zwischen 14 °C und 17 °C messen, lokal sogar größer als 17 °C. Allgemein ist die Grundwassertemperatur quartären Grundwasserleiter im Innenstadtbereich um mehrere Grad gegenüber des Umlands erhöht. Weiter wurde erkannt, dass Spitzenwerte der Grundwassertemperatur über 14 °C im Messzeitraum von 2009-2010 im Vergleich mit den Messungen von 1996-1998 an mehreren Messstellen zu messen waren (statt an 9 % an ca. 18 %) DOHR (2011). Die Grundwassertemperaturverteilung in München wird generell als stark heterogen beschrieben. In München stellen vor allem die ausgeprägten U- und S-Bahntunneln eine signifikante Wärmequelle dar (DOHR 1989: 104 ff., DOHR

2011: 41 f.). Besonders bei Kreuzungsbahnhöfen, aber auch bei normalen Bahnhöfen, lassen sich deutlich erhöhte Grundwassertemperaturen messen. Bei Bahnhöfen mit sehr starken Verkehrsaufkommen, wie z.B. Stachus, Sendlingertor usw., treten Temperaturen von bis zu 20°C und darüber hinaus auf (DOHR 1989: 105).

Im Projekt sollen allgemein die Grundwassertemperaturverhältnisse möglichst flächendeckend in der Münchener Schotterebene betrachtet und die räumliche und zeitliche Dynamik der Grundwassertemperatur aufgezeigt werden.

6.5.1.2 Datengrundlage und Methodik

Um die Dynamik der Grundwassertemperaturverhältnisse in der Münchener Schotterebene einschätzen zu können, werden einmal vorhandene Messungen in der Fläche ausgewertet und die saisonalen Differenzen analysiert. Diese Analyse wird verwendet um langjährige Veränderungen und die saisonalen Schwankungen zu ermitteln und die Änderungen räumliche aufzulösen um somit Hinweise auf Interaktion zwischen den Grundwassertemperaturen und äußeren Faktoren zu bekommen. Für die Flächenauswertung werden je nach Datengrundlage verschiedene Interpolationsverfahren angewendet. Nach Möglichkeit erfolgt die räumliche Analyse mit geostatistischen Verfahren, so dass auch die räumlich-strukturelle Abhängigkeit in die Analyse miteinbezogen werden kann. Zusätzlich zu den Auswertungen der vorhandenen Datenbasis wurde im Projekt im Zuge der Stichtagsmessung im April 2014 (Kapitel 5.2.9) großflächig die Grundwassertemperaturen gemessen. Diese Messungen wurden mit den Stamm- und Ausbaudaten der Messstellen qualitätskontrolliert und für eine flächenhafte Darstellung der Grundwassertemperatur im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene verwendet.

- Zusammenfassend wurden für die Einschätzung der flächendifferenzierten Grundwassertemperaturen im quartären Grundwasserleiter der Münchner Schotterebene folgenden Untersuchungen durchgeführt:
- Recherche und Analyse der bereits vorhandenen Messungen zur Grundwassertemperatur im quartären Grundwasserleiter der Münchner Schotterebene
- Erstellung von Differenzanalysen zwischen verschiedenen Messzeiträumen der Grundwassertemperaturen
- Flächendifferenzierte Messung und Auswertung der Grundwassertemperaturen im Rahmen der durchgeführten Stichtagsmessung im April 2014

Analyse der bestehenden Datenanalyse und Berechnung von Differenzkarten:

Für die Erstellung von Differenzkarten unterschiedlicher Jahre wurden Auswertung von drei vorhandenen flächendeckenden Messzyklen der Grundwassertemperatur (1983-85, 1996-98 und 2009-10) verwendet. Die Messungen wurden vom Referat für Gesundheit und Umwelt der Stadt München (RGU) zur Verfügung gestellt. Da diese Messungen lediglich im Stadtgebiet München durchgeführt wurden konnte diese Analyse auch nur für das Stadtgebiet durchgeführt werden. Bei den Analysen sollten die räumlich-zeitlichen Veränderungen sowie Hinweise auf die Ursachen der Temperaturanomalien anhand nachstehender Faktoren untersucht und analysiert werden:

- Klimatisch (saisonal) bedingte Schwankungen
- Interaktion mit Oberflächengewässern
- Flurabstand
- Ausprägung des Grundwasserleiters (Mächtigkeit, hydraulische Durchlässigkeit)

- Einfluss von Untergrundbauwerken
- Auswirkungen bestehender geothermischer Nutzungen

Je Messzyklus wurden zwischen 5 und 8 Stichtagsmessungen der Grundwassertemperaturen, jedoch mit unterschiedlicher Flächendeckung und Messstellenanzahl (ca. 250 – 600), durchgeführt. Um eine Vergleichbarkeit der Flächenverteilung herzustellen, wurden die Datensätze auf übereinstimmende Messlokationen reduziert. Anschließend wurden einzelne Isothermenkarten je Stichtagsmessung, Differenzkarten innerhalb und zwischen den Messzyklen, sowie statistische Auswertungen der Messreihen erstellt.

Auswertung der Grundwassertemperaturen im Zuge der Stichtagsmessung im April 2014:

Gleichzeitig mit der Stichtagsmessung im April 2014 zur Erstellung der Grundwasserhöhengleichen wurden an 1479 Messstellen die Grundwassertemperatur mitgemessen. Die Temperatur wurde dabei immer 1 m unter der Grundwasseroberfläche gemessen. Dieses Vorgehen verfolgte zwei Aspekte: Zum einen sind die einzelnen Messwerte auf einen einheitlichen Horizont bezogen und sind vergleichbar und zum anderen sind die Messungen somit kompatibel zu den Messungen, welche in den vergangenen Jahren vom RGU durchgeführt wurden. Aufgrund der Tatsache, dass bei der Stichtagsmessung nicht genügend Lichtlote mit integrierter Temperaturmessung zur Verfügung standen, konnten leider nicht in allen Gebieten der Schotterebene bei der Stichtagsmessung auch Temperaturmessungen erfolgen. Zudem konnten in der Regel keine Temperaturmessungen von externen Institutionen eingeholt werden. Daher blieben insbesondere im Südosten und Nordosten der Schotterebene Lücken bei der flächenhaften Grundwassertemperaturerhebung.

Die gemessenen Temperaturen wurden im Anschluss qualitätskontrolliert und anhand eines geostatistischen Verfahrens ausgewertet. Bei der Variogrammanalyse (Abb. 33) wurde Lagweiten von 200 m an die empirischen Daten ein sphärisches Modell angepasst. Die Aussageweite betrug 3600 m bei einem Sill von 3,7. Bei der Strukturanalyse ergab sich eine Anisotropie von 1,6 in Richtung Nordost, die für die Interpolation angewandt wurde. Die berechnete Kriging-Varianz weist im Stadtgebiet relativ geringe Werte, größtenteils unter 0,5 bis zu 1 auf. In den Außenbereichen lagen die Abweichungen bei 1-2 °C.

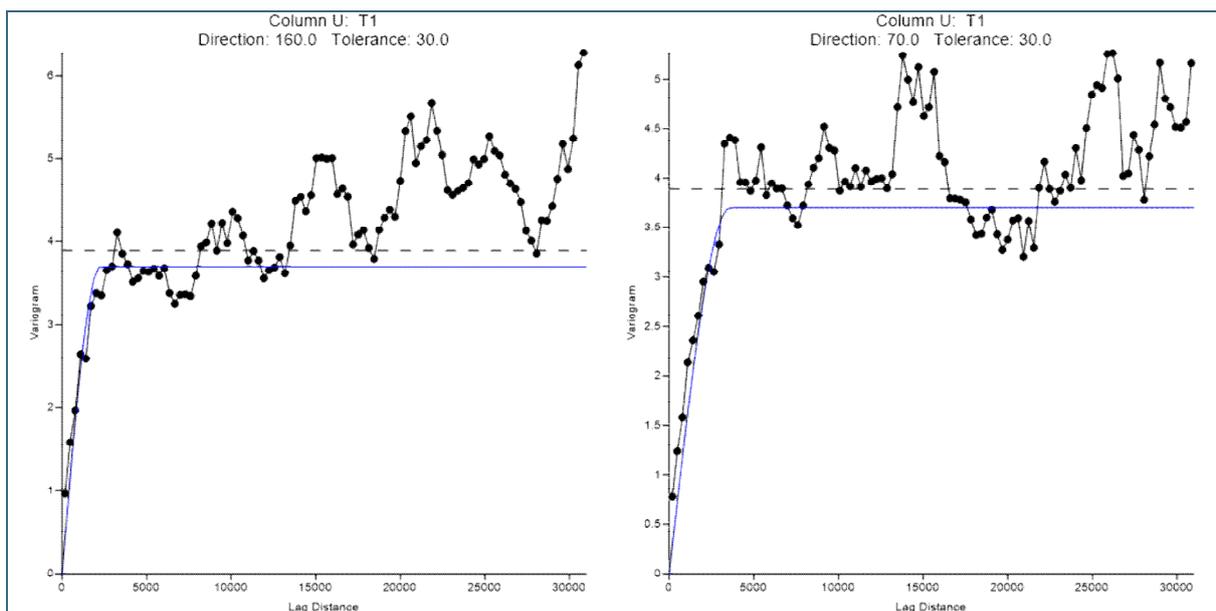


Abb. 33: Richtungs-Variogramme mit dem angepassten sphärischen Modell bei der geostatistischen Analyse der gemessenen Grundwassertemperaturen.

6.5.1.3 Ergebnisse

Interpretation der Grundwassertemperatur-Dynamik über GWT-Differenzenkarten:

Anhand der Analyse flächenhafter Temperaturdifferenzen konnten jahreszeitliche Schwankungen und Hot-Spots erkannt, sowie Hinweise auf Ursachen der Temperaturveränderungen und Anomalien gefunden werden. Einige lokale Anomalien jedoch konnten nicht mit unmittelbaren Ursachen in Zusammenhang gebracht werden. Durch die Grundwassertemperatur-Differenzenkarten konnten Hinweise auf natürliche und anthropogene Interaktionen gewonnen werden. Kühlende Einflüsse in den Wintermonaten und wärmende Einflüsse in den Sommermonaten um jeweils bis zu 4 K der Vorflut Isar auf die Grundwassertemperatur wurden insbesondere im Süden des Stadtgebiets ersichtlich. Ebenso ist der Einfluss bestehender geothermischer Nutzungen (Kühlen oder Heizen) und der U-Bahn-Bauwerke auf die Grundwassertemperatur deutlich zu sehen. Darüber hinaus sind die Auswirkungen von Schwankungen in der Grundwasserleitermächtigkeit auf die Grundwassertemperatur erkennbar. Diese sind bedingt durch Rinnenstrukturen in der Grundwasserleiterbasis, innerhalb derer die Grundwassertemperatur mehr oder wenig konstant bleibt, sowie von tertiären Hochflächen, die meist deutlichen Änderungen der Grundwassertemperatur nach sich ziehen (Abb. 38, Abb. 39, Abb. 40, Abb. 41).

Eindeutige Trends ansteigender urbaner Grundwassertemperaturen konnte bei der Analyse der Messzyklen von 1983 bis 2010 zuerst nicht erkannt werden, sondern wurden erst bei jahreszeitlich getrennter Betrachtung in den „Sommermonaten“ deutlich (Abb. 35). Generell verlaufen Erwärmung und Abkühlung des Grundwasserkörpers über die Jahre sehr heterogen, was durch einen exemplarischen Vergleich der Messungen im Juli innerhalb der Messzyklen verdeutlicht werden kann. An 60 % der Messstellen findet zwischen Juli 1996-1997 eine Erwärmung statt. Im Vergleich dazu jedoch kühlt das Grundwasser zwischen Juli 1996-2010 an ca. 70% der Messstellen ab (Abb. 34). Die Spitzenwerte der Grundwassertemperatur werden aufgrund der Phasenverschiebung zwischen Luft- und Grundwassertemperatur zwar in der Regel im November erreicht, jedoch kann es auch hier zu deutlichen Ausnahmen kommen (Abb. 36, Abb. 37).

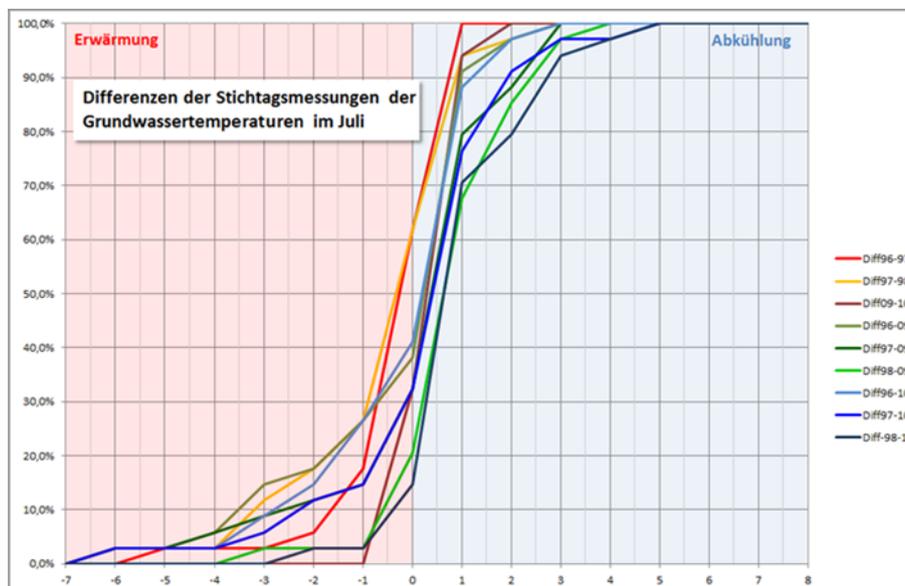


Abb. 34: Beispiel der statistischen Auswertung der Grundwassertemperaturdifferenzen im Juli.

Zur weiteren Auswertung der Grundwassertemperaturen an den Stichtagsmessungen wurden die Messstellen ausgesucht, bei denen an allen großräumigeren Messzyklen über die beobachteten 30 Jahre gemessen wurde. Dabei verringerte sich die Anzahl auf 33 Messstellen. An diesen Lokationen wurden jeweils zu den Messzeiten die Parameter Flächenversiegelungsgrad, Flurabstand, Grundwasserleitermächtigkeit, Bodentemperatur (in 2m Tiefe u. GOK), Außenlufttemperaturen, Abstand zur U-

Bahnlinie, Abstand zu einer Fernwärmeleitung, Abstand zu einem Oberflächengewässer und kumulativer Niederschlag der vorangegangenen Tage (3 und 7 Tage) bestimmt. Diese Parameter wurden teilweise über eine GIS-Analyse abgeleitet. Zusammen mit allen Stichtagsmessungen in den verschiedenen Messzyklen wurden diese Parameter in eine Cluster-Analyse integriert. Das Resultat aus der Analyse ergab eine deutliche Korrelation von relativ hohen Grundwassertemperaturen mit einer geringen Grundwasserleitermächtigkeit.

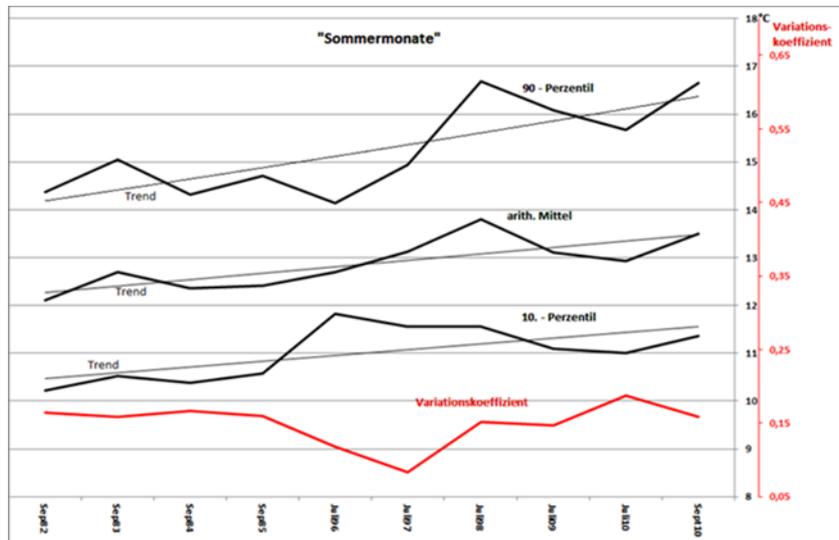


Abb. 35: Beispiel der statistischen Auswertung des Trendverhaltens der Grundwassertemperatur anhand der bereits vorhandenen Stichtagsmessungen.

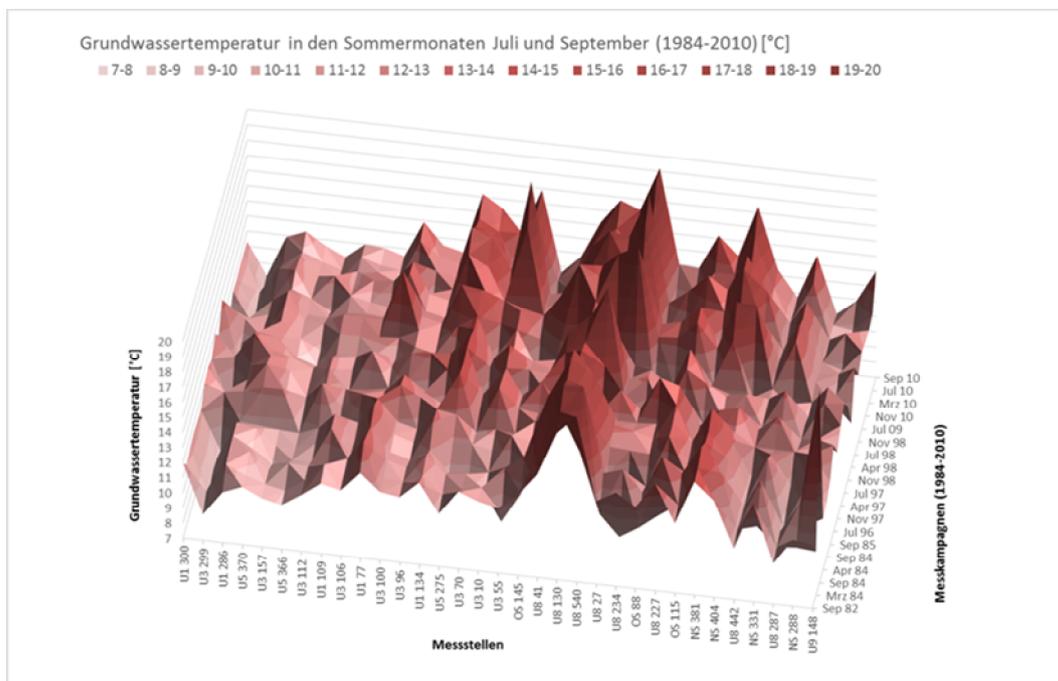


Abb. 36: Vergleich der Grundwassertemperaturen in den Sommermonaten Juli und September im Zeitraum von 1983-2010) an zeitgleich gemessenen Beobachtungsstellen.

Interpretation der flächendeckenden Grundwassertemperaturverteilung in der Münchener Schotterebene im April 2014:

Die Messungen der Grundwassertemperatur im April 2014 im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene zeigten Werte zwischen 5,9 °C im Minimum und 20,5 °C als Maximum. Der mediane Wert betrug 10,6°C. 75 % der erhobenen Grundwassertemperaturen lagen unter 12,0°C. 25% der Werte lagen unter 9,4°C. Nur ca. 10 % der 1479 gemessenen Grundwassertemperaturen überschritten 13,4 °C (siehe Abb. 42).

Temperaturen auf Stadtgebiet und dort besonders auf den Altstadtbereich konzentrieren (Anlage 12.1, 12.2, 12.3). Deutlich ist auch der kühlende Effekt der Isar im Nahbereich zu erkennen. In Mitten der Altstadt ist dieser Effekt jedoch nicht mehr erkennbar. Auffallend sind jedoch auch die kühleren Bereiche im Westen Münchens bei den Eintiefungen der Quartärbasis im Raum Feldmochinger See und der relativ abrupte Übergang von hohen Grundwassertemperaturen zu niedrigen Werten entlang der Waldfriedhofer-Neuhausener Rinne. Hier ist eine relativ hohe grundwassererfüllte Mächtigkeit vorhanden (siehe Anlage 4.1, 4.2, 7.1, 7.2), so dass die Grundwassertemperaturen dort konstant kühl bleiben.

