

Lehrstuhl für Allgemeine, Angewandte und Ingenieur-Geologie
der Technischen Universität München

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)

Karl-Heinz Krause

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Chemie der Technischen Universität
München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.- Prof. Dr. W. Nitsch

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.- Prof. Dr. K.-O. Kopp, i. R.
2. Univ.- Prof. Dr. G. Spaun

Die Dissertation wurde am 16. 10. 2000 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Chemie am 08. 01. 2001 angenommen.

Dank

Den Anstoß zur Auseinandersetzung mit der vorliegenden Thematik gab mein Doktorvater Herr Prof. Dr. Kopp, inzwischen emeritierter Professor für Allgemeine und Historische Geologie an der Technischen Universität in München. Für die, über seine aktive Universitätszeit hinausreichende, überaus engagierte und wohlwollende Begleitung dieser Arbeit möchte ich an erster Stelle herzlich Dank sagen. Eine ebenso entgegenkommende Unterstützung wurde mir durch Herrn Prof. Dr. Jerz, Honorarprofessor für Allgemeine Geologie an der Universität Augsburg, zu Teil. Beide Herren waren zudem erfolgreich darum bemüht, bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft eine eineinhalb jährige Förderung dieser Arbeit durchzusetzen, für die dem Institut besonders gedankt sei.

Maßgeblichen Einfluß auf die Orientierung und den Erfolg dieser Arbeit hatten die Leiter des Ingenieurbüros BGU in Starnberg Herr Dr. Schott und Herr Dr. Straub, die mir großzügig Gelegenheit gaben, im Rahmen mehrerer hydrogeologischer Basisstudien unter fachkundiger Betreuung äußerst umfangreiche Recherchen und Geländearbeiten durchzuführen. Für ebenso freundliche wie sachkundige Unterstützung danke ich den Herrn Dipl.-Geologen Kampfner (Fa. WATEC), Wolf (Fa. BLASY+MADER), Hafner (Ingenieurbüro Hafner), Conradi und Landauer.

Zahlreiche Behördenvertreter haben bereitwillig fachliche Auskünfte erteilt, großzügig Einsichtnahme in ihre Unterlagen gewährt und Geländearbeiten unterstützt. In diesem Zusammenhang danke ich besonders dem Bayerischen Geologischen Landesamt in München, vornehmlich Herrn Dr. Bader, Herrn Dr. Grottenthaler, Herrn Dr. K. F. Meyer und Herrn Dipl.-Ing. Krause. Am Landesamt für Wasserwirtschaft in München gilt mein herzlicher Dank Herrn Dr. Wenger, beim Würmtal-Zweckverband in Planegg Herrn Dipl.-Ing. Kamm. Der Firma Mobil Oil in Celle verdanke ich die freizügige Bereitstellung umfangreicher Bohraufzeichnungen.

Zusammenfassend sei den Wasserwirtschaftsämtern Weilheim und München, dem Deutschen Wetterdienst in München sowie den Gemeindeverwaltungen und Bürgermeistern der im Untersuchungsgebiet liegenden Kommunen für vielerlei freundliche, kostenfreie und unbürokratische Hilfe gedankt.

Herrn Dr. T. Schneider vom Lehrstuhl Didaktik der Geographie in Augsburg danke ich freundschaftlich für die mühevollen Durchsicht der Arbeit. Meiner Familie danke ich für endlose Geduld und Toleranz.

Inhalt

Seite

Einleitung - Problemstellung und Ziele -Zur Auswahl des Untersuchungsgebietes - Methodischer Ansatz ..	1
A Bisheriger Forschungs- und Kenntnisstand	5
AI Geologisch-hydrogeologischer Überblick	5
1 Geographie	5
2 Tertiär (Obere Süßwassermolasse / OSM)	6
2.1 Allgemeines	6
2.2 Bruchzonen - Tektonik	7
2.3 Tertiäroberfläche	8
2.4 Ausbildung und hydrogeologische Eigenschaften	12
3 Quartär (Pleistozän - Holozän)	13
3.1 Allgemeines	13
3.2 Deckenschotter (Mindel und älter) - Regionale Verbreitung und Höhenlagen	18
3.3 Jung- und mittelpleistozäne Schichten (Würm und Riß) - Regionale Verbreitung	19
3.4 Ausbildung und hydrogeologische Eigenschaften quartärer Sedimente	20
4 Böden	23
AII Hydrologischer Überblick - Grundwassersituation	24
1 Allgemeine Hydrometeorologie	24
2 Klima- und Wasserhaushalt	24
2.1 Niederschlag, Verdunstung und Abfluß	24
2.2 Wasserhaushaltsbilanz	26
3 Grundwasservorkommen und Grundwasserqualität	27
3.1 Grundwasser in quartären Grundwasserleitern	27
3.2 Grundwasser in jungtertiären (OSM) Grundwasserleitern	28
3.3 Grundwasserqualität	29
Offene Fragen - Zielrichtung des weiteren Vorgehens	31
B Eigene Bearbeitung und Ergebnisse	32
BI Fallstudien - Methodisches Vorgehen	33
1 Das Wieling-Maisinger Becken	40
1.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten	40
1.2 Tertiäroberfläche	50
1.3 Grundwasservorkommen	51
1.4 Wasserbeschaffenheit	55
1.5 Zusammenfassung	55
2 Das Würmsee-Westufer zwischen Tutzing (Pfaffenbergrinne) und Possenhofen	57
2.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten	57
2.2 Tertiäroberfläche	60
2.3 Grundwasservorkommen, Quellschüttungen und Oberflächenabfluß	61
2.4 Wasserbeschaffenheit	62
2.5 Zusammenfassung	66
3 Das Würmsee-Westufer zwischen Maxhof und Starnberg (Maisinger Schlucht)	67
3.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten	67
3.2 Tertiäroberfläche	70
3.3 Grundwasservorkommen, Quellschüttungen und Oberflächenabfluß	71
3.4 Wasserbeschaffenheit	73
3.5 Zusammenfassung	76
4 Das Gebiet zwischen Hochstadt, Seewiesen, Frieding und Hadorf	77
4.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten	77
4.2 Tertiäroberfläche	83
4.3 Grundwasservorkommen	84
4.4 Wasserbeschaffenheit	88
4.5 Zusammenfassung	91
5 Das Würmtal bei Leutstetten (Quellaustritte an der Würm)	92
5.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten	92
5.2 Tertiäroberfläche	94
5.3 Grundwasservorkommen, Quellschüttungen und Oberflächenabfluß	96
5.4 Wasserbeschaffenheit	99
5.5 Zusammenfassung	100

6 Das Würmtal um den Königswieser Forst	101
6.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten	101
6.2 Tertiäroberfläche	103
6.3 Grundwasservorkommen und Oberflächenabfluß	103
6.4 Wasserbeschaffenheit	105
6.5 Zusammenfassung	106
7 Das Gebiet zwischen Gauting, Kreuzlinger Forst und Unterbrunner Holz	107
7.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten	107
7.2 Tertiäroberfläche	108
7.3 Grundwasservorkommen	109
7.4 Wasserbeschaffenheit	111
7.5 Zusammenfassung	114
8 Das Gebiet zwischen Pähl, Kerschlach, Deixlfurt und Ilkahöhe	116
8.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten	116
8.2 Tertiäroberfläche	121
8.3 Grundwasservorkommen und Bach-/Quellaustritte	122
8.4 Wasserbeschaffenheit	123
8.5 Zusammenfassung	125
9 Das Gebiet zwischen Mühlbach-Tal, Herrsching und Pilsensee	126
9.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten	126
9.2 Tertiäroberfläche	128
9.3 Grundwasservorkommen und Bach-/Quellaustritte	130
9.4 Wasserbeschaffenheit	131
9.5 Zusammenfassung	133
BII Großräumige geologisch-hydrogeologische Situation	134
1 Tertiäroberfläche	135
1.1 Becken, Rinnen und Rinnensysteme	135
1.2 Hochgebiete	140
1.3 Hydrographische Deutung der Becken und Rinnen	141
1.4 Kongruenzen zwischen Tertiär- und Geländeoberfläche	143
1.5 Der Einfluß des Tertiärreliefs auf das großräumige Grundwasserregime	145
2 Quartärsedimente	146
2.1 Grobsedimenthorizonte - Potentielle Grundwasserleiter	150
2.1.1 Ältere Schotter und Nagelfluhen (?Günz, Mindel)	151
2.1.2 Jüngere Schotter und Nagelfluhen (Riß, Würm, Holozän)	154
2.1.3 Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte) von Schottern und Schottermoräne	155
2.2 Feinsedimenthorizonte - Potentielle Grundwasserstauer	156
2.2.1 Oberflächennahe Feinsedimente	157
2.2.2 Tiefere Feinsedimentschichten	158
3 Grundwasserverhältnisse	160
3.1 Grundwasservorkommen - Grundwasserspiegel - Grundwasserstockwerke	160
3.1.1 Allgemeiner Überblick	160
3.1.2 Grundwasservorkommen - Grundwasserübersichtskarte	160
3.1.3 Grundwasserstandsganglinien - Variabilität der Grundwasserstände	166
3.2 Beschaffenheit des Grundwassers - Grundwassergefährdung	169
4 Hydrologie - Wasserhaushaltsbilanz	173
4.1 Niederschlag (N)	175
4.2 Verdunstung (V, ET)	178
4.2.1 Auswahl der Meßgrößen und Berechnungsverfahren	178
4.2.2 Wasserüberschuß und -defizit - Überprüfung der nach HAUDE berechneten ET_{pot}	178
4.2.3 Vergleich der nach HAUDE und TURC errechneten Verdunstungshöhen	180
4.3 Abfluß (A)	181
4.3.1 Gesamtabfluß	181
4.3.2 Oberflächenabfluß - Hydrographisches Netz	181
4.3.3 Bestimmung des A_u -Anteils im Oberflächenwasser	183
4.3.4 Abflußcharakteristika (MNQ, MQ, N)	188
4.4 Grundwasserneubildung (GWN)	190
4.5 Grundwasserfördermengen und Quellschüttungen	192
4.6 Grundwasserabstrom - Grundwasserzustrom	193
4.7 Zusammenfassung der hydrologischen Daten und Berechnungen	194
5 Grundwasserbedarfsprognose	196
Zusammenfassung des Inhalts	201
Quellennachweis (Literatur-Ingenieurbüros-Behörden-Zweckverbände-Karten) - Anhang	204
Anhang	212

Abbildungsverzeichnis

- Abb. A 1:** Hydrogeologisches West-Ost Profil durch den Münsinger Höhenrücken;
Abb. A 2: Die wichtigsten geologischen Leitlinien im weiteren Umfeld des Untersuchungsgebietes;
Abb. A 3: Bruchzonen des tertiären Untergrundes (Ausstrichlinien) im Alpenvorland zwischen Lech und Isar;
Abb. A 4: Bruchzonen des tertiären Untergrundes im Alpenvorland zwischen Lech und Isar;
Abb. A 5: Die Tertiäroberfläche zwischen Isar und Amper;
Abb. A 6: Die Tertiäroberfläche zwischen Isar und Würmsee;
Abb. A 7: Die Tertiäroberfläche zwischen Ammer- und Würmsee;
Abb. A 8: Die Moränengebiete des Isar-, Lech- und Illervorlandgletschers;
Abb. A 9: Entstehung einer Terrassenlandschaft im westlichen bayerischen Alpenvorland;
Abb. A10: Schema der "Glazialen Serie" PENCKs - Schotterflur - Stirnmoräne - Zungenbecken;
Abb. A11: Verbreitung von Kornverteilungstypen würmzeitlicher Moränen des Isar-Loisachgletschers und der wichtigsten Schotter- und Moränengebiete;
Abb. A12: Mittlere jährliche Niederschlagshöhen in mm (1931-1960);
Abb. A13: Mittlere jährliche Verdunstungshöhen in mm (1931-1960);
Abb. A14: Mittlere jährliche Abflußhöhen in mm (1931-1960);
Abb. A15: Mittlere Grundwasserdurchflußmengen in m³/s zwischen Ammer und Isar;
Abb. A16: Höhenlinien des Grundwasserspiegels bei mittlerem Wasserstand in der westlichen Münchener Schotterebene zwischen Amper und Isar;
Abb. A17: Grundwassergleichen des jungtertiären Tiefengrundwassers im bayerischen Molassebecken;
-
- Abb. B 1:** Topographie-Schema des Untersuchungsgebietes mit der Lage der Profilschnitte und den Positionen der Fallstudien-Gebiete 1-9;
Abb. B 2a/b/c: Lithologisch-hydrogeologisches Standard-Profil (a); Allgemeine Legende zu den Tertiäroberflächenkarten (b); Allgemeine Legende zu den Grundwassergleichenkarten (c);
Abb. B 3: Nord-Süd Profilschnitt vom Deixlfurter See zur Maisinger Schlucht;
Abb. B 4: Nord-Süd Profilschnitt entlang der neuen Bundesstraße 2 zwischen Maxhof-Pöcking-Wieling;
Abb. B 5: West-Ost Profilschnitte durch den Andechser Höhenrücken und das Wieling-Maisinger Becken;
Abb. B 6: West-Ost Profilschnitt durch den Andechser Höhenrücken zwischen Hartschimmel und Feldafing;
Abb. B 7: Nord-Süd Profilschnitt durch den Andechser Höhenrücken zwischen Kerschlach und Rothenfeld;
Abb. B 8: West-Ost Profilschnitt durch den Andechser Höhenrücken zwischen Rothenfeld-Landstetten-Perchting-Söcking;
Abb. B 9: West-Ost Profilschnitt durch das Wieling-Maisinger Becken und seine Randgebiete;
Abb. B10: Die Tertiäroberfläche in der Umgebung des Wieling-Maisinger Beckens;
Abb. B11: Grundwassergleichen im Wieling-Maisinger Becken und seiner näheren Umgebung;
Abb. B12: Grundwasserganglinien der Tutzinger Brunnen im Wieling-Maisinger Becken und monatliche Niederschlagsmittel (Station Attenkam) für die Jahre 1992-1994;
Abb. B13: Nord-Süd Profilschnitt am westlichen Würmsee-Zungenbeckenrand bei Tutzing;
Abb. B14: Nord-Süd Profilschnitt durch das Starzenbach-Tal;
Abb. B15: Die Tertiäroberfläche zwischen Tutzing und Possenhofen im Bereich der Pfaffenbergrinne;
Abb. B16: Vergleich der Nitratfracht im Wasser von Kalkgraben, Starzenbach und Maisinger Bach mit dem jeweiligen Oberflächenabfluß (MQ) und Monatsniederschlägen im hydrologischen Jahr 1979;
Abb. B17: Nord-Süd Profilschnitt von Maxhof zu den Brunnen in der Maisinger Schlucht;
Abb. B18: Nord-Süd Profilschnitt vom Schloßberg zum Tutzinger Hofplatz in Starnberg;
Abb. B19: Die Tertiäroberfläche in der Umgebung der Maisinger Schlucht bei Starnberg;
Abb. B20: Grundwasserganglinien an den Brunnen 1, 3-7 in der Maisinger Schlucht 1985-1993;
Abb. B21a/b: Grundwassergleichen im Bereich von zwei Brunnengruppen in der Maisinger Schlucht (**a:** Brunnen III-V; **b:** Brunnen I,VI-VIII) zu verschiedenen Meßzeitpunkten;
Abb. B22: Tritiumgehalte der Brunnen III, IV, VI, VII und des Maisinger Baches;
Abb. B23: $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte der Brunnen III, IV, VI, VII und des Maisinger Baches;
Abb. B24: Nord-Süd Profilschnitt durch die Gewinnungsgebiete Mamhofen und Hochstadt;
Abb. B25: Nordwest-Südost Profilschnitt durch die Drößlinger/Pilsensee-Rinne und die Gewinnungsgebiete Hochstadt und Mamhofen;
Abb. B26: West-Ost Profilschnitt von der Pilsensee-Senke bei Herrsching zum Großen Bühl;
Abb. B27: Nord-Süd Profilschnitt von Frieding durch die Pilsensee-Senke zum Dellinger Buchet;
Abb. B28: Die Tertiäroberfläche zwischen Hochstadt, Maising, Unering und Mamhofen;
Abb. B29: Grundwasserganglinien im Gewinnungsgebiet Mamhofen und an den amtlichen Meßstellen Unering und Hochstadt 1987(88) -1994(95) sowie Niederschlagshöhen (Seefeld) 1987-1992;
Abb. B30: Grundwassergleichen zwischen Hochstadt, Seewiesen, Frieding und Hadorf;
Abb. B31: Nitratkonzentrationen am Brunnen Andechs IV 1985-1989 mit Vergleichswerten am Brunnen Gut Rothenfeld und den Brunnen I-III im Schwellmoos und Niederschlagshöhen (Attenkam);
Abb. B32: Südwest-Nordost Profilschnitt von Perchting zu den Mühlthalquellen;

- Abb. B33:** Die Tertiäroberfläche zwischen Mamhofen - Mühlthalquellen und Königswiesen;
Abb. B34: Grundwassergleichen zwischen Mamhofen - Mühlthalquellen und Königswiesen;
Abb. B35: Quellschüttungen der Mühlthalquellen - Monatsniederschläge;
Abb. B36: Nord-Süd Profilschnitt zwischen Gauting und Starnberg;
Abb. B37a/b/c: Ruhewasserspiegel, Brunnenfördermengen, Würmwasserstände und Niederschläge (1994-1996)
a) Ruhewasserspiegel und Entnahmemengen der Brunnen 1-4 im Königswieser Forst
b) Ruhewasserspiegel und Wasserstand der Würm bei Leutstetten
c) Ruhewasserspiegel und Niederschlagshöhen an der Station Attenkam;
Abb. B38: Nitratkonzentrationen an den Brunnen 1-4 im Königswieser Forst (1987-1995);
Abb. B39: Nord-Süd Profilschnitt vom Kreuzlinger Forst nach Oberbrunn;
Abb. B40: Die Tertiäroberfläche im weiteren Umfeld der Gewinnungsanlagen im Kreuzlinger Forst;
Abb. B41: Grundwassergleichen im weiteren Umfeld der Gewinnungsanlagen im Kreuzlinger Forst;
Abb. B42: Grundwasserganglinien und Niederschläge
a) Grundwassermächtigkeiten an den Brunnen 7-10 im Kreuzlinger Forst (1991-1994)
b) Niederschlagshöhen an der Station Attenkam (1991-1994);
Abb. B43a/b/c: Nitrat-, Desethylatrazin- und LCKW(Summe) -Konzentrationen an den Brunnen 7-10 im Kreuzlinger Forst 1990-1994;
Abb. B44: West-Ost Profilschnitt vom Hirsch-Berg (Pähler Schlucht) zur Ilkahöhe;
Abb. B45: Nord-Süd Profilschnitt vom Deuten-Berg (westlich Deixlfurter See) zum Gröbengraben;
Abb. B46: Profilschnitt durch Brunnen- und Versuchsbohrungen bei Kerschlach;
Abb. B47: Die Tertiäroberflächen im Raum Pähl- Kerschlach - Rößlberg - Diemendorf - Monatshausen;
Abb. B48: Grundwassergleichen und Bach-/Quellaustritte auf dem südlichen Andechser Höhenrücken;
Abb. B49: Grundwasseranalysenvergleich - Brunnen Kerschlach und Versuchsbohrung K2;
Abb. B50: Nord-Süd Profilschnitt durch das Herrschinger Mühlthal;
Abb. B51: Die Tertiäroberfläche in der Umgebung der Pilsensee Senke;
Abb. B52: Grundwassergleichen, Quellen und geologische Situation in der Umgebung von Herrsching;
Abb. B53: Die Tertiäroberfläche des "Fünfseenlandes" mit angrenzenden Gebieten;
Abb. B54a/b/c: Haupt-Strukturelemente von Tertiär- und Geländeoberfläche;
Abb. B55: Hydrogeologische Übersichtskarte (Blatt 8033 Tutzing);
Abb. B56: Würmeiszeitliche Eisstillstandslagen - Moränenzüge (Blatt 8033 Tutzing);
Abb. B57: Geologisch-hydrogeologische Nord-Süd Schema-Übersichtsprofile;
Abb. B58: Grundwassergleichen-Übersichtskarte;
Abb. B59: Ausgewählte Grundwasserstandsganglinien und Quellschüttungen - Niederschlagshöhen (1986-1994);
Abb. B60: Nitratkonzentrationen und Isotopenalter von Grundwässern und einigen Oberflächengewässern zwischen Ammersee, Pilsensee, Würmsee und Würmtal;
Abb. B61: Übersicht der oberirdischen Einzugsgebiete, Klima(Niederschlags-) stationen, automatischen Schreibpegel und eigenen Bachmeßstellen;
Abb. B62: Jahresniederschläge 1979-1991 an den verschiedenen Meßstationen;
Abb. B63: Langjährige Monatsniederschlagsmittel (1951-1988/1931-1960*) an verschiedenen Meßstationen;
Abb. B64: Monatsniederschlagsmittel im hydrologischen Jahr 1989 an verschiedenen Meßstationen;
Abb. B65a/b: Dekadensummen des Wasserüberschusses und -defizits ermittelt aus der Differenz der Niederschlagshöhen und der potentiellen Evapotranspiration nach HAUDE;
Abb. B66: Das hydrographische Netz zwischen Ammersee-Pilsensee und Würmsee-Würmtal;
Abb. B67: Monatliche Abflußspenden (l/s.km²) am Maisinger Bach, Starzenbach, Kalkgraben und Kienbach sowie und Niederschlagshöhen (mm) an der Station Traubing im hydrologischen Jahr 1989;
Abb. B68: A_n-Linien eines Hochwasserereignisses (8.-11.Juli 1989) dargestellt am Maisinger Bach (a), Kienbach (b), Starzenbach (c) und Kalkgraben (d);
Abb. B69: Bildung des 6-MoMNQ aus den kleinsten monatlichen Abfluß-Tageswerten an Maisinger Bach, Kienbach, Starzenbach und Kalkgraben (Mittelwerte der Jahresreihen 1979(80)-1991);
Abb. B70: Monats-MQ/MNQ-Abflüsse (Mittelwerte monatlicher Tagesabflüsse) am Maisinger Bach (a), Kienbach (b), Starzenbach (c) und Kalkgraben (d) - Jahresreihen 1979(80)-1991- MQ_G und NQ_G Mittelwerte;
Abb. B71: N/MQ/MNQ Jahreswerte 1979/80-1991 - Abweichungen vom Mittelwert (%) am Maisinger Bach = a (N-Station Traubing), Kienbach = b (N-Station Andechs), Starzenbach = c (N-Station Traubing) und Kalkgraben = d (N-Station Traubing);
Abb. B72: MNQ-Jahreswerte 1979/80-1991 - Prozent-Abweichungen vom Mittelwert am Maisinger- und Kienbach;
Abb. B73: Wasserverbrauch des Zweckverbandes Feldafing-Pöcking aus den Förderbrunnen I-V im Wieling-Maisinger Becken 1975-1991;
Abb. B74: Jährliche Fördermengen der Gewinnungsgebiete Mühlthalquellen, Königswieser Forst und Kreuzlinger Forst in den Jahren 1981-1995;
Abb. B75: Jährliche Fördermenge (Br.I-III Tutzing) im Gewinnungsgebiet Wieling-Maisinger Becken - 1992-1994;
Abb. B76: Monatliche Fördermengen des Gewinnungsgebietes Königswieser Forst (Brunnen 1-4) - 1993-1996;
Abb. B77: Monatliche Verbrauchssummen des Wasserzweckverbandes Feldafing-Pöcking der Jahre 1983-1987;

Tabellenverzeichnis

Tab. A 1:	Quartäre Bildungen im Alpenvorland und im inneralpinen Raum;
Tab. A 2:	Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte) in quartären Sedimenten;
Tab. A 3a:	Chemische Beschaffenheit von 45 Grundwasserproben aus Gebieten mit durchschnittlich geringem Flurabstand und gut durchlässigen Deckschichten (Münchener Schotterebene, Inn-Salzach-Platte, Lech-Wertach-Platte, Talfüllungen im südlichen Iller- und Mindeltal);
Tab. A 3b:	Chemische Beschaffenheit von 28 Grundwasserproben aus Grundwasserleitern im Jungmoränengebiet zwischen Würmsee und Isar;
Tab. A 4:	Chemische Beschaffenheit von 7-12 Grundwasserproben des jungtertiären Tiefengrundwassers mit Moränenüberdeckung zwischen Isar und Inn (Tiefe 60-170 m);
<hr/>	
Tab. B 1:	Fallstudien 1-9: Wasserversorgungseinrichtungen - Zur Begutachtung beauftragte Ingenieur-Büros - Beteiligung des Verfassers - Kurzbeschreibung der Grundwasserleiter;
Tab. B 2:	Lithologische und stratigraphisch-genetische Interpretation von Bohrgutansprachen am Beispiel einiger Profilreihen der Fa. <i>Mobil Oil</i> , Celle;
Tab. B 3:	Grundwassercharakteristik an den Meßstellen P1-P4 bei Tutzing;
Tab. B 4:	Wassercharakteristik der Quellen bei Tutzing und Feldafing und im Kalkgraben-Bach;
Tab. B 5:	Gehalte von Tritium und Sauerstoff-18 an den Quellen Garatshausen und der nördlichen Taxis-Quelle bei Feldafing;
Tab. B 6:	Grundwassercharakteristik im näheren Umfeld der Maisinger Schlucht;
Tab. B 7:	Grundwasseranalysen an Brunnen und Meßstellen im Raum Andechs-Rothenfeld-Seewiesen;
Tab. B 8:	Tritium- und $\delta^{18}\text{O}$ - Gehalte im Gewinnungsgebiet Mamhofen sowie an den Brunnen Andechs IV und am Brunnen Gut Rothenfeld;
Tab. B 9:	Schüttungen (Variabilität) der gefaßten Mühlthalquellen;
Tab. B10:	Gesamtquellschüttungen am westlichen Würmufer zwischen Mühlthal und Petersbrunn;
Tab. B11:	Grundwasseranalysen im weiteren Umfeld der Gewinnungsanlagen im Kreuzlinger Forst;
Tab. B12:	Nitratkonzentrationen des Grundwassers im weiteren Umfeld der Gewinnungsanlagen im Kreuzlinger Forst ;
Tab. B13:	Nitrat- und Chloridkonzentrationen sowie elektrische Leitfähigkeiten an Brunnen, Quellen und Oberflächengewässern im Gebiet um Herrsching;
Tab. B14:	Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Wert) von Schottern des Andechser Höhenrückens;
Tab. B15:	Abflußhöhen (MQ) nach Drehflügel- und Gefäßmessungen an kleineren Bächen von August 1991 bis Juli 1992;
Tab. B16:	Klima- und Bilanzparameter für einen mittelfristigen Zeitraum (1979/80-1991) und für das hydrologische Jahr 1989;
Tab. B17:	Jährliche Grundwasserfördermengen und Quellschüttungen der wichtigsten Trinkwasserversorgungsanlagen und Quellen im Bilanzgebiet und seinen Grenzgebieten;
Tab. B18:	Prognose des zukünftigen Wasserbedarfs der Gemeinde Pöcking für das Jahr 2008;

Anhang

Anh. 1:	Kennwerte von Brunnen und Grundwassermeßstellen - Stichtagsmessung vom 15.02.1996 - im Raum Hochstadt-Mamhofen;
Anh. 2:	Jahresentnahmen und mittlere Jahresschüttungen an den Mühlthalquellen;
Anh. 3:	Jährliche Fördermengen (m^3) an den Brunnen 1 bis 4 im Königswieser Forst;
Anh. 4:	Jährliche Fördermengen (m^3) an den Brunnen 7-10 im Kreuzlinger Forst;
Anh. 5:	Koordinaten mit Tertiärhöhen von Bohrungen und Oberflächenaufschlüssen;

Einleitung

Problemstellung und Ziele - Zur Auswahl des Untersuchungsgebiets - Methodischer Ansatz

Exemplarisch für ähnliche Eiszeitlandschaften im Alpenvorland werden im folgenden im Würm- und Rißmoränengebiet zwischen Ammer- und Würmsee und in der nördlich angrenzenden Wurzelzone der westlichen Münchener Schotterebene ("Fünfseenland") geologisch-hydrogeologische Grundlagen dargestellt, die verfügbar sein sollten, wenn eine langfristige Trinkwasserversorgung mit möglichst geringen Belastungen für das Grundwasser und vernünftiger Ausschöpfung der Ressourcen geplant wird. Eine solche Vorsorge wird heute schon deshalb immer schwieriger - und notwendiger -, weil immer mehr Menschen auf enger werdendem Raum wohnen, arbeiten oder Erholung suchen, Wasserverbrauch und Bodenbelastung infolgedessen ständig zunehmen, das nutzbare Grundwasserdargebot aber begrenzt ist.

Für das Quartär des Alpenvorlandes kann bei der Grundwassererkundung aufgrund des oft kleinräumigen Wechsels der Gesteine und ihrer damit einhergehenden unterschiedlichen Durchlässigkeit (Abb. A1) aus Karten und den meist nur lückenhaft vorliegenden Untergrundinformationen weit weniger Information geschöpft werden als beispielsweise im Schichtstufenland, wo die gut bekannten Schichten des Mesozoikums bei gleichbleibender Lagerung weithin aushalten und in ihren jeweiligen Grundwasserhöffigkeiten nur wenig variieren, so daß dort die Grundwasservorkommen relativ leicht zu prospektieren sind. Es müßte deshalb im ehemals vergletscherten Alpenvorland ein viel dichteres Aufnahmeraster angesetzt werden.

Die Schwierigkeiten und Erwartungen Grundwasser in Moränengebieten zu erschließen verdeutlichen die folgenden Zitate:

"Wegen des wechselhaften Aufbaus der Ablagerungen und ihrer teilweise schlechten Durchlässigkeit bereitet die Erschließung von Grundwasser in Moränengebieten meistens Schwierigkeiten, wie zahlreiche vergebliche Bohrversuche zeigen. Daher werden die Grundwasserergiebigkeiten in der Regel als gering bzw. als sehr unregelmäßig bezeichnet" (BGLA 1982, S. 6).

"Zusammenfassend müssen Moränengebiete allgemein als grundwasserarm betrachtet werden" (TRAUB 1956, S. 27).

"Am ehesten ist im Gebiet zwischen Starnberger See und Ammersee eine ähnliche Verteilung des Grundwassers auf eine größere Anzahl von Vorkommen zu erwarten, da es wie das Untersuchungsgebiet ·Anm.d.Verf.: Münsinger Höhenrücken zwischen Starnberger See und Isar/Loisachtal zwischen zwei Zweigbecken liegt, wo die quartären Ablagerungen besonders wechselhaft sind" (BGLA 1982, S. 36).

Da Grundwassererkundungen im Untersuchungsgebiet und häufig auch in anderen Regionen nur kleinere Gebiete regionaler Wasserversorgungseinrichtungen umfassen, eine großräumige Beurteilung der hydrogeologischen Situation in der Regel nicht vorgesehen ist, bleiben wichtige Aspekte, die für die wasserwirtschaftliche Planung von Bedeutung sein können, oft unberücksichtigt.

Ziel dieser Arbeit war es deshalb, anhand aktueller hydrogeologischer Frage- und Problemstellungen eine Planungsgrundlage zu erarbeiten, die einerseits eine detaillierte Bestandsaufnahme und Beurteilung lokaler hydrogeologischer Situationen beinhaltet, andererseits diese großräumige verknüpft, wobei auch wichtige Gesichtspunkte der Glazialgeschichte erörtert werden sollten.

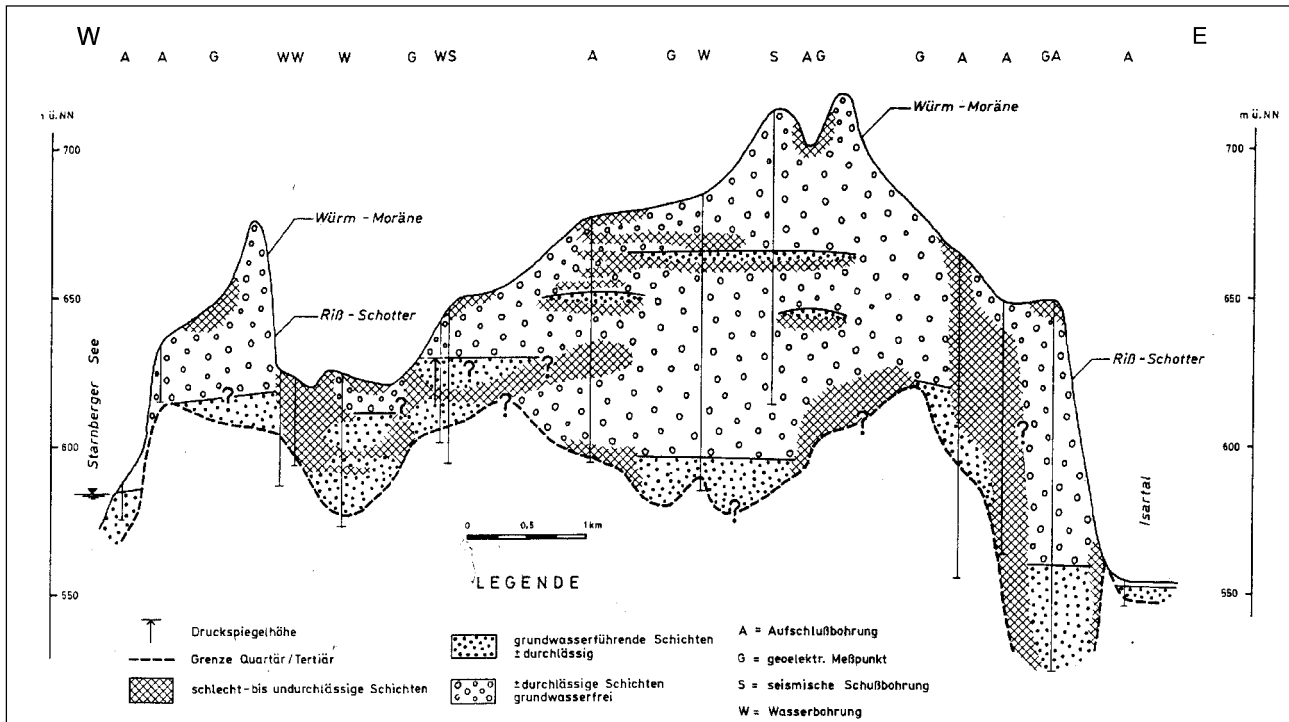


Abb. A1: Hydrogeologisches West-Ost Profil durch den Münsinger Höhenrücken (BGLA 1982, S. 29)

Durchlässige Schmelzwasser- und geringdurchlässige Gletscher- oder Seeton-Ablagerungen wechseln horizontal und vertikal auf kurze Entfernung unregelmäßig miteinander ab, woraus viele, aber oft nur kleine Grundwasservorkommen resultieren, von denen schwer vorherzusagen ist, ob und wie sie miteinander kommunizieren.

Einige wichtige Auswahlkriterien für die Wahl des Untersuchungsgebietes (Abb. A2):

Es treten hier die wichtigsten geologischen Formationen und Oberflächenformen auf, die auch für weitere, ehemals vergletscherte Gebiete im Alpenvorland charakteristisch sind. Deshalb kann angenommen werden, daß die hier gewonnenen hydrogeologischen Erfahrungen sich auch exemplarisch dorthin übertragen lassen.

Es standen eine Reihe unveröffentlichter geologischer Spezialkartierungen zur Verfügung (siehe Abb. B55 Autorennachweis), die jedoch nur wenig über den quartären Stockwerkbau und die Grundwassersituation beinhalteten. Im benachbarten Gebiet zwischen Würmsee und Isartal wurde bereits eine mit dieser Arbeit vergleichbare großräumige hydrogeologische Bestandsaufnahme durchgeführt (BGLA 1982) und aus der Münchener Schotterebene westlich der Isar, dem nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes, lag die Dissertation von BLASY (1974) über die Grundwasserverhältnisse vor.

Für eine Wasserhaushaltsbilanz war ein gut abgrenzbares Einzugsgebiet vorgegeben, da die Oberflächengewässer im südlichen Untersuchungsgebiet (=Bilanzgebiet zwischen Ammer- und Würmsee) ausschließlich nach Westen und Osten in den Ammer- bzw. Würmsee oder nach Süden abfließen und kein Grundwasser aus diesen Richtungen zufließen kann. Dazu war es hilfreich, daß die Abflüsse der beiden Hauptbäche (Maisinger- und Kienbach) sowie die zweier Nebenbäche (Kalkgraben, Starzenbach) des Bilanzgebietes seit 1979(80) durch automatische Schreibpegel (*LfW*) aufgezeichnet werden und im Untersuchungsgebiet und seiner näheren Umgebung mehrere Niederschlags- bzw. Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes betrieben werden (Abb. B61).