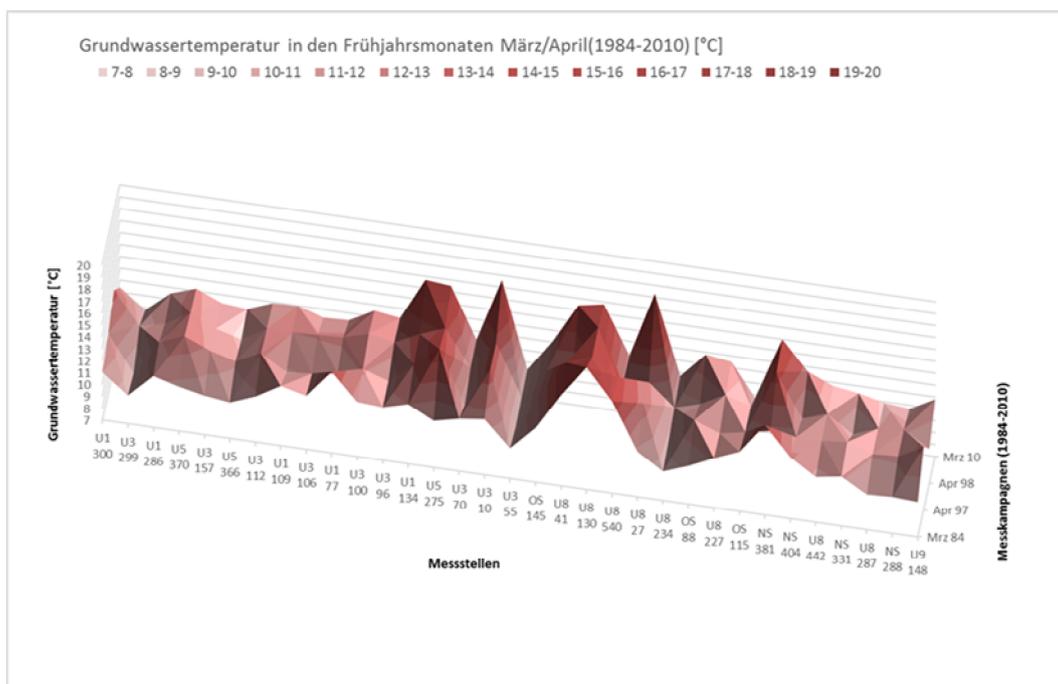


Abb. 37: Vergleich der Grundwassertemperaturen in den Frühjahrsmonaten März und April im Zeitraum von 1983-2010) an zeitgleich gemessenen Beobachtungsstellen.

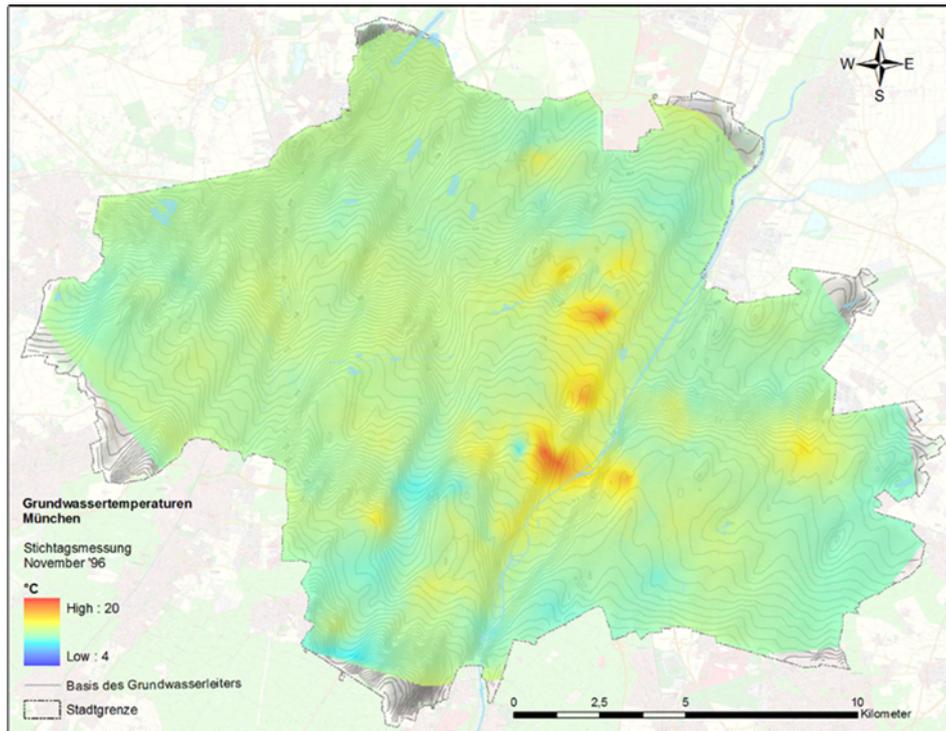


Abb. 38: Regionalisierte Grundwassertemperaturen im Quartär für das Stadtgebiet München im November 96.

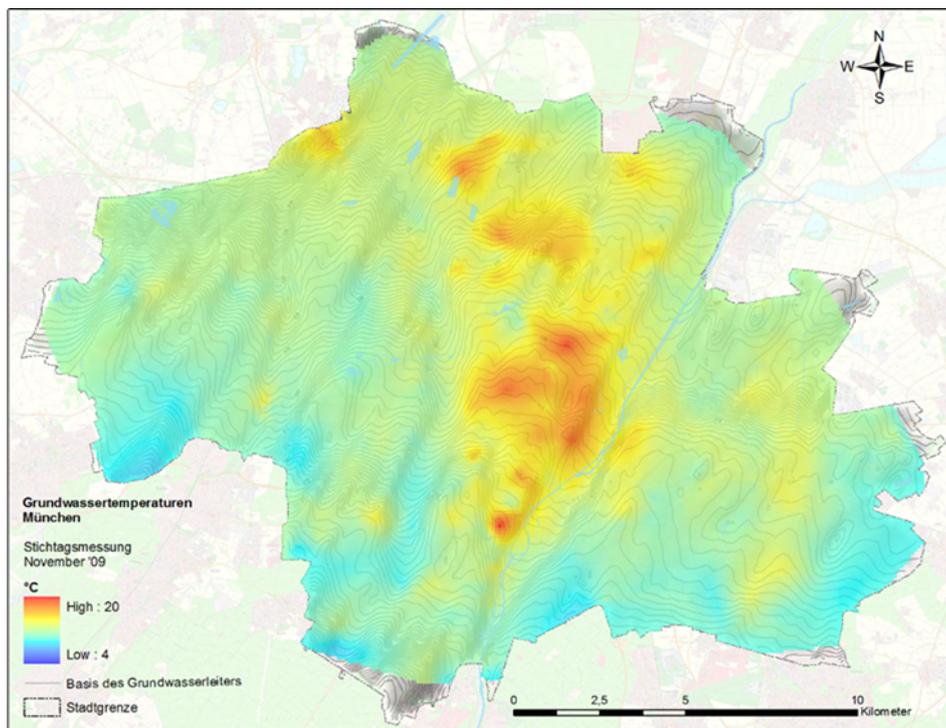


Abb. 39: Regionalisierte Grundwassertemperaturen im Quartär für das Stadtgebiet München im November 2009.

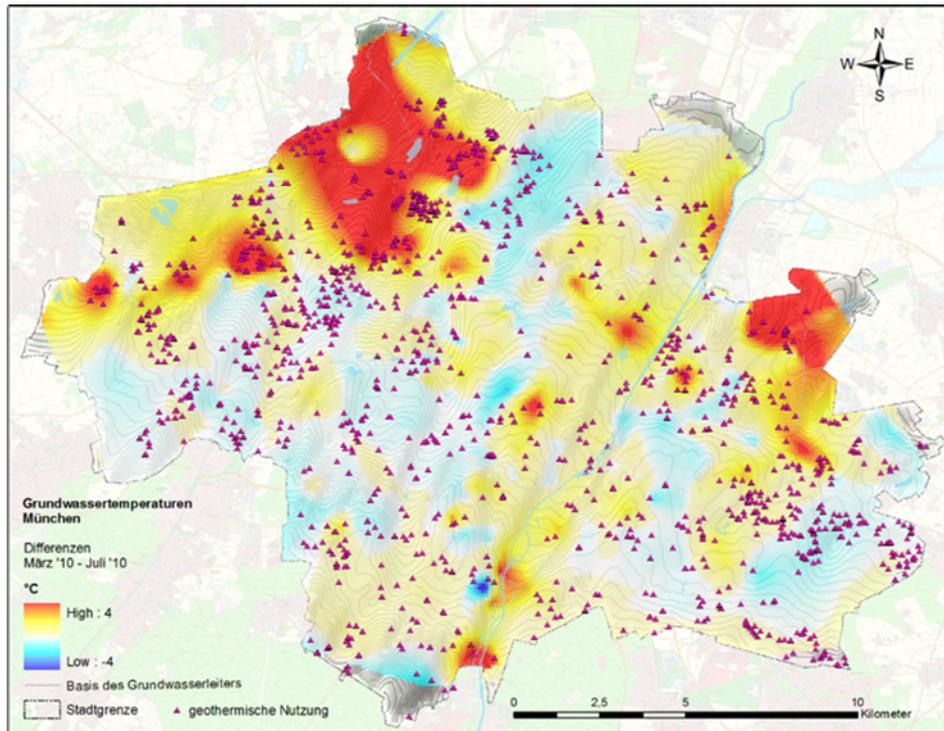


Abb. 40: Grundwassertemperaturen-Differenzenkarte für den Vergleich der Grundwassertemperaturen vom März 2010 und Juli 2010. Zusätzlich sind die geothermischen Nutzungen dargestellt, so dass ersichtlich wird, dass manche lokale Änderungen nicht auf geothermische Nutzungen bezogen werden können.

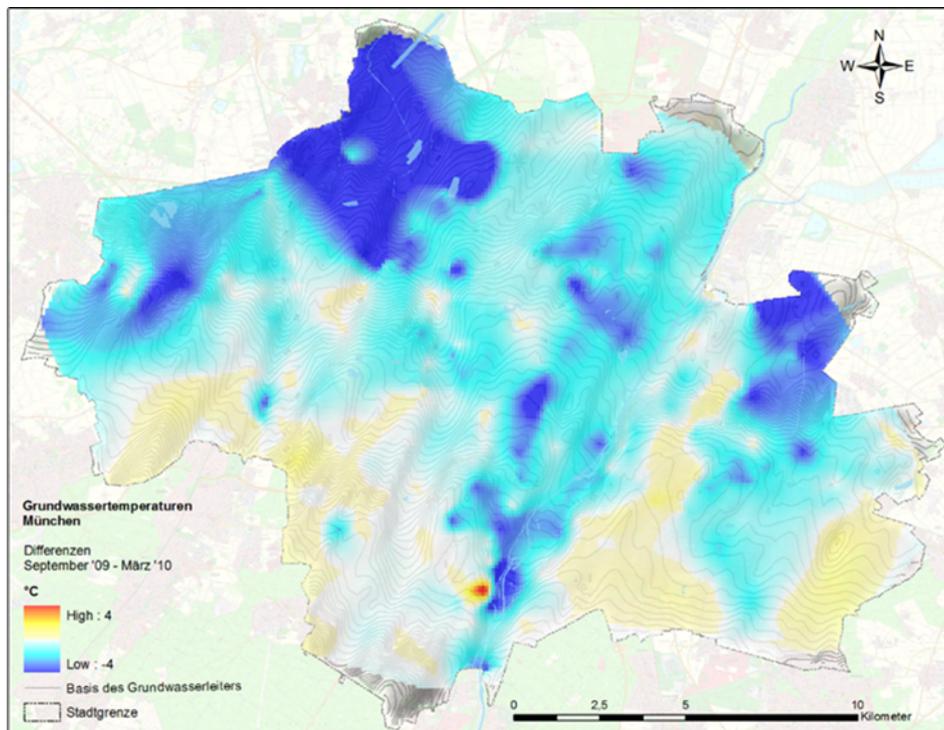


Abb. 41: Grundwassertemperaturen-Differenzenkarte für den Vergleich der Grundwassertemperaturen vom September 2009 und März 2010.

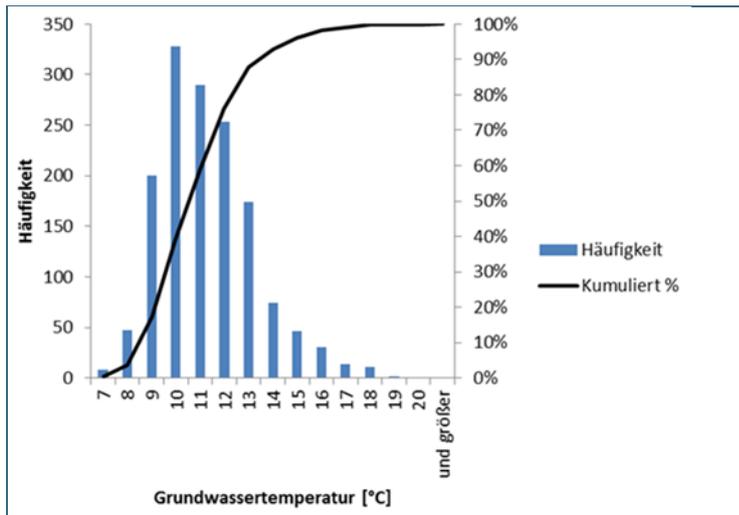


Abb. 42:
Histogramm der gemessenen Grundwassertemperaturen im April 2014.

6.5.2 Auswertung von Grundwasser-Tiefentemperaturprofilen

6.5.2.1 Allgemeines

Die vertikal differenzierten Grundwassertemperaturen sind zum einen erhoben worden, um die Temperaturverteilung im Grundwasser zu bestimmen und verschiedene Einflussfaktoren auf die Grundwassertemperatur über die Fläche herausarbeiten zu können. Zum anderen kann die vertikal differenziert gemessene Grundwassertemperatur einen Hinweis auf die Qualität der gemessenen Grundwassertemperaturen an den Stichtagen geben, indem sie die vorhandene Messtiefe an bestimmten Messstellen mit den Tiefenprofilen der Grundwassertemperatur gegenüberstellt und herausstellt, ob diese Messungen in der Tiefe auch die von der Oberfläche unbeeinflusste Grundwassertemperatur repräsentiert (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 1983).

Der typische vertikale, idealisierte Verlauf der Grundwassertemperaturen ist bereits in Kapitel 6.5.1.1 beschrieben. Es zeigt sich, dass mit der Tiefe eine zunehmende Dämpfung und Phasenverschiebung der Grundwassertemperatur gegenüber der Außenlufttemperatur auftritt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 1983). Entsprechen die Tiefentemperaturprofile nicht dem idealisierten Bild, sind meist anthropogene Ursachen dafür verantwortlich. Daher geben Tiefentemperaturprofile einen Hinweis auf Faktoren, welche die Grundwassertemperatur beeinflussen. In München wies DOHR (1989) solche Beeinflussungen durch die U-Bahn über Tiefentemperaturprofil nach (siehe Abb. 43).

Die Tunneltrassen der U- und S-Bahnen nehmen nach DOHR (1989: 104 f.) einen auffallend hohen Anteil an der Grundwassertemperaturerhöhung im Stadtgebiet ein. Die höchsten Grundwassertemperaturen, welche auf U-Bahn Bauwerke zurückzuführen sind, wurden an Kreuzungsbauwerken beobachtet, dazu gehören die Bahnhöfe Sendlinger-Tor, Marienplatz, Stachus und Hauptbahnhof (DOHR, 1989: 105). Die Abweichungen der natürlichen Grundwassertemperaturen in der Tiefe können aber auch von andern Untergrundstrukturen beeinflusst werden, wie Tiefgaragen, Fernwärmeleitungen, Kanalsystemen und natürlich geothermischen Nutzungen (MENBERG, 2013). Insbesondere in der Stadt München ist eine Vielzahl dieser Strukturen im Untergrund vorhanden (siehe Tab. 40). Ihr Einfluss auf die Untergrundtemperatur soll, neben dem natürlichen Einfluss über die Auswertung von Tiefentemperaturprofilen, eingeschätzt werden.

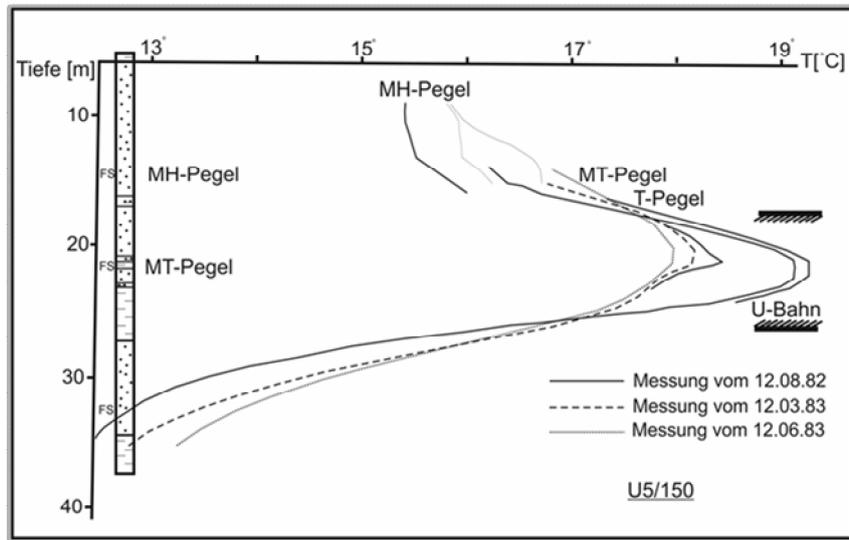
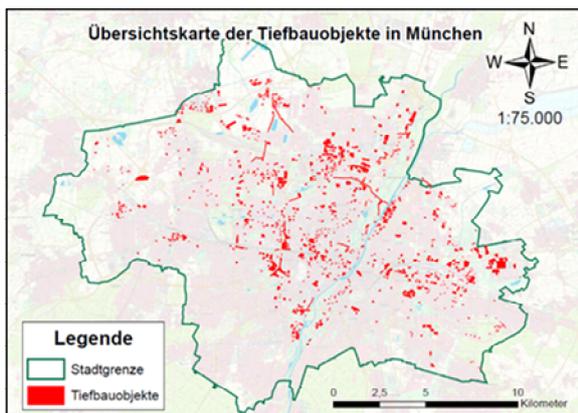
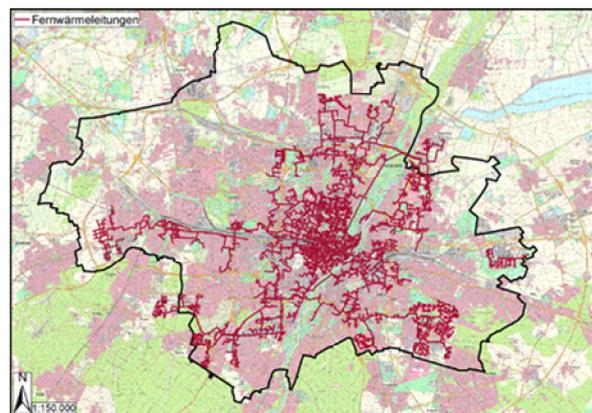


Abb. 43: Bereich erhöhter Grundwassertemperatur fällt bei der Messstelle U5 150 mit der Tiefen-lage der U-Bahn (Linie 6) zusammen. (DOHR 1989: 35 ff).

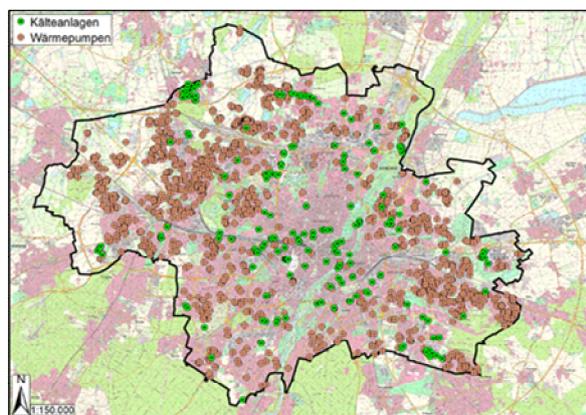
Tab. 40: Beispielhafte Übersicht über anthropogene Strukturen im Untergrund von München, welche die Grundwassertemperatur beeinflussen können



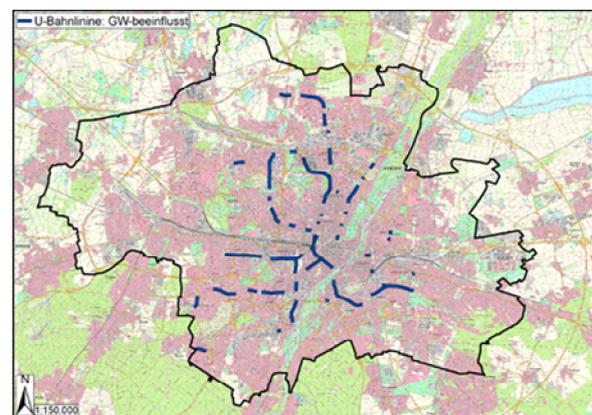
Tiefbauobjekte in München (Datengrundlage WWA München).



Verlauf des Fernwärmeleitungssystems in München. (Datengrundlage Tiefbauamt München).



Beispiel für die Verteilung von Kälte- und Wärmeanlagen in München (Datengrundlage WWA München, Stand 2012).



Verlauf der U-Bahnabschnitte, die den Grundwasserfluss beeinflussen (Datengrundlage Tiefbauamt München).

6.5.2.2 Datengrundlage und Methodik

Im Projekt wurden an mehreren Orten, vornehmlich im Stadtgebiet München, tiefenorientierte Messungen der Grundwassertemperatur vorgenommen. In der Regel wurde ab der Grundwasseroberfläche in 1 m Schritten die Grundwassertemperatur mittels einer Temperatursonde erfasst. Die zusätzliche tiefenorientierte Messung der spez. elektr. Leitfähigkeit gibt Hinweise über die Qualität der Temperaturmessung an einem Ort. Sind an Messstellen auffällige Abweichungen der spez. elektr. Leitfähigkeit von der mittleren spez. elektr. Leitfähigkeit vorhanden, so kann etwa die Funktionsfähigkeit der Messstelle beeinträchtigt sein oder es treten an diesem Ort spezielle Wechselwirkungen auf, wie der Einfluss von Oberflächengewässer oder Altlastenflächen (siehe Abb. 44).

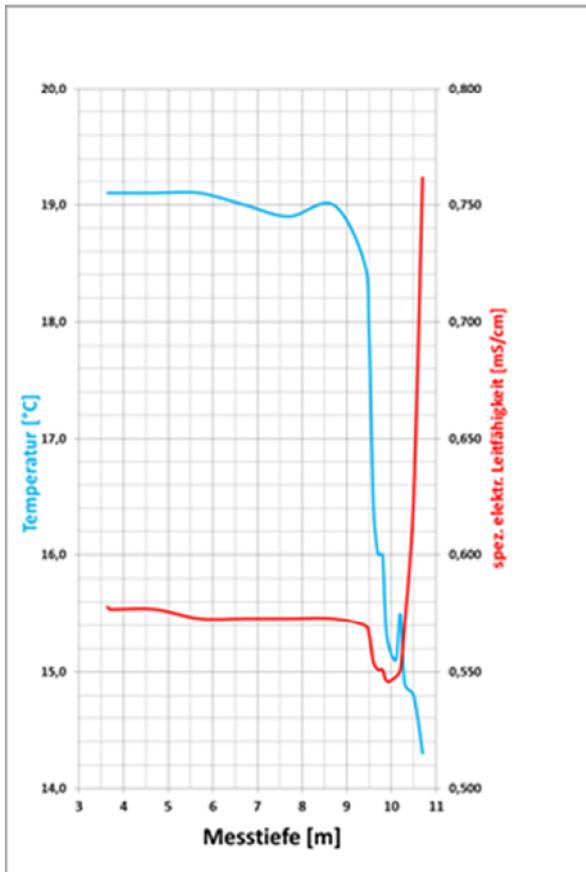


Abb. 44: Beispiel für eine tiefenorientierte Messung der Grundwassertemperatur und der spez. elektr. Leitfähigkeit im Arbeitsgebiet.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



Die Messungen der Grundwassertemperatur über die Tiefe wurden an 708 Messstellen im Zeitraum April bis Mai von 2012 bis 2014 durchgeführt. Abb. 45 gibt einen Überblick über die in der Stadt München durchgeführten Grundwassertemperatur-Tiefenprofile. An einzelnen Messstellen wurden mehrere Messungen in äquidistanten Zeitschritten durchgeführt, um eine Beeinflussung deutlicher interpretieren zu können. Bis zum Ende 2014 lagen somit 1142 Messungen vor. Für die Detailbetrachtungen (Kapitel 7) laufen seit Mai 2012 wöchentliche Messungen der tiefenorientierten Grundwassertemperatur und elektrische Leitfähigkeit an 42 gesondert ausgewählten Messstellen entlang der Isar am Flaucher, an der Marienklauenbrücke, an der Reichenbachbrücke und im Englischen Garten, sowie im Bereich der U3-Erweiterung am Oberwiesenfeld. Insgesamt stellt die räumliche Messverteilung eine gute Abdeckung des Stadtgebiets dar.

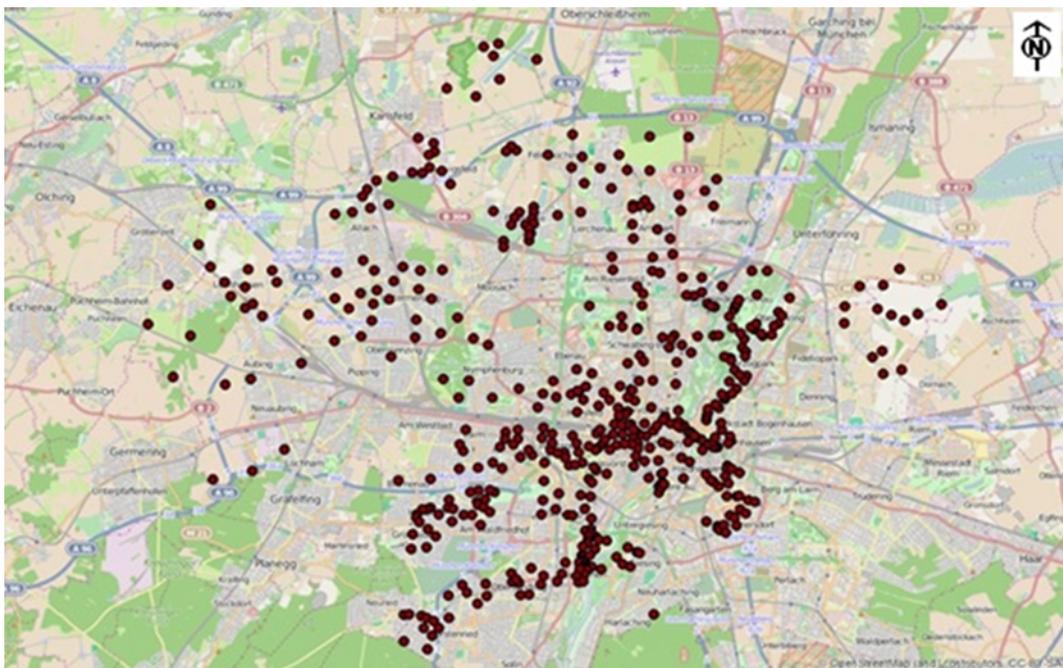


Abb. 45: Überblick über die in der Stadt München durchgeführten Grundwassertemperatur-Tiefenprofile.

Die Ergebnisse der Tiefentemperaturprofile werden auch mit Hilfe der erzeugten grundwassererfüllten Mächtigkeit (Anlage 7.1, 7.2) und dem Flurabstand (Anlage 8.1, 8.2) interpretiert.

6.5.2.3 Ergebnisse

In Abb. 46 sind die Messungen der Grundwasser-Tiefentemperatur in der Messstelle KP 821 für einen täglichen Überwachungszeitraum vom 13.04.2013 bis zum 18.07.2013 beispielhaft dargestellt. Die Messstelle KP 821 liegt am Übergang einer dichten Bebauung der Studentenstadt zum Englischen

Garten. Die Messungen der Grundwasser-Tiefentemperatur der Messstelle KP 821 mit $\Delta h = 1\text{m}$ zeigen die jahreszeitlich bedingten täglichen Temperaturschwankungen im oberen Grundwasserbereich vom 3,5 m ($T = 11,3\text{ °C}$ bis $15,0\text{ °C}$). Bereits in 4,5 m Tiefe reduziert sich die Spreizung auf $11,9\text{ °C}$ und $12,9\text{ °C}$. Mit zunehmender Tiefe wird der Schwankungsbereich mit bis auf $12,1\text{ °C}$ immer geringer und beträgt bei 7,20 m Endteufe $12,5\text{ °C}$.

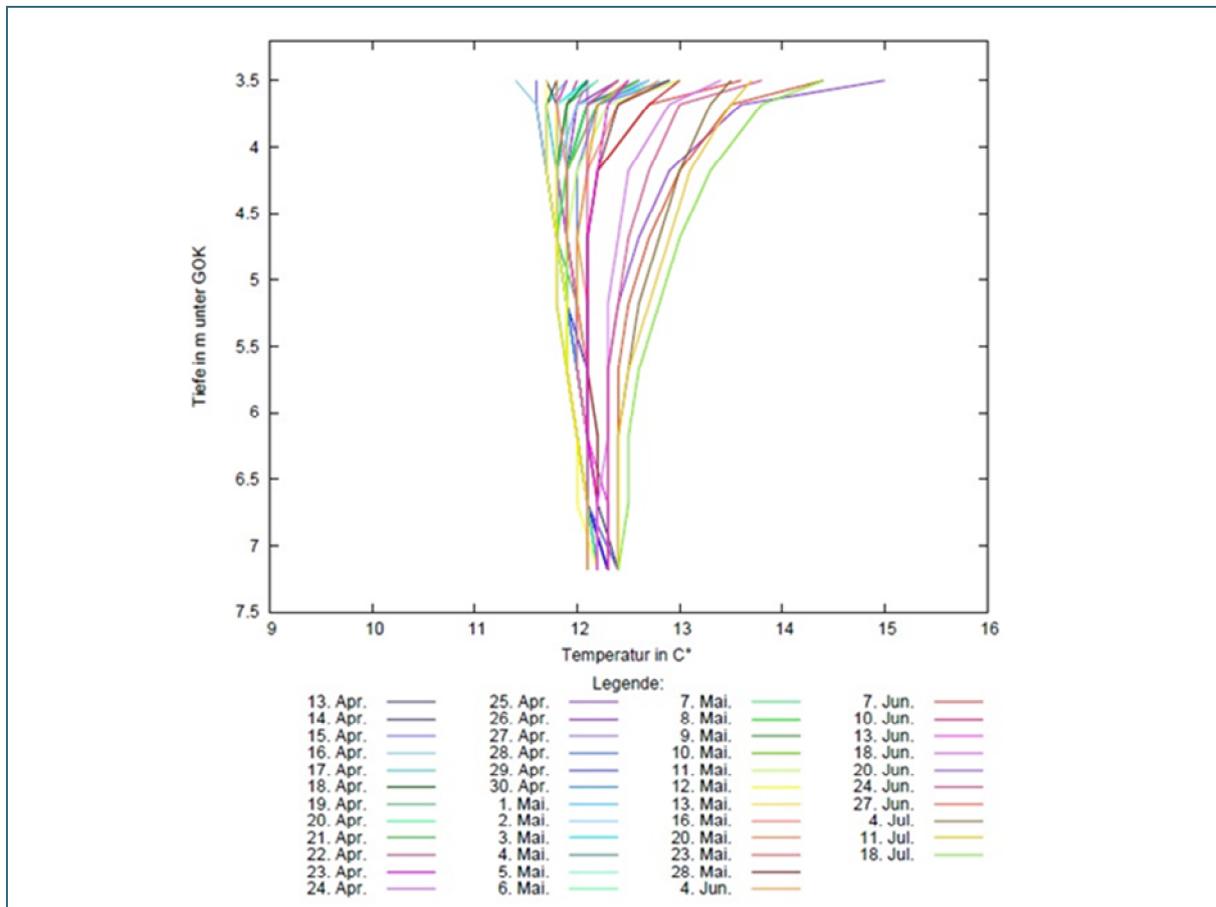


Abb. 46: Tiefenorientierte Messung der Grundwassertemperatur im Pegel KP 821 im Englischen Garten Nord in München.

Anthropogen beeinflusst ist auch die Messstelle KP 692 am Nordende der unterirdischen U-Bahnhalttestelle „Nordfriedhof“. In einer horizontalen Entfernung von weniger als 5 m von der U-Bahnöhre wurden hier Messungen der Grundwasser-Tiefentemperatur vom 30.04.2013 bis zum 20.06.2013 beispielhaft aufgenommen (siehe Abb. 47). Das Temperaturprofil beginnt 5,9 m u. GOK mit $12,3\text{ °C}$. Mit zunehmender Tiefe steigt die Temperatur zuerst langsam und dann immer rascher bis ca. 14 °C an. Die Wärmeabgabe des U-Bahnhofs erzeugt vermutlich die permanente Zunahme der Grundwassertemperatur mit der Tiefe. Es wird hier deutlich, dass solche anthropogenen Einflussfaktoren die natürlichen Temperaturverhältnisse mit der Tiefe ganz erheblich verschieben können, wobei die Auswirkungen von Tiefenlage und Entfernung der anthropogenen Einflussquelle abhängt.

Bei einer exemplarischen Betrachtung von tiefenorientierten Grundwassertemperaturen an Messstellen in der Nähe der U-Bahn konnte über eine Korrelation der Entfernung der Messstellen und der Temperaturunterschieden ein statistische Zusammenhang hergestellt werden. So sind die mittleren Temperaturen bei sehr geringen Entfernungen zur U-Bahn um ca. 1-2 K erhöht (siehe Abb. 48).

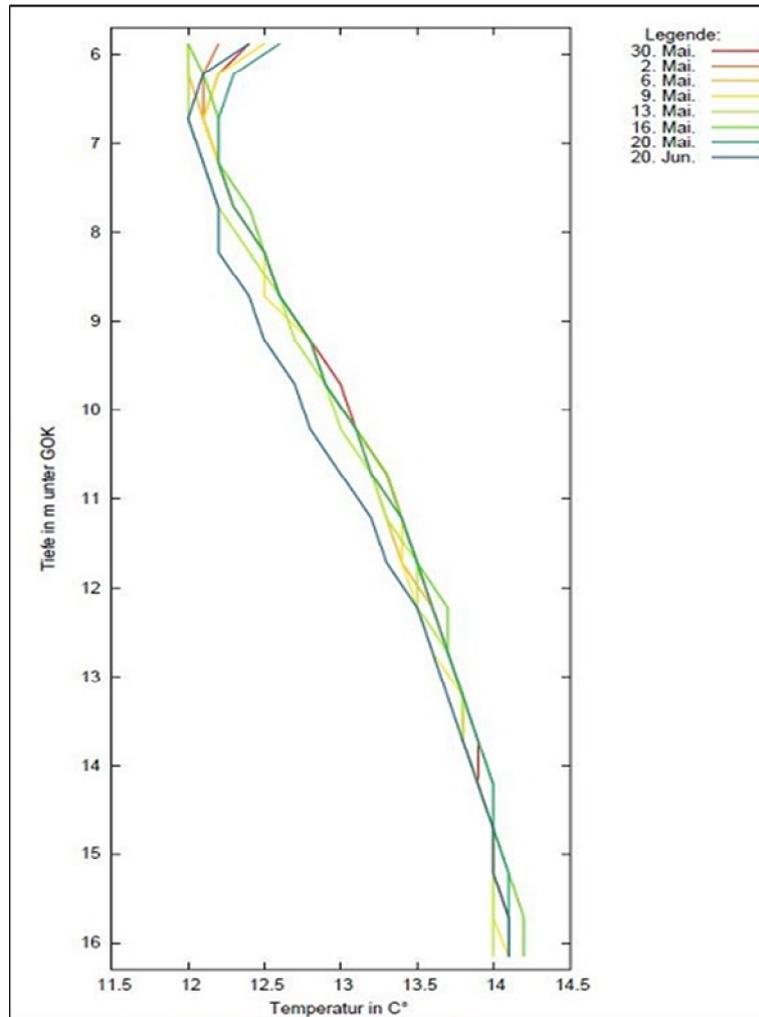


Abb. 47: Beeinflussung der tiefenorientierten Grundwassertemperatur im Pegel KP 692 durch den Wärmeverlust der U6-Bahnhaltstelle „Nordfriedhof“ im Norden Münchens.

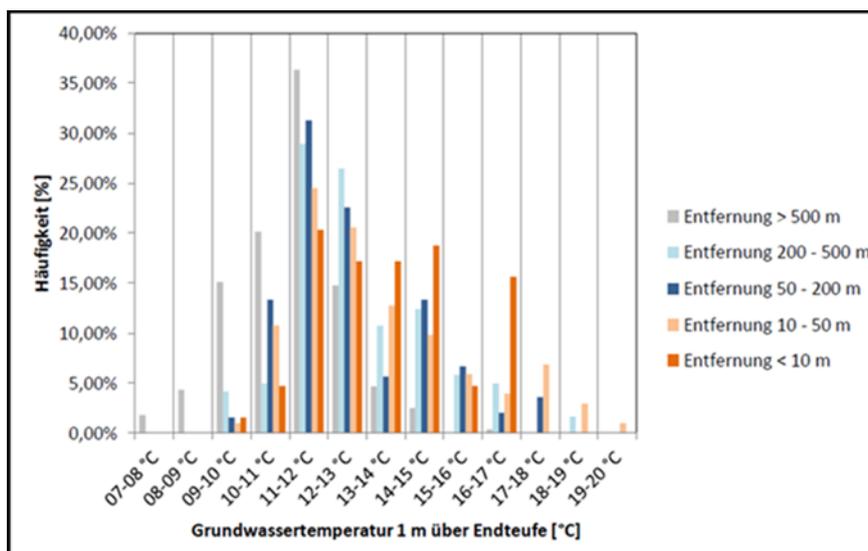


Abb. 48: Statistische Auswertung der Grundwassertemperatur zur Entfernung zur U-Bahn.

Aus der Zusammenschau aller Temperaturprofile konnte die signifikante Entwicklung der Grundwassertemperatur über die Tiefe bestimmt werden. Da die gemessenen Grundwassermessstellen nicht immer nur im quartären Bereich abgeteuft bzw. verfiltert waren, konnten auch 56 repräsentative Messungen für das erste tertiäre Stockwerk ausgewertet werden. Dem standen 447 repräsentative Profile im quartären Grundwasserleiter gegenüber. Da alle ausgewerteten Messungen im April und Mai durchgeführt wurden, zeigen sich im oberflächennahen Bereich im Mittel deutlich kühlere Grundwassertemperaturen bis etwa 9 °C. Die Grundwassertemperaturen im tertiären Stockwerk sind, wie in Abb. 49 ersichtlich ist, im oberen Bereich um ein halbes bis ein Grad wärmer als die Temperaturen im quartären Bereich. In der Tiefe nimmt dieser Unterschied noch deutlich zu. Abb. 50 zeigt, dass die Varianz in den gemessenen Grundwassertemperaturen im quartären Grundwasserleiter meist etwas geringer ist als im tertiären Grundwasserstockwerk. Die höchste Varianz in den Messungen tritt im oberflächennahen Bereich bei etwa 5 m unter der Grundwasseroberfläche aber auch in einem Bereich bei ca. 16 m auf. Dieser könnte die Endteufe einiger Messstellen darstellen und unter Umständen auf eine Beeinflussung der Temperaturen durch die Sumpfrohren zurückzuführen sein.

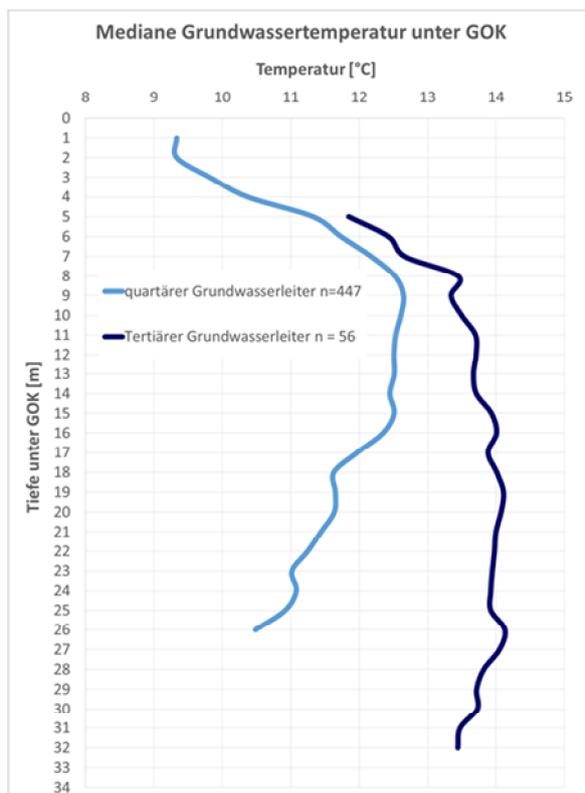


Abb. 49:
Tiefentemperaturprofil der medianen Grundwassertemperaturen im quartären und ersten tertiären Grundwasserstockwerk.