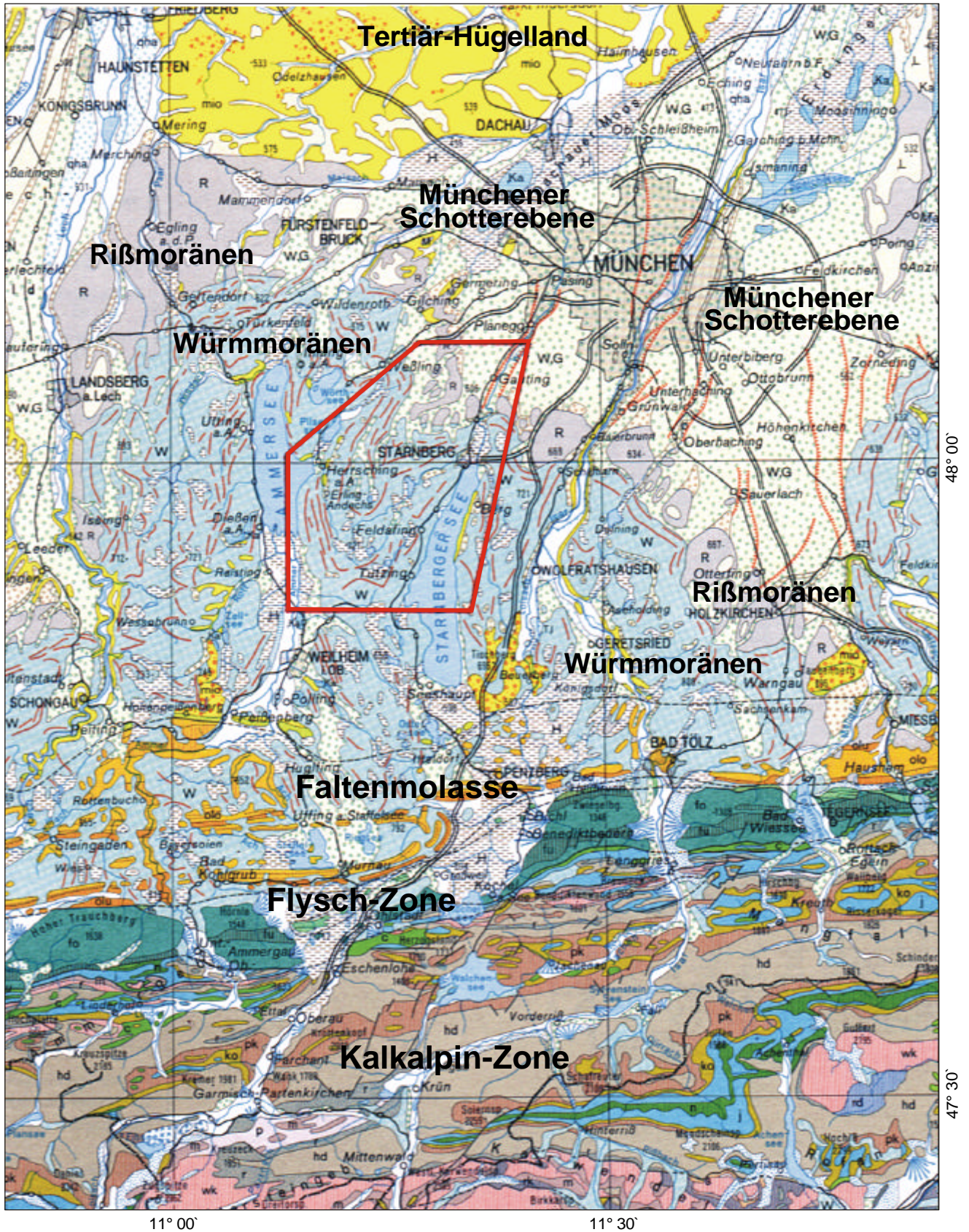


Abb. A2: Die wichtigsten geologischen Leitlinien im weiteren Umfeld des Untersuchungsgebietes (Ergänzter Ausschnitt aus der Geologischen Karte von Bayern 1:500 000 mit Lage des Untersuchungsgebietes = roter Rahmen)

Methodisch wird in dieser Arbeit wie folgt vorgegangen:

Zunächst wird einleitend angegeben, welchen geologischen und hydrologischen Elementen hier aus welchen Gründen eine vorrangige Bedeutung zukommen.

In Abschnitt **A** wird der bisherige Forschungs- und Kenntnisstand mitgeteilt, soweit er diese Elemente betrifft und aus der publizierten Literatur zusammengestellt werden konnte, und dargelegt, warum er dem Ziel dieser Arbeit noch nicht genügt. Offengebliebene Fragen bestimmen das weitere Vorgehen.

Abschnitt **B** "Eigene Bearbeitung und Ergebnisse" beinhaltet zwei Schwerpunkte:

Kapitel **BI**, das im Mittelpunkt dieser Arbeit steht, zeigt anhand von neun hydrogeologischen Fallstudien (Abb. B1, Tab. B1), deren Grundlagen der Autor in den meisten Fällen im Rahmen gutachterlicher Tätigkeit selbst erarbeitet hat, wie zahlreiche neu-researchierte Daten und Informationen methodisch verarbeitet wurden und welche neuen und verbesserten Aussagen über die hydrogeologische Situation in den Fallstudien-Gebieten dadurch möglich waren.

Kapitel **BII** verbindet den bisherigen Kenntnisstand aus Kapitel **A** und die neuen Ergebnisse aus Kapitel **BI** synoptisch zu einer großräumigen Übersicht der wichtigsten geologisch-hydrogeologischen Aspekte, die auch für die wasserwirtschaftliche Rahmenplanung in diesem und in geologisch ähnlichen Gebieten hilfreich sein soll. Ergänzend dazu werden anhand von Wasserhaushaltsbilanzen hydrogeologische Besonderheiten aufgezeigt und eine mittelfristige Wasserbedarfsprognose erstellen.

A Bisheriger Forschungs- und Kenntnisstand

AI Geologisch-hydrogeologischer Überblick

1 Geographie

Das Untersuchungsgebiet (Abb. A2) umfaßt das Blatt 8033 Tutzing, große Teile des Blattes 7933 Weßling, den Ostrand der Blätter 8032 Dießen a. Ammersee und 7932 Utting a. Ammersee, den Westrand der Blätter 7934 Starnberg Nord und 8034 Starnberg Süd sowie den nördlichen Teil des Blattes 8133 Seeshaupt (Topographische Karten von Bayern 1:25 000).

Das so umrissene Gebiet grenzt im Westen zwischen Herrsching und Aidenried an den Ammersee (533 m ü.NN), im Osten zwischen Starnberg und Tutzing an den Würm- bzw. Starnberger See (584 m ü.NN). Die größte Geländehöhe wird im Süden nördlich von Monatshausen am Berndorfer Buchet mit ca. 760 m ü.NN erreicht. Ungefähr 20 km nördlich davon, in der Umgebung von Gauting, liegt die Sohle des Würmtales rund 210 m tiefer bei 550 m ü.NN.

In den Seeufergebieten fällt das Gelände auf 1 bis 2 km Breite ca. 100 m zum Würm- und ca. 150 m zum Ammerseespiegel in die ehemaligen Gletscherzungenbecken ab. Das gesamte Hochgebiet zwischen den Zungenbecken wird "Andechser Höhenrücken" genannt. Halbiert man den Andechser Höhenrücken je einmal längs und quer, so erhält man einen südwestlichen "Quadranten" - umgrenzt etwa von der Linie Herrsching - Landstetten - Machtlfing - Monatshausen - in welchem ungefähr ein Drittel der Geländeoberfläche höher als 700 m ü.NN liegt. In seiner Osthälfte liegt nur ein kleines Gebiet um Obertraubing sowie der Kalvarienberg bei Feldafing über 700 m ü.NN, und im Rißmoränengebiet zwischen Pilsenseesenke (um 550 m ü.NN) sowie im Würmtal (um 560 m ü.NN) reichen die größten Erhebungen zwischen Hadorf und Frieding bis ca. 680 m ü.NN (Wid Buchet), etwa 2,5 km nördlich davon, zwischen Oberbrunn und Oberalting, nur noch bis ca. 650 m ü.NN (Höhenrain, Altinger Buchet). Der daran anschließende Teil der westlichen Münchener Schotterebene liegt, abgesehen von wenigen Auf-ragungen (z.B. bei Frohnloh), nördlich der Linie Oberpfaffenhofen - Oberbrunn - Gauting tiefer als 600 m ü.NN.

Über das Untersuchungsgebiet und dessen weiteres Umfeld gibt es eine Reihe publizierter geologischer Karten und Erläuterungen, die einen Überblick über die geologische Situation und die forschungs-geschichtliche Entwicklung geben (s. Kartenverzeichnis).

Eine hydrogeologische Übersichtskarte des Kartenblattes 8033 Tutzing wird in Kapitel BII.2 vorgestellt (Abb. B55). Sie basiert im wesentlichen auf unveröffentlichten Diplom-Kartierungen der Technischen Universität München und eigenen, kleineren Ergänzungen und Korrekturen.

2 Tertiär (Obere Süßwassermolasse / OSM)

2.1 Allgemeines

Die Heraushebung des Alpenkörpers im Tertiär hatte unter anderem zur Folge, daß sich an seinem Nordrand (Alpenvorland) ein Becken absenkte (Molassebecken), in dem sich der Erosionsschutt aus den Alpentälern absetzte (Nordalpine Molasse). Beginnend mit marinem Milieu im mittleren Oligozän (Untere Meeresmolasse; UMM, vor ca. 35 Ma), überwogen im oberen Oligozän terrestrische Ablagerungen (Untere Süßwassermolasse; USM). Während des unteren Miozäns herrschten noch einmal marine Verhältnisse (Obere Meeresmolasse; OMM), bis dann, ab etwa dem mittleren Miozän, sich das Meer erneut zurückzog und die Sedimente der Oberen Süßwassermolasse (OSM, vor ca. 15 Ma) abgelagert wurden (u.a. LEMCKE 1988). Im Obermiozän und Pliozän wird der Südteil der Molassezone von der Alpenfaltung (alpidische Gebirgsbildung) erfaßt und verformt. Die Grenze der Faltenmolasse zur ungefalteten Molasse verläuft ungefähr 3 km südlich des Würmseees auf einer Linie zwischen Hohenpeißenberg, Eurach und Königsdorf. Während sich bei stabilisierendem E-W-Gefälle des Vorlandes (Molassebecken) im höheren Karpat und Baden parallel zum Alpenrand besonders im Norden ein "axiales", von Oberösterreich bis zur Schweiz reichendes Flußsystem ausbildete, verstärkte sich bis zum Ende der Molassezeit die "radial" nach Norden ins Vorland gerichtete Sedimentzufuhr (Schutfächer) durch die älteren Vorläufer heute aus dem Alpenraum austretender Flüsse. Die nachfolgend oft zu Nagelfluh verbackene Grobschüttungen v.a. nördlich des später aufgebogenen Südrandes der ungefalteten Molasse wurden erosiv aus den sie umgebenden weicheren Ablagerungen freigelegt und überragen heute die Umgebung (z.B. Auerberg/ Lech - Hoher Peißenberg/Ammer - Tischberg/Isar-Loisach - Taubenberg/Mangfall). Die dann einsetzende Hebung des Alpenvorlandes beendete die Molassesedimentation im Süden und ließ ein nach Norden gerichtetes Entwässerungssystem entstehen. Dabei wurden im "Fünfseenland" etwa 100-200 m Sedimentmächtigkeit der jüngeren pliozänen Serien der OSM abgetragen (LEMCKE 1988, S. 56) und die vorquartäre bzw. jüngstpliozäne Landoberfläche geformt. Die Schichten der OSM sind somit die ältesten an der Oberfläche austreichenden Gesteine im Untersuchungsgebiet. Sie treten nur an wenigen Stellen, bevorzugt in Flußtälern, Gräben und an den Zungenbeckenrändern (Ammer-, Würm- und Pilsensee), zutage (Abb. B55). Ihre Gesamtmächtigkeit beträgt im "Fünf-SeenLand" etwa 500 m, die der gesamten Molasse ca. 3000 - 4000 m. Dabei handelt sich im Untersuchungsgebiet vorwiegend um limnisch-fluviatile (fluvioterrestrische) Sedimente, die durch ein ehemals ausgedehntes Flußsystem im Gebiet zwischen Ammer und Lech ("Ur-Lech") in das absinkende Molassebecken nach Norden geschüttet wurden und einen Teil des Nesselburger Schutfächers darstellen (SCHIEMENZ 1960, S. 59).

Der Isar-Loisach-Vorlandgletscher, mit seinen vier Teilarmen Ammersee-, Würmsee-, Wolfratshausener- und Isartalgletscher, hat auf seinem Weg aus den Alpentälern wahrscheinlich schon im Altpleistozän ein richtungsweisendes, gut ausgebildetes Entwässerungsnetz vorgefunden (FRANK 1979, S. 80). Es ist zu vermuten, daß dessen Entstehung und damit die Landschaftsformung am Nordrand der aufsteigenden Alpen auch an tektonisch bedingte Brüche im Molasseuntergrund gebunden war. Seit dem Altpleistozän wurde das Tertiärrelief durch Erosion von Gletschereis und Wasser überformt und weitgehend von quartären Ablagerungen überdeckt.

Die Tertiäroberfläche als Grenzfläche zu den quartären Lockersedimenten ist aufgrund ihrer bekannt geringen Wasserdurchlässigkeit hydrologisch von besonderer Bedeutung, da zu erwarten ist, daß ihr Relief maßgeblich die Verteilung der Grundwasservorkommen und deren Fließrichtung bestimmt.

2.2 Bruchzonen - Tektonik

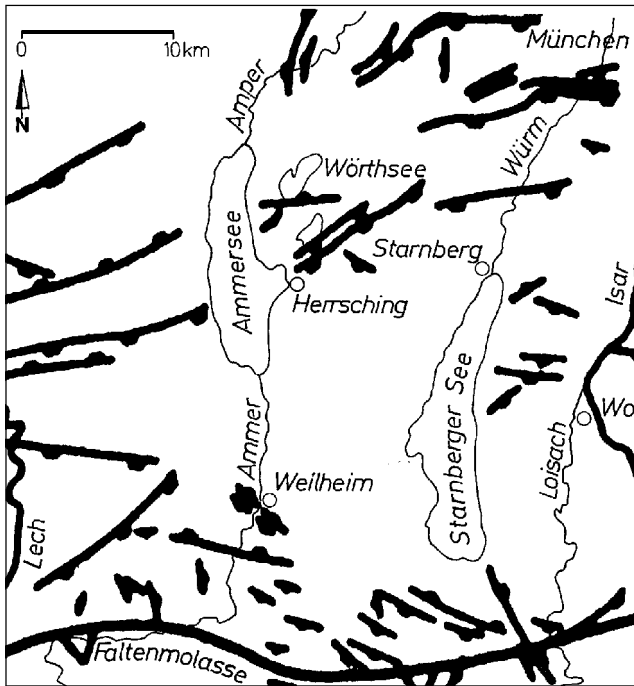


Abb. A3: Bruchzonen des tertiären Untergrundes (Ausstrichlinien) im Alpenvorland zwischen Lech und Isar (Nach: LEMCKE 1988, Abb. 36)

Im Norden dominieren WSW-ENE bzw. SW-NE Brüche, die mit abnehmender Deutlichkeit bis an eine gedachte Linie München-Grünwald erkennbar sind. Die Amper östlich Grafrath kreuzen zwei, bis ca. 5km lange SSW-NNE Brüche. Östlich des Würmsees weisen die Bruchlinien nach WNW-ESE oder SW-NE. Vom Nordrand der Faltenmolasse zwischen Bad Tölz und Lechbruck bis um die Gegend um Peißenberg, herrschen NW-SE bis WNW-ESE streichende Brüche vor. Zwischen Andechs und Pilsensee verlaufen parallel zueinander zwei SW-NE gerichtete Brüche (Schollen). Der südliche davon erstreckt sich über ca. 10 km von Herrsching in Richtung Unering und Hochstatt. Von dort setzt sich ein ungefähr nach Osten ziehender Bruch fort, der bis südlich Gauting und weiter bis in den Forstenrieder Park reicht. Zwischen Ammersee und Lech setzt sich diese Bruchzone aufgeweitet nach WSW fort. Südlich von Herrsching treten bis in den Raum um Weilheim zwischen Ammer- und Würmsee keine Brüche auf.

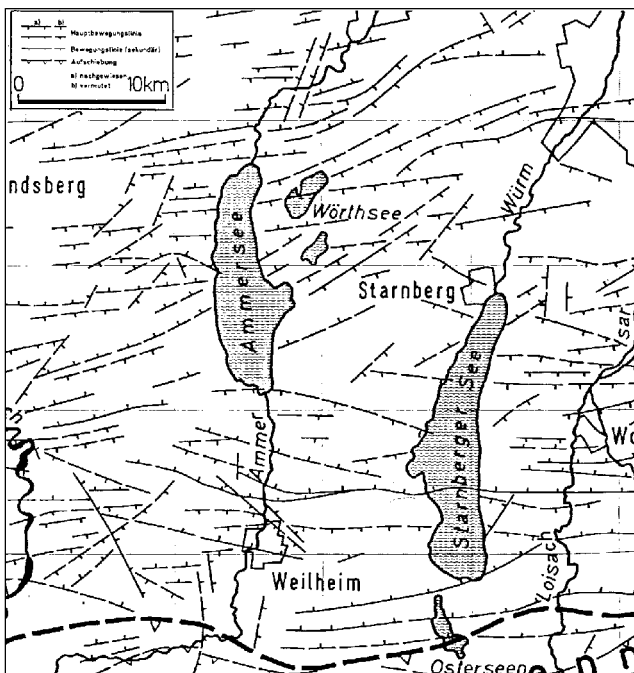


Abb. A4: Bruchzonen des tertiären Untergrundes im Alpenvorland zwischen Lech und Isar (Nach: UNGER 1996, unveröff., anhand seismischer Untersuchungen der Fa. MOBIL Oil, Celle)

Gegenüber Abb. A3 sind ähnlichen Haupttrichtungen aber mit meist größerer Dichte der Bruchlinien zu erkennen. Abweichend dazu verlaufen zwischen dem Süden des Starnberger Sees und dem Nordrand der Faltenmolasse mehrere Bruchlinien fast parallel zur tektonischen Grenze im Süden. Die in Abbildung A3 in diesem Bereich vorhandenen NW-SE, bzw. WNW-ESE streichenden Brüche fehlen hier, treten jedoch nördlich von Weilheim bis zum Süden des Ammersees und östlich davon zum Starnberger See und darüber hinaus auf. Auf dem Andechser Höhenrücken sind zudem ca. 5-8 km lange SW-NE Brüche verzeichnet.

LEMCKE (1988, Abb. 36) und UNGER (1996, unveröff.) haben alpidisch beeinflusste Dehnungsbrüche der Molassezeit im deutschen Alpenvorland jeweils in einer Strukturübersicht dargestellt (Abb. A3, A4). Ausschnitte daraus zeigen in der weiteren Umgebung des "Fünfseenlandes" Teilgebiete mit voneinander abweichenden Streichrichtungen. Wesentliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede beider Darstellungen werden in den Bildunterschriften hervorgehoben.

Im Vergleich mit der Tertiär- und Geländeoberfläche soll im Kapitel BII herausgefunden werden, inwieweit Bewegungen an präglazialen Lineamenten die Formgebung beider Grenzflächen mitbestimmt haben und ob Bewegungen an diesen Bruchlinien auch im Pleistozän angehalten und sich vielleicht

sogar bis ins Holozän fortgesetzt haben.

2.3 Tertiäroberfläche

Mehrere ältere Darstellungen der Tertiäroberfläche (ROTHPLETZ 1917; BGLA 1955) und geologische Karten zwischen Ammersee und Mangfall (s. Kartenverzeichnis) vermitteln eine allgemeine Abdachung der Tertiäroberfläche von Süden nach Norden mit größten Tertiärerhebungen auf dem Andechser- und Münsinger Höhenrücken (Abb. B1) um 700 m ü.NN. Besonderheiten und Widersprüche von drei publizierten Tertiäroberflächen-Karten aus dem "Fünfseenland" werden im folgenden aufgezeigt (Abb. B5, B6, B7).

Auf einer Karte von BLASY (1974, Abb. 4; s. Abb. A5) senkt sich die Tertiäroberfläche insgesamt ohne nennenswerte Gefälleänderungen (v.a. zwischen Würm und Isar = "Buchendorfer Hochfläche") von rd. 600 m ü.NN im Südwesten auf 510 m ü.NN nach Norden bis Nordnordosten ab. Auffällig und in ihrer Genese schwer zu erklären ist die nördlich von Leutstetten abrupt einsetzende Würmtalrinne. Ihre Richtung und Tiefenlage stimmt mit jener der Tertiäroberfläche im nördlichen Würmsee-Becken - gut überein, so daß eine gemeinsame Anlage durch schürfendes Eis oder fließendes Wasser denkbar wäre. Voraussetzung wäre aber eine Verbindung zwischen Würmsee-Becken und Würmtalrinne, die deutlich unter 600 m ü.NN reicht (s.u.), jedoch nach der vorliegenden Karte nicht existiert.

Nach BGLA (1982; Beil. 4; s. Abb. A6) zeigt die Tertiäroberfläche zwischen Isar und Würmsee ein insgesamt unruhiges Relief. Sie fällt von rd. 620 m ü.NN (Raum Münsing) auf 540 m ü.NN (bei Großhesselohe) generell nach Nordnordosten ab (Äquidistanz 20m). Neben anderen auffallenden Strukturen (s. Bildunterschrift Abb. A6) verläuft vom Ostrand des Würmsee-Gletscherbeckens zwischen Heimathshausen und Leutstetten eine schmale Rinne in Richtung Würmtal. Ihr tiefster Punkt liegt unter 560 m ü.NN, ihr weiterer Verlauf ist nicht bekannt. Nimmt man an, daß diese Rinne durch nach Norden abfließendes (Schmelz-)wasser entstanden ist, müßte eine Verbindung mit geringem Gefälle zwischen dem nördlichen Zungenbecken um Heimathshausen/Leutstetten und der Würmtal-Rinne existiert haben, wie sie auch nach der o.g. Karte (Abb. A5) plausibel erscheint. Im Kapitel BI.5, BI.6 und BII.1 werden eigene Ergebnisse dazu gezeigt und diskutiert. Weitere kleinere Rinnen bei Berg und Ammerland, die um 550 m ü.NN in das Würmseebecken münden und möglicherweise mit älteren Schottern (?Mindel) verfüllt sind, könnten Beleg einer vorwürmzeitlichen Ausformung und Entwässerungsrichtung sein.

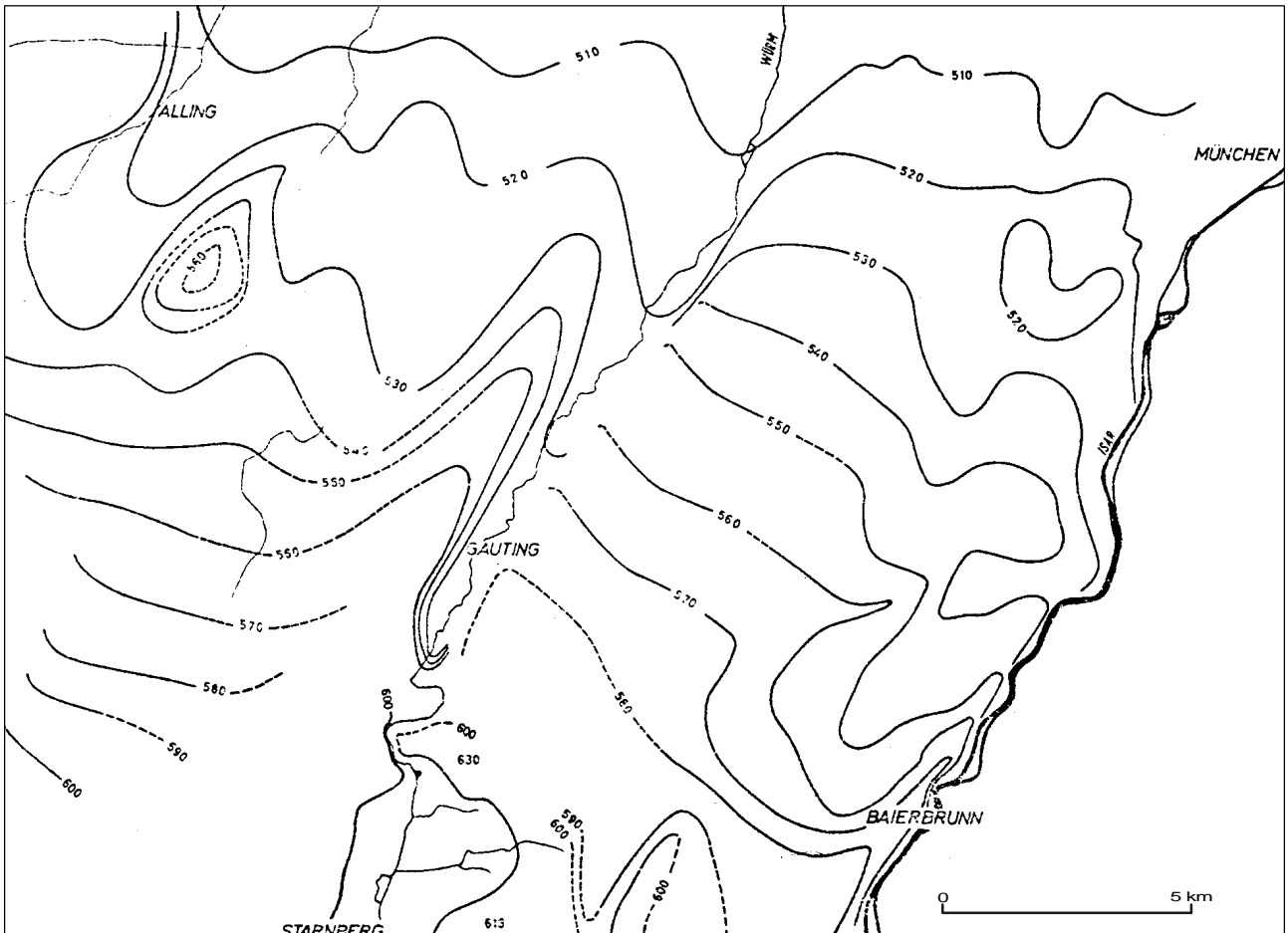


Abb. A5: Die Tertäroberfläche zwischen Isar und Amper (BLASY 1974, Abb. 4) - Legende s. Abb. B2b

Die größten Tertiärhöhen mit ungefähr 600 m.ü.NN liegen im Bereich der würmeiszeitlichen Endmoränenwälle zwischen Mamhofen/Hanfeld und Leutstetten (links unten). Höhen bis 630 m ü.NN, wie sie bei Leutstetten östlich der Würm aufscheinen, sind offensichtlich nicht durch Bohrungen belegt. In die Tertiäroberfläche sind mehrere, in die Haupt-Gefällerrichtung weisende Rinnen eingetieft. Die markanteste davon, die Würmtalrinne, wird vom Würmdurchbruch bei Mühlthal bis nach Gauting durch den heutigen Verlauf der Würm nachgezeichnet. Die Flanken dieser Rinne, mit über 40 m Höhe im Süden, reichen nach Norden mit abnehmenden Einschnittstiefen bis über Stockdorf hinaus. An ihrer Wurzel im Bereich der heutigen Würmtalschlucht bei Mühlthal (nahe Leutstetten) hat sich die Würm bis ca. 580 m ü.NN in den tertiären Untergrund eingetieft. Dort fällt die Rinne zuerst steil nach Norden bis auf ca. 540 m ü.NN in Richtung Königswiesen ab und behält dann im weiteren Verlauf ein annähernd gleichmäßiges Gefälle bei. Eine weitere Rinne wurzelt westlich von Gauting im Raum Unterbrunn ("Neugerminger Rinnen" oder "Unterbrunner Rinne") und weist in Richtung Kreuzlinger Forst. Ein schmaler Sporn trennt sie von der Würmtalrinne. Westlich des "Gilchinger Tertiärhochs" (links oben, ungefähr 560 m ü.NN), das etwa 15 m über dem durchschnittlichen Erosionsniveau liegt, kündigt sich die breite "Gilchinger Rinne" an. "Gilchinger und Neugerminger Rinne" sind nach Süden bei Höhen über 550 m ü.NN nicht mehr erkennbar. Östlich der Würmtalrinne dominiert eine Rinne ("Pullacher Rinne"), die zuerst durch einen schmalen Rücken parallel vom Isartal getrennt wird, dann bei Pullach in dieses mündet. Ihre Wurzel liegt im Raum Wangen. Im Süden zeichnet die 600 m-Isolinie das nördliche Zungenbeckenende des Würmsees nach.

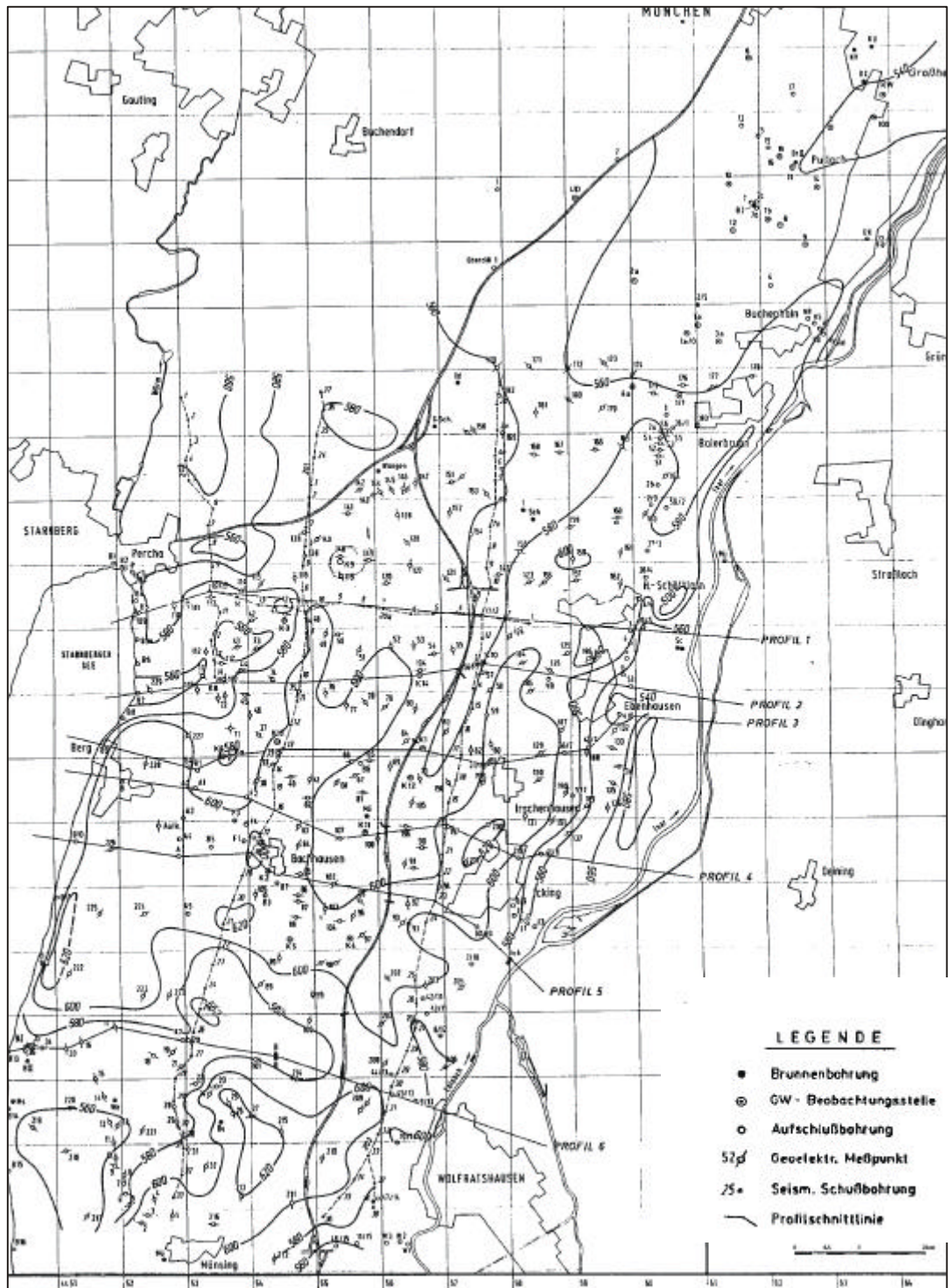


Abb. A6: Die Tertiäroberfläche zwischen Isar und Würmsee (BGLA 1982, Beil. 4)

Die größten Tertiärhöhen des hier gezeigten Teils des Münsinger Höhenrückens liegen mit ca. 620 bis 600 m.ü.NN etwa 40 bis 60 m über dem Würmsee-Ostuferrand und dem westlichen Isartal. Auffallendstes Reliefelement ist die "Pullacher Rinne", die nach Süden bis in den Raum um Bachhausen zu erkennen ist (ca. 600 m ü.NN). Eine schmale Rinne östlich davon ist nach Bohraufschlüssen bis unter 525 m ü.NN eingetieft, also tiefer als das benachbarte Isartal. Ihre Entstehung wird durch schürfendes Eis oder durch fließendes Wasser unter dem Eis vermutet. Im Raum Bachhausen (600-620 m ü.NN), etwas südlich der Pullacher Rinne, beginnt eine breit angelegte Rinne, die zuerst nach Südwesten in Richtung Ammerland verläuft, dann nach Süden umbiegt und bis unter 560 m ü.NN hinab reicht. Wahrscheinlich mündet sie in das Würmsee-Zungenbecken. Nördlich Berg führt eine weitere Rinne nach Nordosten, die unterhalb 560 m ü.NN in das Würmsee-Zungenbecken leitet. Ihr Ursprung liegt bei 580 m ü.NN in der Umgebung von Neufahrn. Ein Zweig reicht nach Süden bis ungefähr 600 m ü.NN (nordwestlich Bachhausen) und zeichnet annähernd den Verlauf des heutigen Lüßbaches nach. Beide zuletzt genannten Rinnen verlaufen also in südwestlicher Richtung zum Zungenbecken. Vom Ostrand des Gletscherbeckens, zwischen Heimathshausen und Leutstetten, verläuft eine Rinne in Richtung Würmtal. Ihr tiefster Punkt erreicht mindestens 560 m ü.NN, ihr weiterer Verlauf ist nicht bekannt.

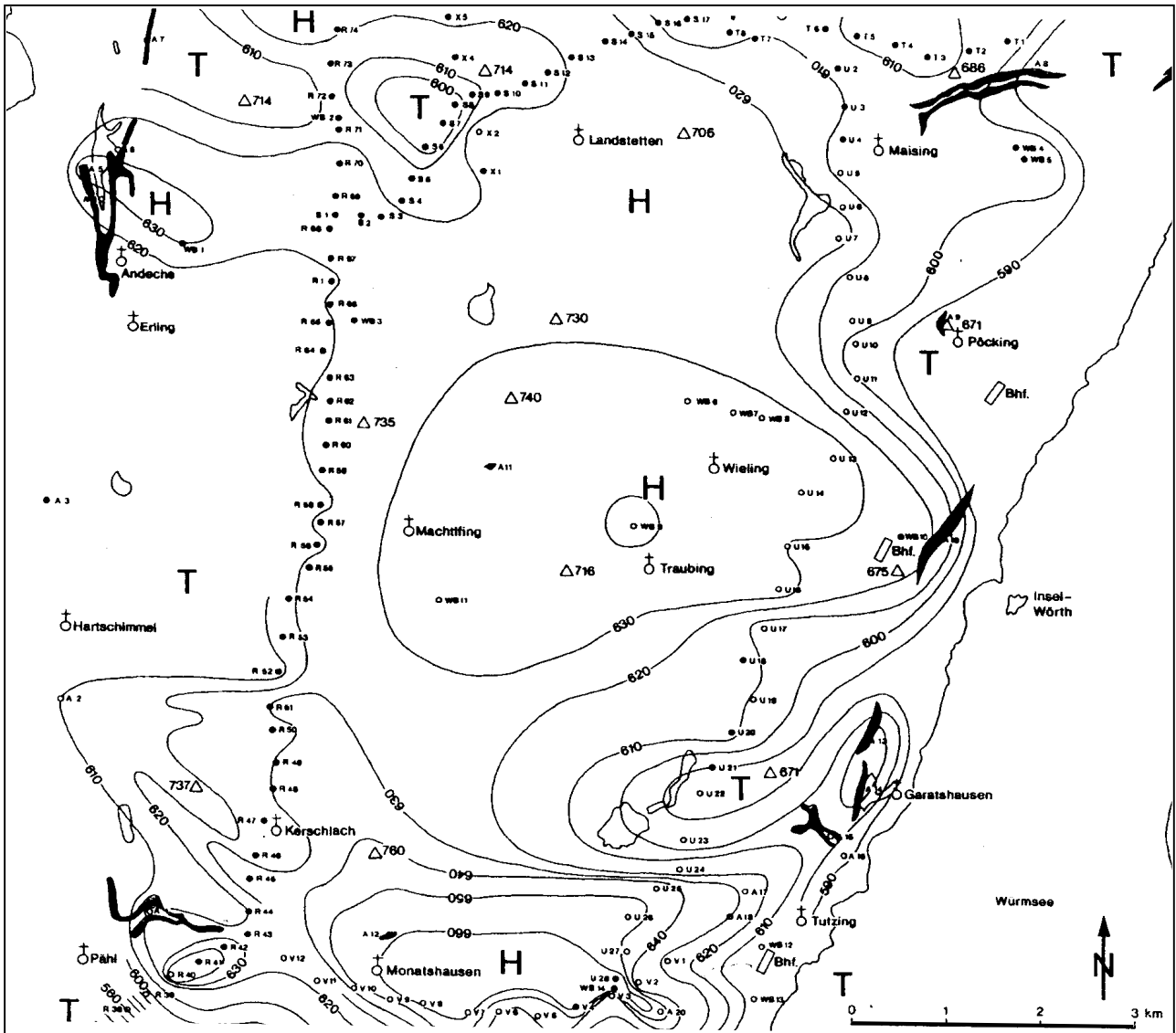


Abb. A7: Die Tertiäroberfläche zwischen Ammer- und Würmsee (CONRADI 1986, Anl. 3)
- Legende s. Abb. B2b

Um Traubing (Wielinger Becken) fällt ein zentrales Hochgebiet mit ca. 640 m ü.NN auf und ein West-Ost verlaufender Höhenrücken im Bereich des Berndorfer Buchets mit über 660 m ü.NN. Dazwischen ist eine nach Nordosten bis unter 590 m ü.NN zum Würmsee ausstreichende Rinne ("Pfaffenbergrinne") eingesenkt deren Ursprung in der Umgebung des Deixlfurter Sees liegt. Nördlich davon liegen zwei breite, zum Würmsee geöffnete Buchten bzw. Rinnen im Raum Pöcking und Maising, die am Seeufer ebenfalls bis unter 590 m ü.NN reichen. Im Westen, zwischen Erling und Hartschimmel, weist eine über 4 km breite "Bucht" zum Ammersee. Nördlich Andechs verläuft eine Rinne nach Westnordwesten in Richtung Herrsching in der eine über 10 m tiefe Hohlform westlich von Landstetten zu erkennen ist.

Vom Gebiet zwischen Ammer- und Würmsee hat CONRADI (1986, Anl. 3) eine bereits in Gutachten veröffentlichte Isohypsenkarte der Tertiäroberfläche (Abb. A7) gezeichnet. Als beherrschendes und damit u.U. auch die Grundwasserhöhenlage und -fließrichtung bestimmendes Reliefelement, zeigt diese Karte ein Hochgebiet im Raum Wieling-Traubing, wo sich an der Geländeoberfläche allerdings eine weite Senke ausdehnt ("Wieling-Maisinger Becken"). Geht man davon aus, daß sich wesentliche Reliefelemente der Tertiäroberfläche auch an der Geländeoberfläche wiederfinden, müßte es sich bei der vorliegenden Darstellung um einen Irrtum handeln. In der weiteren Bearbeitung wurde diesem Widerspruch nachgegangen (s. Kap. BI.1).

Die Abbildungen A5, A6 und A7 vermitteln generell ein Gefälle der Tertiäroberfläche nach Nordnordosten, wobei der Würmsee diese "Fläche" in zwei große Teilgebiete trennt. Danach kann Grundwasser über der Tertiäroberfläche in beiden Gebieten hauptsächlich zur Münchener Schotterebene oder in den Ammer- und Würmsee bzw. zum Isar-Loisachtal abfließen.

Eine großräumige Tertiäroberflächenkarte von KUNZ (1998) wird hier nicht diskutiert, da sie sich mit der eigenen Übersichtskarte (Kap. BII.1, Abb. B53) nur in Randbereichen überschneidet, deren Grundlagen auf andere Autoren beruhen (s. Autorennachweis Abb. B53).

2.4 Ausbildung und hydrogeologische Eigenschaften

Limnische und fluviale Sedimente der obermiozänen "Oberen Süßwassermolasse" sind im Untersuchungsgebiet überwiegend als ungefaltete, meist fossilarme Mergel und Sande ("Flinz") bekannt, deren Zusammensetzung horizontal und vertikal wechseln kann und die besonders an der Tertiäroberfläche infolge Verwitterung gelegentlich geringmächtig verfestigt und entkalkt sind. Grobsedimente (Kiese und Grobsande) werden nur an wenigen Stellen in den obersten Metern als Einschaltungen (Rinnenfüllungen), weiß-graue, harte kalkige Knollen (Kalkkonkretionen) oder als Umlagerungsprodukte aus den überlagernden Quartärschichten erwähnt. Ausführliche Beschreibungen über Ausbildung und Ablagerungsmilieu des Flinzes stehen bei KNAUER 1929b, S. 4 ff; JERZ 1987a, S. 20 ff; 1987b, S.17 ff).

Die OSM birgt im Untersuchungsgebiet keine bisher bekannten größeren Grundwasservorkommen in wirtschaftlich erreichbaren Tiefen. Meist markiert die Oberfläche der feinkörnigen, überwiegend geringdurchlässigen Flinzschichten (Tertiäroberfläche) den Haupt-Stau- und Quellhorizont für das Grundwasser der überlagernden Quartärschichten. Erschließenswertes Grundwasser im Tertiär kommt erst in den kiesig-sandigen OSM-Schichten nördlich der Jungmoränenwälle vor, wie sie nach Norden zunehmend in den oberen Lagen auftreten. Dadurch kann sich dort ein weitgehend zusammenhängender Grundwasserspiegel im Tertiär einstellen. Eine Stockwerksgliederung kann jedoch infolge intensiver vertikaler und horizontaler Verzahnung unterschiedlich durchlässiger Ablagerungen nicht erfolgen (EGGER 1983).

3 Quartär (Pleistozän - Holozän)

3.1 Allgemeines

Die im Pliozän beginnende Klimaveränderung von mäßig warmen zu kühleren Temperaturen setzt sich im Pleistozän fort und führt in der Folge zur mehrmaligen Vergletscherung der Alpen und weiter Gebiete des Alpenvorlandes. Diese Kalt- oder Eiszeiten wurden jeweils von kürzeren Warmzeiten (Interglazialen) unterbrochen, in denen sich das Eis wieder vollständig aus dem Vorland zurückzog, sich organisches Leben entwickeln konnte und Verwitterungsböden entstanden.

Quartär	Holo-zän	Postglazialzeit	Auenböden, Torf, Kalktuff und Alm, Seekreide Postglaziale Schotter, Abschwemmassen (Schwemmfächer), Schuttkegel, Bergstürze Postglaziale Moränen im Hochgebirge		Junger Löß	
	Jung-pleisto-zän	Spätglazial Würmkaltzeit W Frühglazial	Seeton, Seekreide, Torf Würmmoräne Fließerden, Seeton, Schieferkohlen	Spätglaziale Terrassen- und Deltaschotter Niederterrassenschotter Vorstoßschotter Frühglaziale Schotter	Sandlöß, Flugsand Löß, Lößlehm Schwemmlöß	
		Riß/Würm-Interglazial R/W	Böden, Torf und Schieferkohlen, Seekreide, Schotter, Hangschuttbreccien			
	Mittel-pleisto-zän	Rißkaltzeit R	Seeton, Schieferkohle Rißmoräne Fließerden	Hochterrassenschotter	Sandlöß Löß, Lößlehm, Decklehm, Fließlehm	
		Mindel/Riß-Interglazial M/R	Bodenbildungen, „Geologische Orgeln“ Schieferkohlen, Seekreiden, Schotter, Hangschuttbreccien			
	Alt-pleisto-zän	Mindelkaltzeit M	Seeton Mindelmoräne Fließerden	Jüngere Deckenschotter	Lößlehm (Löß) Decklehm, Fließlehm	
		Haslach/Mindel-Interglazial H/M	Bodenbildungen Schieferkohle, Seekreide			
		Haslachkaltzeit H	Seeton Haslachmoräne Fließerden	Rinnenschotter	Decklehm	
		Günz/Haslach-Interglazial G/H	Bodenbildungen, „Geologische Orgeln“			
		Günzkaltzeit G	Günzmoräne Fließerden	Ältere Deckenschotter	Löß, Lößlehm, Decklehm, Fließlehm	
		Donau/Günz-Interglazial D/G	Bodenbildungen, „Geologische Orgeln“			
	Ältest-pleisto-zän	Donaukaltzeiten*) D	? Donaumoräne	Älteste Deckenschotter	Fließlehm	
		Biberkaltzeiten*) B * mehrere, durch Warmzeiten gegliederte Eiszeiten	Bodenbildungen, Hangschuttbreccien ?	Älteste Deckenschotter i. w. S.		

Tab. A1: Quartäre Bildungen im Alpenvorland und im inneralpinen Raum (Aus: JERZ 1993b, Tab.3)

JERZ (1993b, S. 7) nennt zusammenfassend sieben (bis zehn) größere Eiszeiten des quartären Eiszeitalters, in denen sich jeweils fünf große Vorlandgletscher am Alpenrand ausbreiteten. Von Westen nach Osten waren dies der Rhein-, Iller-Wertach-Lech-, Isar-Loisach-, Inn-Chiemsee- und der Saalach-Salzach-Gletscher. Zumindest während der letzten vier Eiszeiten (Günz-, Mindel-, Riß- und Würmeiszeit) schoben sich diese Vorlandgletscher unterschiedlich weit nach Norden vor, wobei sie nach den derzeitigen Kenntnissen im westlichen Alpenvorland zur Mindel- und Rißeiszeit, im östlichen Teil zur Günzeiszeit ihre größte Ausdehnung erreichten. Für den Isar-, Loisach- und Illervorlandgletscher zeigt dies Abbildung A8. Über die Ausdehnung der prä-mindeleiszeitlichen Gletscher ist wenig bekannt, da ihre Moränen, wie im Untersuchungsgebiet, in den nachfolgenden Eiszeiten wieder weitgehend abgetragen wurden.

Zwischen diesen "Haupt-Gletschern" fanden weitere, kleinere Vorlandgletscher Platz, wie z.B. der Ammerseegletscher, der als westlichster Teil des Isar-Loisach-Gletschers im "Fünfseenland" am weitesten nach Norden vordrang. Der Isar-Loisach-Gletscher reichte zur Riß- und Mindelszeit bis in den Raum um Mering und Fürstenfeldbruck, zur Würmeiszeit ca. 8 km südlich davon. Er erhielt seine Eiszufuhr aus den Nördlichen Kalkalpen und über Transfluenzen am Fernpaß (1209 m ü.NN) und dem Seefelder Sattel (1185 m ü.NN) auch aus dem Inntal, wodurch er größere Mengen zentralalpiner Gesteine aufnahm und mitführte. Am Nordalpenrand schürfte er das Murnauer-, Kocheler- und Tölzer Stammbecken aus, nördlich davon die Zungenbecken des heutigen Ammer- und Würmsees sowie das Becken des ehemaligen Wolfratshausener Sees. Stamm- und Zungenbecken sind nachweislich während der letzten drei Eiszeiten vom Gletschereis erfüllt gewesen.

Bevorzugt in solchen Zungen- und Stammbecken, aber auch in zahllosen Geländedepressionen, hinterließen die zurückweichenden Gletscher mehr oder weniger zusammenhängende Seen (Seenplatte), in denen sich oft mächtige Feinsedimente (Seetone und -kreiden, Sande und Deltaschüttungen) ansammelten und die Hohlformen nicht selten vollständig auffüllten, was zur Verlandung der Seen führte. Nachfolgende Gletscher konnten in solchen Gebieten die Stillwassersedimente wieder (teilweise) ausschürfen und dadurch den Feinkornanteil ihrer Sedimentfracht erhöhen. Das wiederholt vordringende Eis und seine Schmelzwässer, aber auch die Verwitterungsvorgänge und Abflüsse der Warmzeiten, gestalteten die jungtertiäre und die folgenden jüngeren Landoberflächen gründlich um, wobei die Exaration in den Stamm- und Zungenbecken der Gletscher besonders groß war. Insgesamt entstanden in den von Gletschern erfaßten Gebieten wahrscheinlich bevorzugt am vorgefundenen Relief orientierte Täler und Höhenzüge. Aber auch die nördlich anschließenden, eisfrei gebliebenen Periglazialgebiete sind - östlich des Lechs im wesentlichen das Tertiär-Hügelland - durch glaziale Einflüsse wie Schmelzwässer, Solifluktion, Lößakkumulation u.a. umgestaltet worden (HABBE 1988, S. 27).

Abtragungs- und Aufschüttungsvorgänge der Eiszeiten verursachten einen reichen Formenschatz aus Gletscher-, Schmelzwasser- und Beckenablagerungen (Moränen, Drumlins, Kames, Toteisbildungen, Schotterfelder, Seetonflächen, Deltaschüttungen u.a.; s. Tab. A1), wobei Bodenbildungen der Inter-glazialzeiten weitgehend ausgeräumt wurden. Am Saum der jeweiligen Eismaximalstände und -stillstandslagen bildeten sich aus dem vom Eis mitgeführten Gletscherschutt girlandenförmige, in der Regel in die Zungenbecken gestaffelte Endmoränenwälle (im Untersuchungsgebiet während der Würmeiszeit drei), die heute die Becken- und Grundmoränengebiete im Süden von den im Vorfeld ausgebreiteten Schotterfeldern trennen. Einst flächenhaft verbreitete altpleistozäne Sedimente/ Schotterfluren/ Deckenschotter (Mindel, Günz und älter) blieben, wenn überhaupt, vor allem über tertiären Hochgebieten oder in tieferen Rinnen der Tertiäroberfläche von der vollständigen Erosion verschont. Ältere Ablagerungen wurden durch diese Vorgänge prinzipiell stärker abgetragen wurden als jüngere.

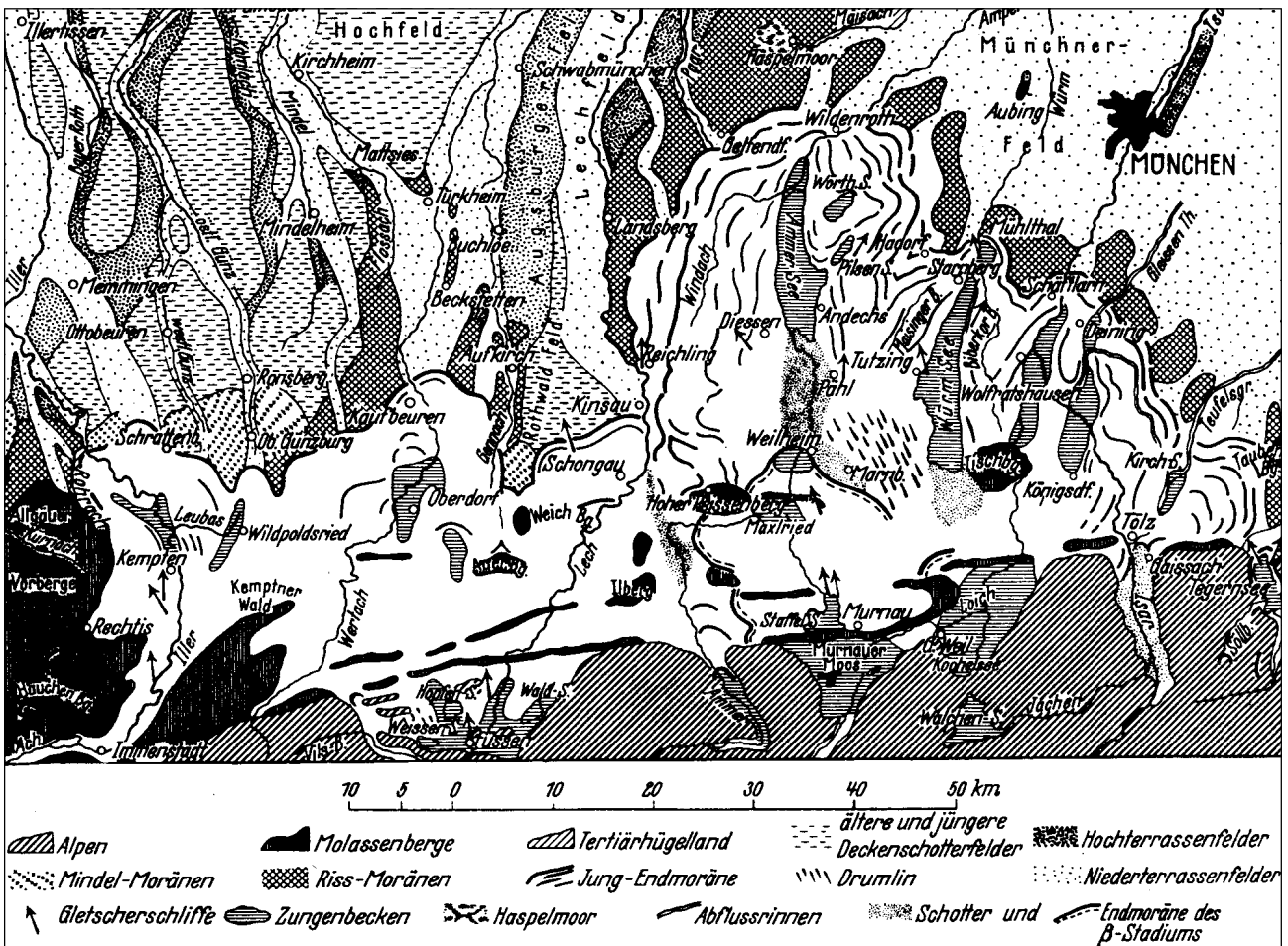


Abb. A8: Die Moränengebiete des Isar-, Lech- und Illervorlandgletschers
 (Aus: EBERS 1957, S.62, Abb.39; nach A. PENCK & BRÜCKNER 1901/09, S.177, Fig. 37)

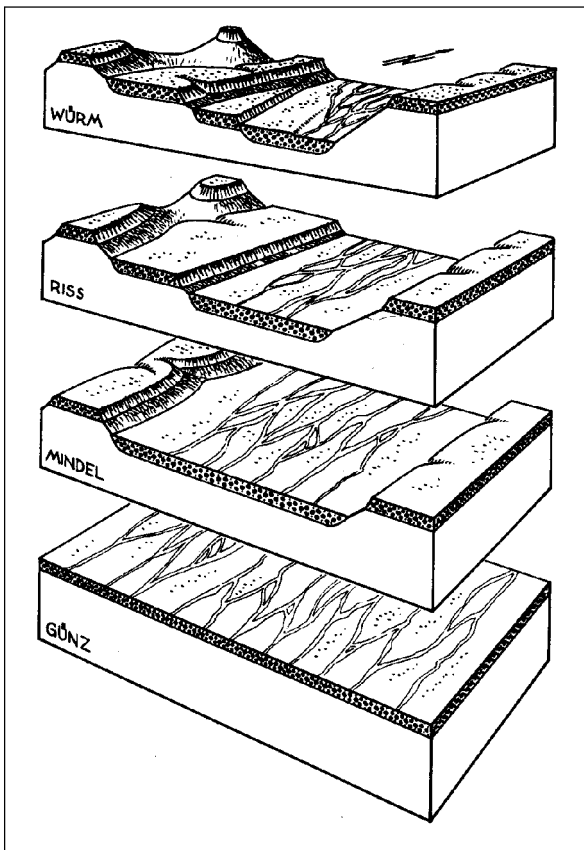


Abb. A9: Entstehung einer Terrassenlandschaft im westlichen bayerischen Alpenvorland
 (Aus: SCHOLZ, H. & SCHOLZ, U. 1981, Abb. 62)

Ablagerungen verschiedener Eiszeiten liegen aufgrund des quartären Erosions- und Akkumulationsgeschehens häufig durch Erosionsdiskordanzen voneinander getrennt über- oder nebeneinander.

“Im Bereich der glazifluvialen Ablagerungen kommt hinzu, daß Ablagerungen verschieden alter Eiszeiten zumindest in unterschiedlicher Höhenlage erscheinen, und zwar infolge der - durch fortschreitende Eintiefung der Entwässerungsbahnen bedingten - Reliefumkehr so, daß die ältesten Ablagerungen am höchsten, die jüngsten am tiefsten liegen ...” (HABBE 1988, S.28ff).

Eine weitere Ursache dieses Phänomens besteht darin, daß - mit Ausnahme der Münchener Schotterebene - das nördliche Alpenvorland während des gesamten Pleistozäns relatives Hebungsgebiet war. Diesem Sachverhalt entspricht auch ein Sedimentations- und Erosionsschema nach SCHOLZ H. & SCHOLZ, U. 1981 (Abb. A9). Es verdeutlicht auch die schon seit PENCK bekannte Vorstellung, daß man besonders vorwürmeiszeitliche, glazifluviale Ablagerungen (Hochterrassen-, Jüngere- und Ältere Deckenschotter) nach ihrer Höhenlage unterscheiden kann. Gemäß diesem Schema müßte Grundwasser der Schwerkraft folgend hauptsächlich in jüngeren Talsedimenten vorkommen, wobei dieses mehr oder weniger mit randlichen, höheren Vorkommen in älteren Ablagerungen kommuniziert.

In Moränengebieten und ihren Übergangsbereich gilt darüber hinaus und bis heute weitgehend unbestritten, was dem Schema der “Glazialen Serie” nach PENCK zu entnehmen ist (Abb. A10). Es zeigt, daß Grund- und Wall(End-)moränen, sowie Eisrandsedimente und Schmelzwasserbildungen durch Übergänge miteinander verknüpft sind. Dagegen grenzen sich Stausedimente schärfer von den umliegenden Sedimenten ab.

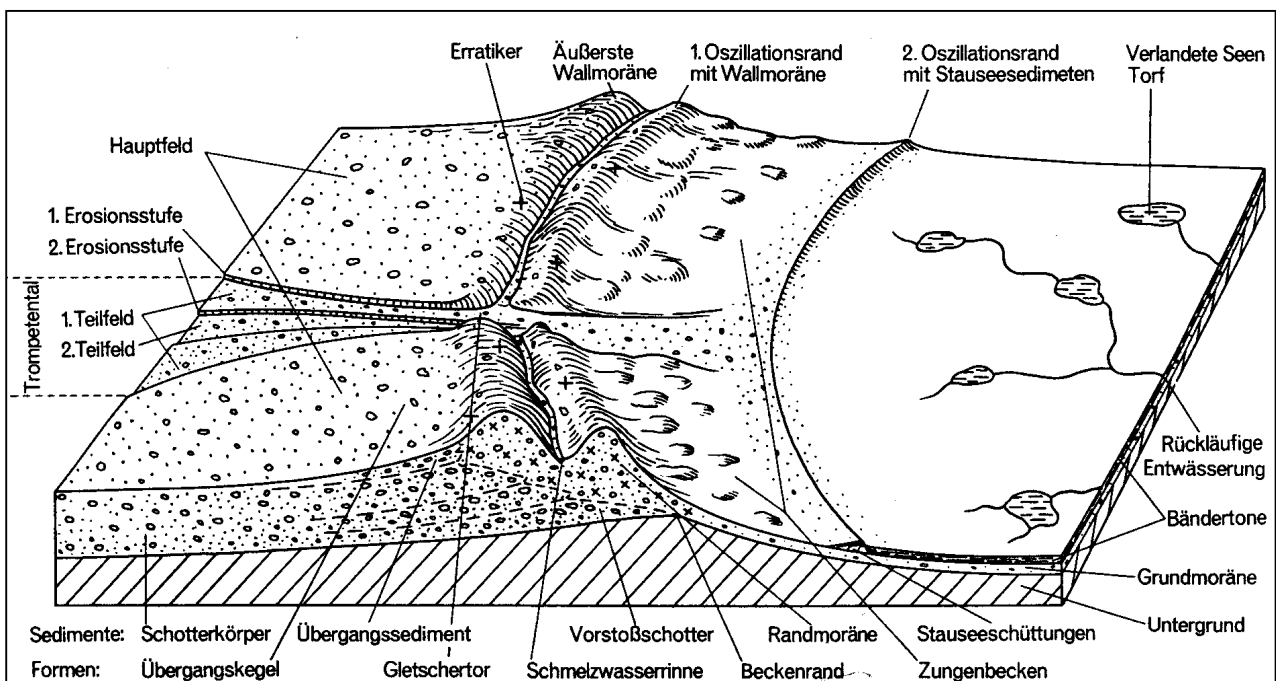


Abb. A10: Schema der "Glazialen Serie" PENCKs - Schotterflur - Stirnmoräne - Zungenbecken (Aus: HANTKE 1978, Bd.1, S.102).

Es ist zu erwarten, daß auch im "Fünfseenland" die landschaftsgestaltenden Prozesse ähnlich abliefen. Dort sind Ablagerungen der letzten vier Eiszeiten bekannt, an der Geländeoberfläche treten aber überwiegend Sedimente der Würmeiszeit auf. Die mächtigsten altpleistozänen Ablagerungen sind über vermutlich schon präquartären Hochgebieten, wie dem Andechser-, Münsinger oder Wessobrunner Höhenrücken, erhalten geblieben, wogegen sie in den einstigen Zungenbecken, in denen sich heute Ammer- und Würmsee und das Isar-Loisachflußbett befinden, weitgehend ausgeräumt sind. In diesen Becken haben die Eismächtigkeiten zur Würmeiszeit zwischen 350 und 400 m betragen (van HUSEN 1987). Man sollte annehmen, daß der nachgewiesene tiefere Schurf zur Rißeiszeit (s.u.) mit noch größeren Eismächtigkeiten einhergegangen ist.

Nach Erkenntnissen aus dem Gebiet des ehemaligen Wolfratshausener Sees/-Becken (JERZ 1979), der wie Ammer- und Würmsee ein Zungenbecken des Isar-Loisach-Gletschers war, hat das Eis der letzten drei Eiszeiten durch Exaration jeweils in unterschiedlichem Maß an der Ausformung der heutigen Seebecken mitgewirkt. So ist die maßgebliche Anlage des Wolfratshausener Beckens bereits zur mindelzeitlichen Vorlandvergletscherung erfolgt, wobei die vorrangige Seitenerosion zuerst ein breites Becken schuf, die Tiefenerosion nur bis 560-550 m ü.NN hinabreichte. Der rißzeitliche Gletscher hat das Becken dann bis um 450 m ü.NN übertieft. Eine erneute raumgreifende Seitenerosion bis in die randlichen Hochgebiete wurde dabei vermutlich durch die "Deckenschotter" gehemmt. Während der Würmeiszeit fand keine bedeutende Ausformung des Wolfratshausener Beckens mehr statt.

Nach dem Rückzug des würmeiszeitlichen Eises aus den Zungenbecken breitete sich, wie schon in den beiden vorangegangenen, spät- bis nacheiszeitlichen Phasen, im Wolfratshausener Becken eine ausgedehnte Seenlandschaft aus, die von den Endmoränen bei Schäftlarn bis zum Molasseriegel bei Penzberg reichte (ca. 30 km). Im Westen existierte eine schmale Verbindung zum Osterseen-Gebiet und zum südlichen Würmsee. Der Spiegel dieses Sees lag wie schon im vorangegangenen Interglazial und wahrscheinlich auch zur ausgehenden Mindeleiszeit um 600 m ü.NN (JERZ 1969, S. 60; 1979, S. 68).

"Nach der starken Übertiefung im Verlauf der Riß-Eiszeit blieb möglicherweise während der gesamten letzten Interglazialzeit im Raum von Wolfratshausen ein Voralpensee erhalten" (JERZ 1979, S. 67).

Infolge der Aufschüttung weiter Schotterfluren, der Bildung großer Moränenareale sowie der Auffüllung von Seebecken mit Stillwasserablagerungen sind in einigen Gebieten - auch über größere Entfernungen mehr oder weniger zusammenhängende - vertikale Abfolgen aus gut- und weniger gut durchlässigen Schichten entstanden. Diese Sedimente lassen sich hydrogeologisch grob in besser wasserleitende und stärker stauende Schichten einteilen, deren Mächtigkeit, Verbreitung und Durchlässigkeit Voraussetzung für die Ausbildung oder das Ausbleiben von Grundwasservorkommen ist.

Wo, wie im Untersuchungsgebiet, fossilführende Interglazialsedimente und meterdicke Verwitterungshorizonte fehlen, können für die Alterseinstufung andere Kriterien angewendet werden. Der wichtigste Unterschied ist dabei im unterschiedlichen Geröllspektrum zu finden. So beträgt der Kristallingehalt in Riß- und jüngeren Bildungen deutlich über 5 %, in den Deckenschottern des Untersuchungsgebietes (Isar-Loisach-Gebiet) höchstens 1 % . Innerhalb der Deckenschotter (Günz, Mindel) sind die Unterschiede aber so gering, daß eine Altersdifferenzierung nach dem Kristallingehalt bisher nicht gelungen ist.

Auch Riß- und Würmmoränen und -schotter unterscheiden sich im Untersuchungsgebiet nach dem Kristallingehalt kaum (JERZ 1987a, S. 39). Der Anteil zentralalpiner Komponenten erlaubt also unter Umständen allenfalls eine grobe Untergliederung in einen jung- und einen altpleistozänen Komplex.

Riß- von würmeiszeitlichen Wallmoränen können oft durch ihre flacheren Geländeformen und mächtigeren Bodenbildungen (Verlehmung / Entkalkung), oder ihre Lößbedeckung unterschieden werden.

Zieht man Nagelfluhbildung als Kriterium in Betracht, so geht man davon aus, daß sie gewöhnlich in älteren Ablagerungen weiter fortgeschritten ist als in jüngeren. Doch sind selbst würmeiszeitliche Kiese örtlich schon kompakt zu Nagelfluh verkittet, und schon A. PENCK (1882) erwähnt Gletscherschrammen auf verbackenen Kiesen der nächstälteren Eiszeit und beweist damit, daß ein einziges Interglazial zur Nagelfluhbildung ausreicht. Eindeutig für höheres Alter sprechen erst tiefgründige Verkarstungserscheinungen im Vergleich mit deren Fehlen in benachbarten Bildungen, wie es in PENCKs klassischen Aufschlüssen bei Höllriegelskreuth im Isartal zu sehen ist.

Die von PENCK eingeführte klassische Methode der Terrassenstratigraphie, die von verschiedenen Höhenlagen der Ablagerungen über dem heutigem Talniveau ausgeht (Abb. A9), führte im Untersuchungsgebiet zur Unterscheidung von zwei Deckenschotterniveaus. Beispiele für das höhere, ältere Niveau werden bei Monatshausen, Aschering, Frieding und Happerg genannt (ROTHPLETZ 1917, KNAUER 1929/1931, JERZ 1969; s.u.). Das tiefere wird gemeinhin der Mindel-Kaltzeit zugesprochen. JERZ (1987b, S.32) ordnet allerdings am Würmsee-Ostufer die tieferliegenden "Deckenschotter" zwischen Percha und Haarkirchen der Rißeiszeit zu.

3.2 Deckenschotter (Mindel und älter) - Regionale Verbreitung und Höhenlagen

Als "Deckenschotter" werden hier im Sinne von PENCK (s. Einleitung) alle quartären Bildungen zusammengefaßt, die älter sind als das "Große" Interglazial (Mindel/Riß) und flächenhafter verbreitet sein sollen als die jüngeren, mehr auf Täler beschränkten Aufschotterungen. Sie streichen im Umfeld des Untersuchungsgebietes an den Flanken von Ammer- und Würmsee und einigen tiefeingeschnittenen Gräben darin (z.B. Pähler- und Maisinger Schlucht, Kienbach-Tal, Kalkgraben) aus, ebenso an der Südostflanke der Pilsenseerinne und an den Rändern des Wolfratshausener Beckens und den Talflanken von Lech, Würm, Loisach und Isar. Ihre Untergrenze fällt dort meistens mit der Tertiär-Oberfläche zusammen; aus den Abbildungen A5 bis A7 ist ersichtlich, daß die Tertiäroberfläche bei weitem nicht so eben ist wie PENCK es ursprünglich annahm, der deshalb vermutete, daß die Deckenschotter des Andechser Höhenrückens großflächig mit denen der Münchener Schotterebene in Verbindung stünden (A. PENCK 1909, S. 181 ff.), wobei die "Jüngeren Deckenschotter" (Mindel-Schotter) auf niedrigerem Niveau liegen als die "Älteren Deckenschotter" (Günz-Schotter).

KNAUER (1931) nahm an, daß - auch im Andechser Höhenrücken - "Jüngere und Ältere Mindel-Schotter" unterschiedliche Höhenniveaus einnehmen, wobei die "älteren Mindelschotter" durch Hebung auf ein höheres Niveau gebracht, die "jüngeren" anschließend auf ein niedrigeres sedimentiert worden seien. Abweichend dazu beschreibt HUNSDORFER (1983, S.41) auf der Iller-Lech-Platte, daß dort Mindel-II-Schotter ("Jüngere Mindelschotter") auf Mindel-I-Schotter ("Ältere Mindelschotter") lägen.

Aus dem Iller-Wertach-Gletschergebiet ist bekannt, daß das Entwässerungssystem der Mindeleiszeit durch die gewaltige Schotterakkumulation so weit angehoben wurde, daß die Ablagerungen nicht wie in den nachfolgenden Kaltzeiten auf enge Rinnen begrenzt blieben, sondern sich flächenhaft ausbreiten konnten.

Der Aufbau dieses Schotterkörpers (Schotterplatte) setzt sich nach aus mehreren übereinanderliegenden Komplexen zusammen, wobei Schwankungen der mindeleiszeitlichen Schotterbasis meist durch das Relief der Tertiäroberfläche bedingt sind, daraus aber keinesfalls verschiedene glaziale Serien abgeleitet werden könnten (ROPPELT 1988, S. 20).

KNAUER (1931, S. 9) erwähnt Nagelfluh-Aufschlüsse im "Weihersbach-Graben" (=Ascheringer Bach; um 685 m ü.NN) auf dem Andechser Höhenrücken, an dessen Südende bei Monatshausen (um 720 m ü.NN) und im Norden bei Frieding (um 650 m ü.NN), sowie auf dem Münsinger Höhenrücken bei Happerger (um 710 m ü.NN). Er bringt sie aufgrund ihrer Höhenlage als Bildungen einer gemeinsamen Vereisungsphase in Verbindung und stuft sie älter als mindeleiszeitlich ein (Günz oder Donau).

A. PENCK & BRÜCKNER (1901/1909, Bd. 1, S. 40) und ROTHPLETZ (1917, S. 127 ff) datierten die "Happerger Nagelfluh" als mindeleiszeitlich, JERZ (1969, S. 33) als günzeiszeitlich.

Weitgehend unbestritten ist das mindeleiszeitliche Alter der Nagelfluhen am Würmsee-Westufer im Kalkgraben bei Tutzing und in der Maisinger Schlucht bei Starnberg, sowie am Ammersee Ostufer bei Pähl, im Kienbach-Tal bei Herrsching und im Höll- und Widdersberger Graben bei Seefeld am Pilsensee. Aus ihren Obergrenzen läßt sich für das Gebiet zwischen Ammer- und Würmsee eine Deckenschotter-Oberfläche zwischen 660 und 630 m ü.NN ablesen.

Verglichen mit den bekannten Tertiärhöhen im Jungmoränengebiet zwischen Ammer- und Würmsee (Abb. A7) ist zu erwarten, daß - abgesehen vom Tertiärhoch im Süden bei Monatshausen (Berndorfer Buchet) - mindeleiszeitliche Deckenschotter weitgehend flächendeckend über der Tertiäroberfläche liegen und Grundwasser darin mehr oder weniger zusammenhängend auftritt.

Die im Kartenverzeichnis zitierten geologischen Karten (z.T. mit Erläuterungen; s. Literaturverzeichnis) geben einen genaueren Überblick, was über die Verbreitung der Deckenschotter im Untersuchungsgebiet und der näheren Umgebung bekannt ist.