Stellt man die Verteilung der Grundwassertemperatur über die Tiefe mit ihren maximalen, minimalen und den Perzentilen dar, lässt sich eindeutig eine Temperaturerhöhung zwischen ca. 6 m und etwa 15 m unter GOK erkennen. Diese deutet sich bei der medianen Temperaturverteilung nur an, wird aber im 75%-Perzentil deutlich und ist bei den hohen Werten des 95%-Perzentil stark ausgeprägt. Das bedeutet, dass etwa 25% der Grundwassertemperaturen in diesem Bereich erhöhte Werte aufweisen (siehe Abb. 51). Dies lässt auf eine starke anthropogene Beeinflussung in diesem Bereich schließen.

Bei der Gegenüberstellung der tiefenverteilten Grundwassertemperatur mit der grundwassererfüllten Mächtigkeit in Abb. 52 ist festzuhalten, dass generell die geringmächtigen Bereiche unabhängig vom Flurabstand wärmere Grundwassertemperaturen aufweisen. Jedoch ist auch zu erkennen, dass die Bereiche mit grundwassererfüllten Mächtigkeiten zwischen 9 und 11 m ebenfalls leicht erhöhte Temperaturen haben. Bei der Betrachtung der Abhängigkeit des Flurabstandes und der tiefenverteilten

Grundwassertemperatur ist deutlich, dass geringe Flurabstände im April/Mai natürlicherweise zu geringeren Grundwassertemperaturen führen und sich dies auch in der Tiefe bemerkbar macht. Bereits ab einem Flurabstand von 4 m verliert sich dieser Effekt und ist nicht mehr klar zu erkennen.

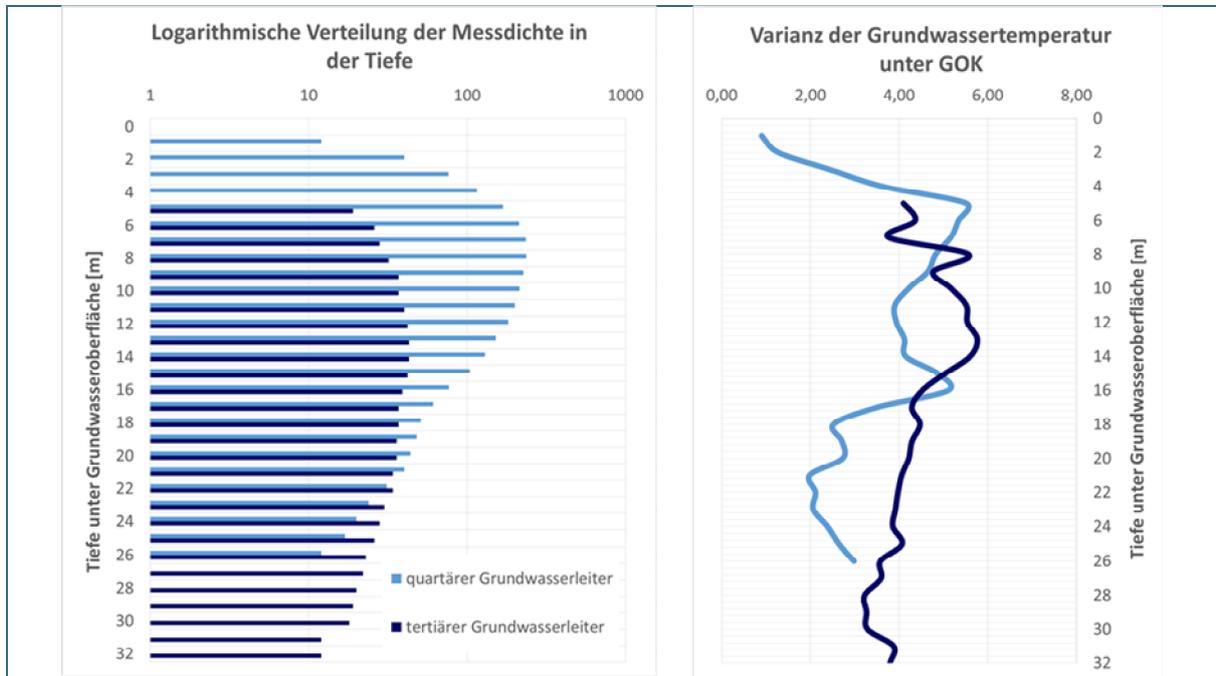


Abb. 50: Logarithmische Häufigkeit der Messwerte (links) und Varianz der Grundwassertemperatur unter der Grundwasseroberfläche.

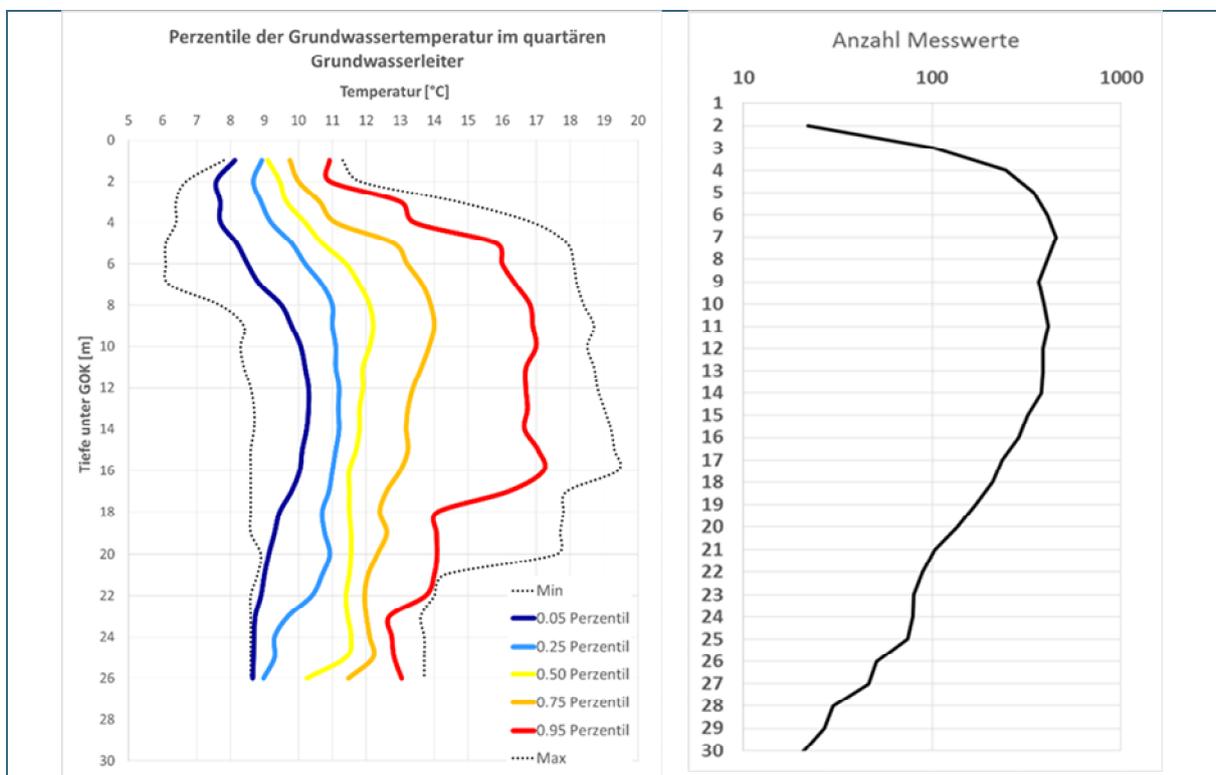


Abb. 51: Darstellung der minimalen, mittleren und maximalen Grundwassertemperaturverteilung über die Tiefe im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene (links) mit der Anzahl der Messungen pro Tiefe (rechts).

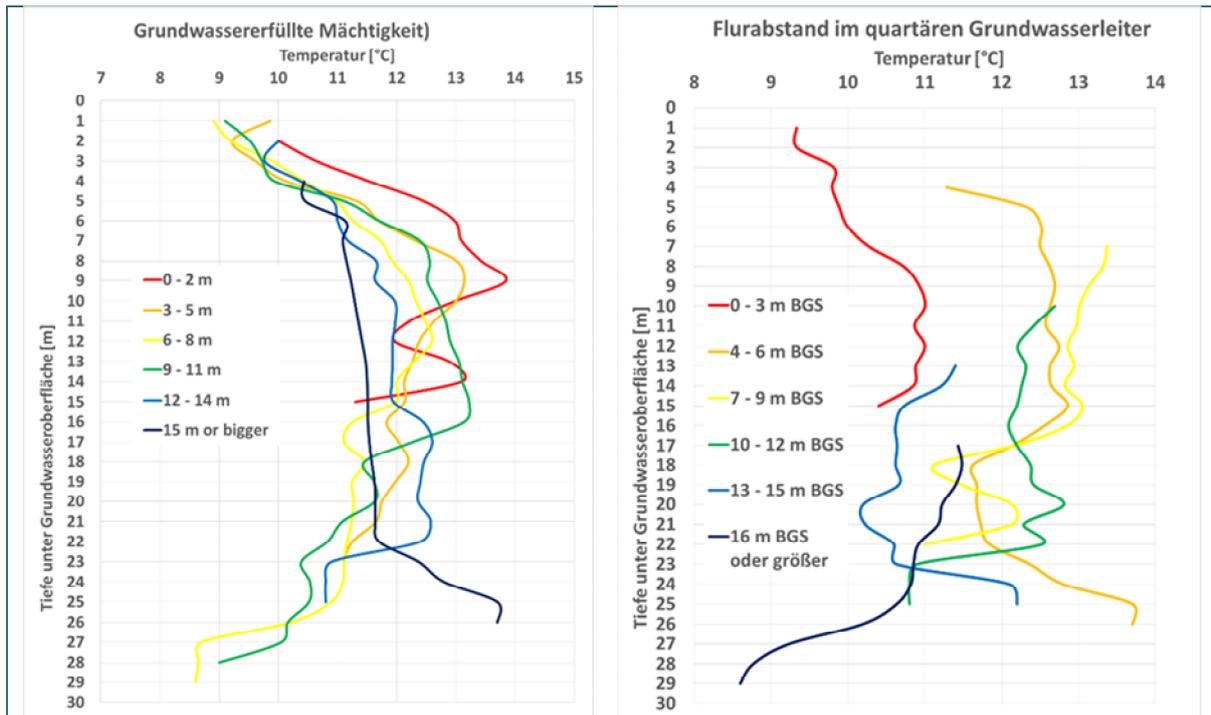


Abb. 52: Abhängigkeit der Grundwassertemperatur im quartären Grundwasserleiter in der Tiefe von der grundwassererfüllten Mächtigkeit und dem Flurabstand.

Die Tab. 41 gibt einen Überblick über diese Beobachtungen. Hier sind die vier häufigsten grundwassererfüllten Mächtigkeiten zu Klassen zusammengefasst und die Flurabstände in ein Meter Schritten von 2 m bis 11 m unter GOK angegeben. In der Matrix wird nochmal deutlich, dass geringe Flurabstände zu kühleren Grundwassertemperaturen im April/Mai führen. Bei Flurabständen zwischen 5 und 8 m treten erhöhte Grundwassertemperaturen auf. Auch wird deutlich, dass eine grundwassererfüllte Mächtigkeit von 9 bis 11 m meist erhöhte Temperaturen hat.

Tab. 41: Matrix der Grundwassertemperatur in der Tiefe im quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene in Abhängigkeit des Flurabstands und der grundwassererfüllten Mächtigkeit.

Temp [°C]		grundwassererfüllte Mächtigkeit [m]				Median
		0-2	3-5	6-8	9-11	
Flurabstand [m]	2	10,33	8,85	9,81	10,59	9,69
	3	11,55	10,25	11,73	10,16	10,72
	4	11,70	11,99	11,41	11,19	11,55
	5	12,61	13,61	13,03	13,64	13,37
	6	13,57	12,61	12,38	12,98	12,79
	7	13,56	12,94	13,34	15,18	13,78
	8	13,39	12,91	12,49	12,78	12,81
	9	14,84	12,75	11,68	10,51	11,76
	10	12,18	12,36	11,81	13,89	12,76
	11	12,06	12,21	11,60	13,26	12,28
Median		12,71	12,15	11,95	12,66	

6.5.3 Grundwassertemperaturganglinien

6.5.3.1 Allgemeines

Auf den jahreszeitlichen Verlauf und die phasenverschobene Dämpfung der Grundwassertemperatur über die Tiefe wurde schon in Kapitel 6.5.1 und 6.5.2 eingegangen. Einen exemplarischen Saisonverlauf über die Tiefe mit Dämpfungsfaktor zeigt nochmals Abb. 53 anhand einer Messreihe im Englischen Garten in München.

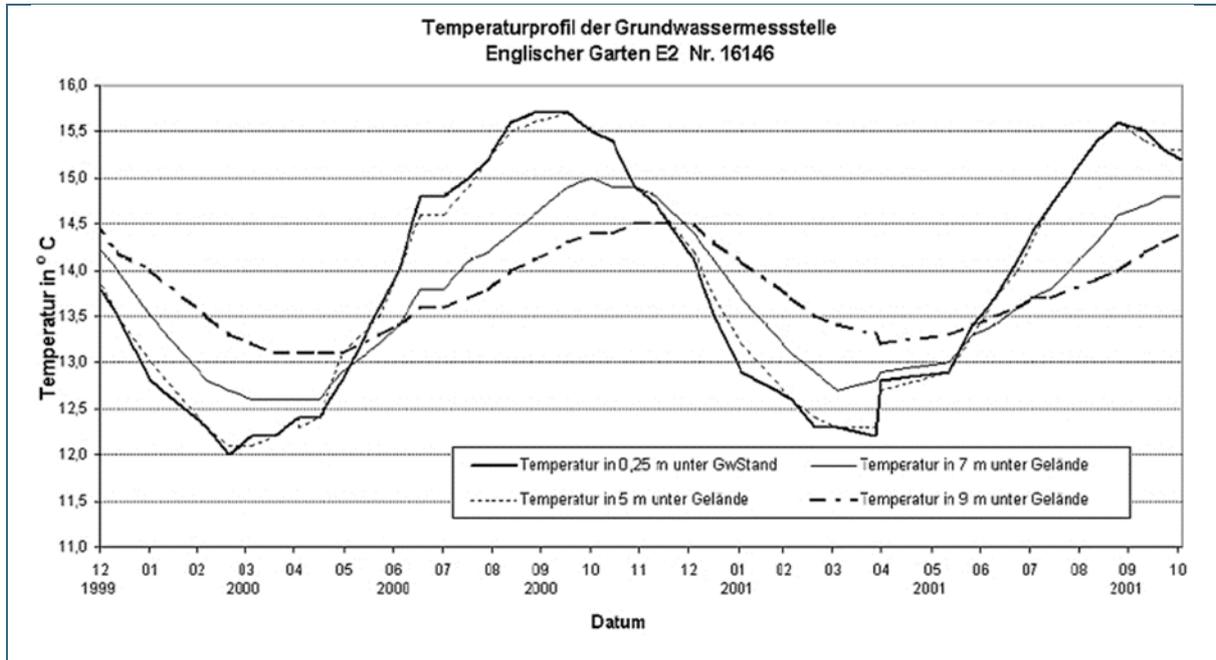


Abb. 53: Exemplarischer saisonaler Verlauf der Grundwassertemperaturverteilung innerhalb der Münchener Schotterebene an einer Grundwassermessstelle im Englischen Garten (Bayer. LFW, 2001).

In DOHR (2011) sind einige weitere Grundwassertemperaturverläufe dargestellt, bei denen auch erkennbar ist, dass die Variabilität über die Zeit, wie in Kapitel 6.5.1 auch in den Differenzkarten ersichtlich ist, von vielen Einflussfaktoren abhängt und für einen großflächigen Bereich nicht allgemeingültig zu beschreiben ist (siehe auch Kapitel 6.5.2).

6.5.3.2 Datengrundlage und Methodik

Im Rahmen des GEPO Projektes sind an ausgewählten Grundwassermessstellen in der Stadt München mehrere Datenlogger in der Filterstrecke installiert, welche im Stundentakt die Grundwassertemperatur aufzeichnen. Ergänzt werden diese Daten durch wöchentliche Messungen der Grundwassertemperatur an ca. 50 weiteren Grundwassermessstellen im Stadtgebiet Münchens. Die zeitlichen Werte wurden in erster Linie dazu verwendet, Abhängigkeiten mit anderen Einflussparametern wie etwa dem Einfluss der Isar auf die Grundwassertemperatur abzuleiten.

6.5.3.3 Ergebnisse

Die Auswertung einzelner Grundwassertemperaturganglinien, zum größten Teil zur Verfügung gestellt vom RGU, macht die Variabilität einzelner Messstellenstandorte hinsichtlich der zeitlichen Grundwassertemperaturverteilung deutlich (siehe Abb. 54). In den Grundwassermessstellen U8 51, OS 88, U6 49, KP 1172 und KPA 375 ist sehr deutlich der saisonale Verlauf der Grundwassertemperaturen zu sehen. Dennoch zeigen diese Messstellen um mehr als 4 °C unterschiedliche Temperaturwerte. Auch ist ein phasenverschobenes Verhalten zwischen der Gruppe OS 88/KP1172 und der Messstellen-Gruppe U8 51/U6 49/KPA375 zu sehen. Erstere erreicht ihr Temperaturminimum erst ca. zwei Monate

später. Die Messstellen U1 235, U6 99 und KP 9 lassen keinen saisonalen Verlauf ihrer Grundwassertemperaturen erkennen, weisen allerdings auch relativ niedrige Grundwassertemperatur zwischen 9 und 12 ° C auf. Bei den Messstellen U5 275 und U8 515 ist kaum ein bzw. ein sehr langgestreckter saisonaler Verlauf erkennbar. Ihre Grundwassertemperaturen liegen allerdings stets zwischen 15 und 20 ° C.

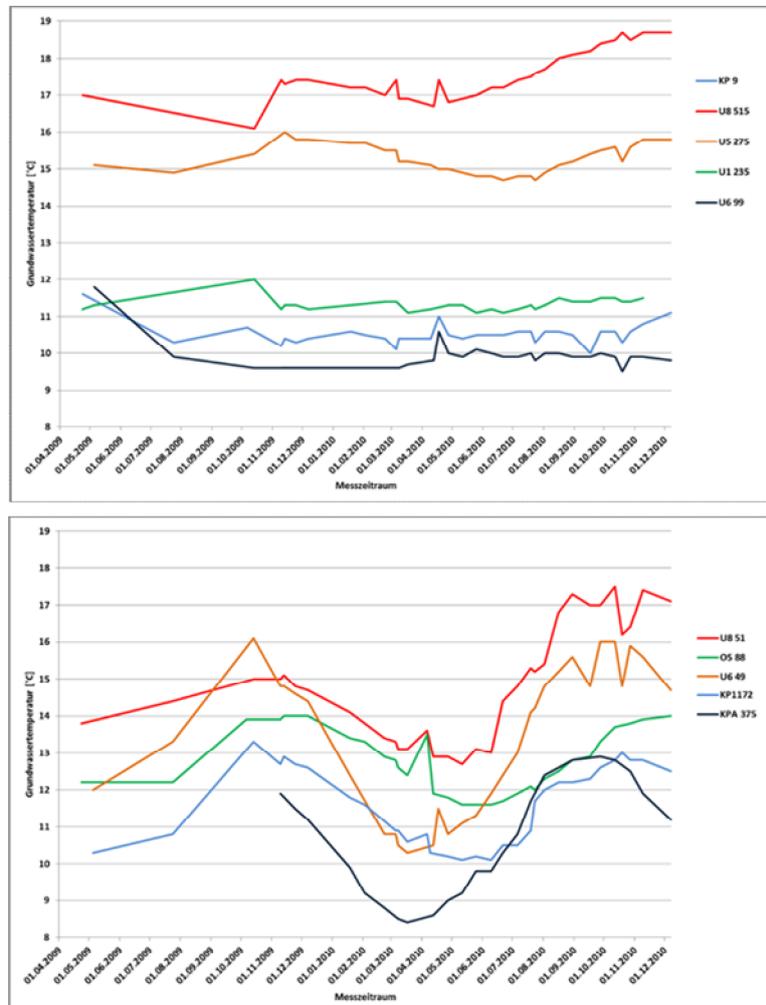


Abb. 54: Auswertung verschiedener Grundwassertemperaturganglinien im Stadtgebiet München.

An der Grundwassermessstelle U8 515 sind auch tiefendifferenzierte Messungen durchgeführt worden, so dass sich eine zeitliche Veränderung der Grundwassertemperatur auch über die Tiefe darstellen lässt (siehe Abb. 55). Auch hier sind deutlich die Spitzenwerte der Temperatur im November zu erkennen und die Temperaturminima im Mai. Ebenso ist deutlich, dass über die Tiefe eine leichte Phasenverschiebung der Temperatur erfolgt.