3.3 Jung- und mittelpleistozäne Schichten (Würm und Riß) - Regionale Verbreitung

Der zentrale Bereich des Untersuchungsgebietes stellt ungefähr in Nord-Süd-Richtung die Nahtstelle zwischen dem würmeiszeitlichen, wahrscheinlich auch zwischen dem rißeiszeitlichen Ammersee- und Würmsee-gletscher (-Lobus) dar. Die flacheren, zum Teil löblichbedeckten Rißmoränenwälle im Norden grenzen zwischen Unering und Starnberg (von dort weiter bis zur Isar und darüber hinaus) in W-E- Richtung unmittelbar an die schärfer konturierten südlicheren Würmmoränenwälle, wobei das ältere Wallsystem durch die nach Norden gerichtete würmzeitliche Entwässerung entweder ausgeräumt wurde oder von Schotterstränge durchbrochen wird. Diese Schotterstränge vereinen sich im Würmtal, bzw. leiten zur westlichen Münchener Schotterebene über (s. Kartenverzeichnis; KOEHNE 1919/1911, JERZ 1987a).

"Die einst ausgedehnten rißeiszeitlichen Schotterfelder wurden zu einem großen Teil mit fortschreitender Seitenerosion von den würmeiszeitlichen Schmelzwasserströmen ausgeräumt, teils auch von den rinnenförmigen Abflüssen zerschnitten" (JERZ 1987a, S. 39).

Die Vermutung liegt zunächst nahe, daß Grundwasser bevorzugt den Weg über solche Schotterstränge zur Münchener Schotterebene sucht, die sich nach JERZ (1993b, S.168) mancherorts auch bis unter die Moränen zurückverfolgen lassen. Südlich der würmeiszeitlichen Endmoränenwälle sind auf dem Andechser Höhenrücken keine nennenswerten Oberflächenaufschlüsse oder verdeckt liegende rißzeitliche Ablagerungen bekannt. Dieses Gebiet, mit vorwiegend würmeiszeitlichen Grund- und Wallmoränenarealen, wird nur von wenigen größeren (spät-)würmeiszeitlichen Schotterfluren unterbrochen, die nicht miteinander in Verbindung stehen (z.B. Wielinger Becken, Rothenfelder Schotterflur, unteres Mühltal bei Herrsching) und - abgesehen von Randbereichen der Rothenfelder Schotterflur - nicht in die Münchener Schotterebene führen.

Die (spät-)würmeiszeitlichen Schotterfluren sind wegen ihrer großen Grundwasserergiebigkeit für die Trinkwasserversorgung der umliegenden Gemeinden von besonderer Bedeutung (Kap. BI). Ihr Grundwasser ist aber wegen des meist zu geringen Flurabstandes und der nur geringmächtigen schützenden Deckschichten besonders gefährdet.

3.4 Ausbildung und hydrogeologische Eigenschaften quartärer Sedimente

In der zwischen Ammer- und Würmsee nahezu lückenlosen Jungquartärüberdeckung (Abb. B55, B56) kann man je nach der Durchlässigkeit in \pm bindige Moränen, gewaschene Kiese (fluvioglazial bzw. fluvial abgelagert) und Stillwasserbildungen (Seetone u.ä.) unterscheiden.

Das von PENCK eingeführte Modell der "Glazialen Serie" (Abb. A10) erläutert, wie diese Bildungen miteinander in Beziehung stehen. Daraus wird auch ersichtlich, daß das komplizierte Über- und Nebeneinander dieser unterschiedlich durchlässigen Ablagerungen zuverlässigen Durchlässigkeits- und Durchflußberechnungen über größere Gebiete enge Grenzen setzt oder sie manchmal gar aussichtslos macht, da detaillierte Kenntnisse über Kornverteilungen in einem solch heterogenen Sedimentkörper meist nicht vorliegen und auch nicht wirtschaftlich erhoben werden können.

Tabelle A2 vermittelt einen groben Überblick von Durchlässigkeitsbeiwerten (k_f -Werte) quartärer Sedimente, wie sie auch im Untersuchungsgebiet vorkommen können.

Tab. A2: Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte in m/sec) in quartären Sedimenten (BLfW 1985)

Verfestigte, altpleistozäne Deckenschotter (Günz/Mindel)	ca. 10^{-4} bis 10^{-5}
Mittelpleistozäne Hochterrassenschotter (Riß)	ca. 10^{-3} bis 10^{-4}
Jungpleistozäne Niederterrassenschotter (Würm)	um 10^{-3}
Postglaziale Schottern (Holozän)	ca. 10^{-2} bis 10^{-3}
Würmeiszeitliche Vorstoßschotter (bei Wasserburg a. Inn)	$3.6 \cdot 10^{-4}$
Würm-Grundmoräne (in sandig-kiesiger (Wall-)Moräne größer)	ca. 10^{-7}
Seeton/Seekreide (v.a. Schluffe)	ca. 10^{-7}

Ergiebigste Grundwasservorkommen sind demnach, bei ausreichender Mächtigkeit, in den jüngeren, unverfestigten Schottern zu finden, weniger ergiebige in den älteren, verfestigten oder/und feinkornreicheren Sedimenten.

Generell weisen Vorstoß- und Abschmelzschotter, Terrassenschotter aber auch Schottermoränen aufgrund ihrer meist sandig-kiesigen Ausbildung zwar die größten Poren Hohlräume auf, doch kann ein schichtiger Aufbau zum Teil erheblich unterschiedliche Durchlässigkeiten in horizontaler und vertikaler Richtung bewirken. So ist der k_f -Wert in würmeiszeitlichen Vorstoßschottern bei Wasserburg am Inn horizontal gemessen fünf- bis zehnmal größer als vertikal (*BLfW 1985*).

Würm-Grundmoränen, aber auch die meisten Wallmoränen, sind dagegen allgemein feinkornreicher mit kleineren Poren Hohlräumen. Daraus, sowie aus der meist fehlenden Schichtung und der inhomogenen Kornverteilung resultiert im wesentlichen ihre geringe Durchlässigkeit und ihre vorwiegend lehmige Bodenbildung (vgl. Standortkundliche Bodenkarte von Bayern, Blatt Weilheim).

Tone, Mergel und Mergeltone, Seetone und stark bindige Grundmoränen besitzen nur einen sehr kleinen nutzbaren Porenhohlraum und sind deshalb grundsätzlich wasserhemmend bis stauend. Sie stellen innerhalb des quartären Schichtstapels die wichtigsten potentiellen Grundwasserstauer dar.

"Korngrößenverteilung und Wasserdurchlässigkeit sind eng korreliert. Mit zunehmend feinerer Körnung geht eine Abnahme der Wasserleitfähigkeit einher. Die daraus resultierende Wirkung auf das oberflächennahe Wasserregime drückt sich in der flächenhaften Zunahme hydromorpher Böden von den Endmoränen- zu den Grundmoränenlandschaften aus" (GROTTENTHALER 1989, S. 101).

Beides hemmt das Eindringen von Niederschlagswasser und Auswaschen des Feinsedimentanteils. Der nutzbare Porenhohlraum von Wallmoränen steigt aber besonders dort erheblich, wo ehemalige Schmelzwasserströme v.a. an den eisabgewandten Wallseiten Feinsedimente ausgewaschen haben.

Insgesamt ändert sich die Kornzusammensetzung würmeiszeitlicher Moränen des Vorlandgletscher von sandig-kiesiger Beschaffenheit in den Endmoränen (Peripherie), zu höherem Feinkornanteil in den beckenwärts anschließenden Gebieten (GROTTENTHALER 1989, S.103).

Abbildung A11 zeigt die oberflächennahe Verbreitung von "Kornverteilungstypen" würmzeitlicher Moränen des Isar-Loisachgletschers nach GROTTENTHALER (1989) sowie die wichtigsten Schotter- und Mooregebiete des Untersuchungsgebietes und seiner Umgebung. Daraus sind, übersichtlicher als aus bisherigen geologischen Karten, Gebiete unterschiedlicher Wasserdurchlässigkeiten und damit auch unterschiedlicher Grundwasserneubildung und Deckschichten-Schutzfunktionen ersichtlich.

So sind innerhalb der Endmoränenwälle, besonders aber in den Grundmoränen, Moor- und Verlandungsgebieten, ungünstigere Voraussetzungen für die Grundwasserneubildung und günstigere für den Grundwasserschutz gegeben. Umgekehrt dazu sind diese Voraussetzungen in den Wallmoränen- und Schottergebieten sowie der westlichen Münchener Schotterebene.

Das in Kapitel BII.4 bearbeitete Bilanzgebiet (Abb. B61) ist überwiegend von geringer durchlässigen Deckschichten eingenommen, so daß zu erwarten ist, daß hier die Grundwasserneubildung insgesamt deutlich geringer ist als in der nördlich daran anschließenden Wurzelzone der Münchener Schotterebene.

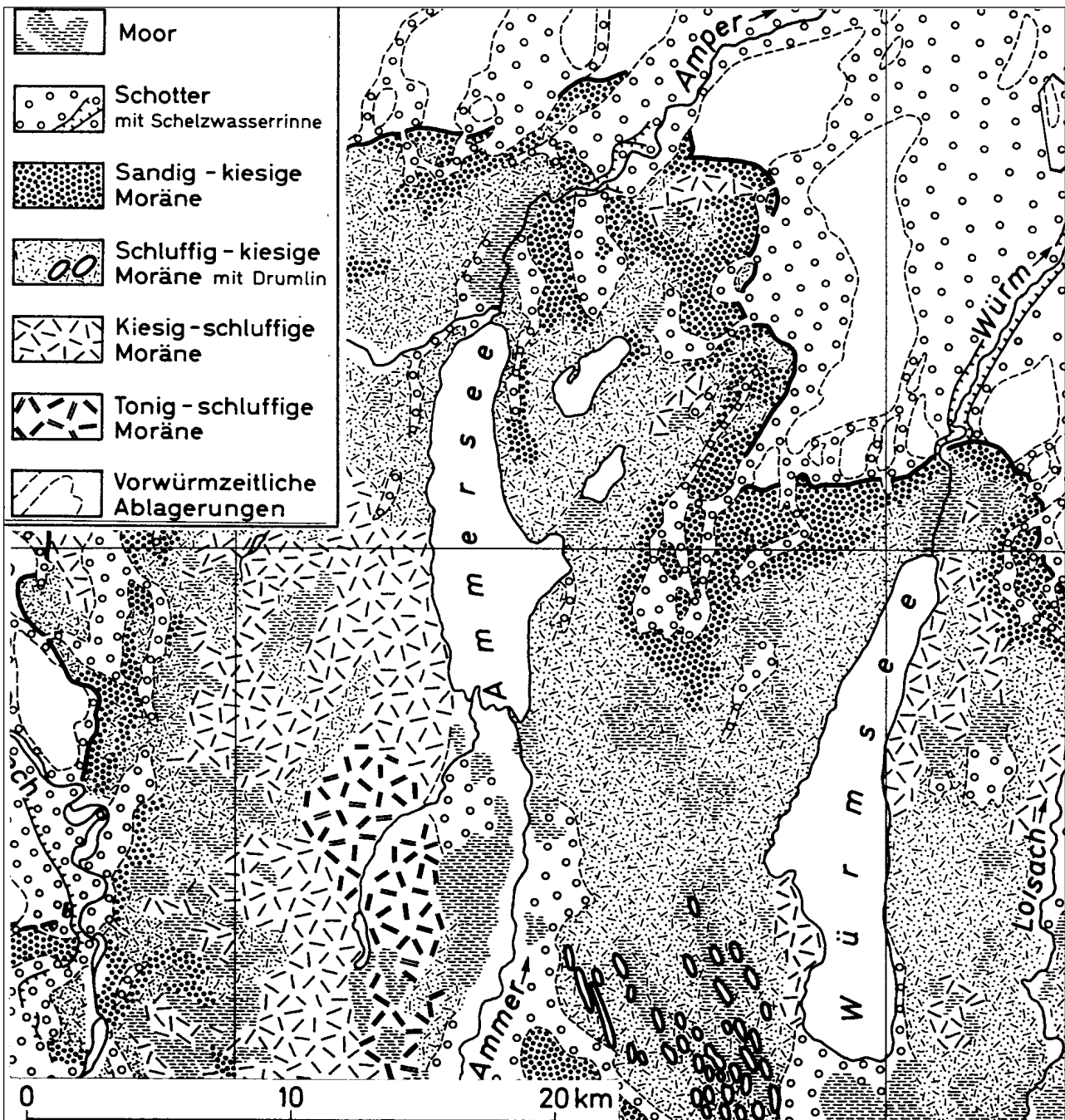


Abb. A11: Verbreitung von Kornverteilungstypen würmzeitlicher Moränen des Isar-Loisachgletschers und der wichtigsten Schotter- und Moränengebiete (Aus: GROTENTHALER 1986, Abb. 5)

Zur Unterscheidung der Kornverteilungstypen wurde das Ausgangsmaterial der heutigen Böden (Cn-Horizonte) untersucht. Dabei handelte es sich um die oberflächennahen Partien von Moränen und Schotterkörpern. Periglaziale Deckschichten wurden nicht berücksichtigt. Am Moränenmaterial wurde anhand von Korngrößenverteilungen die in der Legende gezeigte Gliederung von Korngrößentypen entwickelt, die auch im Gelände unterschieden werden können. Die regionale Verteilung dieser Typen ist stark generalisiert, engräumige Abweichungen in den Korngrößenverteilungen der Moränen werden in dieser Übersicht nicht gezeigt.

Legende:	Moränentyp	Wasserdurchlässigkeit
	sandig-kiesige Moräne	hoch bis sehr hoch
	schluffig-kiesige Moräne	mittel bis hoch
	kiesig-schluffige Moränen	gering bis mittel
	tonig-schluffige Moräne	gering bis sehr gering

4 Böden

Die verschiedenen Bodentypen im Untersuchungsgebiet entwickelten sich bereits im Spätglazial, während sich im Postglazial im wesentlichen nur noch die Bodenprofile vertieften (BRUNNACKER 1957). Sie weisen meist unterschiedliche Entwicklungstiefen und Durchlässigkeiten auf, wobei in Gebieten mit tiefgründigeren und geringer durchlässigen Böden in der Regel weniger Sickerwasser auftritt als unter flachgründigen, besser durchlässigen Böden, wodurch dort auch eine geringere Grundwasserneubildung zu erwarten ist.

Die Standortkundliche Bodenkarte von Bayern (BGLA 1986) unterscheidet vorherrschende Bodentypen im Gebiet zwischen Ammer- und Würmsee:

Im Norden des Jungmoränengebietes (Bilanzgebiet) bedeckt flachgründige Pararendzina aus kiesig-schluffiger Jungmoräne (z.T. Ackerpararendzina) die Wallkuppen, während die Abhänge bis zur Wallbasis hauptsächlich aus mittel- bis tiefgründiger Parabraunerde (z.T. Braunerde) bestehen. Die zum jüngeren Wall verbindenden carbonatreichen Schotterflächen entwickelten sich meist zu flach- bis mittelgründiger Parabraunerde und Ackerbraunerde oder Ackerpararendzina. Die Böden auf den nach Süden, Osten und Westen anschließenden schluffig-kiesigen Grundmoränen verwittern meistens zu mittel- bis tiefgründigen Parabraunerden. Dieser Bodentyp überwiegt auch an den Kuppen des "Machtlfinger Drumlinfeldes" und in den nächst jüngeren Wallzügen im Süden, Osten und Westen. In den zungenbeckennahen Gebieten zeichnen sich im Osten und Westen voneinander abweichende Bodenbildungen ab. Am Ammersee-Beckenrand ist eine flach- bis mittelgründige Pararendzina aus schluffig-kiesigem Substrat dominierend, dagegen tritt an der Würmsee-Westseite vermehrt eine mittel- bis tiefgründige Parabraunerde auf. Stark wasserstauende Grundmoränen- und Seetonflächen oder Schotterflächen mit oberflächennahem Grundwasser weisen oft Nieder- und Übergangsmoore oder Gleyböden auf. An den steileren Abhängen im Süden, Südwesten und Südosten findet man größere Flächen mit Hang- und Quellengleyen.

Entwicklungstiefe und Durchlässigkeit (k_f -Wert) der Böden - ebenfalls angegeben in der Standortkundlichen Bodenkarte von Bayern - miteinander korreliert, ermöglichen eine grobe Abschätzung der Wasserwegsamkeit und Schutzfunktion dieser Böden, wobei in Gebieten mit schotterreichem, gut durchlässigem Substrat (Abb. A11) die Wasserwegsamkeit (k_f -Wert) der Böden am größten, in Gebieten mit feinkornreichem, geringdurchlässigem Substrat am geringsten ist.

Es fällt auf, daß am östlichen Zungenbeckenrand des Ammersees flach- bis mittelgründige, also weniger wasserhemmende Böden (v.a. Pararendzinen) überwiegen, wogegen am westlichen Zungenbeckenrand des Würmsees bis in den Grenzbereich zwischen Ammersee- und Würmseeobus mittel- bis tiefgründige, besser wasserhemmende Böden dominieren (v.a. Parabraunerden). Es gibt keinen Hinweis dafür, daß diese regionalen Abweichungen der Entwicklungstiefen einer unterschiedlichen petrographischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials (Substrat) zuzuschreiben wären.

II Hydrologischer Überblick - Grundwassersituation

1 Allgemeine Hydrometeorologie

Im Untersuchungsgebiet und der weiteren Umgebung herrscht kontinental getöntes Klima vor. Winde aus überwiegend West bis Nordwest führen v.a. im Sommer feuchte Meeresluft nach Mitteleuropa. Dabei kommt es am Nordrand der Alpen oft zu starken Stauniederschlägen, die bis auf das "Fünfseenland" übergreifen können. Im Herbst und Frühjahr können Winde aus südlichen Richtungen trockene, warme Luft (Föhn) bis weit nach Norden in das Voralpenland verfrachten. Die Winter sind verhältnismäßig schneereich und mild.

Die mittleren jährlichen Niederschlagshöhen nehmen im langjährigen Durchschnitt (1931/60; Bayer. Landesstelle f. Gewässerkunde 1971) von >2000 mm am Alpenrand auf ca. 650 mm bis zur Donau ab. Charakteristisch ist eine jährliche Niederschlagsverteilung mit sommerlichem Hauptmaximum im Juli/August und winterlichem Sekundärmaximum im Dezember/Januar. Dabei fallen ca. 2/3 des Jahresniederschlags im Sommerhalbjahr (Mai-Oktober), 1/3 im Winterhalbjahr (November-April). Das Jahresmittel der Lufttemperatur (1881/1930; KNOCH 1952) steigt dagegen von Süden nach Norden von ca. 4EC auf 8EC an. Die Monatsdurchschnittstemperaturen sind im Juli mit ca. 17-18EC am höchsten, im Januar mit ca. 1-2EC am tiefsten. Im Untersuchungsgebiet liegt die mittlere Jahrestemperatur bei 7-8EC. Niederschlagsverteilung, Frostperioden und Schneeschmelze bewirken, daß hier im Alpenvorland der größte Teil des Grundwasservorrats in den Sommermonaten Juni bis August gebildet wird.

2 Klima- und Wasserhaushalt

2.1 Niederschlag, Verdunstung und Abfluß

Für großräumige Klima- und Wasserhaushaltsbetrachtungen sind in der Praxis häufig aus langjährigen Mittelwerten resultierende Isolinienkarten (N/V/A-Verteilung) in Gebrauch. Ihre Genauigkeit wird im Voralpenland für diesen Zweck als ausreichend angesehen, weil im nicht-gebirgigen Gelände kleinräumige Unterschiede geringer sind und das Meßnetz meistens dichter ist als im Gebirge. Für das Bilanzgebiet (Abb. B61) lassen sich aus den hier gezeigten vergrößerten Ausschnitten dieser Karten für den Niederschlag rd. 950 bis 1100 mm (Abb. A12), für die Verdunstung rd. 550 bis 600 mm oder rd. 50-63 % des Niederschlages (Abb. A13) und für den Abfluß rd. 350 bis 450 mm (Abb. A14) ablesen.

Die Karte der Niederschlagshöhen verzeichnet eine Zunahme vom Ammersee-Ostufer bis zur Mitte des Andechser Höhenrückes von > 150 mm. Im Ostteil des Andechser Höhenrückens sind Werte um 1100 mm angegeben; beide Seebecken liegen im Regenschatten von Höhenzügen.

Für kleinräumigere Wasserhaushaltsbilanzierungen ist die Ablesegenauigkeit der Bilanzgrößen (N/V/A) wahrscheinlich unzureichend. In Kapitel BII. 4 werden deshalb diese Größen anhand vom Meßwerten verschiedener Stationen im Umfeld des Untersuchungsgebietes und unter Zuhilfenahme verschiedener Berechnungsverfahren bestimmt.

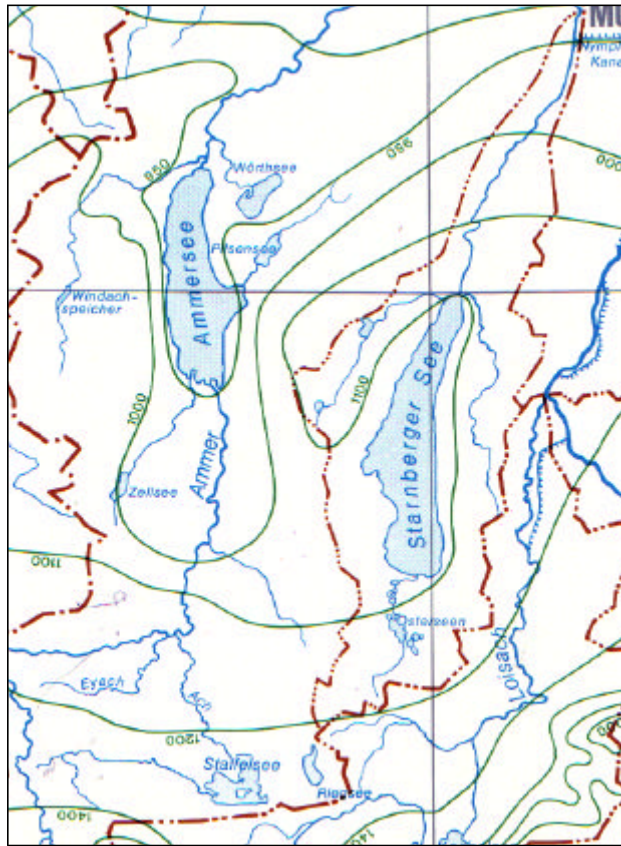


Abb. A12: Mittlere jährliche Niederschlagshöhen in mm - Jahresreihen 1931-1960 (Bayerische Landesstelle f. Gewässerkunde 1971)

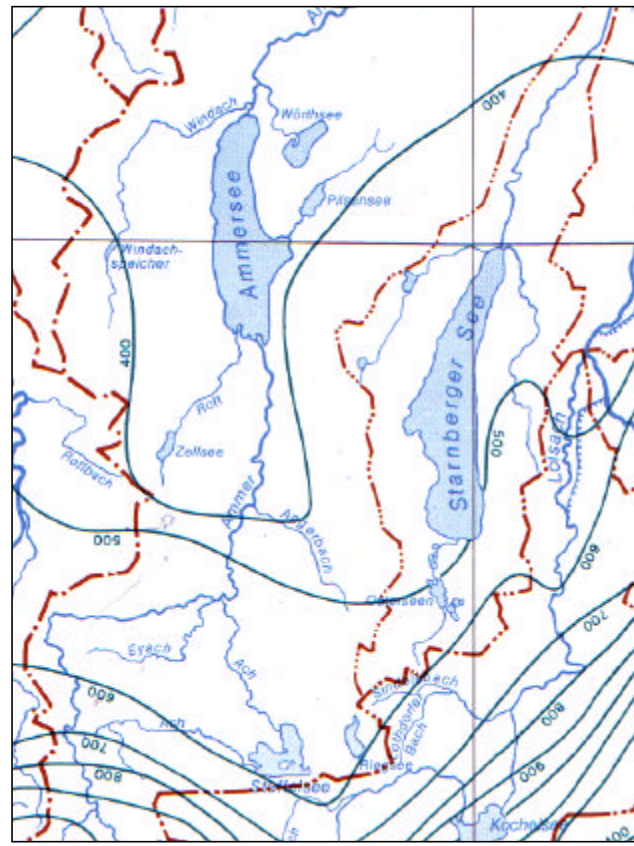


Abb. A13: Mittlere jährliche Verdunstungshöhen in mm - Jahresreihen 1931-1960 (Bayerisches Landesamt f. Wasserwirtschaft 1974)

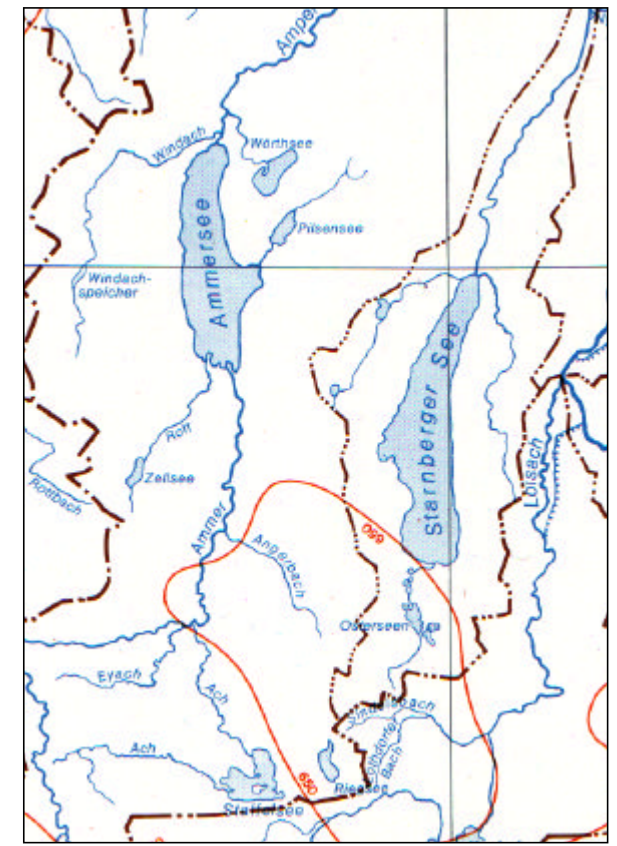
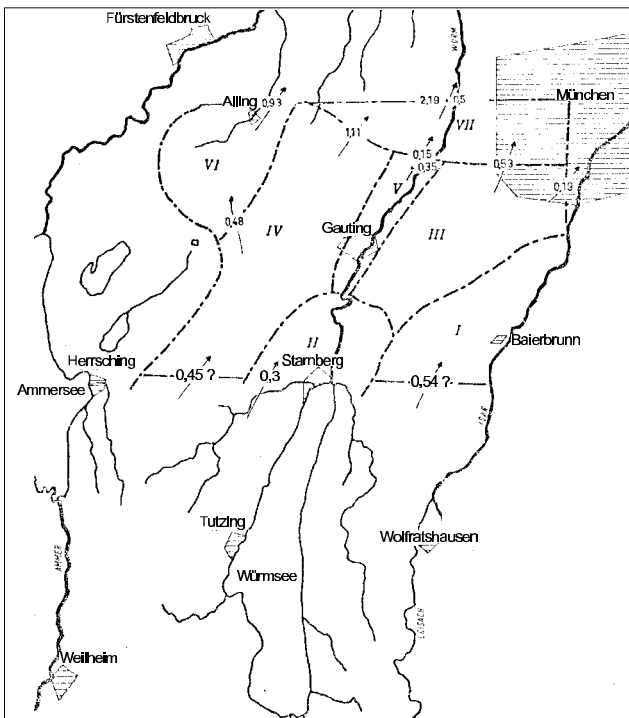


Abb. A14: Mittlere jährliche Abflußhöhen in mm - Jahresreihen 1931-1960 (Bayerische Landesstelle f. Gewässerkunde 1973)

s. Kartennachverzeichnis

2.2 Wasserhaushaltsbilanz

Für das in Kapitel BII.4 umgrenzte Bilanzgebiet (Abb. B61) ist noch keine umfassende Wasserhaushaltsbilanzierung durchgeführt worden. Eine Arbeit aus dem nördlich anschließenden westlichen Teil der Münchener Schotterebenen (BLASY 1974) gibt Größenordnungen des Grundwasserabstromes aus den Jungmoränengebieten nach Norden zur Münchener Schotterebene an (Abb. A15).



Legende:

- | | |
|------------|----------------------------|
| I | Pullacher-Rinne |
| II | Mühltaler Einzugsgebiet |
| III | Buchendorfer Einzugsgebiet |
| IV | Neugerminger-Rinne |
| V | Würmtal-Rinne |
| VI | Einzugsgebiet Gilching |
| VII | München-Pasing |

Abb. A15: Mittlere Grundwasserdurchflußmengen in m^3/sec zwischen Ammer und Isar (Aus: BLASY 1974, Abb.20)

Zwei Grundwasserströme aus dem Bilanzgebiet (Abb. B61) zwischen Ammer- und Würmsee (IV= Neugerminger- und V= Würmtal-Rinne), transportieren 0,45 bzw. $0,3 \text{ m}^3/\text{sec}$ in die Münchener Schotterebene.

3 Grundwasservorkommen und Grundwasserqualität

3.1 Grundwasser in quartären Grundwasserleitern

Im Untersuchungsgebiet werden Grundwasserstände an zahlreichen Brunnen und Pegeln mehr oder weniger regelmäßig registriert. Südlich der Jungmoränenzüge gibt es jedoch keine amtlichen Grundwassermeßstellen, auch liegen über die Grundwassersituation dort keine Publikationen vor. Nördlich der Jungmoränen, im Bereich der Münchener Schotterebene, zeichnet das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft an den Grundwassermeßstellen Unering (seit 1980), Hochstadt (seit 1975) und Gauting (seit 1984) die Grundwasserstände mittels automatischer Pegelschreiber auf. Für die westliche bzw. nordwestliche Münchener Schotterebene gibt es neuere Grundwasser-Isohypsenkarten von BLASY (1974, s. Abb. A16) bzw. SALAMEH (1974) und vom östlich benachbarten Münsinger Höhenrücken und dem nach Norden anschließenden Gebiet zwischen Würm und Isar eine Karte der Grundwasservorkommen in quartären Grundwasserleitern (BGLA 1982, Beil. 6; s. Kap. BII.3, Abb. B58).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde deshalb eine Grundwassergleichen-Übersichtskarte für das Jungmoränengebiet des Andechser Höhenrückens und der Wurzelzone der westlichen Münchener Schotterebene erstellt (Abb. B58).

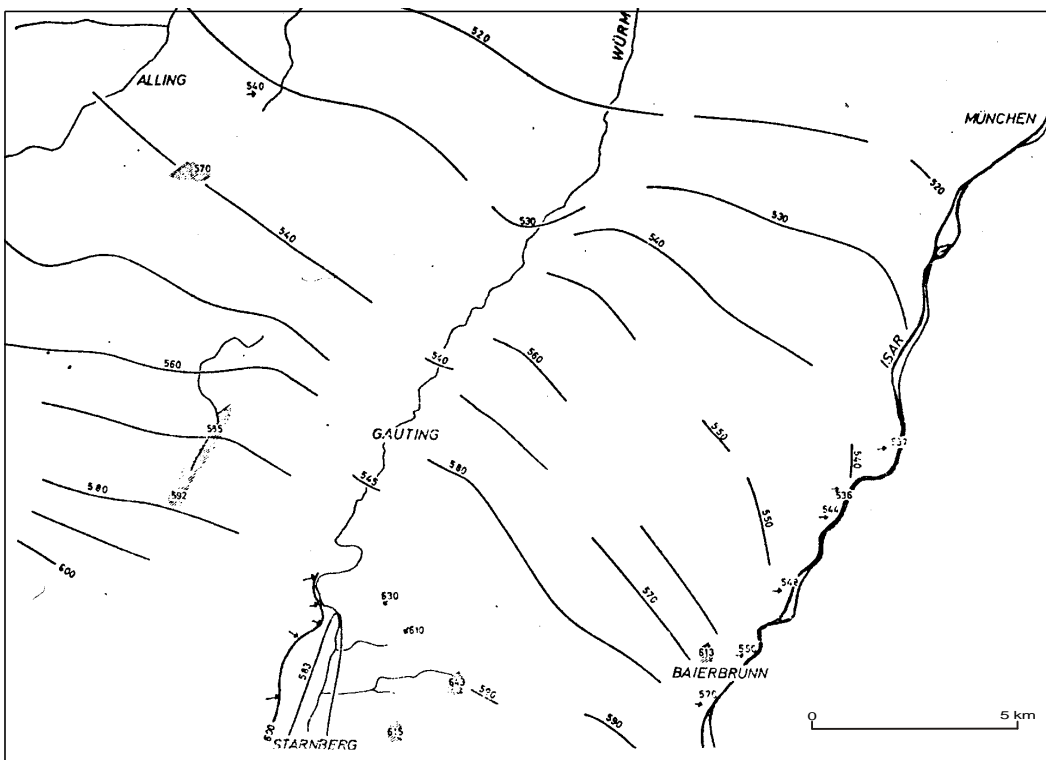


Abb. A16: Höhenlinien des Grundwasserspiegels bei mittlerem Wasserstand in der westlichen Münchener Schotterebene zwischen Amper und Isar (Aus: BLASY 1974, Abb. 9)

Das Grundwasser in der westlichen Münchener Schotterebene zwischen Amper und Isar fließt generell nach Nordnordosten, sein Hauptzufluß stammt demnach aus Süden (Bilanzgebiet). Dort, im Bereich der würmzeitlichen Endmoränenwälle, wo ein steileres Grundwassergefälle auftritt, beträgt die Grundwasserspiegelhöhe etwa 600 m ü.NN, im Norden, im Bereich des Kreuzlinger Forstes um 540 m ü.NN. Die Würmtalrinne und die nach Süden zunehmend höher aufragenden, dann u.U. als Grundwasserscheiden fungierenden Tertiärriedel, zerteilen, bei zugleich abnehmenden Grundwassermächtigkeiten, die im Norden weitgehend zusammenhängende Grundwasserfläche. Grundwasserspielschwankungen zwischen Niedrig- und Hochwasser (1948-1972) werden von Süden nach Norden größere (zwischen 1,1 und 7,5 m).

3.2 Grundwasser in jungtertiären (OSM) Grundwasserleitern

In den Jungtertiärschichten des Andechser Höhenrückens sind keine nennenswerten Grundwasservorkommen bekannt. Nach EGGER (1983, Abb. 10; s. Abb. A17) liegt der Grundwasserspiegel des jungtertiären Tiefengrundwassers nordöstlich des Ammersees in der westlichen Münchener Schotterebene bei ca. 540 m ü.NN, der des quartären Grundwasserstockwerkes nur wenig darüber. Je nach Mächtigkeit, Durchlässigkeit und Potentialdifferenz der Trenn- und Durchsickerungsflächen zwischen den Grundwasserdruckflächen bzw. den freien Grundwasseroberflächen können in diesem Bereich beide Grundwasservorkommen miteinander kommunizieren (vgl. Abb. A16).

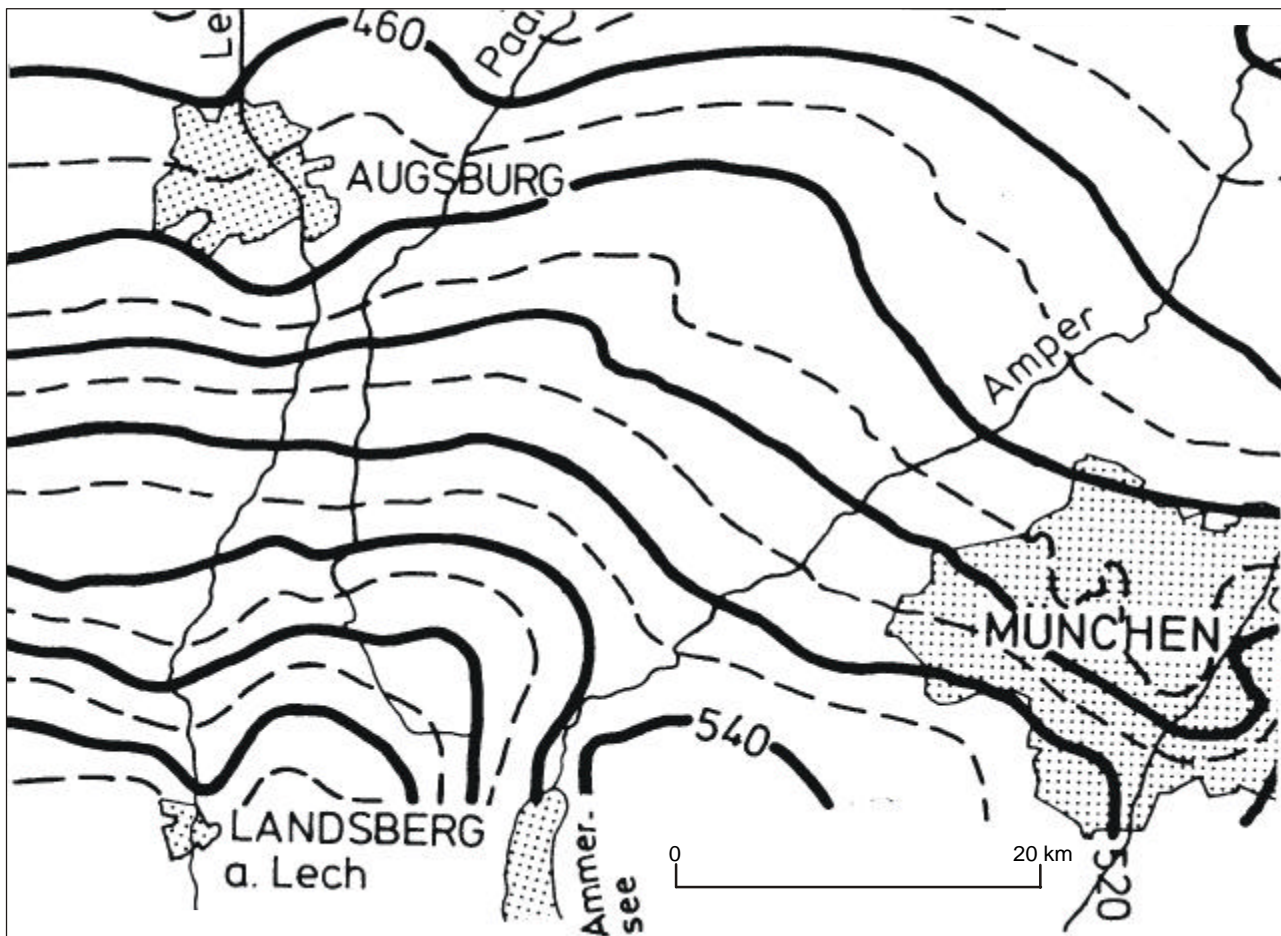


Abb. A17: Grundwassergleichen des jungtertiären Tiefengrundwassers im bayerischen Molassebecken in m ü.NN (Aus: EGGER 1983, Abb.10).

3.3 Grundwasserqualität

Als Standard-Beispiele für den Chemismus von Grundwässern quartärer Grundwasserleiter werden in Tabelle A3a 45 Grundwasseranalysen (Extrem- und Mittelwerte) aus Gebieten mit durchschnittlich geringem Flurabstand und gut durchlässigen Deckschichten, wie der Münchener Schotterebene, der Inn-Salzach-Platte, der Lech-Wertach-Platte sowie aus den Talfüllungen im südlichen Iller- und Mindeltal angeführt (EGGER 1983, Tab. 4). Diesen werden in Tabelle A3b 28 Analysen aus Grundwasserleitern im Jungmoränengebiet zwischen Würmsee und Isar (BGLA 1982, Beil. 7), also einem Gebiet mit überwiegend gering durchlässigen Deckschichten und häufig größeren Flurabständen, gegenübergestellt.

Tab. A3a: Chemische Beschaffenheit von 45 Grundwasserproben aus Gebieten mit durchschnittlich geringem Flurabstand und gut durchlässigen Deckschichten - Münchener Schotterebene, Inn-Salzach-Platte, Lech-Wertach-Platte, Talfüllungen im südlichen Iller- und Mindeltal (EGGER 1983, Tab. 4).

Parameter	Einheit	Extremwerte	Mittelwerte (Probenanzahl)	
Wassertemperatur	°C	7,8 - 12		
pH-Wert		7,0 - 7,8	7,3	(45)
el. Leitfähigkeit	µS/cm	470 - 740	570	(13)
freier Sauerstoff (O ₂)	mg/l	1,5 - 12,6		
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	67 - 140	98,3	(44)
Magnesium (Mg ²⁺)	mg/l	19,4 - 37,6	26,7	(44)
Natrium (Na ⁺)	mg/l	1,7 - 18,9	6,5	(22)
Kalium (K ⁺)	mg/l	0,5 - 5,0	1,6	(22)
Chlorid (Cl ⁻)	mg/l	4,6 - 36	20,2	(45)
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	1 - 56	20,7	(45)
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	9,6 - 105	35,2	(45)
Eisen (Fe ges.)	mg/l	n.n. - 0,12	0,015	(45)
Mangan (Mn ²⁺)	mg/l	n.n. - 0,06	0,007	(45)
Kieselsäure (SiO ₂)	mg/l	1,1 - 15	6,2	(38)

Tab. 3b: Chemische Beschaffenheit von 28 Grundwasserproben aus Grundwasserleitern im Jungmoränen-gebiet zwischen Würmsee und Isar (BGLA 1982, Beil. 7)

Wassertemperatur	°C	7,0 - 11,8	9,1	(28)
pH-Wert		7,1 - 7,8	7,4	(28)
el. Leitfähigkeit	µS/cm	355 - 775	528	(26)
freier Sauerstoff (O ₂)	mg/l	0 - 11,5	7,6	(27)
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	62,5 - 117,8	92,7	(28)
Magnesium (Mg ²⁺)	mg/l	19,2 - 33,8	26,0	(28)
Natrium (Na ⁺)	mg/l	1,6 - 18,3	4,3	(28)
Kalium (K ⁺)	mg/l	0,5 - 2,1	1,0	(28)
Chlorid (Cl ⁻)	mg/l	0,0 - 41,5	12,3	(28)
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	1,9 - 33,3	15,2	(28)
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	0,4 - 40,1	12,9	(28)
Eisen (Fe ges.)	mg/l	n.n. - 1,52	0,3	(25)
Kieselsäure (SiO ₂)	mg/l	2,6 - 7,6	5,5	(28)

Der Vergleich der Tabellenwerte zeigt, daß es sich in allen Gebieten um sogenannte Kalkschotterwässer (Typ: Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Wässer), die im Kalk-Kohlensäuregleichgewicht stehen, schwach alkalisch sind (pH um 7,3) und einen Gehalt an freiem Sauerstoff um 7,5 mg/l bis zur Sauerstoffsättigung aufweisen, handelt, wie sie in quartären Grundwasserleitern im nördlichen Alpenvorland üblicherweise durch die Zusammensetzung der vorwiegend karbonatischen Grundwasserleiter charakterisiert sind.

Deutliche Konzentrationsabweichungen zwischen beiden "Gebiets-Typen" sind v.a. bei den "Umweltparametern" Chlorid und Nitrat zu erkennen. Diese liegen in Gebieten mit geringerem Flurabstand und durchlässigeren Deckschichten mit durchschnittlich 35,2 mg/l Nitrat und 20,2 mg/l Chlorid (Tab. A3a) erheblich über den aus Gebieten mit größeren Flurabständen und geringer durchlässigen Deckschichten (Tab. A3b), wo durchschnittlich nur 12,9 mg/l Nitrat und 12,3 mg/l Chlorid gemessen werden.

Als wesentliche Ursache für erhöhte Chlorid-Konzentrationen ist unterschiedlich intensive winterliche Straßensalzung zu vermuten. Erhöhte Nitratkonzentrationen können durch Auswaschung stickstoffhaltiger Dünger aus landwirtschaftlich genutzten Böden, aus Abwässern und Deponiesickerwässern, durch Infiltration nitratbelasteter Oberflächenwässer oder auch aus der Luft über die Niederschläge in das Grundwasser gelangen. Außerdem setzen Mikroorganismen erhebliche Mengen Ammonium- und Nitrationen ($\text{NO}_2^- \cdot \text{NH}_4^+$) aus organisch gebundenem Stickstoff des Bodens (Humus/Torf) frei, die von dort in das Grund- und Oberflächenwasser gelangen können. Dagegen führt Sauerstoffdefizit (geringe Konzentrationen gelösten O_2) zum mikrobiellen Abbau von Nitrat (NO_3^-) zu Nitrit (NO_2^-) und Ammonium (NH_4^+). Diese Abbauprodukte sind oft ein Hinweis auf ursprünglich höhere Nitrat-Ausgangskonzentrationen.

Tab. A4: Chemische Beschaffenheit von 7-12 Grundwasserproben des jungtertiären Tiefengrundwassers mit Moränenüberdeckung zwischen Isar und Inn - Tiefe 60-170 m (EGGER 1983, Tab. 6)

Parameter	Einheit	Extremwerte	Mittelwerte (Probenanzahl)
Wassertemperatur	°C	8,8 - 12,2	10,5 (12)
pH-Wert		7,3 - 7,6	
el. Leitfähigkeit	µS/cm	273 - 430	386 (7)
freier Sauerstoff (O_2)	mg/l	n.n.- 6,2	
Gesamthärte	mmol/l	2,6 - 3,1	2,91 (12)
Calcium (Ca^{2+})	mg/l	56,7 - 75,5	68,0 (12)
Magnesium (Mg^{2+})	mg/l	23,4 - 40,0	28,7 (11)
Natrium (Na^+)	mg/l	2,6 - 10,4	6,3 (7)
Kalium (K^+)	mg/l	0,4 - 1,1	0,7 (7)
Chlorid (Cl^-)	mg/l	0,7 - 12,4	4,7 (11)
Sulfat (SO_4^{2-})	mg/l	n.n - 9,6	6,4 (11)
Nitrat (NO_3^-)	mg/l	n.n - 20,8	5,9 (12)
Eisen (Fe^{2+})	mg/l	0,01- 0,36	0,13 (11)
Mangan (Mn^{2+})	mg/l	n.n - 0,11	0,05 (11)
Kieselsäure (SiO_2)	mg/l	6,0 - 26,0	13,3 (12)

n.n = nicht nachweisbar

Die chemische Beschaffenheit jungtertiärer Grundwässer mit Moränenüberdeckung zwischen Isar und Inn (Tiefe 60-170 m) wird in Tabelle A4 durch Extrem- und Mittelwerte der wichtigsten Wasserinhaltsstoffe und einiger physikalischer Parameter charakterisiert (EGGER 1983, Tab. 6).

Grundsätzlich ist die Gesamtmineralisation der "Tertiärwässer" (im Durchschnitt 475 mg/l) und der Sauerstoffgehalt (bis 6,2 mg/l) niedriger als der von "Quartärwässern" (Gesamtmineralisation um 630 mg/l, Sauerstoffgehalt bis 12,4 mg/l). Es herrschen deshalb in "Tertiärwässern" häufiger teilreduzierte oder reduzierte Verhältnisse vor, so daß ursprünglich vorhandenes Nitrat zu Nitrit oder Ammonium abgebaut sein kann. Die Konzentration der "Umweltparameter" liegt bei etwa 30%, die des Calciums bei 70% des Durchschnittswertes der "Quartärwässer".

In der westlichen Münchener Schotterebene nördlich der Jungmoränenwälle des Ammer- und Würmseegebietes existiert in den obersten jungtertiären Schichten (OSM) ein weitgehend zusammenhängender Grundwasserspiegel (Abb. A17). Unmittelbar darüber befindet sich das Grundwasser des quartären Grundwasserleiters (Abb. A16), so daß beispielsweise in Bereichen, in denen sich wasserführenden Tertiärschichten über dem Grundwasserspiegel quartärer Rinnenfüllungen befinden, "Tertiärwasser" dem "Quartärwasser" zufließen kann. Üblicherweise geht man aber davon aus, daß die Regeneration jungtertiären Grundwassers in Gebieten mit wasserführender Quartärüberdeckung zum größten Teil aus dem höheren Grundwasserstockwerk stattfindet (EGGER 1983). In beiden Fällen unterscheiden sich jedoch die Wässer in hydrochemischer Hinsicht kaum voneinander.

Offene Fragen- Zielrichtung des weiteren Vorgehens

Die in Kapitel A dargelegte geologisch-hydrogeologische Bestandsaufnahme der wichtigsten publizierten geologisch-hydrogeologischen Aspekte im Untersuchungsgebiet hat hinsichtlich der Fragestellung dieser Arbeit - Aufklärung der Grundwassersituation und des hydrogeologischen Schichtenbaus in Teilen des "Fünfseenlandes" - verdeutlicht, daß zu wenig, manchmal auch Widersprüchliches über den Hauptgrundwasserstauer (Tertiär), den quartären Stockwerkbau, die räumliche Verteilung der Grundwasservorkommen und deren unterirdische Abgrenzungen und Ausbreitungswege sowie über die Grundwasserqualität bekannt ist.

Dies macht es zuallererst notwendig, eine detaillierte und umfassende neue Bestandsaufnahme aller bisher aufgezeichneten und archivierten Bohr- und Meßergebnisse, der im folgenden genannten, für diese Arbeit relevanten geologisch-hydrogeologischen Grundlagen durchzuführen.

Ein Hauptaugenmerk kommt dabei der präglazialen Landoberfläche (Tertiär) zu, die im Untersuchungsgebiet seit langem als Haupt-Grundwasserstauer bekannt ist und deren Relief maßgeblich die Grundwasserfließrichtung des tiefsten quartären Grundwasserstockwerks bestimmt. Sollten sich diesem Relief beispielsweise bestimmte Hauptrichtungen zuordnen lassen oder sich diese mehr oder weniger auch an der Geländeoberfläche abzeichnen, könnten Grundwasserprospektionen in Jungmoränengebieten wesentlich effizienter durchgeführt werden. Entsprechend wichtig ist die Erkundung der Unterlage jüngerer glazialer Serien soweit man berücksichtigt, daß sie nicht so regelmäßig wie die präglaziale aus Wasserstauern besteht. Nimmt man weiter an, daß zu Beginn einer Vorlandvergletscherung im Vorfeld des vorrückenden Eises flächenhaft Schmelzwasserschotter ("Vorstoßschotter") abgelagert wurden, so kann man erwarten, daß diese, soweit sie erhalten geblieben sind, jetzt als Grundwasserträger fungieren, besonders dann, wenn die Unterlage, die bis dahin Landoberfläche war, wie o.g. aus Flinz (Tertiär), Geschiebelehm, Seeton oder anderen gering durchlässigen Gesteinen besteht. Somit ist es auch notwendig, Verbreitung, Höhenlage und Mächtigkeit solcher grundwasserleitender Schichten zu bestimmen. Zur Klärung der Grundwassersituation sollten darüber hinaus in einem möglichst engen Raster Grundwasserstände möglichst zeitgleich gemessen, größere Bachabflüsse und Grundwasserinhaltsstoffe analysiert sowie Wasserhaushaltsbilanzen durchgeführt werden.

B Eigene Bearbeitung und Ergebnisse

Der folgende Abschnitt stützt sich wesentlich auf Bohrprofile, Grundwasserspiegel- und Abflußmessungen, Quellschüttungs- und Brunnenförderungsaufzeichnungen, Grundwasseranalysen, geoelektrische Meßergebnisse, geologische Kartierungen und Klimaaufzeichnungen. Diese stammen v.a. von der Fa. *Mobil-Oil* (Celle), dem Bayerischen Geologischen Landesamt (München), dem Landesamt für Wasserwirtschaft (München), den Wasserwirtschaftsämtern München und Weilheim, der Technische Universität München, der Fachhochschule München, dem Landratsamt und Zweckverband Starnberg, den Gemeinden Tutzing, Feldafing-Pöcking, Erling-Andechs und Herrsching, dem Würmtal-Zweckverband (WZV Planegg) und von den Ingenieur-Büros *BGU-Dr.Schott & Partner* (Starnberg), *WATEC* bzw. *IGWU* (Markt-Schwaben), *HAFEN* (München), *IGU* (Wörthsee) und *BLASY+MADER* (Eching), sowie dem Deutschen Wetterdienst (München). Weniger bedeutende Informationsquellen werden wenn nötig in den folgenden Fallstudien genannt. Informationen aus Archiven von Firmen, Behörden oder Zweckverbänden werden „*kursiv*“ zitiert und stehen im Quellennachweis im Anschluß an das Literaturverzeichnis.

Zwischen 1991 und 1997 wurden im Untersuchungsgebiet Geländebegehungen mit Detailkartierungen durchgeführt. An kleineren Bächen wurden 1991 und 1992 Abflußmessungen und -schätzungen (Gefäß- und Flügelradmessungen) vorgenommen. Mit dem Bayerischen Geologischen Landesamt in München (Herr Dr. Bader) fanden in den Jahren 1992-1994 gemeinsam geoelektrische Messungen statt.

Besonders fruchtbar für das Arbeitsziel erwies sich die enge Zusammenarbeit mit verschiedenen Ingenieur-Büros (s.o.), die in den letzten Jahren beauftragt waren, Grundwassereinzugsgebiete verschiedener Brunnen und Quellen zu ermitteln, neue Grundwasservorkommen zu erkunden und Sanierungsvorschläge zu erarbeiten. Diese Zusammenarbeit umfaßte auch praktische Tätigkeiten wie Bohrkernaufnahmen, Pumpversuchsbetreuung- und Auswertung, Grundwasserprobenahme und wasser-chemische Analysen sowie Temperatur-, Leitfähigkeits- und Grundwasserspiegelmessungen. Die hier vorgelegten Ergebnisse basieren wesentlich auf solchen, vom Verfasser erarbeiteten Grundlagen zu hydrogeologischen Gutachten (Tab. B1).

Das so gewonnene Datenmaterial wurde nach den in Kapitel A und im nächsten Abschnitt vorgestellten Kriterien und Methoden ausgewertet. Um ein anschauliches Bild von den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen zu erhalten und um auf Korrelationen aufmerksam zu werden, wurden in Kapitel BI im Rahmen von neun Fallstudien (Abb. B1, Tab. B1) eine Vielzahl hydrogeologischer Profile, Isohypsenkarten der Tertiäroberfläche und des Grundwassers sowie Diagramme und Ganglinien von Grundwasserhöhen oder Grundwasserinhaltsstoffen erarbeitet und synoptisch miteinander verglichen. Daraus resultiert schließlich eine großräumige Zusammenschau der geologisch-hydrogeologischen Situation des Untersuchungsgebietes (Kap. BII).

Alle Grundlagen für die Erläuterungen und Abbildungen (Karten, Profile, Ganglinien, Diagramme) der folgenden Kapitel wurden mit wenigen Ausnahme vom Autor selbst recherchiert, überprüft und bearbeitet.

BI Fallstudien

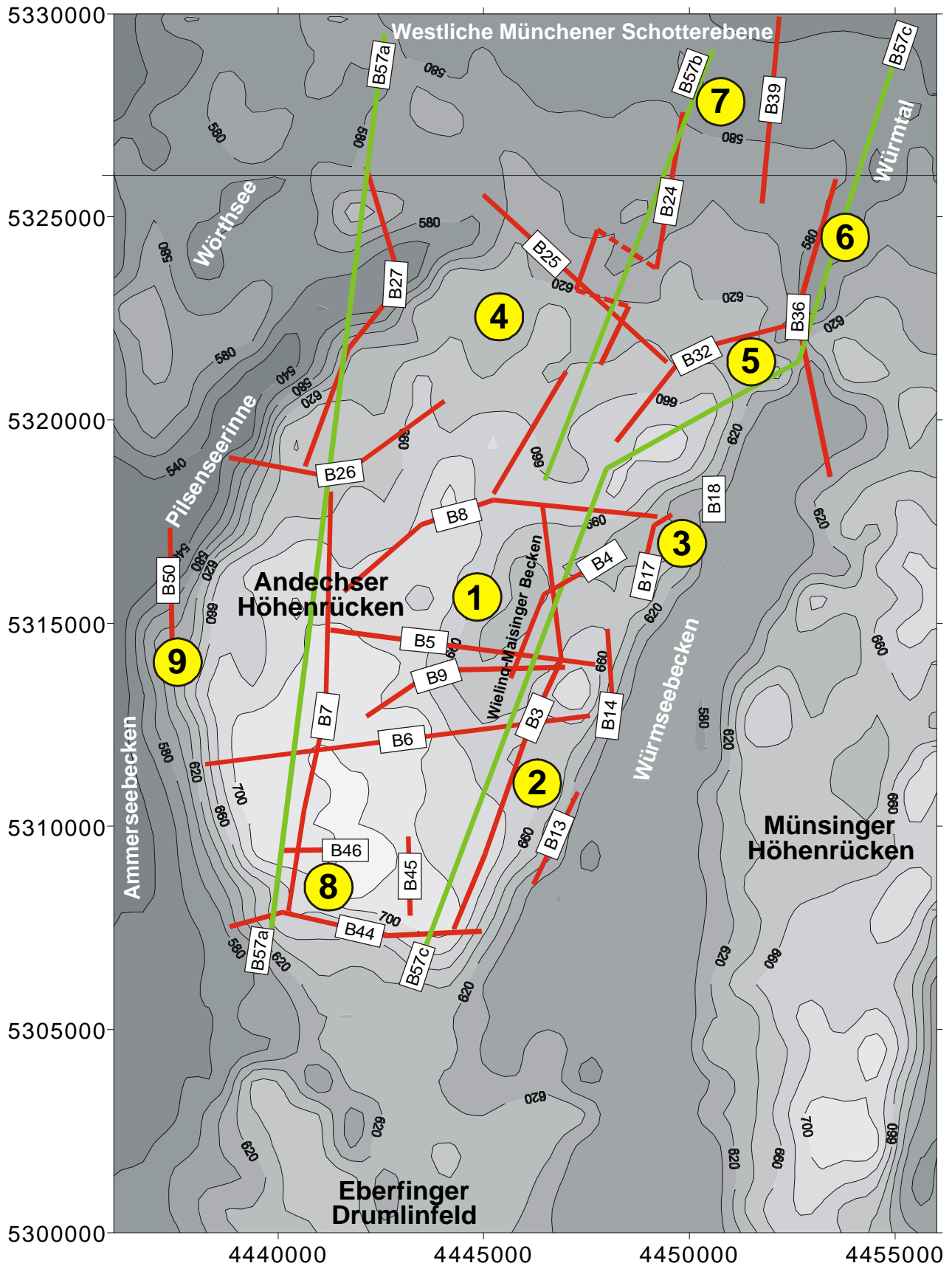


Abb. B1: Topographie-Schema des Untersuchungsgebietes (Grundlage: Digitales Geländemodell des *BLVA*) mit der Lage der Profilschnitte und den Positionen der 9 Fallstudien-Gebiete

Tab. B1: Fallstudien 1-9: Wasserversorgungseinrichtungen - Zur Begutachtung beauftragte Ingenieur-Büros - Beteiligung des Verfassers - Kurzbeschreibung der Grundwasserleiter

Nr. Fallstudien-Gebiete	Wassergewinnungsanlagen/gepl. Deponien (Betreiber/Gemeinde/Stadt) Ingenieur-Büros	Geologische Situation Kurzcharakteristik des Grundwasserleiters
1 Das Wieling-Maisinger Becken	Brunnen bei Wieling (Tutzing/Feldafing) Brunnen (neu) bei Aschering (Pöcking) <i>Ingenieur-Büro BGU *</i> ;	Spätwürmeiszeitliche Abschmelzschotter (z.T. über Deckenschottern) zwischen würmzeitlichen Endmoränenwällen auf dem östlichen Andechser Höhenrücken;
2 Das Würmsee-Westufer zwischen Tutzing und Possenhofen (Pfaffenbergrinne)	Geplante Wassergewinnungsanlagen (Tutzing/Feldafing-Pöcking) <i>Ingenieur-Büro BGU *</i> ; Quellen bei Tutzing und Garatshausen;	Deckenschotter unter Würmmoräne am Zungenbeckenrand (Würmsee);
3 Das Würmsee-Westufer zwischen Maxhof und Starnberg (Maisinger Schlucht)	Brunnen in der Maisinger Schlucht (Starnberg) <i>Ingenieur-Büro HAFEN *</i> ; Quellen im "7-Quellen-Tal";	Deckenschotter unter Würmmoräne und hochwürmzeitliche Talfüllung am Zungenbeckenrand (Würmsee);
4 Das Gebiet zwischen Hochstadt, Seewiesen, Frieding und Hadorf	Brunnen bei Mamhofen (Starnberg) Brunnen Hochstadt (ZV Starnberg) <i>Ingenieur-Büros BGU und HAFEN *</i> ; Geplante Brunnen bei Rothenfeld (Andechs) <i>Ingenieur-Büro WATEC (IGWU)</i> ; Brunnen des MPIV;	?Deckenschotter unter Würm- oder Rißmoränen und hochwürmeiszeitlichen Abschmelzschottern - Wurzel der Münchener Schotterebene am Nordrand des Andechser Höhenrückens;
5 Das Würmtal bei Leutstetten (Quellaustritte an der Würm)	Mühlthal-Quellen und Quellen Petersbrunn im Würmtal (Würmtal-ZV /Planegg) <i>Ingenieur-Büro BGU *</i> ;	Deckenschotter unter Würmmoränen und -schottern im Endmoränenengebiet am Rand der Münchener Schotterebene
6 Das Würmtal um den Königswieser Forst	Brunnen im Würmtal südlich Gauting (Würmtal-ZV/Planegg) <i>Ingenieur-Büro BGU *</i> ;	Würmeiszeitliche Schotterfüllung im Würmtal - Wurzel der Münchener Schotterebene;
7 Das Gebiet zwischen Gauting, Kreuzlinger Forst und Unterbrunner Holz	Brunnen im Würmtal nördlich Krailling (Würmtal-ZV/Planegg) <i>Ingenieur-Büro BGU *</i> ;	Würmeiszeitliche Schotterfüllung im Würmtal am Rand der Münchener Schotterebene nahe rißeiszeitlichen Schottern und Moränen;
8 Das Gebiet zwischen Kerschlach, Deixlfurt und Ilkahöhe	Brunnen bei Kerschlach (Tutzing) <i>Ingenieur-Büro BGU *</i> und <i>Blasy+Mader</i> ; Deponiestandorte Diemendorf/Rößelberg, <i>Ingenieur-Büro BGU *</i> und <i>Blasy+Mader</i> ;	Würmeiszeitliche Schotter unter Würmmoräne und Deckenschotter
9 Das Gebiet zwischen Mühlbach-Tal, Herrsching und Pilsensee	Brunnen und Quellen bei Herrsching (Herrsching und Andechs-Erling) <i>Ingenieur-Büro BGU *</i>	Spätwürmeiszeitliche Abschmelzschotter und Deckenschotter zwischen Endmoränenwällen am Zungenbeckenrand des Ammersees - spät- und postglaziale Schwemmfächer

*

Autor ist Gutachtenersteller bzw. hat mit den Gutachtenerstellern zusammengearbeitet

Methodisches Vorgehen

Zu Beginn jeder Fallstudie wurden Bohraufzeichnungen und geoelektrische Profile vereinheitlicht und zu Profilschnitten zusammengestellt. Dabei war u.a. zu beachten, daß die Qualität der verwendeten Aufzeichnungen, abhängig vom Bohr- und Meßverfahren und von der Qualifikation, Intention und Sorgfalt des Bearbeiters, nicht einheitlich war. Besonders geoelektrische Messungen ließen aufgrund ihres geringeren Auflösungsvermögens häufig keine hinreichend genaue Schichtengliederung und Höhenbestimmung von Grenzflächen zu. Aber auch ungenaue oder falsche Geländekoordinaten, die teilweise auf mehrfach kodierte und dadurch verzerrte Lagepläne zurückzuführen waren, erschwerten manche Ortsbestimmung. In den Profilschnitten wurde deshalb die Geländeoberfläche vereinfacht dargestellt. Beim Versuch, den quartären Sedimentkörper in "einfache" stratigraphische Stockwerke zu untergliedern, wurden zwar die in Kapitel A1.3 und im folgenden genannten Kriterien zugrundegelegt und weitere Angaben aus der Literatur berücksichtigt, doch war eine Zuordnung der Sedimente meist sehr schwierig, da Angaben über Alter, Schichtung, Farbe, Ablagerungsmilieu oder Kristallinegehalt in der Regel fehlten. Am sichersten gelang eine stratigraphische Einstufung bei den an der Oberfläche anstehenden und oberflächennahen Schichten, zumal diese durch Diplom-Kartierungen (s. Literaturverzeichnis) bereits gut untersucht waren. Dies betraf aber überwiegend würmeiszeitliche und holozäne Ablagerungen. Da rißeiszeitliche Ablagerungen innerhalb der würmeiszeitlichen Endmoränenwälle kaum bekannt waren, wurde versucht, Schotterhorizonte zwischen altpleistozänen und würmeiszeitlichen Ablagerungen - die der Rißeiszeit angehören könnten - mittels Feinsedimentschichten (z.B. Seetone und Grundmoräne) abzugrenzen. Dagegen lassen sich oberflächennahe rißeiszeitliche Ablagerungen, wie sie nördlich der Würmendmoränen vorkommen, gut anhand ihres sanfteren Oberflächenreliefs und den mächtigeren Bodenbildungen erkennen. Verbreitung und Höhenlage der meist verdeckt liegenden alt-pleistozänen Schichten (v.a. mindeleiszeitliche Deckenschotter) sind zwar an zungenbeckennahen Aufschlüssen in groben Umrissen zu erkennen, im Zentralgebiet des Andechser Höhenrückens zwischen Ammer- und Würmsee und im angrenzenden Übergangsbereich zur Münchener Schotterebene konnten sie jedoch nur anhand von Bohraufzeichnungen und geoelektrischen Meßergebnissen rekonstruiert werden. Dabei wurde versucht, einen Bezug zwischen zweifelsfrei angesprochenen Oberflächenaufschlüssen und den Bohraufzeichnungen herzustellen.

Insgesamt erwiesen sich Schußseismik-Bohrprofile der Fa. *MOBIL OIL* (Celle) als ergiebigste Untergrundinformationen, doch auch darin waren Höhenlagen und lithologische Struktur v.a. der quartären Schichten oft ungenau oder widersprüchlich, zumal quartäre Sedimente nicht Ziel dieser Bohrungen waren. So mußte bei der Festlegung von Schichtgrenzen innerhalb des quartären Schichtstapels aufgrund des angewandten Spülbohrverfahrens mit Differenzen von mehreren Metern gerechnet werden. Außerdem lag den Aufzeichnungen keine einheitliche und eindeutige Legende zugrunde, so daß für ein Gesteinskürzel meist mehrere Interpretationen möglich waren. Kombinierte Kurzangaben wie z.B. "T + K" oder "Ng + T" konnten - da in der Regel Hinweise auf die Lagerungsverhältnisse fehlten - geschichtete fluviatile Ablagerungen, aber auch Moränenmaterial sein. Tabelle B2 zeigt Beispiele der hier nach solchen "Kürzeln" vorgenommenen lithologischen und stratigraphischen Sedimentansprachen.

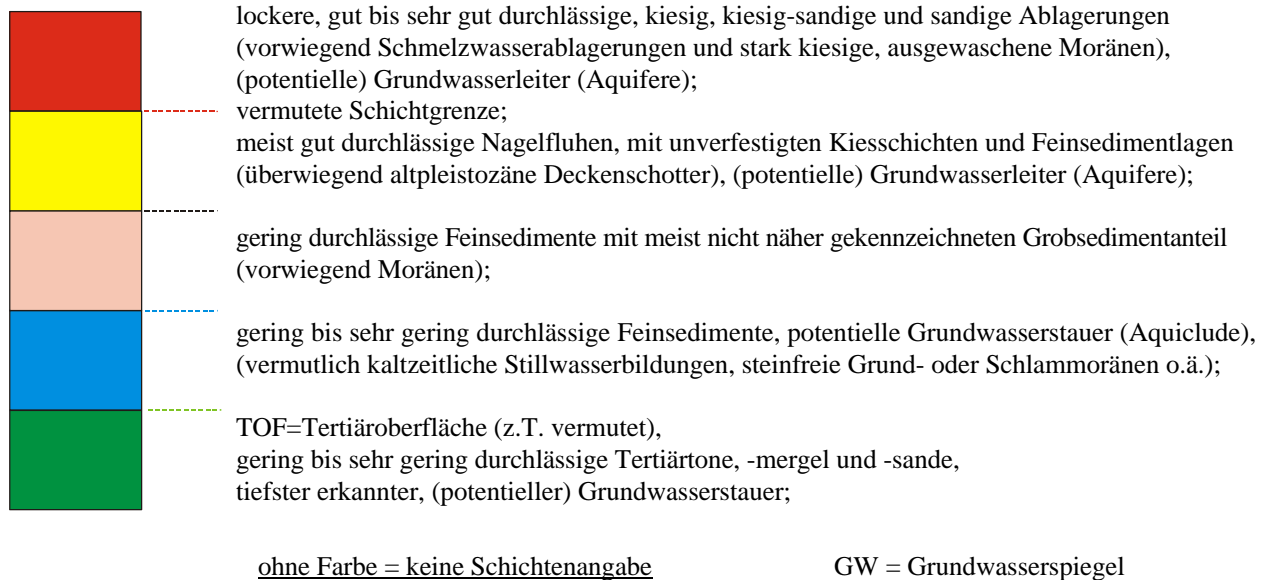
Zuerst lohnte jedoch der Versuch, (litho-)faziesgleiche oder -ähnliche Bildungen des Quartärs nach dem in Abbildung B2a dargestellten Schema zusammenzufassen. Das somit gewonnene Standard-Profil bildete die Grundlage für die folgenden Einzelbeschreibungen, in denen u.a. versucht wurde, ±horizontbeständige, wasserstauende (Feinsedimente; Ton, Schluff, Feinsand) und wasserleitfähige Schichten (Grosbedimente; Kies, Nagelfluh, Grob- und Mittelsand) zu erfassen.

Tab. B2: Lithologische und stratigraphisch-genetische Interpretation von Bohrgutansprachen am Beispiel einiger Profilreihen der Fa. *MOBIL OIL*, Celle.

Kürzel aus Profilen	Lithologische Ansprache	Variationen stratigraphisch-genetischer Ansprache
Profil 211* (Abb. B3):		
L	Lehm	Seeton, steinfreie Grundmoräne
K	Kies	Vorstoß,-Abschmelzschotter, "Deckenschotter", Schotterlagen in Moränen
T,	Ton	Flinz-Ton, Seeton, steinfreie Grundmoräne
Ng,	Nagelfluh	verfestigte Schotter oder Moräne
Stt	Schotter	Vorstoß,-Abschmelzschotter, "Deckenschotter", Schotterlagen in Moränen ¹⁾
Stt + L	Schotter + Lehm	schotterreiche Moräne
Stt + T	Schotter + Ton	schotterreiche Moräne
T + Stt	Ton + Schotter	bindige Moräne
L + Stt	Lehm + Schotter	bindige Moräne
L + K	Lehm + Kies	bindige Moräne
T + K	Ton + Kies	bindige Moräne
K + T	Kies + Ton	schotterreiche Moräne
Profil 212* (Abb. B8):		
Ng + L	Nagelfluh + Lehm	verfestigte Schotter mit Seetonlagen, verfestigte Moräne
T + Ng	Ton + Nagelfluh	verfestigte Schotter mit Seetonlagen, verfestigte Moräne
grober Stt	grober Schotter	Vorstoß,-Abschmelzschotter, "Deckenschotter", Schotterlagen in Moräne
Profil 214*		
M	Mergel	Flinz, Seeton, steinfreie Grundmoräne
gr. K	grober Kies	Vorstoß,-Abschmelzschotter, "Deckenschotter", Schotterlagen in Moränen
gr. K + Stt	grober Kies	Vorstoß,-Abschmelzschotter, "Deckenschotter", Schotterlagen in Moränen
Profil 107* (Abb. B7):		
T Mg	Ton, Mergel	Flinz, Seeton, steinfreie Grundmoräne
L T	Lehm, Ton	Flinz, Seeton, steinfreie Grundmoräne
N T	Nagelfluh, Lehm	verfestigte Schotter oder Moräne, z.T. mit Seetonzwischenlagen

¹⁾ WOLF (1989) interpretierte die Abkürzung "Stt" als "Sandstein, tonig" und schlug die so bezeichneten Schichten dem Tertiär zu.