Abb. 56 zeigt die Tagesmittelwerte der Grundwassertemperatur an ausgewählten Grundwassermessstellen im Vergleich zur Isarwasser- und Lufttemperatur. Die Messstellen U3-77 und U8-412 befinden sich ca. 60 m bzw. 168 m von der Isar entfernt, während KP 1282 etwas weiter weg (ca. 262 m) von der Isar in den Isarauen liegt. Die Messstelle U8-497 befindet sich am südöstlichen Stadtrand von München im Stadtteil Harlaching und dient als Referenzmessstelle. Während U3-77, U8-412 und KP 1282 geringe Flurabstände (ca. 4 m) besitzen und geologisch betrachtet im Isaralluvium liegen, befindet sich U8-497 in den Niederterrassenschottern und weist einen mittleren Flurabstand von ca. 24 m auf.

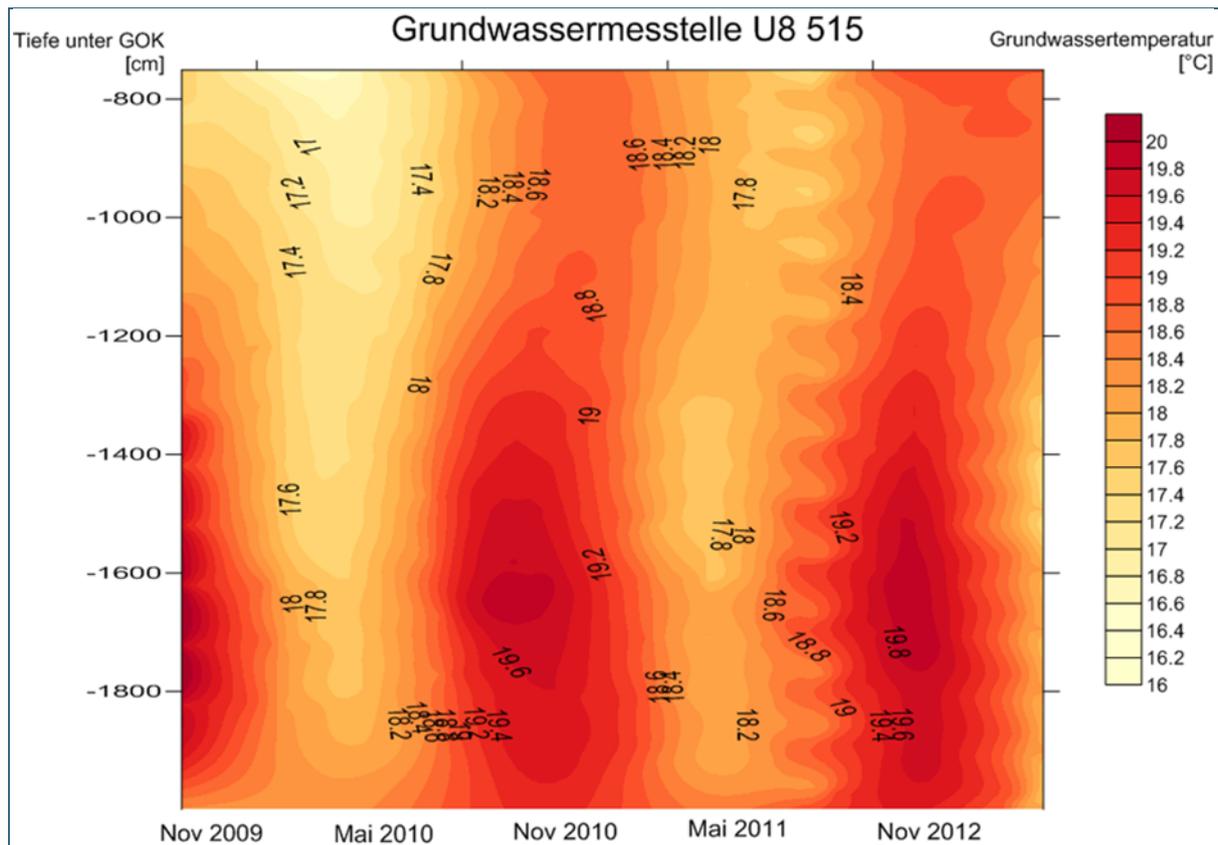


Abb. 55: Zeit-Tiefen-Grundwassertemperaturdarstellung (Heat Map) an der Grundwassermessstelle U8 515.

Die Temperaturganglinien der einzelnen Messstellen zeigen recht deutlich, dass das Temperatursignal im Untergrund gedämpft vorliegt, während die Luft- und Isarwassertemperatur auch tageszeitliche Schwankungen enthält. Die Referenzmessstelle zeigt über den Jahresverlauf einen sehr konstanten Temperaturverlauf, welche im Mittel bei 8,9 °C liegt. Die Temperaturen bewegen sich dabei in einem Intervall von 8,5 °C bis 9,3 °C. Der konstante Temperaturverlauf lässt sich zum einen durch den großen Flurabstand (ca. 24 m) und das Fehlen von anthropogenen Beeinflussungen, wie z.B. der U-Bahn oder Tiefgaragen, erklären. Die Lufttemperatur scheint bei dieser Messstelle keinen großen Einfluss zu besitzen.

Die Messstellen U8-412, U3-77 und KP 1282 liegen am Messstellenfeld Flaucher, zeigen jedoch Unterschiede in der Temperaturentwicklung auf. In Abb. 56 b) ist zu erkennen, dass U3-77 und U8-412 einen ähnlicheren Temperaturverlauf besitzen als die Messstelle KP 1282, welche eine mehr gedämpfte Kurve aufweist. Die Isar erreicht ihr Temperaturminimum mit 4,8 °C am 1.1.2014 und ihr Maximum am 11.6.2014 mit 18,3 °C. Messstelle U3-77 weist die niedrigste Temperatur bei 5,5 °C (7.2.2014) auf und mit 15,5 °C am 26.7.2014 erreicht sie ihr Maximum. U8-412 zeigt eine ähnliche Temperaturentwicklung, welche jedoch um 1-2 Wochen verzögert stattfindet. Das Temperaturminimum liegt bei dieser Messstelle bei 5,5 °C (22.2.2014) und das Temperaturmaximum bei 15,6 °C (10.8.2014). Beide Messstellen zeigen eine große Temperaturdifferenz im Jahresgang von ca. 10 °C. Die Grundwassertemperatur an U3-77 und U8-412 verändert sich im Gegensatz zu KP 1282 oder U8-497 schneller und dynamischer. Deutlich ist bei U3-77 und U8-412 der Einfluss der Isar zu sehen. Da U3-77 näher an der Isar liegt als U8-412, zeigt die letztgenannte Messstelle eine Phasenverschiebung in der Temperaturentwicklung von 1-2 Wochen an. Beide Temperaturkurven besitzen ebenfalls eine Phasenverschiebung zur Isarkurve von 5 - 8 Wochen. Die Messstelle KP 1282 liegt ebenfalls in den Isarauen, besitzt jedoch einen anderen Temperaturverlauf im Jahresgang. Die Temperaturkurve ist gedämpfter als bei U3-77 sowie U8-412 und die Messstelle kühlt sich im Winter nicht so stark ab bzw.

im Sommer heizt sie sich nicht so stark auf. Das Temperaturminimum wird bei 9,8 °C (19.3.2014) erreicht und das Temperaturmaximum liegt bei 13,6 °C am 31.10.2014. Die Phasenverschiebung der Temperaturkurve bei KP 1282 ist größer und deutlich gedämpfter.

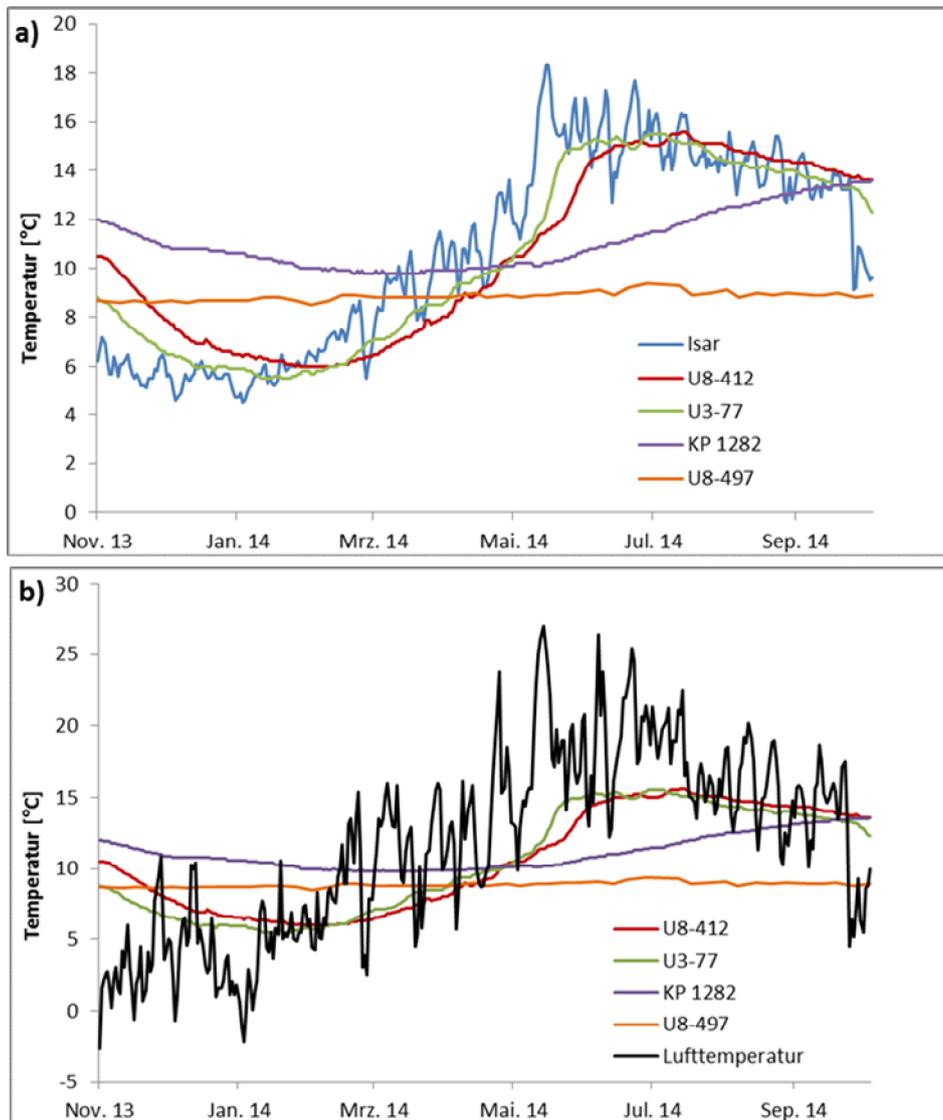


Abb. 56: a) Darstellung der Tagesmittelwerte der Grundwasser- sowie Flusswassertemperatur. Die Grundwassermessstelle U8-497 wurde wöchentlich gemessen. b) Darstellung der Tagesmittelwerte der Grundwasser- sowie Lufttemperatur. Die Grundwassermessstelle U8-497 wurde wöchentlich gemessen.

Da alle drei Messstellen am selben Messstellenfeld liegen, kann nicht die Lufttemperatur hier der entscheidende Faktor für die Beeinflussung der Grundwassertemperatur sein. Das Isarwasser, welches am Flaucher in das Isaralluvium infiltriert spielt dabei eine größere Rolle. Es beeinflusst vor allem die nah liegenden Messstellen U3-77 sowie U8-412, was vor allem dadurch belegt wird, dass U3-77 näher an der Isar liegt (ca. 60 m) als U8-412 (ca. 168 m) und sich im Sommer deutlich schneller aufheizt sowie im Winter auch schneller abkühlt. Die Analyse der stabilen Isotope zeigt jedoch, dass auch KP 1282 hydraulisch stark von der Isar beeinflusst wird. Dies spiegelt sich nicht im Temperaturverlauf wieder. Eine mögliche Erklärung hierfür ergibt sich durch die Wärmespeicherfähigkeit des Lockergesteinsaquifer im Isaralluvium. Vermutlich speichert der quartäre Aquifer die Wärme, welche durch das Uferfiltrat mittransportiert wird und gibt diese Wärme verzögert an das Grundwasser wieder ab, wodurch sich eine Mischtemperatur einstellt. Das würde auch die geringe Phasenverschiebung bei den Temperaturkurven von U3-77 und U8-412 erklären, da die Auswertung der Analysen der stabilen

Isotope oder die Zeitreihenanalyse der spez. elektr. Leitfähigkeit eigentlich sehr kurze Fließzeiten von unter einer Woche bei U8-77 und U8-412 sowie ca. 2 Wochen bei KP 1282 herausbrachte. In einem weiteren Schritt, soll evtl. durch eine mathematische Modellierung die Speicherfähigkeit bzw. der Speicherterm des quartären Aquifers näher untersucht werden.

Abb. 57 zeigt die Temperaturentwicklung in den Grundwassermessstellen U8-412 und KP 1282 in der Tiefe des quartären Grundwasserleiters. Vor allem bei U8-412 ist deutlich zu sehen, wie stark sich hier die Grundwassertemperatur auf 17,3°C im August 2013 erhöht und im Winter auf 5,5 °C abkühlt. Obwohl KP 1282 ebenfalls in den Isarauen liegt, zeigt diese Messstelle kein so extremes Temperaturintervall im Jahrgang an. Die Entwicklung der Grundwassertemperatur liegt hier im Bereich von 9,6 °C im Frühjahr und 12,7 °C im Herbst. Außerdem ist bei beiden Messstellen zu beobachten, dass sich die Temperatur in den Sommermonaten verzögert in die Tiefe des Aquifers erhöht.

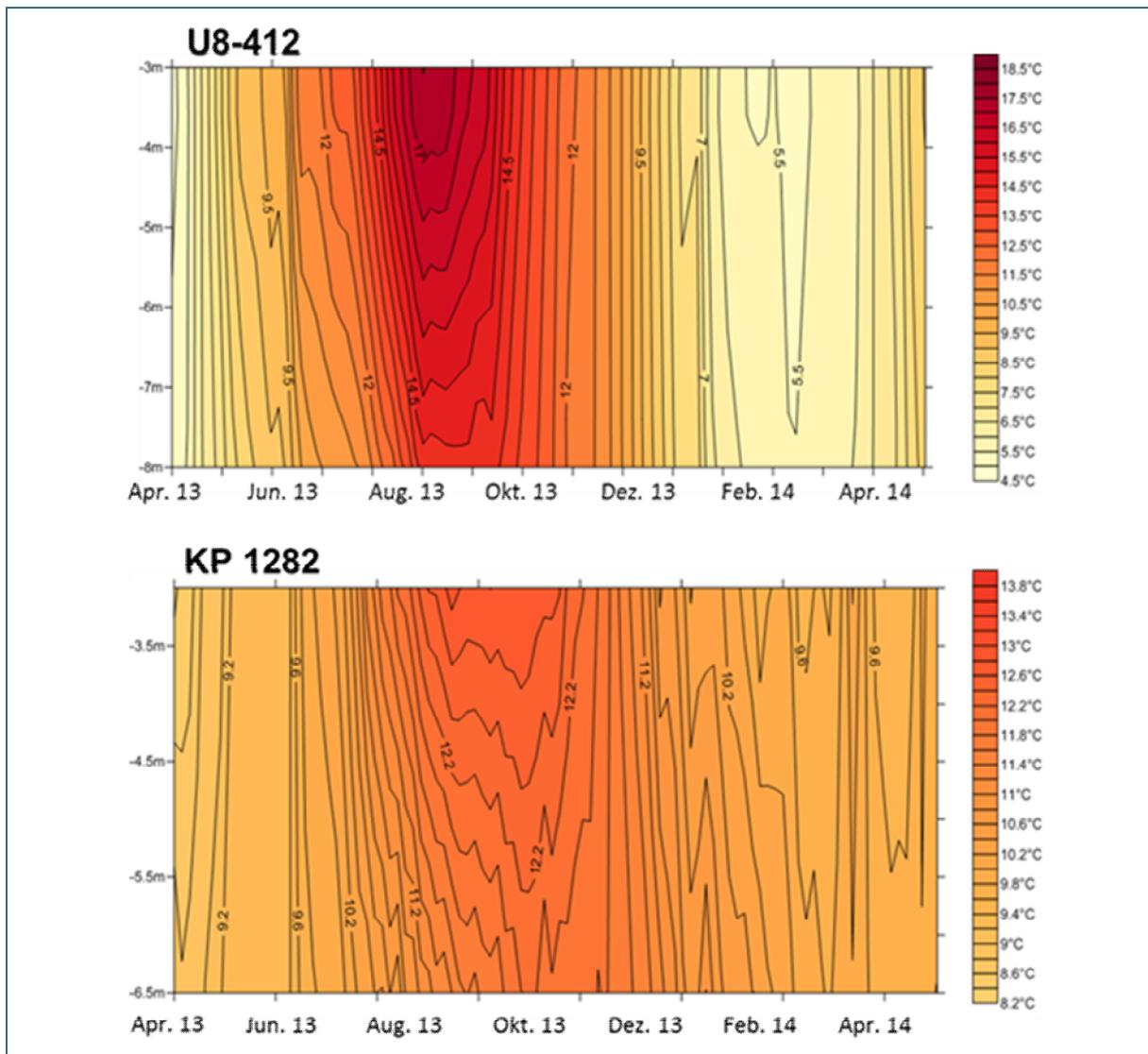


Abb. 57: Darstellung der Temperaturentwicklung in den Messstellen U8-412 und KP 1282 in der Tiefe des quartären Grundwasserleiters.

6.5.4 Wärmeleitfähigkeiten und Wärmespeicherkapazitäten

Für die geothermische Nutzung sind die Wärmeleitfähigkeit und die volumetrische Wärmekapazität wichtige Kenngrößen zur Abschätzung des geothermischen Potentials. In Tab. 42 sind die Wärmeleitfähigkeit, die volumetrische Wärmekapazität und die Dichte für die ungesättigte und gesättigte Zone

der einzelnen hydrogeologischen Einheiten angegeben. Die Angaben sind gewichtete Minimal- und Maximalwerte aus VDI 4640 Blatt 1 (2010) unter Berücksichtigung der Lithologie der jeweiligen hydrogeologischen Einheit. Die Bestimmung der lithologischen Zusammensetzung erfolgt nach der Bodenklassifikation DIN 4022: Der Hauptanteil ist der der stärksten vertretenden Bodenart mit einem Massenanteil von mehr als 40%, der Nebenanteil beträgt maximal bis zu 30 % und ist als Adjektiv gekennzeichnet. Für die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit der jeweiligen hydrogeologischen Einheit wurde für den/die Hauptanteil/e ein Anteil von 40% angenommen und die restlichen Anteile auf die Nebenanteile verteilt. Für Böden mit jeweils ein Haupt- und Nebenanteil (Beispiel TI_SI) ist der Hauptanteil 70 %, da Nebenanteile maximal 30 % betragen können. Thermische Eigenschaften für die Deckschichten und das Tertiär (OSM) ist aufgrund mangelnder Daten nicht aufgeführt.

Tab. 42: Wärmeleitfähigkeit, volumetrische Wärmekapazität und Dichte der einzelnen hydrogeologischen Einheiten

Hydrogeologische Einheit	Mächtigkeit [m]	Flurabstand (Mittelwert) [m u. GOK]	Volumetrische Wärmekapazität ¹ [MJ/(m ³ ·K)]		Dichte ¹ [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit ¹ (Mittelwert) [W/(m·K)]	
			ungesättigt	gesättigt		ungesättigt	gesättigt
QUARTÄR							
qGF							
Grobkies, sandig, steinig, schluffig	0 - 50	< 1 - 102 (11)	1,34 - 1,6	2,16 - 2,68	1,8 - 2,3	0,38 - 0,92 (0,65)	1,58 - 2,72 (2,15)
qG_S							
Grobkies-Sand, schluffig	< 8	< 1 - 70 (5)	1,34 - 1,6	2,16 - 2,72	1,8 - 2,3	0,36 - 0,92 (0,64)	1,66 - 2,82 (2,24)
qGFh							
Grobkies, sandig, steinig,	4 - 15	< 1 - 102 (13)	1,3 - 1,6	2,2 - 2,66	1,8 - 2,3	0,37 - 0,90 (0,64)	1,72 - 2,65 (2,19)
qmo10							
Geschiebemergel/-lehme	3 - 30	< 1 - 102 (20)	1,5 - 2,5		1,8 - 2,3	1,1 - 2,9 (2,0)	
TI_SI							
Ton-Schluff, sandig	4 - 15	< 1 - 62 (20)	1,36 - 1,6	2,14 - 2,66	1,8 - 2,2	0,4 - 0,93 (0,67)	1,45 - 2,68 (2,07)

Die Wärmeleitfähigkeit eines Aquifers ist abhängig vom Grundwasserspiegel bzw. Sättigungszustand. Eine mittlere Wärmeleitfähigkeit bezogen auf den Flurabstand kann wie in Abb. 58 berechnet werden. Als Beispiel wurde Bohrungen aus dem fluvioglazialen Schotter (qGF) und holozäne Talschotter und – sand (qG_S) gewählt (Tab. 43).

Detaillierte Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherkapazität des Untergrunds wird im Rahmen des Projekts „Informationsoffensive Oberflächennahe Geothermie“ vom Bayerischen Landesamt für Umwelt durchgeführt.

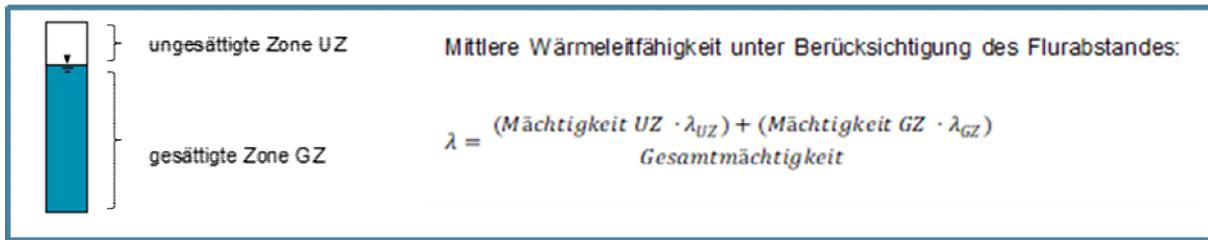


Abb. 58: Berechnung der mittleren Wärmeleitfähigkeit unter Berücksichtigung des Flurabstandes.

Tab. 43: Beispiele berechneter mittlerer Wärmeleitfähigkeit unter Berücksichtigung des Flurabstandes

BIS Objekt-ID	Hyd.geol. Einheit	Lagebeschreibung	Aquifer Mächtigkeit [m]	Flurabstand [m]	Mittlere Wärmeleitfähigkeit [MJ/(m ³ ·K)]
7934BG015019	qGF	im Süden von München	48.8	41.4	0.9
7637BG015194	qGF	im Norden von München	16.6	1.7	2.0
7835BG007874	qGF	Stadt München	13.2	7.5	1.3
7835BG009377	qG_S	im Süden von München	9.5	4.4	1.5
7835BG016116	qG_S	im Norden von München	11.4	4.6	1.6

6.5.5 Geothermische Nutzung

Eine Übersicht über die verfügbaren Anlagen in diesem Bericht zu den geothermischen Nutzungen gibt Tab. 44.

Bezeichnung der Anlage:	Inhalt
Anlage 13.1	Geothermisches Potenzial Stadtgebiet

Tab. 44: Anlagen zum Thema „Geothermische Nutzung“

6.5.5.1 Allgemeines

Für die Beurteilung der aufgezeigten Varianzen der Grundwassertemperaturen und besonders für die Abschätzung des geothermischen Potenzials in der Münchener Schotterebene ist es zwingend notwendig, die thermischen Nutzungen im quartären Grundwasserleiter des Projektgebiets zu erfassen.

6.5.5.2 Datengrundlage und Methodik

Die vollständige Datenerhebung von thermischen Nutzungen wurde innerhalb des Projektzeitraums durchgeführt. Im Projektgebiet wurden insgesamt 5006 Objekte wie Kühlwasser- und Wärmepumpenanlagen, Brauchwasserbrunnen, Erdwärmesonden und Anodenbohrungen recherchiert und mit den Daten im BIS abgeglichen. Davon wurden alleine 3788 Nutzungen am WWA-München und am Referat für Gesundheit und Umwelt recherchiert. Die erhobenen Daten werden nach einem einheitlichen Muster digitalisiert bzw. archiviert (in pdf-Format) und über eine integrierte Datenbankdokumentation kontrolliert und verwaltet.



Neben den Schicht- und Ausbaudaten wurden projektbegleitend laufend Ergebnisse zur monatlichen und jährlichen Entnahme- bzw. Einleitmengen und zur Vor- bzw. Rücklauftemperaturen beim Betrieb

der Brunnenanlagen recherchiert, deren Kenntnis für Erhebung des tatsächlich genutzten geothermischen Potenzials und für die Abschätzung des noch verfügbaren Potenzial in der Münchener Schotterebene unabdingbar ist.

In den Jahresberichten sind Angaben zu genehmigten Jahresgesamtentnahme- bzw. Einleitmengen, tatsächlichen monatlichen und gesamtjährlichen Entnahme- bzw. Einleitmengen, sowie zur Vor- und Rücklauftemperaturen enthalten. Es wurden zu 192 EÜV-pflichtigen Anlagen (Brauchwasserbrunnen, Kühlwasser- und Wärmepumpenanlagen mit einer Entnahme von mehr als 100.000 m³ im Jahr) 934 Jahres- und Monitoringberichte gesammelt und in einer Datenbank erfasst.

Während der Projektlaufzeit wurden bereits Auswertungen zu genehmigten, und aus den Jahresberichten ermittelten tatsächlich genutzten Entnahmemengen und Temperaturspreizungen durchgeführt. Bei diesen Auswertungen wurde die Datengrundlage bis zum Jahr 2013 genutzt.

Die einzelnen Arbeitsschritte zur Bestimmung des geothermischen Potenzials sind in Abb. 59 dargestellt.

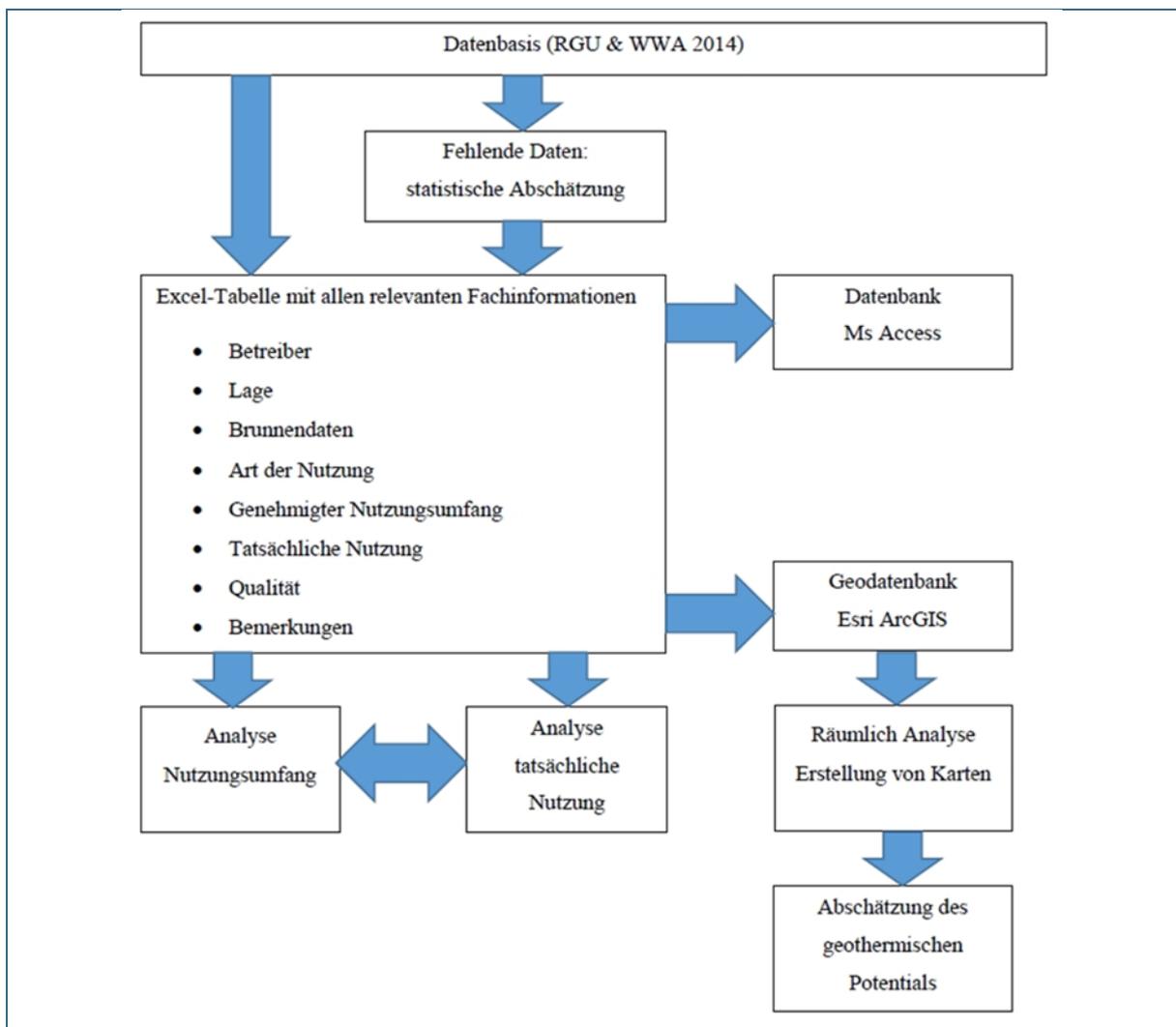


Abb. 59: Arbeitsschritte zur Bearbeitung der thermischen Nutzung.

6.5.5.3 Ergebnisse

Die nachfolgenden Ausführungen sollen kurz den Stand zum Projektende darstellen. Bei den 192 EÜV-pflichtigen Anlagen ergaben sich eine genehmigte Jahresentnahmen von 117.587.004 m³/a.

Diese werden in der Regel über das Jahr nie vollständig ausgeschöpft. Die ungenutzten genehmigten Fördermengen nahmen in den Jahren 2013 und 2014 aber deutlich ab (siehe Tab. 45).

Tab. 45: Genehmigte Entnahmemengen und Jahresentnahmemengen geothermischer Anlagen im Projektgebiet.

	Jahresentnahme [m ³ /a]	Über-/Unterschreitung [m ³ /a]
genehmigte Entnahme [m ³ /a]	117.587.004,00	
Jahresentnahme 2011	52.075.085,00	-47.597.523,00
Jahresentnahme 2012	56.742.957,00	-49.026.930,00
Jahresentnahme 2013	63.079.775,00	-35.286.189,00
Jahresentnahme 2014	55.785.300,00	-34.440.126,00

Im Untersuchungsgebiet sind Anfang 2013 insgesamt 2550 geothermische Anlagen in Betrieb. 2258 der geothermischen Anlagen heizen, 189 kühlen und 103 heizen und kühlen. Insgesamt beläuft sich die genehmigte jährliche Entnahme auf rund 175 Mio. m³. Davon entfallen rund 57 Mio. m³ auf Heizen und rund 118 Mio. m³ auf Kühlen. Bei kleinen geothermischen Anlagen mit einer genehmigten jährlichen Entnahme von weniger als 100.000 m³ überwiegt die Heiznutzung gegenüber der Kühlnutzung deutlich. Bei größeren Anlagen steht die Kühlnutzung im Vordergrund. Der genehmigte jährliche Energieaustrag aus dem Grundwasserleiter durch Heizen beträgt 2013 rund -1,2 PJ, der Energieeintrag durch Kühlen liegt bei rund 2,8 PJ. Es verbleibt ein theoretischer jährlich genehmigter Nettoenergieeintrag von rund 1,6 PJ in den Grundwasserleiter. Die räumliche Auswertung der Nettoenergieeinträge ist in [Anlage 13](#) dargestellt.

Betrachtet man die Entnahmemengen nach Nutzungsart (Kühlen, Heizen) sind sieht man, dass im Stadtbereich von München die Anlagen zu Heizzwecken deutlich überwiegen, jedoch mit einer um die Hälfte geringeren genehmigten Entnahmemenge. Daraus schlussfolgernd ergibt sich auch in der Energiebilanz, dass in der Stadt München um ein Vielfaches mehr an Energie dem quartären Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene zugeführt, als entnommen wird (siehe Tab. 46).

Tab. 46: Vergleich der geothermischen Kühl- und Heiznutzung in der Stadt München

	Heizen	Kühlen	Heizen und Kühlen
Nutzungsart	1.365	123	74
Entnahmemengen	ca. 45.000.000	ca. 90.000.000	
Genehmigter Energieein bzw.-austrag	ca. - 900.000	ca. 2.000.000	

Bei einem durchgeführten Vergleich der geothermischen Nutzung im Landkreis München mit dem Stadtgebiet fiel auf, dass sich die geothermische Nutzung im ländlichen Gebiet mehr auf kleine Heizanlagen fokussiert und weniger auf die Kältenutzung des Grundwasserleiters.

7 Detailbetrachtungen

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

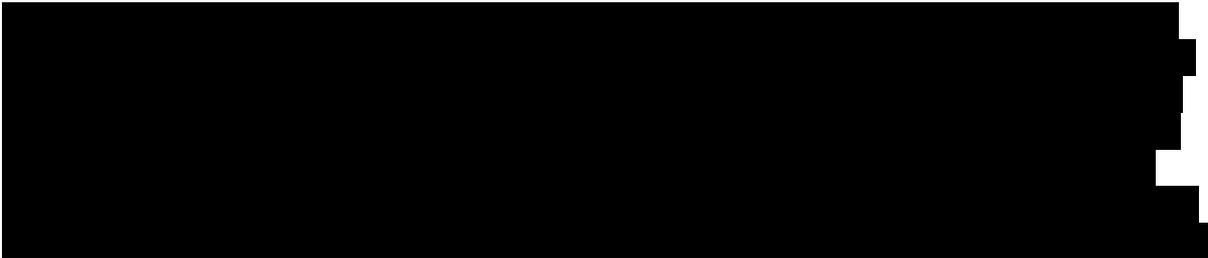
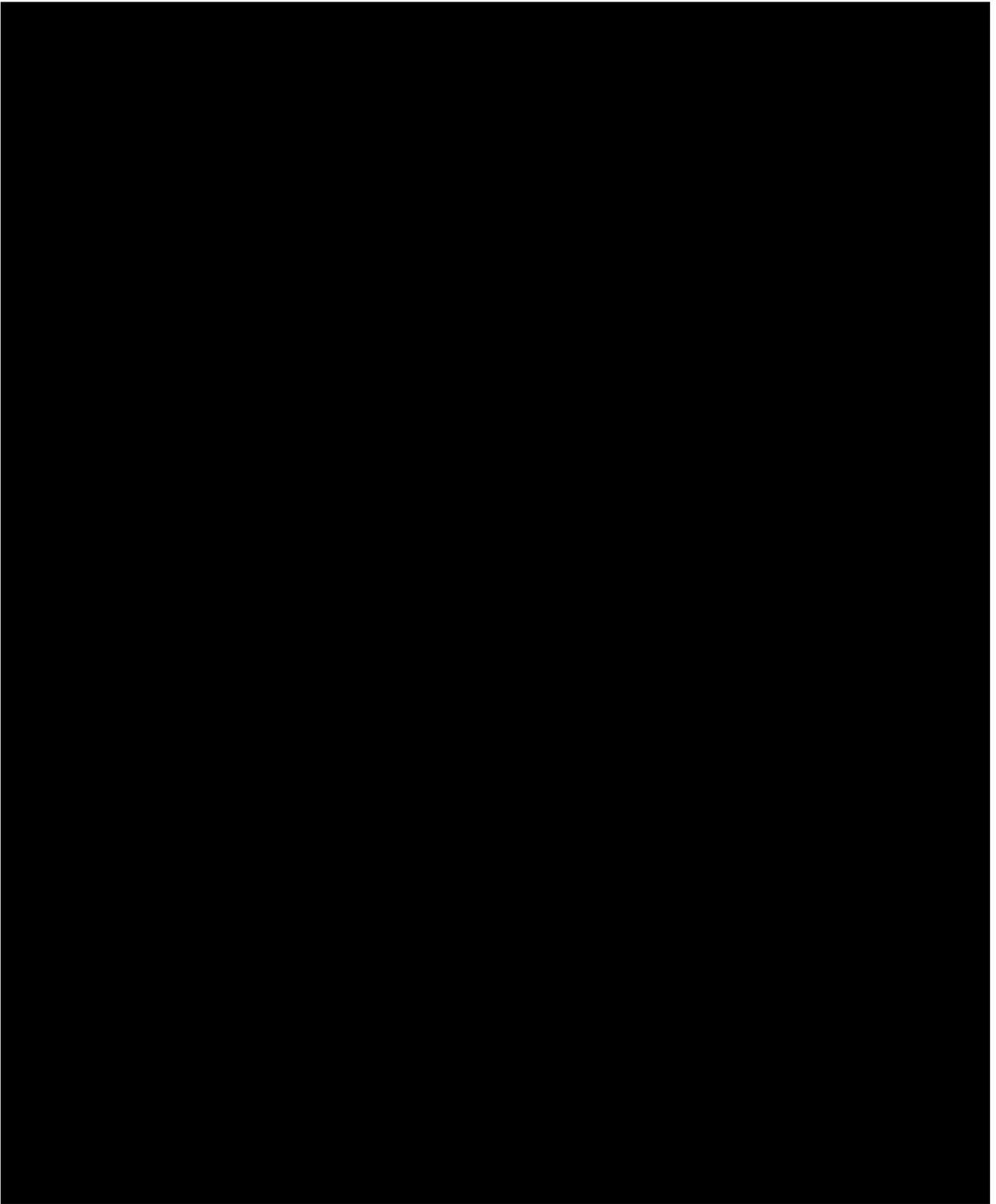
[REDACTED]

[Redacted text block]

[Large redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



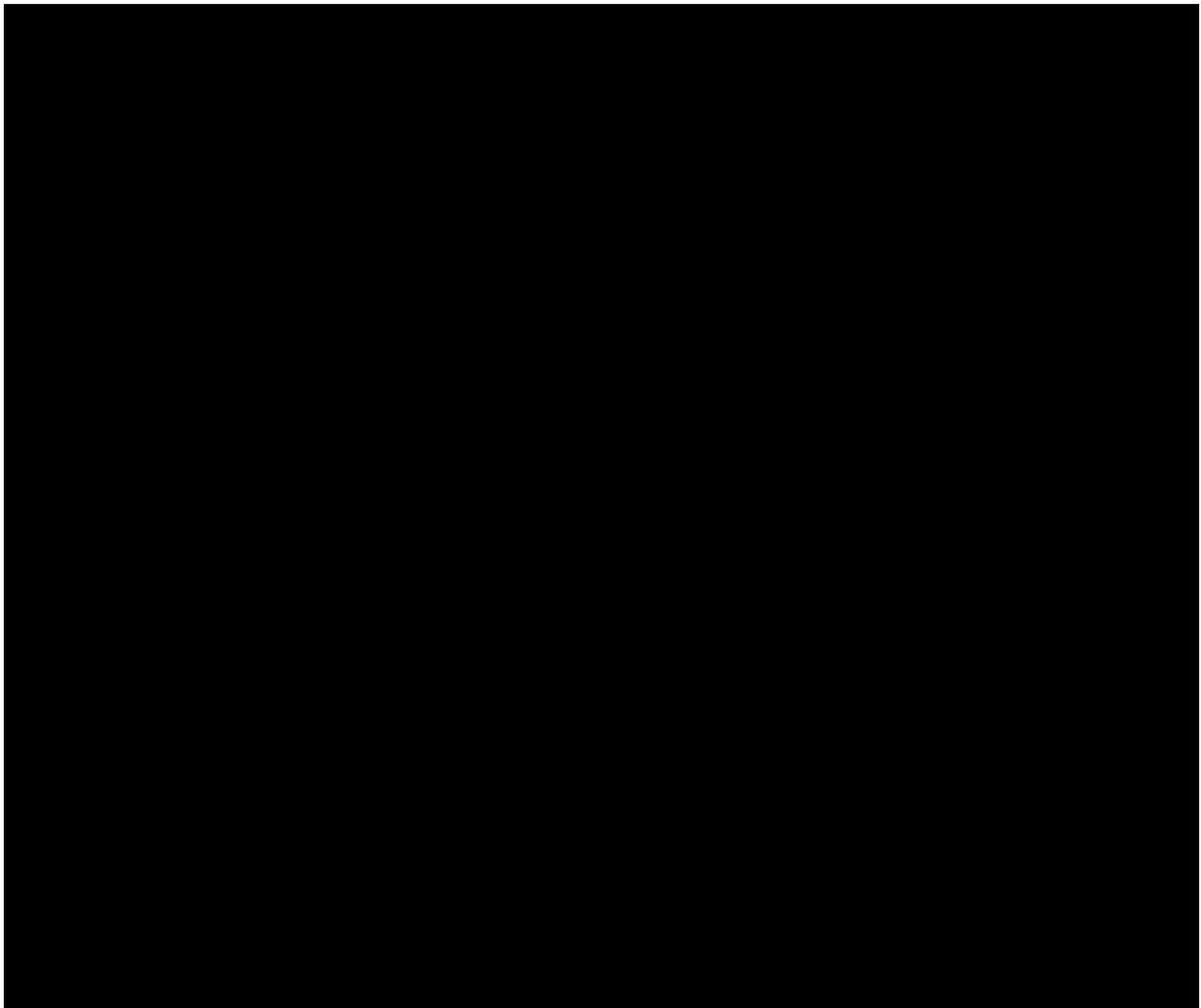
[REDACTED]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



7.3 Detailbetrachtungen: Grundwasserneubildungsrate für die Stadt München

Eine Übersicht über die verfügbaren Anlagen in diesem Bericht zu den Grundwasserneubildungsraten gibt Tab. 48.