*) Profilschnitt-Bezeichnungen der Fa. Mobil Oil (Celle)



Die Farben wurden einerseits wegen der besseren Unterscheidbarkeit und Reproduzierbarkeit so gewählt, andererseits wegen ihrer „Signalwirkung“ (rot/gelb=geringer Grundwasserschutz, blau/grün=besserer Grundwasserschutz):

Abb. B2a: Lithologisch-hydrogeologisches Standard-Profil
 Legende zu den hydrogeologischen Profilschnitten im Kapitel BI

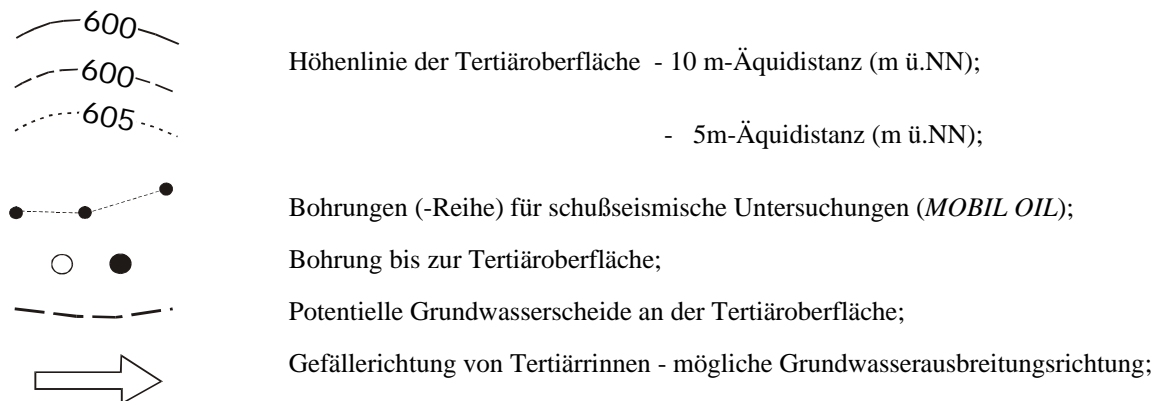


Abb. B2b: Legende zu den Tertiäroberflächen-Karten im Kapitel BI (Ergänzungen auf den Abbildungen)

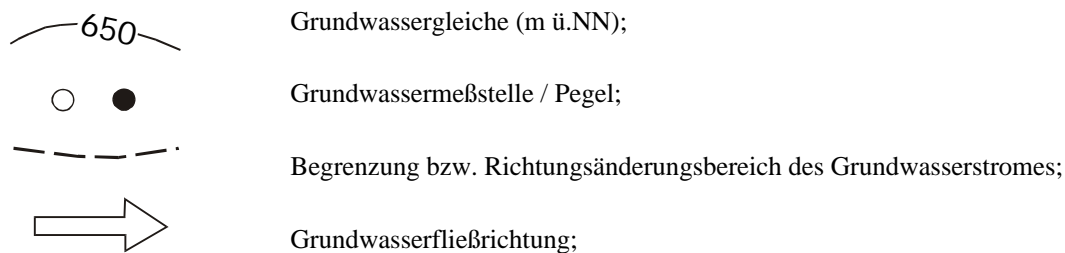


Abb. B2c: Legende zu den Grundwassergleichen-Karten im Kapitel BI (Ergänzungen auf den Abbildungen)

Zur Untergliederung quartärer Grobsediment-Horizonte (potentielle Grundwasserleiter) und beim Versuch, diese stratigraphisch zuzuordnen, wurden bevorzugt Feinsedimentlagen (\pm steinfreie/r, z.T. sandige Grundmoräne, Seeton, Mergel, Schluff) gesucht, gelegentlich auch Schichtwechsel in Schotterpaketen ohne erkennbares, zwischengeschaltetes Feinsediment, und bei letzteren vorausgesetzt, daß sie sich ungefähr höhengleich mit Feinsedimenthorizonten parallelisieren ließen. So ließ sich die räumliche Verbreitung solcher Schichten besser hervorheben, wobei zu beachten war, daß tiefere Bohrungen häufiger mehrere Feinsedimentlagen antrafen als flachere und auch der unregelmäßige "Bohr- und Aufschlußraster" das Bild verfälschen konnte. Bei keinem der so ermittelten, ungefähr niveaugleichen quartären Feinsedimenthorizonte sollte man jedoch von einem großflächig durchgehenden, exakt niveaugleichen Horizont sprechen. Das folgt schon aus der Lückenhaftigkeit des Meßnetzes, aber mehr noch aus dem kleinräumig seitlichen Fazieswechsel, wie er im Quartär des Voralpenlandes die Regel ist und auch für das Untersuchungsgebiet erwartet wurde.

Dagegen bildet die meist tonig-sandige Tertiäroberfläche an der Basis der Quartärsedimente einen überall vorhandenen, potentiellen Stauhohizont, dessen im Detail nur wenig bekanntes Oberflächenrelief in weiten Gebieten maßgeblichen Einfluß auf die Höhenlage und Fließrichtung des Grundwassers haben muß. Bei den meisten der o.g. schußseismischen Bohrungen, deren Ziel es war, Struktur und Bau des Tertiärs aufzuhellen, konnte vorausgesetzt werden, daß die Höhenlage der Tertiäroberfläche recht zuverlässig bestimmt wurde. Fehler auch in diesen Aufzeichnungen wurden augenfällig, wenn sich beispielsweise an Kreuzungspunkten schußseismischer Profile trotz unmittelbarer Nähe oder vermeintlich exakter Lagegleichheit einzelner Bohrungen zueinander, Abweichungen von mehreren Höhenmetern für die Tertiäroberfläche ergaben, oder, in der Regel als Ton (T) bzw. Ton und Sand (T+S) bezeichnete Tertiär-Schichten, in benachbarten Bohrungen eiszeitlichen Sedimenten (Seesedimente oder Grundmoräne) zugeordnet waren. Umgekehrt konnten feinkörnige Quartärsedimente, die als Mergel (M) gekennzeichnet und gelegentlich über solchen Tonen und Sanden vorkamen, dem Tertiär angehören. Im Zweifel wurden die Feinsedimente im Bereich der Bohrendteufen dem Tertiär zugerechnet, so daß in den Karten und Profilen der folgenden Kapitel die Quartär/Tertiärgrenze stellenweise etwas zu hoch eingezeichnet sein kann, seltener zu tief.

Isolinienkarten diverser Grenzflächen (Tertiär- und Grundwasseroberfläche) wurden sowohl manuell erarbeitet, als auch mittels eines Rechenprogrammes (SURFER) konstruiert. Meist ergaben Ergebnisse aus Verbindungen beider Verfahren die plausibelsten Lösungen. Die jeweils dargestellte Genauigkeit (Äquidistanz) richtete sich nach der Dichte des Aufnahmerasters und der Stimmigkeit der übernommenen Koordinaten. Gleiches gilt weitestgehend auch für die Erstellung der Grundwassergleichenkarten. Eine gemeinsame Legende für die meisten der hier vorgestellten Isolinienkarten zeigt Abbildung B2b/2c. Abweichungen davon sind auf den jeweiligen Abbildungen angegeben.

Zur kontinuierlichen Beobachtung der Grundwasseroberfläche gibt es im Untersuchungsgebiet nur drei (amtliche) Grundwassermessstellen (Unering, Hochstatt, Gauting). Sie liegen außerhalb der würm- bzw. rißeiszeitlichen Endmoränenwälle in der Wurzelzone der westlichen Münchener Schotterebene, wo nach BLASY (1974; s. Abb. A16) ein nahezu zusammenhängender Grundwasserspiegel existiert. Dort können die Pegelstände der amtlichen Meßstellen als Eichgrundlage für die umliegenden Meßstellen herangezogen werden. In den Gebieten südlich davon waren den meisten Bohraufzeichnungen keine Angaben über Grundwasserstände zu entnehmen, so daß die für diese Arbeit erstellten Grundwassergleichenpläne überwiegend aus Grundwasserhöhen resultieren, die im Rahmen der in Tabelle B1 genannten hydrogeologischen Untersuchungen vom Autor selbst, gebietsweise auch in Stichtagsmessungen durchgeführt, und durch Werte älterer Bohr- oder Pumpversuchsaufzeichnungen ergänzt wurden.

Es war zu erwarten, daß tieferes Grundwasser hauptsächlich in Deckenschottern unter stauender Moräne, die im Untersuchungsgebiet überwiegend die oberirdischen Einzugsgebiete begrenzt, hindurchfließen kann, das tatsächlich wirksame Grundwassereinzugsgebiet bzw. die Grundwasserfließrichtung häufig vom verborgenen Relief, insbesondere dem des Hauptgrundwasserstauers (Tertiär), begrenzt wird oder daß der Grundwasserspiegel seine horizontale Begrenzungen durch Kontakt mit weniger durchlässigeren Schichten wie Moräne oder Seeton erfährt.

Grundwasserspiegelmessungen, Aufzeichnungen von Quellschüttungen, Brunnenförderungen und Bachabflüssen wurden als Ganglinien dargestellt und in einigen Fällen zeitgleich aufgezeichneten Niederschlagsmengen naher Meßstationen gegenübergestellt. Abweichungen der zum Vergleich herangezogenen Parameter voneinander oder ihr Gleichklang sollten Auskunft über Sicker- und Fließzeiten des Grundwassers, seine hydraulischen Verbindungen zwischen Grund- und Oberflächengewässern, seine Kontakte zu angrenzenden Grundwasservorkommen oder über die Größe des Grundwassereinzugsgebietes geben.

Die Durchführung bzw. Auswertung chemisch-physikalischer Wasseranalysen hatte, neben der Beurteilung der Wasserqualität, zum Ziel, hydraulische Verbindungen verschiedener Grundwasserstockwerke untereinander oder mit Oberflächengewässern aufzufinden bzw. Grundwassereinzugsgebiete abzugrenzen, also Infiltrations- und Fließwege des Wassers aufzuspüren und damit auch Kontaminationsherde zu lokalisieren. Dazu wurden bevorzugt Nitratkonzentrationsmessungen verwendet, da diese in der Regel in größerer Anzahl, manchmal auch als längere Meßreihen vorlagen und deshalb gegebenenfalls als Ganglinien gezeichnet und zeitgleichen Niederschlagshöhen, Grundwasser-förder- und Quellschüttungsmengen gegenübergestellt werden konnten. In einigen Fällen wurden auch Konzentrationen von Calcium-, Magnesium, Eisen-, Mangan-, Chlorionen u.a., der Gehalt an gelöstem Sauerstoff, die elektrische Leitfähigkeit oder der pH-Wert, die Konzentrationen von Pflanzen- und Schädlingsbekämpfungsmitteln (PSM) oder von Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffen (FCKW) beurteilt.

Einige isotonenchemische Untersuchungsergebnisse (Tritiumgehalte ^3H , $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ -Verhältnis) lieferten Alterswerte der Wässer und dienten zum Nachweis infiltrierten Oberflächenwassers.

Grundlage dazu ist, daß der radioaktive Tritium-Anteil am Wasserstoff (^3H) im Niederschlag nach Atomwaffenversuchen seit 1953 bis auf das 400-fache angestiegen und seitdem kontinuierlich wieder gesunken ist, dieser Anteil aber beim Eintritt in das Grundwasser mitgenommen wird. Daraus sind Infiltrations- und Aufenthaltszeiten des Grundwassers oder den Grad seiner Vermischung mit anderen Wässern aus den Tritium-Konzentrationen in groben Umrissen erkennbar.

Das temperaturabhängige $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ -Verhältnis im Niederschlagswasser, das in den Jahreszeiten voneinander abweicht, deutet auf Infiltrationen und Vermischung verschiedener Grundwässer.

1 Das Wieling - Maisinger Becken

Die Fallstudie "Wieling-Maisinger Becken" (Abb. B1) behandelt das Kerngebiet innerhalb der Jungmoränenwälle zwischen Ammer- und Würmsee (Andechser Höhenrücken). Da es an mehrere der nachfolgend untersuchten Gebiete grenzt, werden hier bereits einige Kartenbereiche und Profilschnitte gezeigt, die auch für diese Nachbargebiete wichtig sind.

Kontaminationen im für die Wasserversorgung der umliegenden Gemeinden bedeutenden oberflächennahen Grundwasservorkommen des Wieling-Maisinger Beckens veranlaßten die Gemeinden Tutzing, Feldafing, Pöcking und Aschering nach neuen ergiebigen und unbelasteten Grundwasservorkommen Ausschau zu halten. Hydrogeologische Untersuchungen dazu (Tab. B1) konzentrierten sich auf das Wieling-Maisinger Becken und auf Gebiete südwestlich von Tutzing (BI. 2) und um Kerschlach (BI. 8).

1.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten (Abb. B55, B56)

In der im Kapitel AI.1 beschriebenen, 1-2 km breiten Würmsee-Zungenbeckenrandzone zwischen Unterzeismering und Starnberg, fließen im Süden die Bäche (u.a. Martels- und Bareislbach, Kalk- und Eichgraben) auf direktem, im Norden (Starzenbach) auf wallmoränenparallelem, daher längerem Wege, insgesamt aber mit beträchtlichem Gefälle in den Würmsee. Mit wesentlich geringerem Gefälle fließen die Entwässerer des westlich anschließenden Hochflächenareals, der Maisinger Bach und seine südlichen Zuflüsse, endmoränenparallel nach Norden; erst im Stadtbereich von Starnberg durchbricht er als "Georgenbach" die Endmoränenwallgruppe, die ihr Einzugsgebiet (III in Abb. B61, Kap. BII.4) vom Würmsee-Zungenbecken trennt. Der Maisinger Bach bezieht seinen Hauptzulauf (Ascheringer Bach) aus der Drumlin- und Grundmoränenlandschaft um Machtlfing und dem Gebiet um den Deixlfurter See (Schwarzer Graben, Deixlfurter Bach). An einer künstlichen Bifurkation ca. 500 m nördlich des Langen-Weiher kann Oberflächenwasser über den Starzenbach in das seenahe Einzugsgebiet abgeleitet werden. Als tiefster Punkt (Vorfluter) gilt der mittlere Seespiegel des Starnberger See mit rd. 584 m ü.NN, bzw. seine größte Tiefe mit 456,4 m ü.NN. Westlich des Wieling-Maisinger Beckens erreicht der Andechser Höhenrücken Höhen über 730 m ü.NN.

Das von würmeiszeitlichen Endmoränenwällen gesäumte Hochflächenareal des Wieling-Maisinger Beckens (um 650 m ü.NN), das auch ungefähr dem oberirdischen Einzugsgebiet des Maisinger Baches entspricht, wird um den Maisinger See überwiegend von Grundmoräne und anmoorigen Gebieten gebildet. Südlich des Maisinger Sees keilen oberflächennahe, spätwürmeiszeitliche Abschmelzschotter (Grundwasserleiter) aus, die bis zum Deixlfurter See verbreitet sind. Die Ausdehnung des spät- und postglazialen Maisinger- und Deixlfurter Sees übertraf ihre heutige Fläche um ein Vielfaches. Unter dem derzeitigen und ehemaligen Seespiegel sind wahrscheinlich großräumig feinkörnige und wasserstauende Seesedimente abgelagert worden. Abgesehen von den Wieling-Traubinger Schotter stehen oberflächennah meist schlecht durchlässige Gesteine an, so daß zwar im Wieling-Maisinger Becken selbst mit einer hohen Grundwasserneubildung zu rechnen ist, mit einer wesentlich geringeren aber in den randlich angrenzenden Moränengebieten.

Ältere Brunnenbohrungen (1960-1973) bei Wieling-Traubing (Abb. B5, A-A``) erschließen im Bereich ihrer Endteufen um 635-640 m ü.NN eine Feinsedimentlage (Grundwasserstauer) die von CONRADI (1986) als Tertiär gedeutet wurde, was dazu führte, daß auf seiner Tertiärisohypsen-Karte (Abb. A7) im weiteren Umkreis dieser Bohrungen ein ausgedehntes Hochgebiet ("Traubinger Tertiärhoch") dargestellt ist. Diese Beurteilung war später auch Grundlage eines hydrogeologischen Gutachtens (WATEC 1990). Zweifel an einem solchen beherrschenden Reliefelement wurden bereits in Kapitel AI.2.3 erhoben, zumal zwei ältere, vom Autor recherchierte gutachterliche Stellungnahmen (s.u.) darauf aufmerksam machten, daß es sich bei den o.g. wasserstauenden Schichten um quartäre Bildungen handeln müßte:

1) *BLFWUG (Bayerisches Landesamt für Wasserversorgung und Gewässerschutz 30.04.1969):*

"Die Grundwasserströmung folgt dabei im allgemeinen dem Gefälle nach Norden und im einzelnen besonders einer Rinne, die etwa in der Mitte des Schotterfeldes in den grundwasserstauenden Seeton eingesenkt ist."

2) *ZV-Feldafing-Pöcking (Antrag auf wasserrechtliche Bewilligung von Grundwasser aus den Brunnen im Wielinger Becken (1977):*

"Das Grundwasser steht im Süden des rund 3 km langen Beckens zwischen 6 und 8 m u.Gelände an und bei den Brunnen des Zweckverbandes in der Mitte des Beckens bei etwa 2 m u.Gelände. Die wasserstauende Sohlschicht bildet ein dichter, graublauer Ton, der einer limnischen Phase innerhalb der Würmeiszeit zuzuordnen ist."

Um die räumliche Lage dieses oberflächennahen Grundwasserstauers sowie die von vermuteten, tieferliegenden, grundwasserführenden Quartärschichten und die der Tertiäroberfläche zu ermitteln, wurden den oben genannten Flachbohrungen in mehreren Profilschnitten (Abb. B3-B9) eine Vielzahl überwiegend tieferreichende Bohrprofile gegenübergestellt, in denen mehrere quartäre Fein- und Grobsedimentlagen aufscheinen. Daraus geht hervor, daß die Tertiäroberfläche im Wieling-Maisinger Becken an einigen Stellen unter 600 m ü.NN liegt und damit mindestens 40 m tiefer als bisher angenommen. Im Moränenrücken am Ostrand des Wieling-Maisinger Beckens sind drei Rinnen an der Tertiäroberfläche zu erkennen (Pfaffenberg-, Pöckinger- und Maisinger Rinne), die bis 600 m ü.NN oder darunter reichen. Die größten Höhen zwischen diesen Rinnen liegen nicht über 640 m ü.NN (Abb. B3).

Sowohl im Wieling-Maisinger Becken, als auch in seinen Randgebieten unterteilen Feinsedimentschichten mit unterschiedlicher Quartärüberdeckung bzw. -unterlagerung die Grobsedimentkomplexe. Die Oberfläche einer dieser Feinsedimentschichten befindet sich bei 640-645 m ü.NN und ist ungefähr höhengleich mit der Stauer Oberfläche im Bereich der Wieling-Traubinger Brunnen. Er wird im folgenden als "*Wieling-Maisinger Niveau*" bezeichnet. Diese Schicht setzt sich aus Seesedimenten und kiesarmer Grundmoräne zusammen und scheint nach Westen bis in den Raum um Seewiesen, nach Osten bis in den Raum um Feldafing vorzukommen, nicht aber im Raum um Rothenfeld (Abb. B9). Ihre Quartärüberdeckung erreicht stellenweise bis 50 m.

Um Machtlfing, etwa 500 m südwestlich der Brunnengruppe im Wielinger Becken (Abb. B6), fallen zwei bzw. drei Feinsedimentlagen auf (z.T. zweigeteilt), die, ca. 2 km in West-Ost-Richtung interpoliert, den Andechser Höhenrücken in drei bis vier Nagelfluh-Schotter-Komplexe unterteilen. Die Oberfläche der mittleren Feinsedimentlagen korreliert ungefähr mit dem "*Wieling-Maisinger Niveau*", das hier vielleicht weiter nach Westen in den Andechser Höhenrücken übergreift als nördlich davon. Die tiefste Lage kann mit den feinkörnigen Schichten (v.a. Moräne) im Süden des Wieling-Maisinger

Beckens in Verbindung gebracht werden. Nahe des Ammersee-Zungenbeckenrandes am Gut Hartshimmel ist dieser Schichtenbau in der Bohrung F1 nur noch am Wechsel zwischen moränenähnlichen Bildungen und Nagelfluhen zu erkennen. Grundwasser staut sich dort nur wenige Meter über der Tertiäroberfläche.

Zwischen Kerschlach und der Rothenfelder Schotterflur breitet sich nach Bohrangaben über der Tertiäroberfläche ein Nagelfluh-Komplex mit Höhen bis um 700 m ü.NN aus (Abb. B7). Er reicht deutlich über die bisher aus der Umgebung bekannten größten Mindel-Deckenschotterhöhen von ca. 660 m ü.NN (Kap. AI. 3.2.2). Geoelektrische Messungen an einigen Profilabschnitten registrierten zwar einen Schichtenwechsel im Bereich dieser bekannten Deckenschotteroberfläche, konnte jedoch keine eindeutige Verfestigung der Schotter darüber feststellen. Es ist unwahrscheinlich, daß zwischen diesen höheren Nagelfluhen/Schottern und den zwischen Kerschlach und Monatshausen (> 720 m ü.NN) als günzeiszeitlich Bildungen eingestuften Nagelfluhen (Kap. AI. 3.2), ein genetischer Zusammenhang besteht.

Unter dem Jungmoränengürtel am Nordrand des Wieling-Maisinger Beckens um Landstetten und Perchting (Abb. B8) führen mehrere zugeschotterte Tertiärrinnen mit Tieflagen um 600 m ü.NN nach Norden, die als mögliche hydraulische Verbindungen vom Jungmoränengebiet zwischen Ammer- und Würmsee, insbesondere auch aus dem Wieling-Maisinger Becken, zur Münchener Schotterebene anzusehen sind. Als Grundwasserleiter kommen einerseits die oberflächennahen Rothenfelder Schotter in Frage, die zwischen ca. 640-670 m ü.NN von potentiell wasserhemmenden Feinsedimenten bzw. feinkornreichen, moränenartigen Bildungen über weite Gebiete lückenlos unterlagert werden, andererseits, ein darunter folgender, in weiten Teilen der Tertiäroberfläche aufliegender Nagelfluh-Schotter-Komplex (Deckenschotter; Kap. BI.4).

Insgesamt zeigen Tertiär- und Geländeoberfläche(z.T. auch die Deckenschotteroberfläche) des Andechser Höhenrückens um das Wieling-Maisinger Becken bezüglich ihrer Hauptreliefformen auffallende Parallelen.

Der Grundwasserspiegel in den oberflächennahen Schottern des Wieling-Maisinger Beckens liegt um 640-660 m ü.NN (Abb. B11) und damit, abgesehen vom Gebiet um den Deixlfurter See, meist über den größten Tertiärhöhen. Somit könnte überall, wo durchlässige Schichten dem Tertiär aufliegen, Grundwasser aus dem Wieling-Maisinger Becken in die Seeuferzone abfließen. Dies ist besonders im Bereich der Pfaffenbergrinne sowie zwischen Pöcking und dem Maisinger Bach zu erwarten (Abb. B3).

Geoelektrische Erkundungen im Wieling-Maisinger Becken bestätigten weitgehend die hier genannten, bereits 1992 erarbeiteten Neu-Ergebnisse. 1993 wurden südwestlich von Aschering drei Bohrungen abgeteuft (A1-A3, *BGU* 1993, Abb. B9), die erstmals den bereits bekannten Feinsedimenthorizont unter den Wieling-Traubinger Schottern durchteuften, wobei die Bohrung A3 die Tertiäroberfläche bei 592 m ü.NN erreichte. Alle Bohrungen trafen unter dem oberflächennahen Feinsedimenthorizont den vermuteten tieferen Aquifer an (Deckenschotter) dessen Grundwasser aus einer Ostnordost orientierten Rinne im Bereich des Ascheringer Baches ("Ascheringer Rinne") aus dem westlichen Hochgebiet zufließt (Abb. B10).

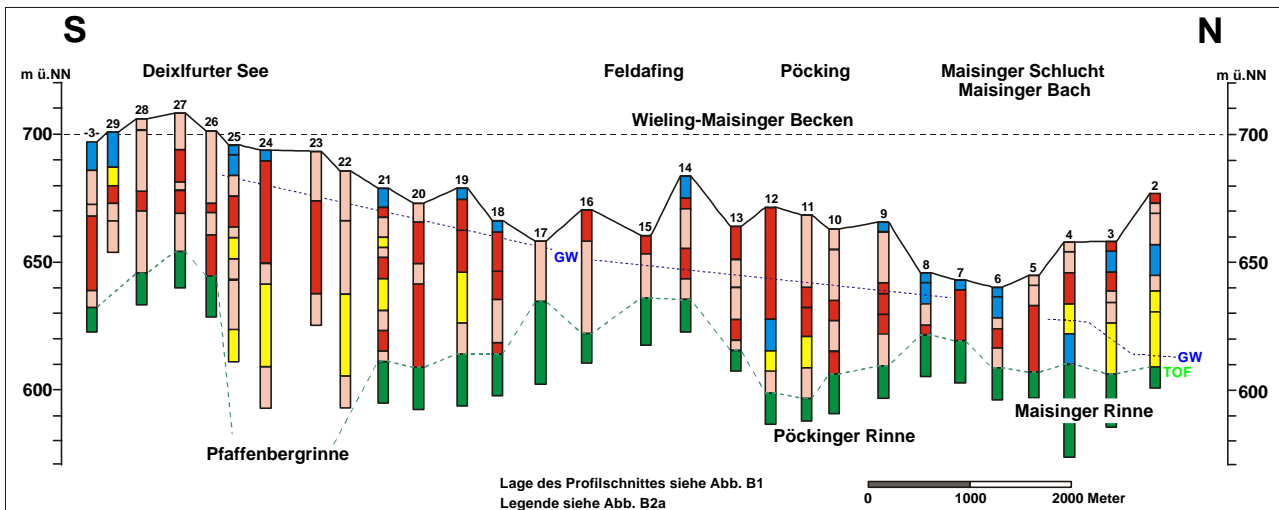


Abb. B3: Nord-Süd Profilschnitt vom Deixlfurter See zur Maisinger Schlucht

Eine Tangente über die größten Tertiärhöhen ist ungefähr 4 ‰ nach Norden geneigt. Es sind mehrere Tertiärhöhen (Pöckinger-, Feldafinger- und Deixlfurter Hoch), unterbrochen von Rinnen (Pfaffenbergrinne-, Pöckinger-, Maisinger Rinne) zu sehen. Die Gesamtquartärmächtigkeit beträgt ca. 50-70 m. Im Bereich der Pfaffenbergrinne, wo noch unterhalb 610 m ü. NN ältere Moräne liegt, sind es über 100 m, in der Umgebung der Maisinger Schlucht und um das "Feldafinger Hoch" können es weniger als 30 m sein. Verfestigte Sedimente (Nagelfluh) konzentrieren sich in den Bereichen der o.g. Tertiärrinnen, über den Hochlagen fehlen sie großenteils. Die Nagelfluhoberfläche reicht im Durchschnitt nicht wesentlich über die Tertiäroberfläche hinaus. Möglicherweise bilden Tertiär- und Nagelfluhoberfläche eine gemeinsame nach Norden geneigte Niveau-Fläche. Die bei 640 m ü. NN an der Oberfläche austreichenden verfestigten "Pöckinger Deckenschotter" östlich der Bohrung 10 scheinen im Profilschnitt nicht auf. Es gibt annähernd niveaugleiche Feinsedimente über dem "Feldafinger Hoch" um 683 m ü. NN (14) und südlich davon um 680 und 695 m ü. NN (19, 21). Um 668 m ü. NN (9, 18) deutet sich im Wieling-Maisinger Becken ein weiterer Feinsedimenthorizont an, der auch in einer Spülgrube nahe der Bohrung P3 bis ca. 2 m unter Geländeoberkante aufgeschlossen war und wahrscheinlich mit dem Stauer unter dem Egel-See ca. 668 m ü. NN zusammenhängt. In der Umgebung des Deixlfurter Sees liegt ein Feinsedimenthorizont bei 700 m ü. NN (29, 25, 24, -3-), er wird im folgenden als "Deixlfurter-Kerschbacher Niveau" bezeichnet. Im Bereich der Maisinger Schlucht befindet sich ein vermutlich "zweigeteilten" Feinsedimenthorizont um 640-645 m ü. NN (6-8), der recht gut mit der Höhenlage der Staueroberfläche an den Wielinger Brunnen korreliert. Die genannten Feinsedimenthorizonte sind nur geringmächtig von jüngeren Quartärschichten überdeckt. Nördlich der Maisinger Schlucht (1,2) folgt um 655-668 m ü. NN ein bis 12 m mächtiger Feinsedimenthorizont unter bis zu 20 m Moräne und Schotter. Östlich des Maisinger Sees verzeichnet die Bohrung 12 zwischen 615-627 m ü. NN eine Feinsedimentlage, die von über 40 m schotterreichen Schichten überlagert und von Nagelfluh und Moräne unterlagert wird. In der Bohrung 4 liegen Feinsedimente zwischen 610 und 622 m ü. NN direkt auf Tertiär, darüber folgt Nagelfluh.

Ergänzende Erläuterungen siehe Bildunterschrift zu Abbildung B13

Die oberflächennahen Feinsedimente, Moränen und Schotter wurden im Würm und Spätwürm abgelagert. Die tieferliegenden, moränen- und schotterüberdeckten Feinsedimente der Bohrungen 2 und 3 und der tiefere Feinsedimenthorizont in den Bohrungen 6 und 8 könnten spätrißeiszeitlich oder früher entstanden sein, ebenso wie Schotter und Moräne zwischen Deckenschottern (Nagelfluh) und oberflächennahen würmzeitlichen Bildungen. Die Nagelfluhen sowie die meisten unverfestigten Schotter unterhalb ca. 670 m ü. NN im Süden und 640 m ü. NN im Norden werden als mindeleiszeitliche Deckenschotter eingestuft - wahrscheinlich zählt auch die "Pöckinger Nagelfluh" dazu. Die Feinsedimentlage über den Deckenschottern bei Bohrung 12 könnte ebenfalls mindeleiszeitlich sein. Demnach sind hier jungpleistozäne Ablagerungen insgesamt deutlich geringmächtiger als altpleistozäne Bildungen.

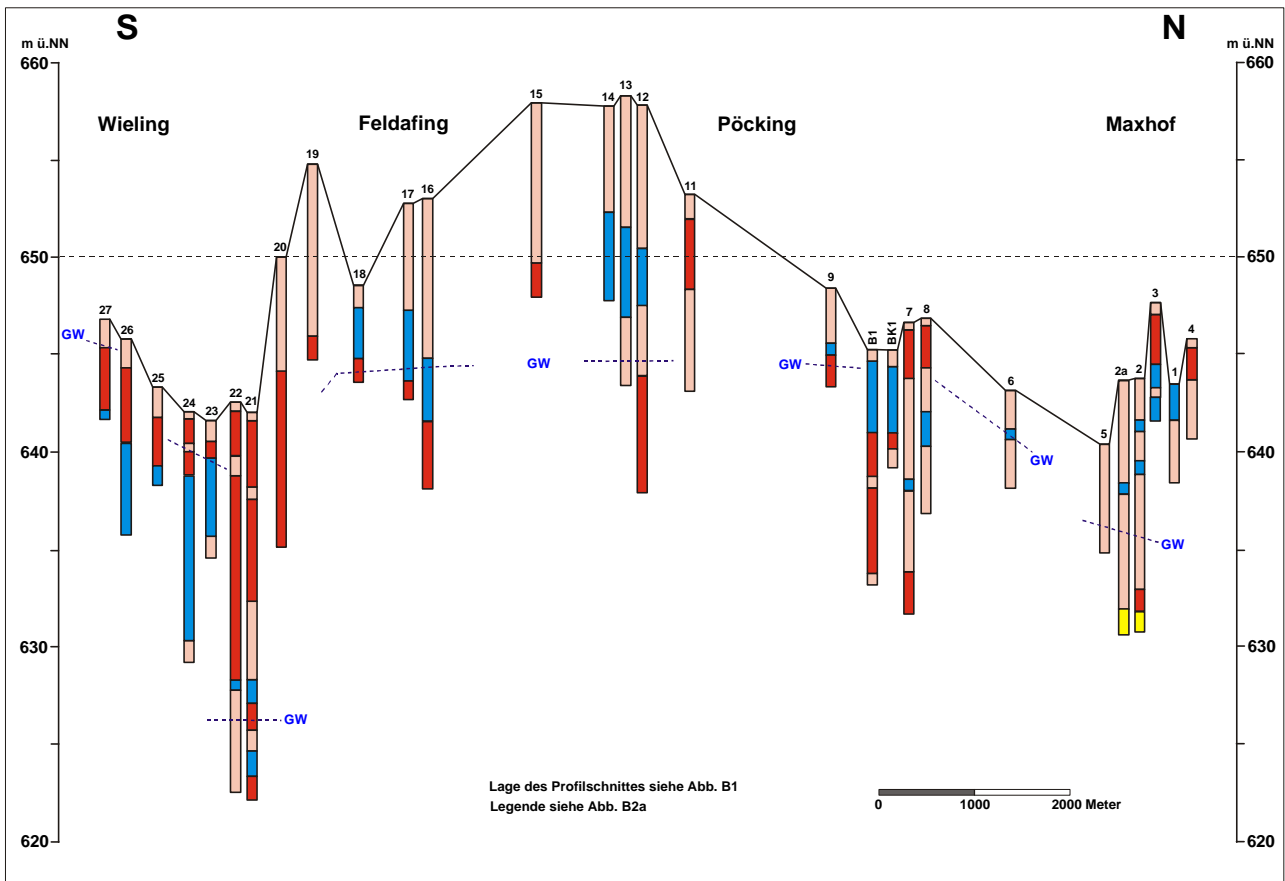


Abb. B4: Nord-Süd Profilschnitt entlang der neuen Bundesstraße 2 zwischen Maxhof-Pöcking-Wieling

Die höheren Lagen des Pöckinger Rückens bestehen vorwiegend aus schluffiger Moräne. Feinsedimentlagen zwischen ca. 642 und 652 m ü.NN (*"Wieling-Maisinger Niveau"*) trennen diese Moräne von schluffigen bis kiesigen, moränenartigen Ablagerungen darunter (Bohrungen 12 bis 18). Weitere Feinsedimente scheinen in den Bohrungen nördlich und südlich des Höhenrückens auf (1 bis 9 und 22 bis 27). Sie liegen jedoch im Norden um ca. 5, im Süden um ca. 10 Meter tiefer und werden ebenfalls von vorwiegend schluffig-kiesigen Schichten unterlagert. In den Bohrungen 2 und 2a folgt im Bereich der Endteufe bei 632 m ü.NN Nagelfluh (vgl. Profil B3).

Die zuoberst liegende Moräne ist würmeiszeitlich. Die Feinsedimente (?Seeton, Grundmoräne) könnten während einer Oszillationsphase des würmeiszeitlichen Gletschers oder spät-rißeiszeitlich entstanden sein, da sie von Würmmoräne überdeckt werden. Moräne und Schotter unter den Feinsedimenten sind möglicherweise rißeiszeitliche oder ältere Bildungen. Die Nagelfluh am "Maxhof" und die tiefsten Schotter zwischen Pöcking und Feldafing ist wahrscheinlich mindeleiszeitlicher oder älterer Deckenschotter.

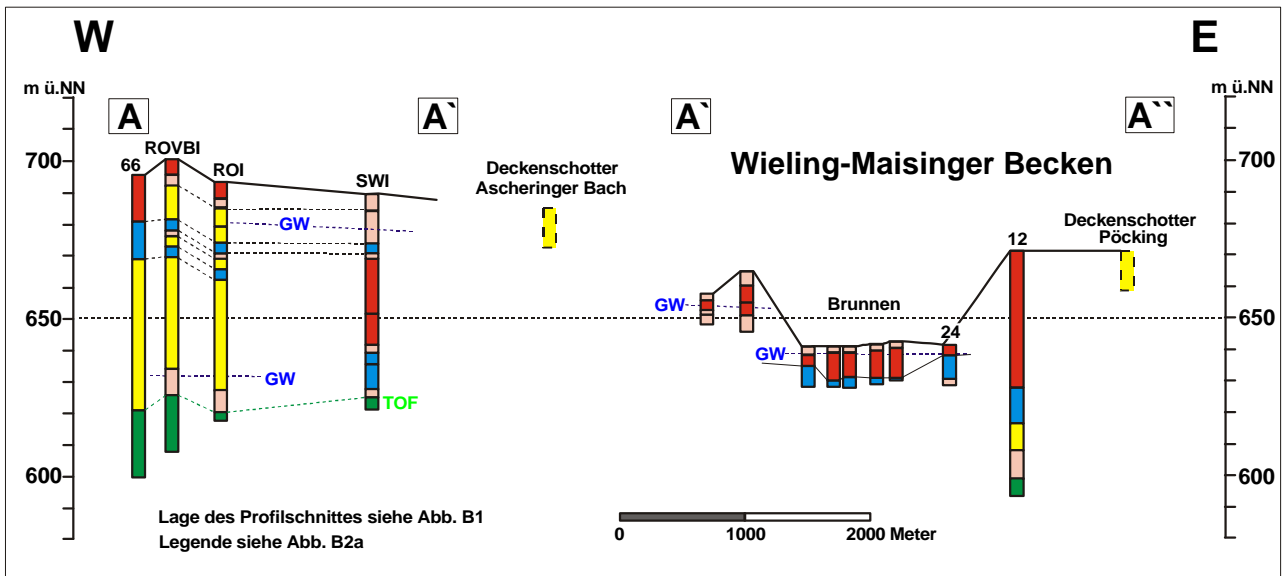


Abb. B5: West-Ost Profilschnitte durch den Andechser Höhenrücken und das Wieling-Maisinger Becken

Teilprofil A`-A``: In der Bohrung SW1 sind zwei Feinsedimentlagen zu sehen - eine bei 675 m ü.NN, eine andere, zweigeteilte zwischen ca. 626 und 639 m ü.NN, in vergleichbarer Höhe wie die in den Bohrungen 9 und 18 (Abb.B3: "Wieling-Maisinger Niveau"). In den ca. 1,5-2 km westlich davon gelegenen Bohrungen ROVB1, RO1(GOK ungenau) und 66 ist die genannte höhere Feinsedimentlage zweigeteilt, wobei die tiefere offensichtlich nicht so weit nach Westen reicht. Im Bereich der Bohrungen 66 und RO1 liegt unter geringmächtigen oberflächennahen Schottern (Rothenfelder Schotter) und geringmächtiger Moräne bis zur Tertiäroberfläche um 620 m ü.NN hauptsächlich Nagelfluh. Bei SW1 ist dagegen keine Nagelfluh verzeichnet. In ROVB1 und RO1 sind zwischen Nagelfluh und Tertiär über 5 m Moräne eingeschaltet.

Teilprofil A-A`: In den Brunnenbohrungen ist der bisher als Tertiär gedeutete Feinsedimenthorizont zu erkennen, dessen Oberfläche bei 630-640 m ü.NN liegt und nicht durchteuft wurde. Im zentralen Bereich des Wieling-Maisinger Beckens sind die Feinsedimente teilweise ausgeräumt und deshalb dort mächtiger mit Schottern überdeckt. Die Feinsedimentlagen in den Bohrungen 12 (ca. 618-630 m ü.NN, vgl. Abb. A3) und 24 (ca. 639-630 m ü.NN, vgl. Abb. B4) stehen wahrscheinlich mit dem Feinsedimenthorizont im Brunnenbereich in Verbindung, sie werden von Nagelfluh und Moräne unterlagert. Das Tertiär wurde in der Bohrung 12 bei 600 m ü.NN erbohrt.

Die oberflächennahen, unverfestigten Schotter und Moränen sind würmeiszeitlich entstanden. Vorausgesetzt, die Feinsedimente des "Wieling-Maisinger Niveaus" sind zeitgleich mit dem tiefliegenden Feinsedimenthorizont im Raum Seewiesen abgelagert worden und nicht älter als spät-mindeleiszeitlich, könnte der höhere Feinsedimenthorizont in SW1 und im Raum Rothenfeld eventuell rißeiszeitlich entstanden sein, ebenso wie die unverfestigten Schotter (?Vorstoßschotter) zwischen den beiden Feinsedimentlagen in der Bohrung SW1 sowie die Nagelfluh (um 680-690 m ü.NN) in den Bohrungen ROVI und ROI. Der tiefere Nagelfluh-Komplex im westlichen Teil des Andechser Höhenrückens (Oberfläche bis max. 670 m ü.NN) könnte mindeleiszeitliches Alter haben, die stellenweise unterlagernde Moräne günzeiszeitliches oder älteres. Dies würde bedeuten, daß der mindeleiszeitliche Gletscher seine Vorstoßschotter (Deckenschotter) im Raum Seewiesen bis östlich Rothenfeld wieder ausgeräumt hat und in dem so entstandenen Tiefgelände (incl. Wieling-Maisinger Becken) dann spätmindeleiszeitliche Stillwassersedimente abgelagert wurden, die zur Rißeiszeit erneut überschottert und vom Eis überfahren worden sind, wobei der Gletscher die Deckenschotter des westlichen Andechser Höhenrückens seitlich nicht mehr wesentlich erodiert hat. Im Widerspruch dazu steht die im Ascheringer Bach bei 685 m ü.NN austreichende Nagelfluh, die bisher unumstritten als günzeiszeitlich angesehen wird, aber nach diesem Profil recht gut mit dem höheren Nagelfluh-Komplex der Bohrungen ROVI und ROI korreliert.

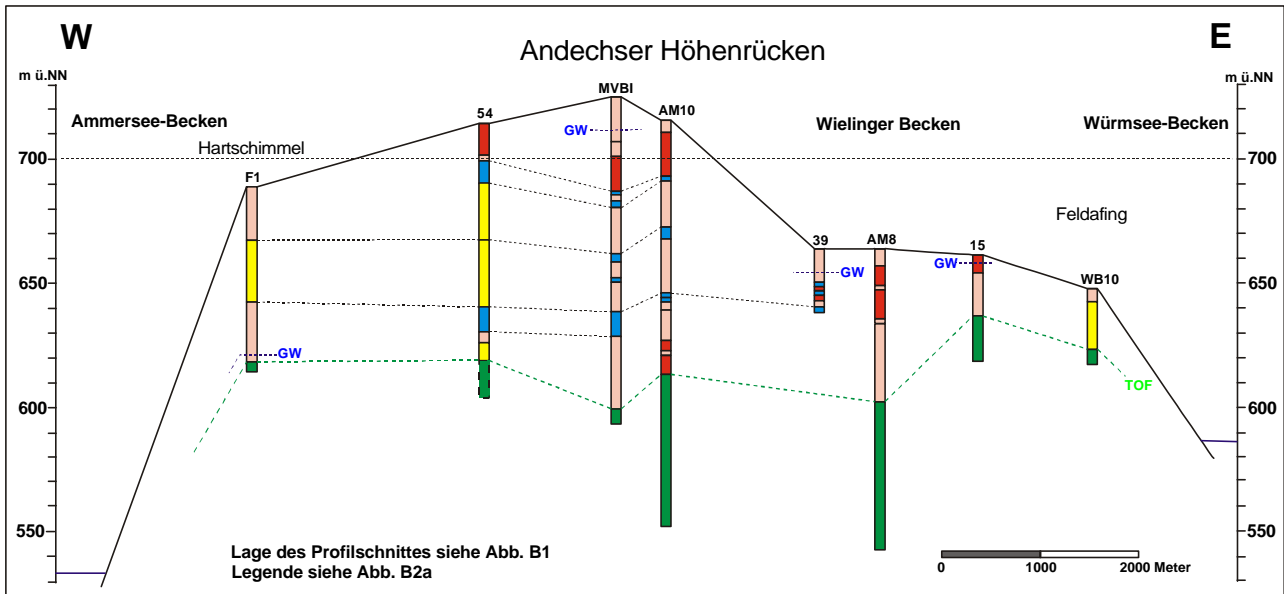


Abb. B6: West-Ost Profilschnitt durch den Andechser Höhenrücken zwischen Hartschimmel und Feldafing

Die Tertiäroberfläche liegt im westlichen Andechser Höhenrücken bei 620, im Osten bis 630 m ü. NN, im Bereich des südlichen Wieling-Maisinger Beckens um 600 m ü. NN. Die Quartärmächtigkeit beträgt im westlichen Andechser Höhenrücken stellenweise über 120 m, am Würmsee-Zungenbeckenrand nur wenig über 20 m. Westlich des Wieling-Maisinger Beckens fallen im Bereich der Bohrungen 54, MVBI und AM10 um 690, zwischen ca. 660-670 und 630-645 m ü. NN zwei bzw. drei Feinsedimentschichten auf. In der Bohrung 39 im Wieling-Maisinger Becken erkennt man zwei Feinsedimentlagen mit Oberflächen um 640 und 650 m ü. NN, die sich als Schichtenwechsel auch in der Bohrung AM8 abzeichnen. Die tiefsten Feinsedimente, die mit jenen im Profil Abbildung B5 ungefähr höhengleich sind, greifen hier offensichtlich weiter nach Westen über als im Bereich Seewiesen/Rothenfeld und liegen in etwa niveaugleich mit den größten hier gezeigten Tertiärhöhen am westlichen Würmseebeckenrand. Das südliche Wieling-Maisinger Becken ist ab ca. 30 m unter Gelände mit ca. 30 m mächtigen schluffigen Kiesen verfüllt. Die Oberfläche dieser Verfüllung korrespondiert ungefähr mit der Oberfläche der Feinsedimente des "Wieling-Maisinger Niveaus" und mit den größten Tertiärhöhen zwischen Wieling-Maisinger Becken und Würmsee. Die Feinsedimente um 670 m ü. NN kann man mit dem oberen Feinsedimenthorizont im Raum Seewiesen/Rothenfeld in Verbindung bringen. Sie korrelieren auch mit der Nagelfluh-Oberfläche am östlichen Ammersee-Beckenrand (F1) sowie mit einem Schichtenwechsel im Nagelfluhkomplex der ca. 2,5 km östlich von Bohrung F1 liegenden Bohrung 54. Der höhere Nagelfluh-Komplex reicht etwa bis 690 m ü. NN, weiter im Süden bis über 700 m ü. NN (vgl. Abb. B7) und liegt damit ähnlich hoch wie die Oberfläche der Nagelfluh im Raum Rothenfeld (vgl. Abb. B5). Die Bohrungen MVBI und AM10 durchteufen neben den genannten Feinsedimenthorizonten hauptsächlich unverfestigte moränenartige Ablagerungen.

Wie im ca. 2,5 km nördlich verlaufenden Profil Abbildung B5 werden die oberflächennahen, unverfestigten Schotter und Moränen der Würmeiszeit zugerechnet. Sie sind hier mit ca. 15-35 m bedeutend mächtiger als im Raum Seewiesen/Rothenfeld. Nagelfluhoberfläche, Feinsedimenthorizonte und Schichtwechsel um 670 m ü. NN markieren wahrscheinlich die Grenze zu darunter folgenden mindeleiszeitlichen Deckenschottern. Eine Feinsedimentlage um 640 m ü. NN unterteilt diesen Liegendkomplex, woraus auf eine Zweigliederung der mindeleiszeitlichen Grobschüttungen in diesem Gebiet geschlossen werden kann. Die feinkörnige Trennschicht reicht vermutlich bis in das südliche Wieling-Maisinger Becken (vgl. Bohrung 39), so daß die tieferen (unter 630 m ü. NN) feinkornreichen Sedimente / Moräne (AM10) einer älteren Mindelphase zugehören könnten. Die Nagelfluh über 670 m ü. NN bei Bohrung 54, sowie die feinkornreichen Schotter in ähnlicher Höhenlage bei MVBI und AM10, repräsentieren im westlichen Andechser Höhenrücken vermutlich rißeiszeitliche Ablagerungen. Aus der Bohrung F1 (Hartschimmel) und gemäß mehrerer kleinerer Oberflächenaufschlüssen zwischen Pähl, Andechs und Herrsching ist zwar belegt, daß die Deckenschotter-Oberfläche (Mindel) in der Nähe des Ammersee-Zungenbeckenrandes nicht nennenswert über 660 m ü. NN reicht, doch könnte es sich dabei auch nur um ein randliches Erosionsniveau handeln, so daß die mindelzeitliche Deckenschotter-Oberfläche im Andechser Höhenrücken vielleicht wesentlich höher liegen. Geoelektrische Messungen bestätigten an mehreren Stellen des Profilschnittes zwar einen Schichtenwechsel um 670 m ü. NN, doch wären danach die Schotter über 665 m ü. NN unverfestigt.

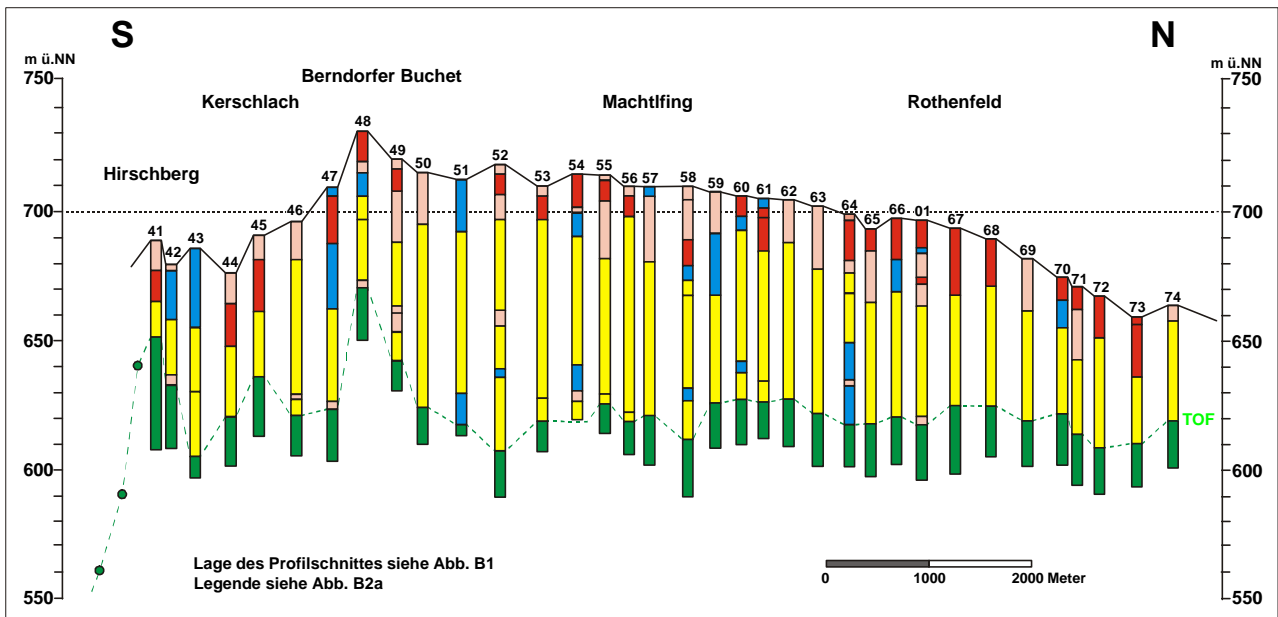


Abb. B7: Nord-Süd Profilschnitt durch den Andechser Höhenrücken zwischen Kerschlach und Rothenfeld

Die Tertiäroberfläche ist nördlich des Berndorfer Buchets (Bohrung 48) insgesamt flacher nach Norden geneigt (ca. 1,5 ‰) als die Nagelfluhoberfläche (ca. 5 ‰) oder die Geländeoberfläche (ca. 8 ‰). Auffallend ist über den gesamten, ca. 10 km langen Profilschnitt reichender, im Nordabschnitt um 40 m, im Mittelabschnitt bis um 90 m mächtiger Nagelfluh-Komplex, der fast ausnahmslos direkt dem Tertiär auflagert. Von Norden nach Süden nimmt, bei annähernd gleichbleibender Gesamtmächtigkeit, der Anteil oberflächennaher unverfestigter Kiese gegenüber moränenartigen Bildungen zu. Die Gesamtquartärmächtigkeit beträgt zwischen 40 und 110 m.

Die Oberfläche eines Feinsedimenthorizontes im Raum Kerschlach (zw. Berndorfer Buchet und Hirschberg) liegt mit etwa 680 bis 690 m ü.NN ähnlich hoch wie im Gebiet um den Deixlfurter See (vgl. Abb. B44, B45, B46; "Deixlfurter-Kerschlachener Niveau"). Diese Feinsedimente sind bis 30 m mächtig und nur nahe der würmeiszeitlichen Moränenwälle nördlich von Kerschlach von Schottern und jüngeren Feinsedimenten überlagert (Bohrung 47). Oberflächennahe Feinsedimentlagen um 700-710 m ü.NN sind in den Bohrungen 47, 51, 57, 61 und 63 nördlich von Kerschlach belegt, wobei diese Lagen, ausgenommen bei 51, immer über unverfestigten Schottern oder über Moräne liegen. In den Bohrungen 54, 58, 59, 66 und 01 kommen Feinsedimente zwischen ca. 680 und 700 m ü.NN unter Schotter- und Moränenbedeckung direkt auf dem Nagelfluh-Komplex vor. Innerhalb des Nagelfluh-Komplexes liegt eine Feinsedimentschicht mit maximal 10 m Mächtigkeit zwischen den Bohrungen 64 und 52 bei 635-650 m ü.NN, also ungefähr in Höhe des "Wieling-Maisinger Niveaus" (vgl. Abb. B5 und B6). Etwa 1 km südlich davon (Bohrung 49) zeichnet sich ein Feinsedimentlage bei 660 m ü.NN ab. Im Bereich der Rothenfelder Schotterflur zeigt die Bohrung 71 knapp 20 m mächtige Feinsedimente (Oberfläche um 663 m ü.NN) über Nagelfluh. In den Bohrungen 64, 51 liegen Feinsedimente mit Oberflächen um 630-635 m ü.NN direkt dem Tertiär auf.

Es zeichnet sich wie in Abbildung B5 und B6 beschrieben eine Zweiteilung des Deckenschotter-(Nagelfluh-)Komplexes ab wobei der Komplex unter ca. 660 m ü.NN wahrscheinlich mindeleiszeitlich, der darüber möglicherweise rißeiszeitlich entstanden ist.

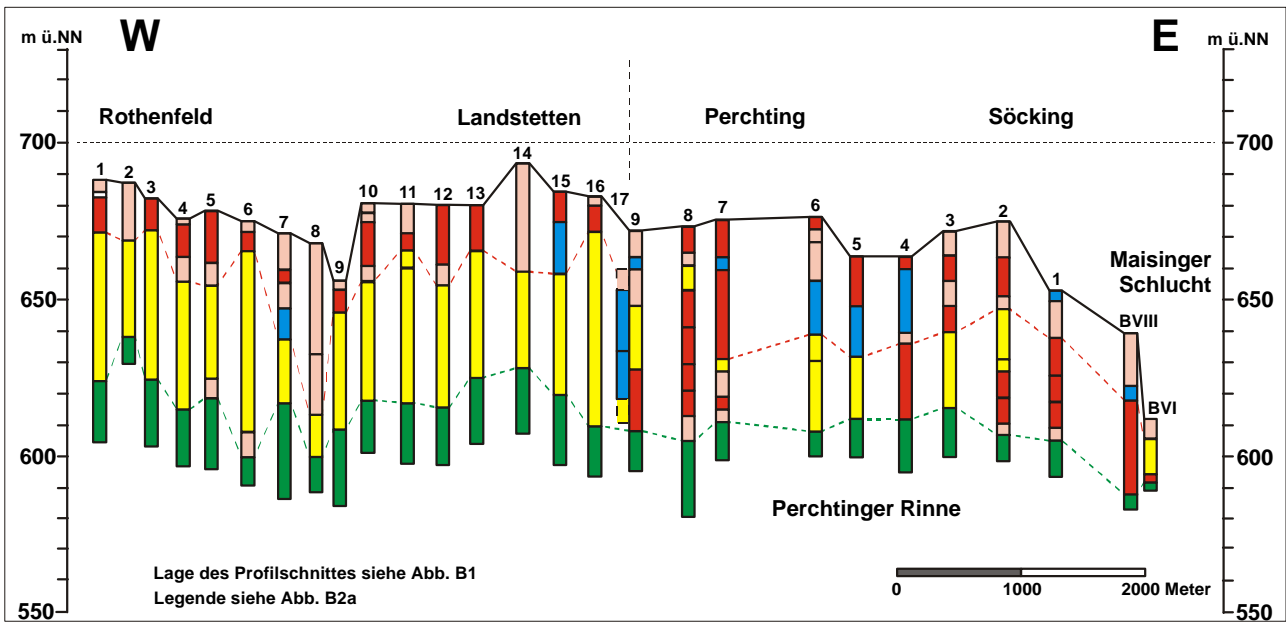


Abb. B8: West-Ost Profilschnitt durch den Andechser Höhenrücken zwischen Rothenfeld-Landstetten-Perchting-Söcking

Zwischen den Tertiär-Hochgebieten nördlich von Landstetten (Bohrung 11, ca. 628 m ü.NN) und westlich von Söcking (Bohrung 3, ca. 617 m ü.NN) reicht die Tertiäroberfläche im Raum Perchting nicht über etwa 605 m ü.NN (Perchtinger Rinne). Der Tertiäroberfläche lagert ein ca. 35-45 m mächtiger Schotter- und Nagelfluhkomplex auf, dessen Oberfläche im Bereich der Bohrungen 4-6 (östlich der Perchtinger Rinne) rinnenförmig eingetieft ist. Dort, ebenso wie in den meisten benachbarten Bohrungen, ist über diesen Komplex ein Feinsedimenthorizont zu erkennen, dessen Oberfläche bei 660 m ü.NN liegt. Bis zur Geländeoberfläche folgen maximal 20 m mächtige Kiese und Moränen. Die gesamte Quartärmächtigkeit beträgt ungefähr 65 m. Das Feinsedimentniveau korreliert ungefähr mit dem in der Bohrung 71 bei Rothenfeld (Abb. B7) und mit dem mittleren Feinsedimenthorizont im westlichen Andechser Höhenrücken (Abb. B6). Tertiär-, Nagelfluh- und Geländeoberfläche fallen gering nach Osten. Ihre Hauptreliefelemente befinden sich in ähnlicher geographischer Position. Grundwasserstände sind aus den Brunnen in der Maisinger Schlucht (BVIII, BVI) um 600-610 m ü.NN bekannt, um Seewiesen / Rothenfeld bei 680 und 630 m ü.NN.

Nagelfluh- und Schotterkomplex werden als mindeleiszeitlicher Deckenschotter eingestuft (Geländeaufschlüsse in der Maisinger Schlucht, s. Abb. B55), Schotter und Moräne über dem Feinsedimenthorizont zumindest oberflächennah als würmeiszeitliche Bildungen. Eventuell rißeiszeitliche Ablagerungen müßten demnach geringmächtig sein.

1.2 Tertiäroberfläche

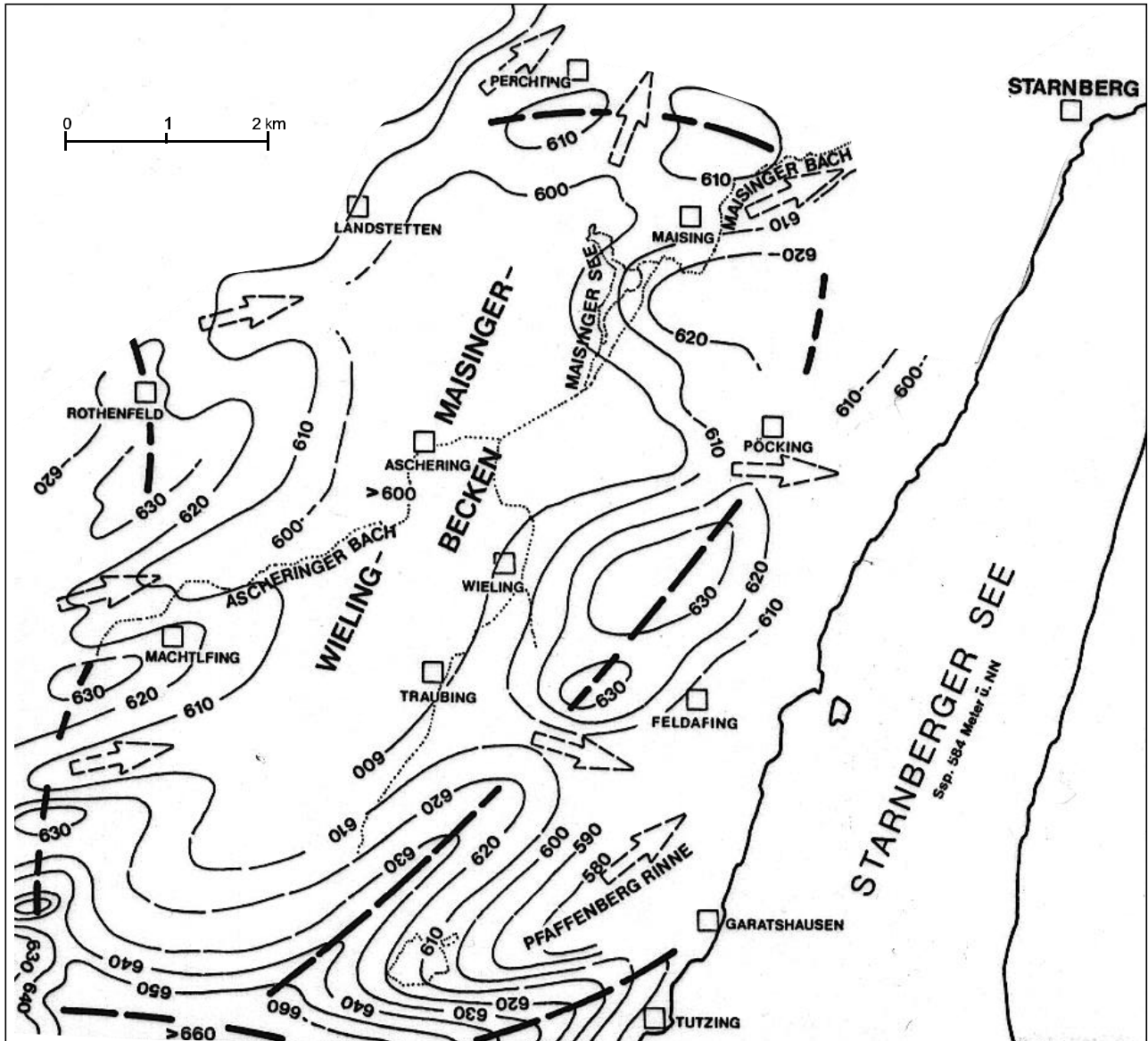


Abb. B10: Die Tertiäroberfläche in der Umgebung des Wieling-Maisinger Beckens

- Legende s. Abb. B2b

Von den nördlichen Ausläufern des Berndorfer Buchets im Süden bis Perchting im Norden erstreckt sich eine annähernd seeparallele Senke (NNE), die bis ca. 580 m ü.NN eingetieft ist. Sie fällt mit der gegenwärtigen Geländesenke im Gebiet der Wieling-Traubinger Schotterflur und des Maisinger Sees zusammen. Sehr wahrscheinlich ist das Relief der Tertiäroberfläche dieser Senke unruhiger, als es hier dargestellt wurde. In der Umgebung der Wielinger Brunnen liegt die Tertiäroberfläche bei ± 600 m ü.NN (ca. 40-50 Meter tiefer als bisher angenommen). Im Osten verläuft zwischen dieser Senke und dem Seebecken ein Höhenrücken vom Deutenberg (Süden) bis nördlich Maising mit Höhen bis ca. 630 m ü.NN. Östlich von Traubing, bei Pöcking und zwischen Maising und Starnberg wird er von Querrinnen unterbrochen. In diesen sind bevorzugt altpleistozäne Schotter aufgeschlossen bzw. erbohrt (Abb. B3). Die südlichste dieser Rinnen stellt östlich von Traubing möglicherweise eine hydrologische Verbindung zwischen dem Wieling-Maisinger Becken und der Pfaffenberg Rinne (hier nach CONRADI 1986, s. Abb. A7) her (Kap. BI.2). Westlich der beschriebenen Senke steigt die Tertiäroberfläche wieder auf Höhen um 630 m ü.NN an. In Richtung Andechs werden vielleicht noch größere Höhen erreicht. Auch dieser Höhenzug wird durch mindestens drei größere Querrinnen unterbrochen, die sich an der Geländeoberfläche offenbar im Bachlauf am Buttler Bühl, im Ascheringer Bach und in der Senke des Eßsees durchpausen. Eine hier nicht gezeigte, westlich Landstetten wurzelnde Rinne schwenkt nach kurzem Nordwest-Verlauf in Richtung Nordnordost und setzt sich in der Dröblinger Rinne fort (Kap. BI.4). Eine geschlossene Hohlform, v.a. aber die daran anschließende Rinne nach Westen (Herrsching) wie sie CONRADI (1986) dargestellt hat (Abb. A7) existiert nicht. Bei Perchting zielt eine zweigeteilte Rinne nach Norden. Die größte Erhebung (>660, ?um 700 m ü.NN) erstreckt sich etwas südlich des Berndorfer Buchets von der Ilkahöhe bis nördlich Kerschlach ungefähr in ESE-WNW-Richtung.

Grundlage für die Tertiäroberflächenkarte des Gebietes um das Wieling-Maisinger Becken (Abb. B10) bilden die im vorangegangenen Abschnitt und im Kapitel BI.8 beschriebenen Profilschnitte (Abb. B3 bis B9, B44). Diese Karte unterscheidet sich in wesentlichen Elementen von der in Kapitel AI.2.3 erläuterten Tertiäroberflächenkarte von CONRADI (1986, s. Abb. A7).

So ist an Stelle des zentralen Hochgebietes um Traubing (Wielinger Becken) eine Nord-Süd-gerichtete Senke zu sehen. Auch fehlt die große, nach Westen geöffnete "Bucht" westlich von Machtlfing. Insgesamt vermitteln die wichtigsten Elemente der neuen Karte nahezu eine Reliefumkehr der älteren Darstellung. Dabei pausen sich die Hauptreliefformen der Tertiäroberfläche bis an die Geländeoberfläche durch, wobei würmeiszeitliche Stillstandslagen, bzw. Moränenwälle an der Geländeoberfläche in groben Umrissen mit Rücken und Hochlagen des Tertiärreliefs zusammenfallen, was den Schluß nahelegt, daß die unterirdische Hauptwasserscheiden hier generell nur gering von den rezenten, oberirdischen Wasserscheiden abweichen. Im Detail sieht man aber, daß die Ränder der annähernd wülmseeparallel verlaufenden Senke des Wieling-Maisinger Beckens an mehreren Stellen durch Rinnen unterbrochen sind, die einerseits vom westlichen Andechser Höhenrücken in die Senke herunterführen (z.B. Ascheringer Rinne), andererseits nach Osten zum Würmsee (z.B. Pfaffenbergrinne), bzw. nach Norden zur Münchener Schotterebene hinausleiten (z.B. Perchtinger Rinne). Es ist deshalb zu vermuten, daß auf diesen Wegen Grundwasserströme verlaufen und die o.g. Hauptgrundwasserscheiden überwinden.

1.3 Grundwasservorkommen

Bekannt war, daß die oberflächennahen Wieling-Traubinger Schotter zwischen Deixlfurter -und Maisinger See ein bedeutendes Grundwasservorkommen beherbergen, das von den umliegenden Gemeinden (Tutzing, Feldafing, Pöcking, Aschering u.a.) seit vielen Jahren genutzt wird, ebenso wie einige kleinere Quellen (z.B. Ascheringer Quellen) und Hausbrunnen. Außerdem standen bis vor wenigen Jahren im Würmseeufergebiet bei Tutzing/Garatshausen (Kap. BI.2) und im "7-Quellen-Tal" bei Starnberg (Kap. BI.3) mehrere ergiebige Quellen der Trinkwasserversorgung zur Verfügung.

Profilschnitte (Abb. B3-B9) und Tertiäroberflächenkarte (Abb. B10) haben bereits deutlich gemacht, daß im Wieling-Maisinger Becken neben dem o.g. oberflächennahen Grundwasserstockwerk auch ein tieferes, in seinen Abgrenzungen vorerst unbekanntes Stockwerk existieren könnte. Zudem wurde daraus geschlossen, daß sich v.a. im westlichen Andechser Höhenrücken nicht nur über der Tertiäroberfläche, sondern auch über quartären Feinsedimenthorizonten Grundwasser stauen und bevorzugt im Bereich von schottergefüllten Tertiärrinnen in das Becken strömen könnte (z.B. Ascheringer Rinne). Andererseits ist mit Grundwasserabstrom aus dem Becken in Richtung Würmsee (z.B. Pfaffenbergrinne, Kap. BI.2) oder nach Norden zur Münchener Schotterebene zu rechnen (z.B. Perchtinger Rinne).

Abbildung B11 zeigt die wesentlichen Grundwasservorkommen im näheren Umfeld des Wieling-Maisinger Beckens mit der Verbreitung der Wieling-Traubinger Schotter, in denen vom Deixlfurter- bis zum Maisinger See das bedeutendste Vorkommen in nordnordöstliche Richtung fließt. Dieses tritt am Südrand des Maisinger Sees zu Teilen in den anmoorigen Gebieten aus und in den See über oder es fließt über den Fallbach am See vorbei in den Maisinger Bach bzw. bei geöffnetem Wehr direkt in diesen. Von dort gelangt es durch die Maisinger Schlucht bis unmittelbar an die dort gelegenen

Brunnen der Stadt Starnberg (Kap. BI.3). Der Flurabstand beträgt im Bereich der Tutzingener Brunnen (TuI-TuIII, Abb. B9) ungefähr einen Meter, seine Mächtigkeit im Mittel zwischen sieben und acht Metern. Daraus ist abzuleiten, daß seine unter den spätglazialen Schottern befindliche Sohlschicht (Feinsedimenthorizont) ähnlich flach geneigt ist wie das Grundwassergefälle und, gemessen an den durchschnittlichen Grundwassermächtigkeiten, zwischen 630- 640 m ü.NN liegt. Dies entspricht der im Abschnitt BI.1.1 ermittelten Oberfläche des grundwasserstauenden "Wieling-Maisinger Niveaus".

Kleinere, oberflächennahe Grundwasservorkommen randlich des Wieling-Maisinger Beckens, findet man z.B. in kiesiger Moräne südwestlich von Aschering (Ascheringer Quellen) sowie südlich von Traubing. Wahrscheinlich infiltriert der überwiegende Anteil dieser meist höher belasteten Wässer (s.u.) entweder unterirdisch oder über kleinere Oberflächengewässer (Ascheringer-, Weiher-Bach) in das Grundwasser der Wieling-Traubinger Schotter (s.o.). Außerdem lassen Abflußmessungen erkennen, daß die Sohle des Wielinger Baches südlich (oberstromig) der Gewinnungsanlagen nicht vollständig abgedichtet ist und deshalb Bachwasser in die Wieling-Traubinger Schotter infiltrieren kann (BGU 1995, mündl. Mitt. Dr.Schott). Da zwischen Traubing und Wieling bis wenige hundert Meter an die Grundwasser-gewinnungsanlagen heran noch immer großflächig offener Kiesabbau betrieben wird - an mehreren Stellen liegt der Grundwasserspiegel frei, einige ältere Kiesgruben sind bereits länger mit unbekanntem Stoffen verfüllt - stellen die vom Autor vermuteten hydraulischen Verbindungen zwischen diesen Kiesgruben, dem Wielinger Bach und dem Grundwasser ein erhebliches Gefährdungspotential für die Brunnen im Wieling-Maisinger Becken, aber auch für die Wasserversorgungsanlagen in der Maisinger Schlucht dar (Kap. BI.3). Generell ist das Grundwassers auch durch seinen geringen Flurabstand und seine in großen Gebieten weitgehend gut durchlässigen Deckschichten gefährdet (Abb. B55, A11).

Ein "tieferes" Grundwasservorkommen bei Aschering (artesisch gespannt) strömt ungefähr aus Südwesten (Raum Machtlfing) in das Wieling-Maisinger Becken. Seine Druckspiegelhöhe liegt an den Versuchsbohrungen (A1-A3, Abb. B9) mit etwa 658 m ü.NN rd. 8 Meter über der Geländeoberfläche und rd. 15 m über dem Grundwasserspiegel in den Wieling-Traubinger Schottern. Während eines Pumpversuchs am neuen Brunnen Aschering verringerte sich die Schüttungsmengen an den Ascheringer Quellen. Wahrscheinlich korrespondiert dieses "tiefere" Grundwasser besonders bei höheren Grundwasserständen mit randlichen lokalen Grundwasserstockwerken, wie dem o.g. bei Aschering.

Die Quellen "Wildbrunn" (652 m ü.NN) und "Jägersbrunn" (ca. 645 m ü.NN) nördlich von Aschering und westlich des Maisinger Sees entspringen aus den randlichen Hochgebieten zwischen Seewiesen und Landstetten. Eine hydraulische Verbindung mit dem o.g. Grundwasservorkommen südwestlich von Aschering, das vermutlich bis in den Raum Machtlfing reicht (ca. 660 m ü.NN), ist vorstellbar aber nicht nachgewiesen. Das Grundwassergefälle zwischen diesen Gebieten würde ca. 3 ‰ betragen.