Bezeichnung der Anlage:	Inhalt
Anlage 14.1	Grundwasserneubildung Stadtgebiet

Tab. 48:
Anlagen zum Thema „Detailbetrachtungen: Grundwasserneubildungsrate“

7.3.1 Allgemeines

Als eine Detailbetrachtung im Projekt wurde die Grundwasserneubildung der Stadt München untersucht. Zum einen wirkt die Grundwasserneubildung als positives Bilanzglied für eine Anreicherung des Grundwassers und wirkt damit auf die räumliche Ausbildung der Grundwasserhöhengleichen. Zum anderen kann die räumlich differenzierte Grundwasserneubildung als ein weiterer Parameter verwendet werden um zu versuchen, die räumliche und zeitliche Varianz der Grundwassertemperaturen zu erklären.

Für eine Betrachtung der gesamten Münchener Schotterebene reichte leider die Verteilung der Datengrundlage nicht aus. Informationen über den Versiegelungsgrad beispielsweise waren nur im Stadtgebiet erhältlich. Die Durchführung der Berechnung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem RGU München. Die Ermittlung der Grundwasserneubildung für München wurde dabei in erster Linie in einer Masterarbeit durchgeführt:

- Hammerl, M. (2015): Die räumliche Verteilung der Grundwasserneubildung im Stadtgebiet München. - unveröff. Masterarbeit an der TUM, Lehrstuhl Hydrogeologie, München.

7.3.2 Datengrundlage und Methodik

Die räumliche Verteilung der Grundwasserneubildung sollte möglichst aktuell im Stadtgebiet München berechnet werden. Dafür bot sich nach Sichtung der Grundlagendaten der Zeitraum von 2000-2009 an. Nach der Zusammenstellung aller erforderlichen räumlich aufgelösten Eingangsdaten in ArcGIS® wurde die flächendifferenzierte Grundwasserneubildung anhand des speziell für den urbanen Raum entwickelten Verfahrens nach MEßER (2013) berechnet (Abb. 66). Dieses Verfahren basiert auf der Methoden nach SCHRÖDER & WYRWICH (1990), welches wiederum auf das Verfahren nach DÖRHOFER & JOSOPAIT (1980) zurückzuführen ist. Der Berechnungsdurchgang gliedert sich dabei in vier grundlegende Schritte:

- Berechnung der Verdunstung: Die Verdunstung für die verschiedenen Kombinationen von Klimazone, Boden, Flurabstand und Flächennutzung wurden nach dem Verfahren BAGLUVA (GLUGLA et al. 2003) berechnet. Die maximale Verdunstung wurde aus der Gras-Referenzverdunstung (ATV-DVWK 2002) ermittelt.
- Berechnung des Gesamtabflusses: Der Gesamtabfluss entspricht hier der Differenz aus dem Niederschlag und der Verdunstung.
- Abtrennung des Direktabflusses: Der Anteil des Direktabflusses p am Gesamtabfluss wird berechnet. Dieser ist abhängig von mehreren Faktoren: Der Direktabflussanteil nimmt im Zusammenhang mit der Flächennutzung von Ackerflächen über Mischvegetation bis hin zum Wald ab. Die Art des Bodens spielt ebenfalls eine Rolle: Je bindiger der Boden und je geringer der Flurabstand, desto höher der Direktabfluss. Eine höhere Hangneigung führt generell auch zu einer Zunahme des Direktabflussanteils.

Als letzter Schritt kann die Grundwasserneubildung durch Einsatz der bisher ermittelten Werte direkt nach Gleichung nach MEßER (2013: 24) für jede aus der Verschneidung hervorgegangenen, homogene Teilfläche berechnet werden

Als Eingangsdaten gehen ein: Niederschlag (1 km² Rasterdaten vom Deutschen Wetterdienst), Verdunstung (1 km² Rasterdatensätze der potentiellen Verdunstung vom Deutschen Wetterdienst), Bodenklassen (Übersichtsbodenkarte 1:25000 (ÜBK25) des bayerischen Landesamtes), Flurabstand (Flurabstand für 1990 vom RGU München), Flächennutzung (Verschnitt aus ATKIS-Daten und der Versiegelungskarte des RGU München), Hangneigung (Berechnung aus dem 2m-DGM der Bayerische Vermessungsverwaltung 2014).

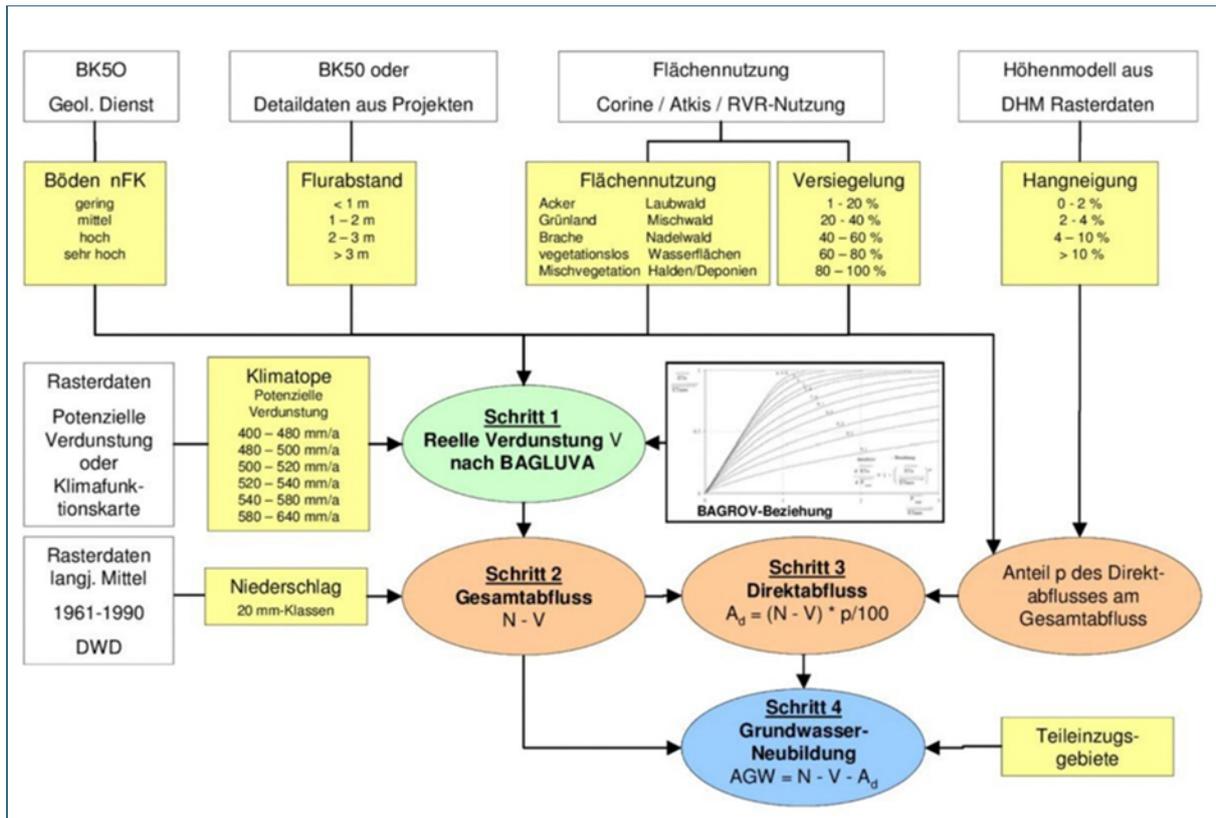


Abb. 66: Verfahren nach MEßER (2013) zur Berechnung der Grundwasserneubildung.

7.3.3 Ergebnisse

Die mittlere Grundwasserneubildung für das Stadtgebiet München im Zeitraum 2000 bis 2009 beträgt 284,13 mm/a (ca. 88 Mio m³/a). Die Wasserhaushaltsbilanz für das Stadtgebiet München im Zeitraum von 2000 bis 2009 ist in Tab. 49 dargestellt. Die flächendifferenzierte Grundwasserneubildung ist in Anlage 14.1 ersichtlich.

Tab. 49: Wasserhaushaltsbilanz in München, Untersuchungszeitraum 2000-2009.

2000-2009	Niederschlag	Verdunstung	Direktabfluss	Grundwasserneubildung
Flächengewichteter Mittelwert (mm/a)	926,83	374,81	267,50	284,13
Absoluter Wert (m³/a)	287707426,88	116348497,69	83037100,98	88198236,31
Absoluter Wert (l/s*km²)	29,39	11,89	8,48	9,01
Anteil (%)	100,00	40,44	28,86	30,66

8 Zusammenfassung und Fazit

Zuletzt möchten wir noch die Gelegenheit wahrnehmen ein Fazit zu ziehen, auf das Erreichte und vielleicht auch Besondere hinzuweisen, dass dieses Projekt auszeichnet.

Am Anfang waren die Daten. Der Großraum München bietet einen unvergleichlich umfangreichen Datenfundus, der sich gleichermaßen unvergleichlich strukturiert und unter der Obhut vieler voneinander unabhängig agierender Institutionen und Unternehmen steht. Mit GEPO ist es erstmals gelungen, diesen Datenschatz in seiner Gänze zu orten und zu heben. Der bedeutendste Anteil wurde in das Bodeninformationssystem Bayern eingepflegt und steht damit den Eigentümern uneingeschränkt, und allen weiteren Nutzern unter Einhaltung gewisser Rahmenbedingungen, digital zur Verfügung. In diesem Zusammenhang darf sich GEPO auch auf die Fahnen schreiben, dass alle wichtigen Institutionen, die sowohl Daten als auch Fachwissen bereitstellten, im Rahmen einer AG regelmäßig an den runden Tisch oder in Statusseminaren zusammenkamen. Die AG wird auch zum Folgeprojekt GEOPOT ihren Anteil beitragen.

GEPO hat alle vereinbarten Ziele fristgerecht erreicht. Dabei wurden besondere Herausforderungen mutig angegangen. So wurden nicht nur wichtige Grundlagen für geowissenschaftliche Fragestellungen beharrlich erarbeitet, sondern in vielerlei Hinsicht neue Erkenntnisse und Daten gewonnen. Erstmals stehen diverse Darstellungen des Grundwasserregimes für die gesamte Münchner Schotterebene zur Verfügung. In diesem Kontext wurden spezielle Fachlayer entwickelt und zur modellhaften Abbildung zahlreiche hydrogeologische Profilschnitte konstruiert. Die Auswertung hunderter Schichtenverzeichnissen flossen in eine flächendeckende, hochaufgelöste Modellierung der Tertiäroberkante ein, eine Demaskierung vieler bislang unbekannter Strukturen, die für die Beantwortung dringender Fragestellungen neue Ansätze liefert. Im Rahmen mehrerer Bachelor- bzw. Masterarbeiten und zweier Dissertationen gab es viele Messungen und Detailuntersuchungen, z. B. zur Interaktion zwischen quartärem und tertiärem Grundwasserstockwerk oder zum Einfluss von Gebäuden auf die Grundwassertemperatur.

Mit diesen qualitativ hochwertigen Grundlagen wurden in der Fortsetzung u. a. detailreiche und aussagekräftige Temperaturkarten und Temperaturprofile für das Grundwasser des Stadtgebiets erstellt. Die Möglichkeiten zur Nutzung der geothermischen Energie sind vielfältig und besonders im Stadtgebiet gefragt.

Mit GEOPOT geht das Projekt in die zweite Runde. Anfang 2016 laden wir die AG zum Statusseminar ein, in dem wir GEOPOT präsentieren wollen. Gleichzeitig soll in diesem Rahmen auch die Abschlussveranstaltung von GEPO stattfinden.

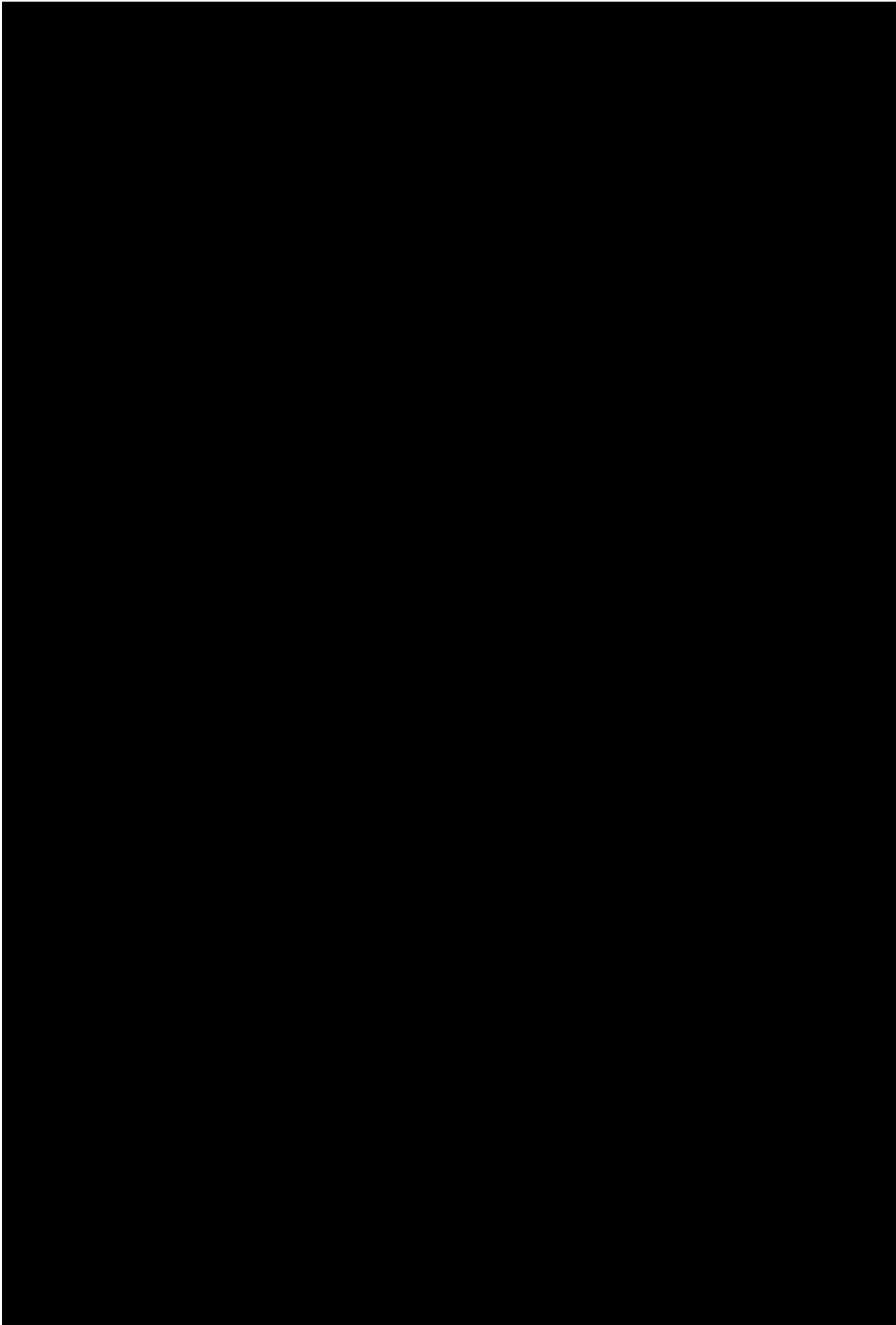
[Redacted]

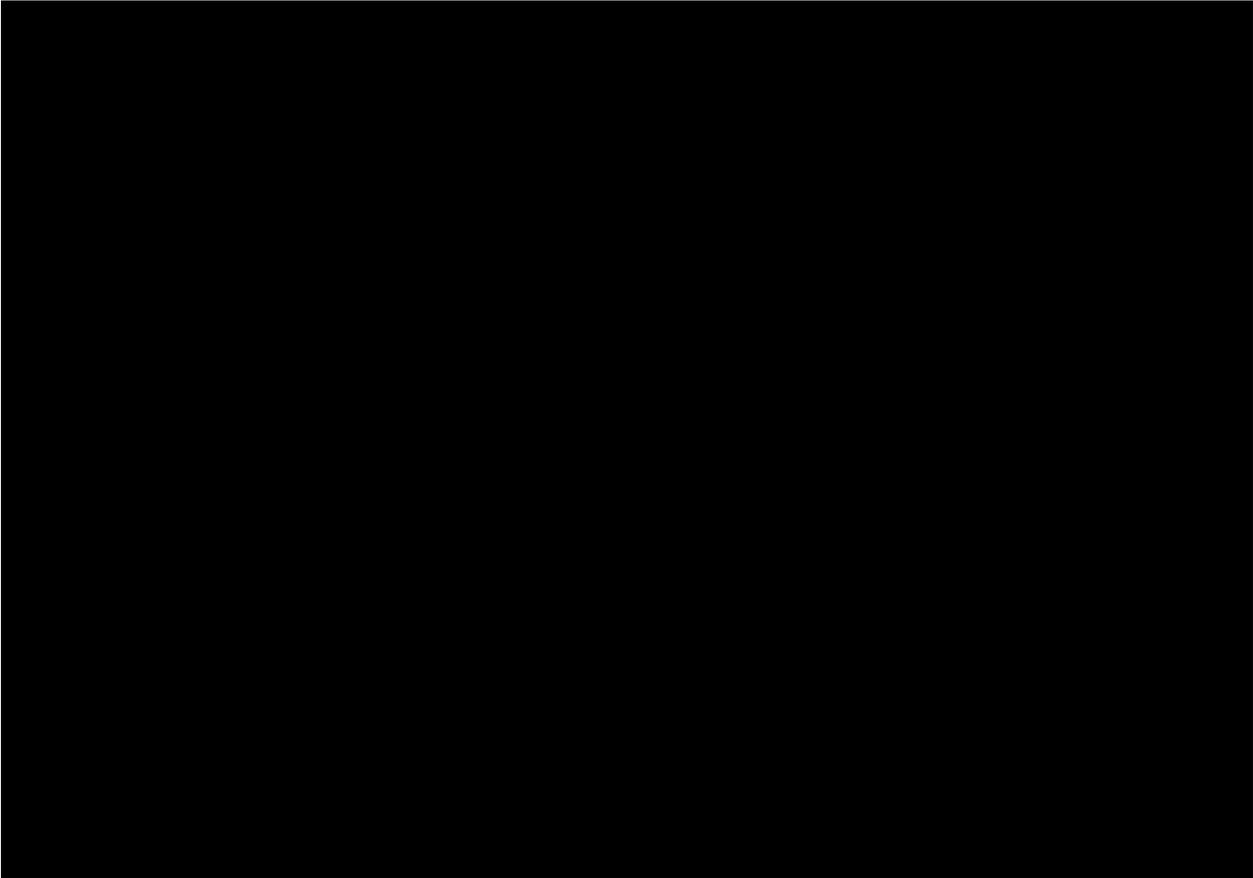
9

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]





10

[REDACTED]

11 Literatur

- [1] ALLEN, A., MILENIC, D. & SIKORA, P. (2003): Shallow gravel aquifers and the urban 'heat island' effect: a source of low enthalpy geothermal energy. – GEOTHERMICS, 32: 569-578.
- [2] ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2002): Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. – 144 S., September 2002 Aufl., Hennef: (GFA Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik).
- [3] BAUER, M., NEUMANN, P., SCHOLZ, M. & THURO, K. (2005): Die Geologie des Münchner Untergrunds und seine Bedeutung für die Baugrundmodellbildung in städtischen Gebieten. Geotechnik 2/2005, 83-92.
- [4] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT [Hrsg.] (1983): Grundwassertemperaturen München. - Informationsberichte de Byer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, 26 S., München.
- [5] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT [Hrsg.] (2001): Grundwassertemperatur-Tiefenprofilmessungen der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung. - Materialien Nr. 103. 29 S., München.
- [6] BEIER, M. (2008): Urbane Beeinflussung des Grundwassers: Stoffemissionen und –immissionen am Beispiel Darmstadts (Urban influence on groundwater: Parameter immission and emission at the example of Darmstadt). – PhD thesis. Technische Universität, Darmstadt, S. 291.
- [7] BGU - DR.SCHOTT & PARTNER (1995): Hydrogeologisches Gutachten zu den weiterführenden Untersuchungen zur Ermittlung des Grundwassereinzugsgebietes der Brunnen 7 – 10 im Kreuzlinger Forst Würmtal-Zweckverband/Planegg. 1995 – Gutachten Ingenieurbüro BGU - Dr.Schott & Partner GbR, Starnberg.
- [8] BGU - DR.SCHOTT & PARTNER (1996): Hydrogeologisches Gutachten zu den weiterführenden Untersuchungen zur Ermittlung des Grundwassereinzugsgebietes der Brunnen 7 – 10 im Kreuzlinger Forst Würmtal-Zweckverband/Planegg. 1996 – Gutachten Ingenieurbüro BGU - Dr.Schott & Partner GbR, Starnberg.
- [9] BGU - DR.SCHOTT & PARTNER (1997): Hydrogeologisches Gutachten zu den weiterführenden Untersuchungen zur Ermittlung des Grundwassereinzugsgebietes der Brunnen 7 – 10 im Kreuzlinger Forst Würmtal-Zweckverband/Planegg. 1997 – Gutachten Ingenieurbüro BGU - Dr.Schott & Partner GbR, Starnberg.
- [10] BLASY, L. (1974): Die Grundwasserverhältnisse in der Münchener Schotterebene westlich der Isar. – 103 S., Promotion, Fak. f. Allg. Wiss., Technische Universität München, München.
- [11] BLASY + MADER GMBH (2002): Kiesabbau Moosburg Semptwiesen, Landkreis Freising, Fa. Isarkies GmbH & Co. KG – Dokumentation und Bewertung der hydrogeologischen Beweissicherung und Erkundung. Gutachten Ingenieurbüro BLASY + MADER GmbH, Eching am Ammersee.
- [12] BLASY + MADER GMBH (2007): Kiesabbau Firma Hörgstetter Flurstück 727 und 729, Forstinning, Landkreis Ebersberg – Hydrogeologisches Gutachten. Gutachten Ingenieurbüro BLASY + MADER GmbH, Eching am Ammersee.
- [13] DAHLEM, K.-H. (2000): Der Einfluß des Grundwassers auf den Wärmeverlust erdreichberührter Bauteile. – In: Heinrich, H. (2000) [Hrsg.]: Berichte aus Praxis und Forschung des Fachgebietes Bauphysik / Technische Gebäudeausrüstung / Baulicher Brandschutz, Band 1. – Diss., Fachbereich Architektur / Raum- und Umweltplanung / Bauingenieurwesen der Universität Kaiserslautern, 127 S., Kaiserslautern.

- [14] DIN 18130-1 (1998): Baugrund, Untersuchungen von Bodenproben. Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts. Teil 1: Laborversuche. –Berlin (Beuth).
- [15] DOBEN, K., DOPPLER, G., FREUDENBERGER, W., JERZ, H., MEYER, R.K.F., MIELKE, H., OTT, W.-D., ROHRMÜLLER, J., SCHMIDT-KALER, H., SCHWERD, K. & UNGER, J.H. (1996): Geologische Karte von Bayern 1 : 500 000. – 4. Aufl., München (Bayer. Geol. Landesamt).
- [16] DOHR, F. (1989): Die Grundwassertemperatur in dem oberflächennahen Grundwasserstockwerk des Stadtgebiet Münchens. – Diss., Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie, Ludwig-Maximilians-Universität 191 S., München.
- [17] DOHR, F. (1995): Geologische und Hydrologische Beschaffenheit. – In: SPIECKER, H. (Hrsg.): Der Münchner Untergrund, 1-10, München (Münchner Forum).
- [18] DOHR, F. & GRUBAN, W. (1999): Grundwasserüberwachungssystem der Landeshauptstadt München – Abschlussbericht.– 167 S., Referat für Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt München; (München).
- [19] DOHR, F. (2011): Grundwassertemperaturen München – Messungen 2009-2010. – Referat für Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt München, 45 S., München.
- [20] DÖRHOFER, G. & JOSOPAIT, V. (1980): Eine Methode zur flächendifferenzierte Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. In: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe and Geologische Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): Geologisches Jahrbuch. Reihe C, Vol. 27: 45-65, Hannover.
- [21] DR. BLASY - DR. ØVERLAND (2010): Machbarkeitsstudie Autobahn A 99, Autobahnring München – Südabschnitt. Phase 1 – Basisuntersuchung. Teil Geologie, Hydrogeologie. Machbarkeitsstudie im Auftrag des Freistaats Bayern, Autobahndirektion Südbayern - Plan Dr. Blasy - Dr. Øverland Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG.
- [22] DVGW-Merkblatt W 119 (2002): Entwickeln von Brunnen durch Entsandern - Anforderungen, Verfahren, Restsandgehalte. Bonn (Dt. Verein des Gas- u. Wasserfaches).
- [23] ENTENMANN, W. (1992): Das hydrogeologische Beweissicherungsverfahren für Hausmülldeponien. – Band 1: Verfahren, Fallbeispiele, Erkundung und Erfassung hydraulischer Daten. – Clausthaler Geol. Abh., 49: 164 S., Köln.
- [24] EXLER, H. J. (1967): Hydrogeologische Profile der U-Bahn-Trasse zwischen Haupt- und Ostbahnhof der Landeshauptstadt München.– Dt. Gewässerkundl. Mitt., Sonderheft: 101 - 111, Koblenz.
- [25] FERGUSON, G. & WOODBURY, AD (2004): Subsurface heat flow in an urban environment. – J. Geophys. Res., 109: B02402.
- [26] GEBHARDT, P. (1968): Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse beim Münchner U-Bahn-Bau. – 144 S., Diss., Hohe Naturwiss. Fak., LMU München, München.
- [27] GEOTECHNISCHES BÜRO/IGWU (2001): Großräumiges Grundwasserströmungsmodell für den Ortenburger Schotter zwischen Straubing und Vilshofen. – Gutachten Geotechnisches Büro Prof. Dr. Schuler und Dr.- Ing. Gödecke, Augsburg und IGWu GmbH Ingenieurbüro für Grundwasser und Umweltfragen, Markt Schwaben (unveröff.).
- [28] GLA (1982): Bayerisches Geologisches Landesamt (GLA), Titel: Hydrogeologische Untersuchungen für die wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, Grundwasser in Moränengebieten. München, 39 S. , 7 Karten.

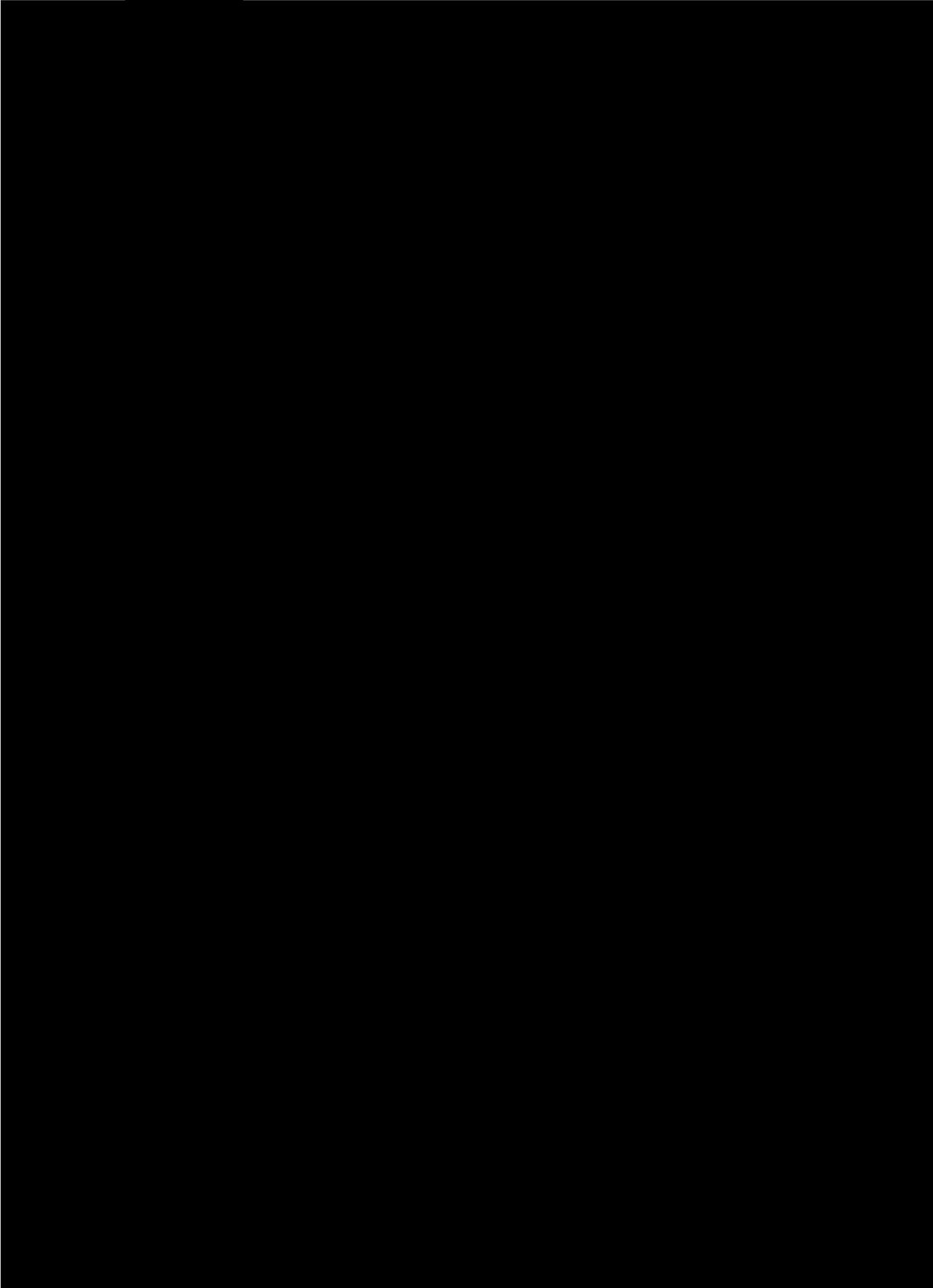
- [29] GLUGLA, G., JANKIEWICZ, P., RACHIMOW, C. et al. (2003): BAGLUVA - Wasserhaushaltsverfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der tatsächlichen Verdunstung und des Gesamtabflusses. - BfG Bericht 1342. - 118 S., Koblenz (BfG)
- [30] GROTTENTHALER, W. (1980): Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000 – Erläuterungen zum Blatt Nr. 7833 Fürstenfeldbruck, Bayerisches Geologisches Landesamt.
- [31] GROTTENTHALER, W. (1985): Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000 – Erläuterungen zum Blatt Nr. 8036 Otterfing und zum Blatt Nr. 8136 Holzkirchen, Bayerisches Geologisches Landesamt.
- [32] GROTTENTHALER, W., BADER, K., OTT, E., SALGER, M., SCHUCH, M., WROBEL, J.P. (1980): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000 Blatt Nr. 7833 Fürstenfeldbruck. – 82 S., München (Bayer. Geol. Landesamt).
- [33] HOETZL, H & MAKURAT, A. (1981): Veränderungen der Grundwassertemperaturen unter dicht bebauten Flächen am Beispiel der Stadt Karlsruhe. – Z. Dtsch.Geol. Ges., 132: 767–777.
- [34] HYDROCONSULT (2011): Gemeinde Wörth - Gewinnungsgebiet „Maiszagl“ – Hydrogeologisches Modell und Ermittlung des Grundwassereinzugsgebietes. Gutachten Ingenieurbüro HydroConsult GmbH, Augsburg.
- [35] JERZ, K., BADER, K., BAUMANN, H.J., SALGER, M., SCHMEIDL, H., WROBEL, J-P. (1987): Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000 – Erläuterungen zum Blatt Nr. 7934 Starnberg Nord, Bayerisches Geologisches Landesamt.
- [36] KISSKALT, K. (1940): Quantitative Bestimmung bei Untersuchungen über die Strömung des Grundwasser mittels Färbung und Salzung. – Archiv für Hygiene und Bakteriologie 125 (1): S.29-38.
- [37] KRAUSE, K-H. (2000): Die geologisch-hydrogeologische Situation im Jung- und Altmoränengebiet des Andechser Höhenrückens zwischen Ammer- und Würmsee und in der nördlich angrenzenden Wurzelzone der westlichen Münchener Schotterebene (Oberbayern). – 226 S., unveröffentl. Promotion, Lehrstuhl für Allgemeine, Angewandte und Ingenieur-Geologie, Technische Universität München, München.
- [38] KÜNHARDT, M. & NIESSNER, R. (1995): Untersuchungen zum Ausbreitungsverhalten von PAHs in einem variablen Modellaquifer. – Z. dt. geol. Ges. 146 (1): 30-38.
- [39] MENBERG, K., BAYER, P., ZOSEDER, K., RUMOHR, S. & BLUM, P. (2013): Subsurface urban heat island in German cities. – Science of the Total Environment, 442: 123-133.
- [40] MENBERG, K., BAYER, P., ZOSEDER, K., RUMOHR, S. & BLUM, P. (2013): Long-Term Evolution of Anthropogenic Heat Fluxes into a Subsurface Urban Heat Island. – Environmental Science & Technology, 9747-9755 S.
- [41] MEßER, J. (2013): Ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildung in Mitteleuropa. - http://gwneu.de/pdf/Verfahren_GWneu_2014.pdf, abgerufen am 20.6.2015.
- [42] MÜLLER, J. (1952): Bedeutsame Feststellungen bei Grundwasserverunreinigungen durch Benzin. – GWF 93 (8):S. 205-209.
- [43] MRZIGLOD-HUND, M. (1995): Berechnungsverfahren für den Wärmeverlust erdreichberührter Bauteile. – Diss., fachbereich Architektur/Raum- und Umweltplanung/Bauingenieurwesen der Universität Kaiserslautern, 134 S., Kaiserslautern.

- [44] PENCK, A. (1913): Die Glazialbildungen zwischen Tölz und Holzkirchen. In: Zeitschrift für Gletscherkunde, Heft 2, Mai 1913, S. 74-118. Berlin.
- [45] PROCHER, M. (1985): Die Grundwasserdüker- und Überleitungsanlagen der U-Bahnlinie U 8/1 mit einer Beurteilung ihrer hydraulischen Wirksamkeit und rechnerischen Bemessung. – 192 S., München (Lst. f. Hydrogeologie und Hydrochemie, TU München).
- [46] SALAMEH, E. (1974): Hydrogeologie und Hydrochemie des nordwestlichen Bereiches der Münchener Schotterebene und des angrenzenden Tertiärs zwischen Isar und Paar. - 168 S., Dissertation, Fak. f. Allg. Wiss., Technische Universität München, München.
- [47] SCHIRM, E. (1968): Die hydrogeologischen Verhältnisse der Münchner Schotterebene östlich der Isar. Beitrag zur hydrologischen Dekade der UNESCO. – 139 S., München (Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde).
- [48] SCHRÖDER M. & WYRWICH, D. (1990): Eine in Nordrhein-Westfalen angewendete Methode zur flächendifferenzierte Ermittlung der Grundwasserneubildung. - In: Deutsche Wasserkundliche Mitteilungen: DGM. Mitteilungsblatt der gewässerkundlichen Dienststellen des Bundes und der Länder, Vol. 1: 12-16, Koblenz.
- [49] SEILER, K.-P. (1973): Geologische Grenzflächen in fluvioglazialen Kiessanden und ihr Einfluss auf die Grundwasserbewegung. Hydrometrische und radiohydrometrische Untersuchungsergebnisse aus dem Norden der Münchner Schotterebene. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft Band 126: 349 – 357 S., Hannover.
- [50] SEILER, K.-P. (1979): Durchlässigkeiten und Porosität von Lockergesteinen in Oberbayern. – Mitt. Ing.- u. Hydrogeol. 9: 105-126.
- [51] TANIGUCHI, M., UEMURA, T. & JAGO-ON, K. (2007): Combined effects of urbanization and global warming on subsurface temperature in four Asian cities. – Vadose Zone Journal, 6(3): 591–596.
- [52] VEREIN DEUTSCHER INGENIEUR VDI (2010): VDI 4640 Blatt 1: Thermische Nutzung des Untergrunds – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. Beuth Verlag, Berlin.
- [53] VOGT, N. (2006): Geotechnische Begutachtung: Raumordnungsunterlagen 3. Start- und Landebahn. – 20 S., München (Zentrum Geotechnik).
- [54] WATEC (1988): Hydrogeologisches Gutachten für eine Trinkwassererschließung im Raum Valley. – Gutachten Ingenieurbüro WATEC Ingenieurgesellschaft für Hydrogeologie und Hydrochemie mbH, Markt Schwaben.
- [55] WATEC (1993): Hydrogeologisches Gutachten zur Grundwassererschließung im Aufhausener Wald der Stadtwerke Erding – Gutachten Ingenieurbüro WATEC Ingenieurgesellschaft für Hydrogeologie und Hydrochemie mbH, Markt Schwaben.
- [56] WICKLERIN, A., STEUßLOFF, S., BARTETZKO, A., CONRAD, R., KUNZ, R., SCHMOLKE, L., STEINBRECHER, A. & WALTER, P. (2006): Brunnen: Ein komplexes System.– 2.Aufl., 240 S., Renningen (Expert-Verl.).
- [57] YALCIN, T. & YETEMEN, O. (2009): Local warming of groundwaters caused by the urban heat island effect in Istanbul, Turkey. – Hydrogeol. J., 17: 1247–1255.
- [58] ZIMNIOK, K. (1967): Die Grundwasserverhältnisse beim U-Bahn-Bau in München. – Dt. Gewässerkundl. Mitt., Sonderheft: 94 – 100, Koblenz.
- [59] ZOSEDER, K. (2007): Heterogenitäten von PAK-Kontaminationen im Grundwasser. - Bochumer Geowissenschaftliche Arbeiten, Heft 12, 236 S., Bochum.

- [60] ZHU, K., BLUM P., FERGUSON, G., BALKE, K-D. & BAYER, P. (2011): The geothermal potential of urban heat islands. – Environ. Res. Lett., 6, 019501 (1p).

URL-Verzeichnis:

- [61] www-01 (abgerufen am 12.11.2014): <https://desktop.arcgis.com/de/desktop/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/how-darcy-flow-and-darcy-velocity-work.htm>.



13 Anlagen

Anlage 1: [REDACTED]

Anlage 2: [REDACTED]

Anlage 3: Profilschnitte

Anlage 4: Quartärbasis

Anlage 4.1: Quartärbasis Arbeitsgebiet

Anlage 4.2: Quartärbasis Stadtgebiet

Anlage 4.3: Standartabweichung Arbeitsgebiet

Anlage 4.4: Standartabweichung Stadtgebiet

Anlage 4.5: 3-D Modell

Anlage 5: Grundwassergleichenplan

Anlage 5.1: Grundwassergleichenplan Arbeitsgebiet

Anlage 5.2: Grundwassergleichenplan Stadtgebiet

Anlage 6: Durchlässigkeitsbeiwerte

Anlage 6.1: Durchlässigkeitsbeiwerte Arbeitsgebiet

Anlage 7: Grundwassermächtigkeiten

Anlage 7.1: Grundwassermächtigkeiten Arbeitsgebiet

Anlage 7.2: Grundwassermächtigkeiten Stadtgebiet

Anlage 8: Grundwasserflurabstände

Anlage 8.1: Grundwasserflurabstände Arbeitsgebiet

Anlage 8.2: Grundwasserflurabstände Stadtgebiet

Anlage 9: Grundwasserfließgeschwindigkeiten

Anlage 9.1: Grundwasserfließgeschwindigkeiten Arbeitsgebiet

Anlage 9.2: Grundwasserfließgeschwindigkeiten Stadtgebiet

Anlage 10: Grundwasserfließrichtungen

Anlage 10.1: Grundwasserfließrichtung Arbeitsgebiet

Anlage 10.2: Grundwasserfließrichtung Stadtgebiet

Anlage 11: Interaktion zwischen dem quartären und tertiären Grundwasserstockwerk

Anlage 11.1: Interaktion Q/T Arbeitsgebiet

Anlage 11.2: Interaktion Q/T Stadtgebiet

Anlage 12: Flächenhafte Grundwassertemperaturverteilung

Anlage 12.1: Grundwassertemperaturverteilung Arbeitsgebiet

Anlage 12.2: Grundwassertemperaturverteilung Arbeitsgebiet

Anlage 12.3: Grundwassertemperaturverteilung Stadtgebiet

Anlage 13: Geothermisches Potenzial Stadtgebiet

Anlage 13.1: Geothermisches Potenzial Stadtgebiet

Anlage 14: Detailbetrachtungen

Anlage 14.1: Grundwasserneubildung Stadtgebiet

Anlage 15: Abtretung der Bildrechte