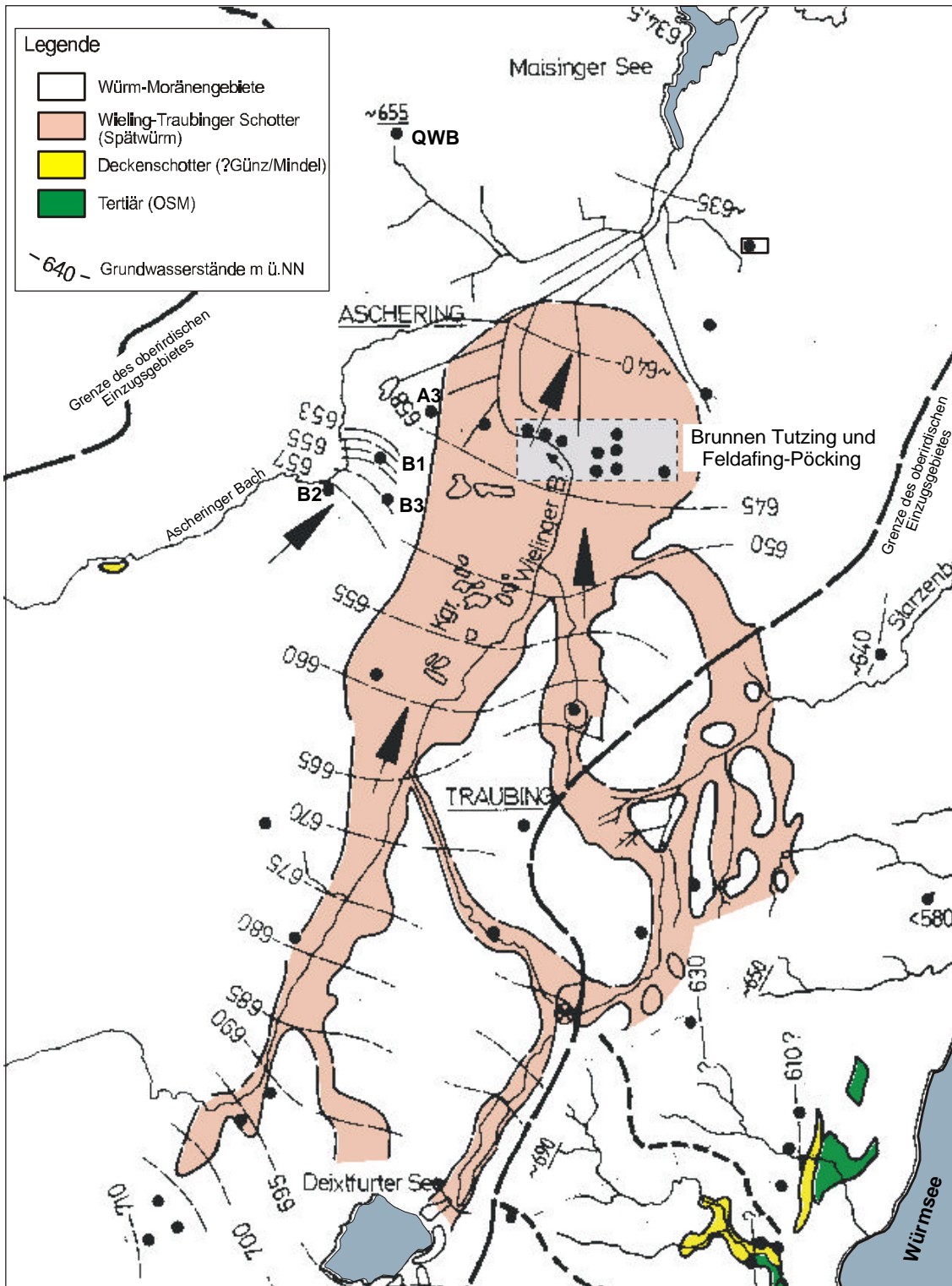


Abb. B11: Grundwassergleichen im Wieling-Maisinger Becken und seiner näheren Umgebung

Das Grundwasservorkommen der Wieling-Traubinger Schotterflur wurzelt ebenso wie die Schotter in der Umgebung des Deixlfurter Sees. Sein oberirdisches Einzugsgebiet ist im wesentlichen durch die Verbreitung dieser Abschmelzschotter bestimmt. Randlich greift es bis in die partiell kiesigen Wallmoränen über. Das Gefälle verringert sich vom Deixlfurter See nach Nordnordosten bis zum Maisinger See von ca. 2 % auf ca. 1,3 %. Bis Südwestende der Maisinger Schlucht nimmt es bis auf ca. 0,6 % ab.

Der Druckspiegel des artesisch gespannten Grundwassers an den Brunnenbohrungen A1-A3 bei Aschering liegt mit ca. 658 m ü. NN rd. 8 m über der Geländeoberfläche des Wieling-Maisinger Beckens bzw. rd. 15 m über der Wasserspiegel des Grundwasservorkommens der Wieling-Traubinger Schotter. Das Grundwasser der Ascheringer Quellen nahe der Bohrungen B1 und 3 (vgl. Abb. B9) stammt aus einem kleineren Vorkommen in durchlässiger, kiesiger Jungmoräne. Die Quellschüttungen betrugen 1989 ca. 25 000 m³, die Quellaustrittshöhen liegen um 652 m ü. NN. Grundwasserstandsmessungen (TBU 1989) an den Bohrungen B1-3 (vgl. Abb. B9) ergaben eine Grundwasserfließrichtung nach Nordosten bei einem Gefälle von ca. 1,2 %. Die Mächtigkeit dieses Vorkommens ist gering, sein Einzugsgebiet nach Pumpversuchsauswertungen ca. 1-2 km² groß. Der Ascheringer Bach stellt seine nordwestliche Vorflut dar.

Stellt man mehrjährig (1992-1994), monatlich gemessene Grundwasserhöhen an den Brunnen TuI-TuIII bei Wieling monatlich gemessenen Niederschlagshöhen der Station Attenkam gegenüber (Abb. B12), so ist eine positive Korrelation mit geringen Reaktions- bzw. Sickerzeiten zu erkennen. Obwohl aus den Brunnen der Gemeinde Tutzing und Feldafing-Pöcking bis 1993 pro Jahr durchschnittlich rund 1 Million m³ Wasser entnommen wurden (s. Kap. BII.5), sind keine verbrauchsabhängigen Grundwasserspiegelschwankungen zu erkennen.

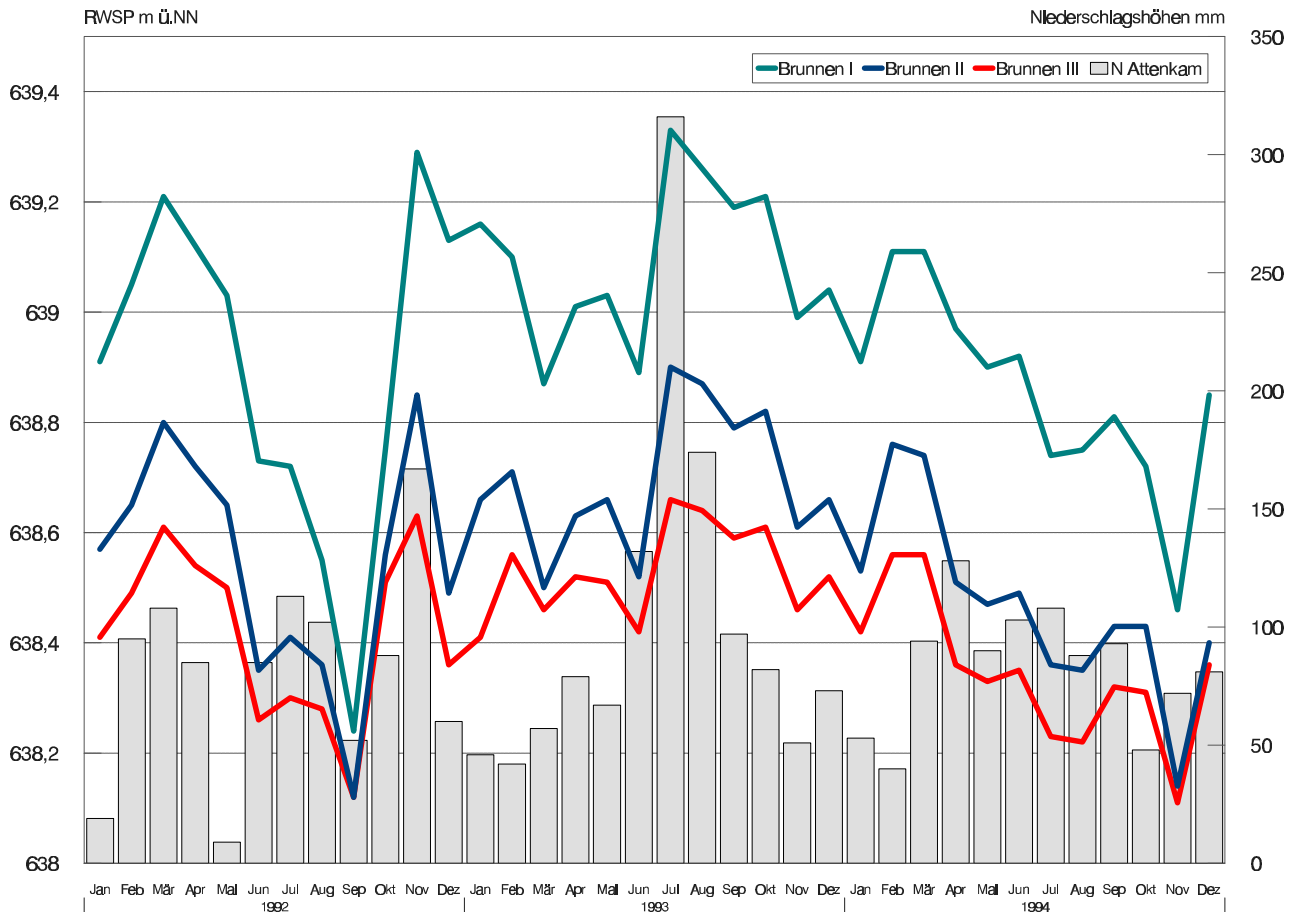


Abb. B12: Grundwasserganglinien der Tutzinger Brunnen im Wieling-Maisinger Becken (Quelle: *Gemeinde Tutzing*) und monatliche Niederschlagsmittel (Station Attenkam) für die Jahre 1992-1994 (DWD)

Die durchschnittlichen Grundwasserhöhen betragen an Brunnen I rd. 639 m ü.NN, an Brunnen II rd. 638,6 m ü.NN und an Brunnen III rd. 638,5 m ü.NN. Die größten Grundwasserspiegelschwankungen betragen an Brunnen III 0,55 m, an Brunnen II 0,78 m und an Brunnen I 1,09 m. Hauptmaxima und -minima der Grundwasserhöhen fallen mit solchen der Niederschlagshöhen zusammen. Die Sickerzeiten sind gering. Die extremen Minima im September 1992 und November 1994 sind wahrscheinlich auf Restabsenkungen zurückzuführen. Grundwasserhöhen und -schwankungen vergrößern sich vom westlichen Beckenrand nach Osten zum Beckenzentrum, was u.a. darauf zurückzuführen ist, daß zu den westlichen und östlichen Moränenrändern des Beckens der Feinkornanteil zunimmt. Es ist deshalb zu erwarten, daß die Grundwasserführung zu den Beckenrändern abnimmt.

1.4 Wasserbeschaffenheit

Die Nitratkonzentrationen an den Wieling-Traubinger Brunnen lagen 1990 zwischen 22,5 und 35,6 mg/l (*WATEC 1990*), nach Aufzeichnungen der Gemeinde Tutzing von 1988 bis 1994 zwischen 18 und 24,9 mg/l. Die elektrische Leitfähigkeit betrug rd. 700 $\mu\text{S/cm}$.

Im lokalen Grundwasservorkommen bei Traubing betrug die Nitratkonzentration 1991 8 bis 19,3 mg/l, die elektrische Leitfähigkeit lag bei 620 $\mu\text{S/cm}$ (*BGU 1991*). Im ebenfalls eng begrenzten Grundwasservorkommen südwestlich von Aschering wurden 1990 Nitratgehalte zwischen 12,5 und 34,8 mg/l sowie Leitfähigkeiten zwischen 528 und 774 $\mu\text{S/cm}$ gemessen (*TBU 1990*).

Im neu erbohrten, "tieferen" Grundwasservorkommen bei Aschering (Deckenschotter) lagen die Nitratkonzentrationen 1993 unter 2 mg/l, die Leitfähigkeit betrug 551 bis 578 $\mu\text{S/cm}$, das Wasser war nahezu sauerstofffrei (*BGU 1993*). Sein "Tritium-Alter" wurde mit ca. 3 Jahren bestimmt (*BGU*, mündl. Mitt. Dr. Schott). Anscheinend hat hier noch keine Infiltration stärker belasteter Wässer "höherer" Grundwasserstockwerke, z.B. aus dem Wielinger Becken und angrenzender lokaler Vorkommen (s.o.), stattgefunden. Umgekehrt ist eine Zusp eisung in die "höheren" Grundwasservorkommen nicht auszuschließen.

Das Oberflächenwasser vom Maxhof-Bach, der nördlich Pöcking bis in das Gebiet um die Maisinger Schlucht fließt, und das des Maisinger Sees, enthielt 5,2 mg/l bzw. 4,0 mg/l Nitrat und wies 1987 eine elektrische Leitfähigkeit von 430 $\mu\text{S/cm}$ auf, das des Fallbachs, der das meiste Wasser aus dem südlichen Einzugsgebiet des Wielinger Beckens am Maisinger See vorbeileitet, und des in die Maisinger Schlucht weiterführenden Maisinger Baches enthält dagegen bedeutend höhere Nitratkonzentrationen und wies eine größere Leitfähigkeit auf (22,4-24,5 mg/l; 580-660 $\mu\text{S/cm}$; *REH 1987*, S. 36 ff).

Der Fallbach nimmt offensichtlich große Teile des stärker nitratbelasteten und höher leitfähigen Grundwasser aus den südlich des Maisinger Sees auskeilenden Wieling-Traubinger Schottern auf (s.o.) und leitet es nördlich des Sees über den Maisinger Bach bis in den Bereich der Brunnen in der Maisinger Schlucht. Auf diesem Weg können auch gefährlichere Kontaminationen diese Gewinnungsanlagen erreichen.

1.5 Zusammenfassung

Tertiär- und Geländeoberfläche, wahrscheinlich auch die Deckenschotteroberfläche, sind sich in den Hauptreliefformen ähnlich. Im Wieling-Maisinger Becken liegt die Tertiäroberfläche an ihrer tiefsten Stelle nahe 590 m ü.NN, also beinahe 50 m tiefer als von *CONRADI (1986)* angenommen. Heute verdeckte, teilweise schottergefüllte "Tertiärrinnen", wie Pfaffenberg-, Maisinger oder Perchtinger Rinne, führen vom Wieling-Maisinger Becken ausgehend zum Würmsee oder zur Münchener Schotterebene. Andere, wie die Ascheringer Rinne reichen aus Westen in das Wieling-Maisinger Becken hinein.

Die oberflächennahen Wieling-Traubinger Schotter sind randlich von mehr oder weniger feinkornreicher Moräne umgrenzt. Die wasserstauenden Feinsedimente unter diesen Schottern sind nicht das Tertiär sondern quartäre Stillwasserbildungen und Moräne. Ihre Oberfläche fällt auch nicht, wie es die Tertiäroberflächenkarte von CONRADI (1986; s. Abb. A7) zeigt, um Traubing herum nach allen Seiten ab, sondern reicht \pm horizontbeständig und schwach geneigt bis unter den Maisinger See und gebietsweise auch weit unter die im Westen und Osten angrenzenden Höhenzüge.

An einigen Stellen des Wieling-Maisinger Beckens, wie etwa in der Umgebung von Aschering, werden diese wasserstauenden Schichten von Deckenschotter unterlagert. Diese stehen mit Schottern der westlichen Hochgebiete in Verbindung und führen ein bisher unbekanntes, ergiebiges und weitgehend schadstoffreies Grundwasservorkommen. Des weiteren werden hydraulische Zusammenhänge zwischen den Deckenschottern des Wieling-Maisinger Beckens und den o.g. schottergefüllten Tertiärrinnen zum westlichen Würmseebeckenrand und zur Wurzelzone der westlichen Münchener Schotterebene vermutet. Deckenschotter, aber auch jungpleistozäne Schotter, leiten an solchen Stellen unter Würmmoräne hindurch, so daß unter- und oberirdische Grundwassereinzugsgebiete voneinander abweichen.

In den kiesreichen Randgebieten des Wieling-Maisinger Beckens, besonders aber im westlichen Andechser Höhenrücken, gibt es mehrere Feinsedimenthorizonte, die potentielle Grundwasserstauer darstellen. Daraus resultiert ein teils auch weitreichender hydrogeologischer Stockwerkbau, dessen tieferer, wahrscheinlich mindeleiszeitliche Schotter-Nagelfluh-Komplex offensichtlich zweigegliedert ist. Größere Anteile des mehr oder weniger verfestigten Schotters darüber bestehen vermutlich aus ribeiszeitlichen Ablagerungen, die auf dem Andechser Höhenrücken bisher weitgehend unbekannt sind.

Für die Grundwassersituation im Wieling-Maisinger Becken bedeutet dies, daß oft hoch nitratbelastete kleinere, beckenrandliche Grundwasservorkommen in das noch etwas geringer belastete Grundwasser der Wieling-Traubinger Schotterflur einspeisen, welches in dieser Region bisher den Hauptteil der Trinkwasserversorgung gewährleistet. Dieses bedeutende Vorkommen steht, u.a. über Oberflächengewässer, mit dem geringer nitratbelasteten Deckenschotterwasser der für die Wasserversorgung der Stadt Starnberg wichtigen Brunnenanlage in der Maisinger Schlucht (Kap. BI.3) in hydraulischer Verbindung. Für beide Grundwasservorkommen, vorrangig aber für das oberflächennahe Vorkommen im Wieling-Maisinger Becken, besteht insbesondere wegen dem offenen Kiesabbau und der unbekanntem Verfüllungen älterer Kiesgruben im Anstrombereich der Wielinger Brunnen, eine erhebliche Gefährdung.

Zur Bedarfssicherung der Gemeinde Feldafing-Pöcking dienen die inzwischen errichtete Brunnen bei Aschering, die das noch kaum belastete, nicht an das Grundwasser der Wieling-Traubinger Schotter angekoppelte Deckenschotterwasser des westlichen Andechser Höhenrückens nutzen.

2 Das Würmsee-Westufer zwischen Tutzing (Pfaffenbergrinne) und Possenhofen

Schon im vorangegangenen Kapitel BI.1 wird angedeutet, daß in der Umgebung des "Pfaffenberges" nördlich des Tristallgrabens (nördlicher Kalkgraben-Zulauf), wo bereits CONRADI (1986) eine Rinne an der Tertiäroberfläche (Pfaffenbergrinne; Abb. A7) erkannte, ergiebige Grundwasservorkommen vermutet werden. Es wurde auch vermutet, daß aufgrund des quartären Schichtenbaus hydraulische Verbindungen zum Grundwasservorkommen im Wieling-Maisinger Becken existieren.

2.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten (Abb. B55, B56)

Würmzeitliche Moränenzüge begrenzen das Seeufer-Gebiet im Westen gegen das Wieling-Maisinger Becken. Im Bereich dieser Moränenzüge wurzeln mehrere Bäche, die dem Starnberger See zufließen. Der Starzenbach, am weitesten im Norden, fließt zwischen zwei spitzwinklig zum Seeufer nach Norden verlaufenden Moränenwällen bis zum Seeufer bei Possenhofen (eisrandparalleler Schmelzwasserlauf). Die Bäche südlich davon (Eichgraben, Kalkgraben, Bareisl-Graben, Martels-Graben u.a.) fließen dem See zentripetal, dem direkten Gefälle folgend zu. Am weitgehend von würmeiszeitlichen Grund- und Wallmoränen bedeckten Zungenbeckenrand, hat sich der Kalkgraben Bach bis zu 20 m tief in die verfestigten Deckenschotter eingeschnitten und stellenweise senkrechte Talflanken geschaffen. Wo sich Kalkgraben-Tobel und Zungenbeckenrand schneiden, gibt es kleinflächige Tertiäraufschlüsse.

Das Zentrum des NW-Abschnittes der in die Tertiäroberfläche eingetieften Pfaffenbergrinne (Abb. B3, B13) ist ähnlich wie der rezente Kalkgraben von steilen Nagelfluhwänden (Mindel-Deckenschotter) flankiert, die durch Kiese und Feinsedimente einer vermutlich jüngeren Sedimentationsphase plombiert sind. Dieser Sedimentation muß eine tiefgreifende Erosion in die Deckenschotter vorangegangen sein. Die Deckenschotteroberfläche reicht wahrscheinlich nicht wesentlich über die größten Tertiärhöhen nördlich und südlich der Tertiärrinne hinaus, wobei Nagelfluhbildungen bevorzugt im Rinnenbereich vorkommen.

An der Südflanke des Starzenbachgrabens sind bei etwa 615 m ü.NN stark konsolidierte und durch Eisdruck tektonisierte Feinsedimente aufgeschlossen, die mit dem in Abbildung B14 hervorgehobenen Feinsedimenthorizont um 600 m ü.NN zusammenzuhängen scheinen und, vom Gletschereis abgeschürft, leicht zum Seebecken abfallen.

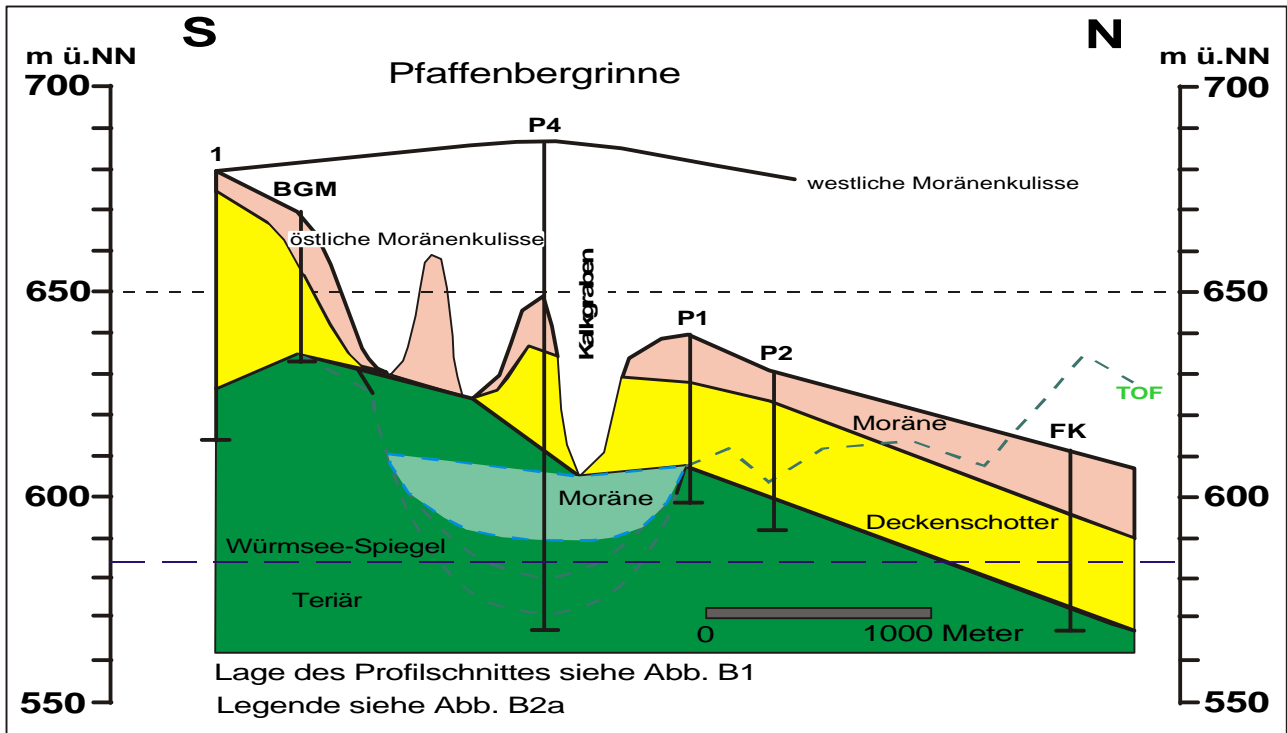


Abb. B13: Nord-Süd Profilschnitt am westlichen Würmsee-Zungenbeckenrand bei Tutzing

Die an der Geländeoberfläche nicht sichtbare Pfaffenbergrinne (gestrichelte Tertiäroberfläche) liegt in dieser Ansicht z.T. verdeckt hinter, also westlich eines nach Norden abfallenden Tertiärrückens, in den Kalk-, Bareisl- und Martelsgraben eingesenkt sind. Etwa Niveaugleich mit der Sohle des Kalkgrabens plombieren wasserstauende Quartärablagerungen die Pfaffenbergrinne. An den Bohrungen BGM, FK, P1 und P2 erkennt man über der Tertiäroberfläche jeweils eine ca. 20 m mächtige Wechsellagerung von Schotter- und Nagelfluhlagen (gelb). In Bohrung FK sind um 590 m ü. NN noch sandige Tone eingeschaltet (?Stillwassersedimente). Überdeckt wird diese Abfolge von 10-15 m schluffigen Kiesen bis kiesigen Schluffen (Moräne, hellrot). In P1 und P2 fließt Grundwasser in der untersten, überwiegend unverfestigten Schotterlage mit ca. 5-8 m Mächtigkeit bei 610-612 m ü. NN ungespannt über dem Tertiär. An der Grenze Tertiär/Quartär treten seeufernah am Fuß des o.g. Tertiärrückens mehrere ergiebig schüttende Quellen bei 610 m ü. NN aus. Am Bahnhof Feldafing sind um 645 m ü. NN aus einer Baugrube mindestens 5 Meter mächtige Seetone bekannt, die weiter westlich auch in geoelektrischen Messungen angezeigt wurden und auf einen Zusammenhang mit den Grundwasserstauern unter den Wieling Traubiger Schottern hinweisen ("Wieling-Maisinger-Niveau", Kap. BI. 1).

In den Bohrungen BGM, P1 und P2 sind über der Tertiäroberfläche lagenweise verfestigte Mindeldeckenschotter erbohrt (gelb), die, wie im Kalkgraben anstehend, von Würmmoräne (hellrot) überdeckt werden, während Rißsedimente hier am unmittelbaren Zungenbeckenrand offensichtlich kaum erhalten geblieben sind. Die Bohrung FK liegt bereits im Bereich der nach Nordosten verlaufenden Pfaffenbergrinne. Sandige Kiese und Tone über dem Tertiär korrelieren ungefähr mit der vermutlich nachmindelzeitlichen Rinnenfüllung im Südwesten (P4). Die sandigen, nur gering verfestigten Kiese darüber könnten rißbeiszeitlich entstanden sein. Bis zur Geländeoberfläche folgt Würmmoräne.

Ergänzende Erläuterungen zu Profil B3 - Bereich Pfaffenbergrinne:

Im Profilschnitt B3 ist zwischen dem Deixlfurter- (ca. 650 m ü. NN) und Feldafinger Tertiär-Hoch (ca. 635 m ü. NN) eine über 1 km breite Rinne zu erkennen (Pfaffenbergrinne), die bis mindestens 600 m ü. NN reicht und vollständig mit Quartärsedimenten verfüllt ist. An der Geländeoberfläche darüber ist sie deshalb nicht zu erkennen. In der Rinnenmitte (P4, Abb. B13) scheinen über der Tertiäroberfläche zwei bis zu 10 m mächtige Seetonlagen mit sandig-schluffiger Zwischenschicht und Überdeckung auf, über die rund 50 m unverfestigte, überwiegend sandig-kiesige Schichten folgen. Bis zur Geländeoberfläche liegt kiesige bis schluffige Moräne. Obwohl sich die Bohrungen 22 bis 25 unmittelbar nördlich bzw. südlich von P4 befinden, zeigen sie in größeren Profilschnitten unterhalb ca. 640 m ü. NN einen deutlich von P4 abweichenden Schichtenbau. Die genannten Bohrungen haben das Tertiär nicht erreicht. Bohrungen 22 und 24 enden in kiesig-tonigen Schichten (?Moräne), über den ca. 30 m, wahrscheinlich wasserführende Nagelfluh liegt, die Bohrung 23 (nahe P4) bei ungefähr 627 m ü. NN in ca. 10 m mächtigen Tonen.

Die Deckenschotteroberfläche (Nagelfluh) liegt am Südrand der Pfaffenbergrinne bei 660 m ü. NN, am Nordrand bei 650 m ü. NN. Dazwischen sind im Rinnenprofil auf ungefähr 1-1,5 km Nord-Süd-Erstreckung in den Bohrungen P4 und 23 keine Deckenschotter erbohrt. Die Oberfläche der wasserstauenden Quartärfüllung (610-615 m ü. NN) grenzt im Norden der Rinne ungefähr in gleicher Höhenlage an die Tertiäroberfläche, so daß bis zur Bohrung 20 eine relativ ebene Grundwassersohlschicht (Quartär+Tertiär) auftritt. Weiter im Norden, zwischen Bohrung 20 und 17, steigt die Stauer Oberfläche (Moräne) bis knapp 640 m ü. NN an. Es zeichnet sich eine

bis zu 5 km breite, meist schottererfüllte flache Rinne ab, in der dem Deckenschotter im Süden (Bohrungen 24-26, 29, 30) etwa 5 m mächtige schluffig-tonige Schotter (?Moräne) auflagern und darüber mehrere Meter unverfestigte Schotter folgen, die sich mit zunehmender Mächtigkeit nördlich der Pfaffenberggrinne fortsetzen. Im Bereich der Bohrung P4 erscheinen sie nicht, weil sie dort vielleicht, wie bereits die tieferliegenden Deckenschotter, ausgeräumt und durch jüngere Ablagerungen ersetzt worden sind. Die Schotter werden v.a. im Süden wiederum von 5-10 m mächtigen moränenartigen Bildungen überdeckt, nördlich der Pfaffenberggrinne keilt dieser Horizont aus. Stellenweise treten oberflächennah geringmächtige Feinsedimentlagen auf (?Seetone).

Die Moräne unter den verfestigten, mindeleiszeitlichen Deckenschottern (?Vorstoßschotter) in Bohrung 22, 24 und über dem Tertiär in P4 (Abb. B13) ist möglicherweise günzeiszeitlich oder älter, die schluffigen Kiese über der Deckenschotteroberfläche sind wahrscheinlich mindeleiszeitliche Moräne. Die darüber folgenden Schotter könnten rißzeitliche Ablagerungen sein. Sie werden v.a. im Süden noch von (?Riß)Moräne überlagert, nach Norden werden sie mächtiger. Die Eintiefung in die Deckenschotter zwischen Bohrung 22 und 24 ist vermutlich durch Abschmelzwässer des Mindelgletschers erfolgt. Ihre Verfüllung mit glazio-fluviatile Ablagerungen ist wahrscheinlich spätmindleiszeitlich, in einer zweiten Phase spätrißeiszeitlich entstanden. Die tieferliegenden Feinsedimente im Raum Deixlfurt könnten spätrißglaziale Seetone sein. Darüber liegen würmeiszeitliche Schotter und Moräne, stellenweise auch spät- und nachwürmeiszeitliche Seetone. Ähnliche Bildungen, aber mit geringeren Mächtigkeiten, greifen auch nach Norden über.

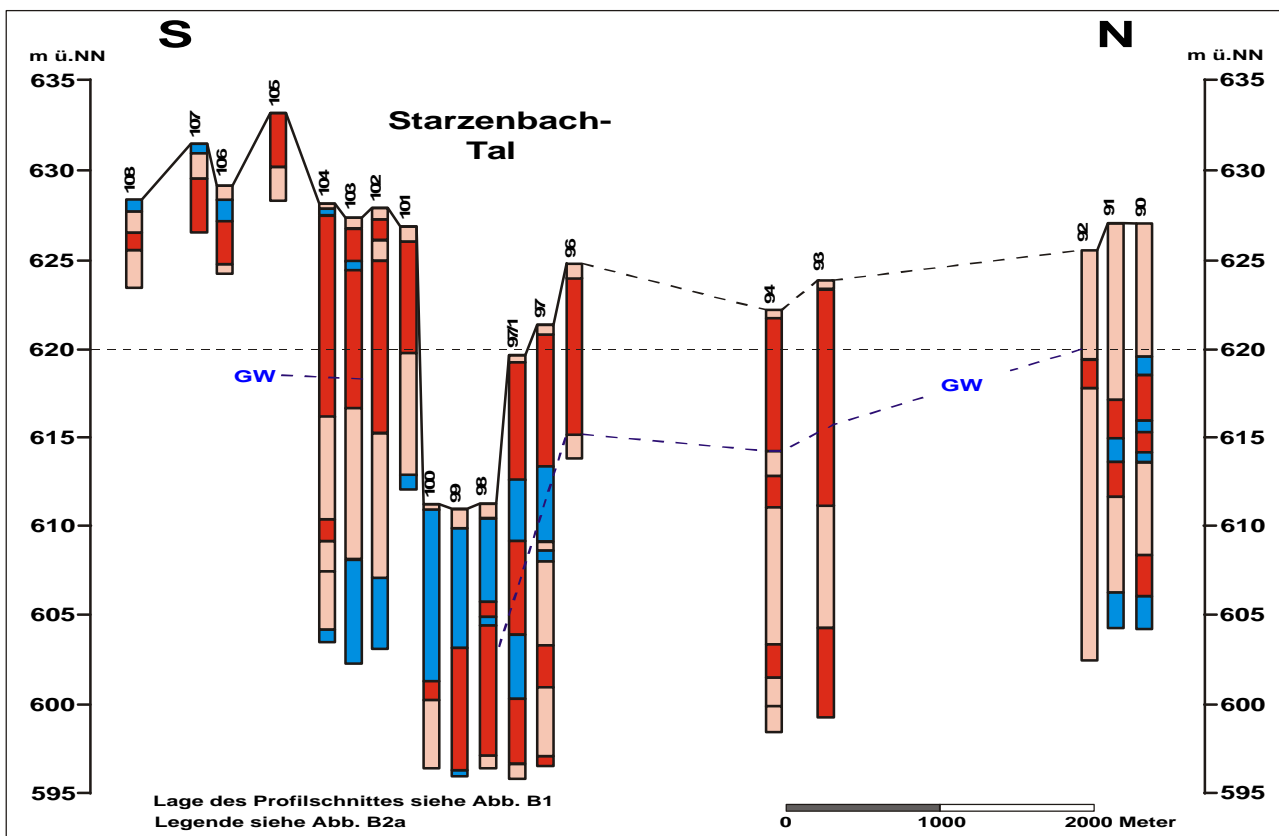


Abb. B14.: Nord-Süd Profilschnitt durch das Starzenbach-Tal

In den Bohrungen 92 bis 108 verläuft zwischen ca. 611 bis 625 (Untergrenze) und ca. 620 bis 633 m ü. NN (Obergrenze) eine Schicht teils sandiger, gering schluffiger Kiese, die von schluffreichen Schichten über- und unterlagert wird (Moräne). Kiese und hangende Moräne sind an der Südseite des Starzenbachgrabens aufgeschlossen. Die Kiese sind geschichtet (Sand mit Mittel- und Grobkieslagen), kristallinreich und lagenweise zu Nagelfluh verfestigt (keine Deckenschotter, wie ursprünglich von CONRADI 1986 dort kartiert). In den Bohrungen 90, 91 und 97/2 bis 104 befindet sich unter der o.g. liegenden Moräne zwischen ca. 612,5 und <596,5 m ü. NN ein schluffig-toniger bis schluffig-sandiger Horizont (Feinsediment-Horizont), der in einigen Bohrprofilen von kiesig-schluffigen Sedimenten unterlagert wird.

Oben auf liegt Würmmoräne, die unterlagernden Kiese sind wahrscheinlich würmeiszeitlich entstanden, können aber auch rißeiszeitliche Bildungen sein wie auch die liegende Moräne. Der Feinsediment-Horizont darunter ist entweder spät-rißeiszeitlich oder früher gebildet worden. Die unterste schluffig-kiesige Lage könnte vor-rißeiszeitliche Moräne sein. Tertiär ist vielleicht nahe der Endteufen in den Bohrungen 99/101 erfaßt.

2.2 Tertiäroberfläche

Die nach Bohrangaben, geoelektrischen Messungen und Oberflächenaufschlüssen konstruierte Karte der Tertiäroberfläche (Abb. B15) zwischen Tutzing und Possenhofen am Würmseebeckenrand zeigt einen in mehrere Kuppen gegliederten Höhenzug, der an der Geländeoberfläche von Jungmoränenzügen nachgeformt wird. In diesen Höhenzug greift eine vom Seebecken nach Südwesten ansteigende, zweigeteilte Rinne über (Pfaffenbergrinne), deren südlicher Zweig im Gebiet um den Deixlfurter See wurzelt, während ihr nördlicher Zweig in Richtung Traubing zielt. Grundwasserübertritte aus dem Wieling-Maisinger Becken (Abb. B10) in den nördlichen Rinnenteils wären danach bei Grundwasserständen wenig über 610 m ü.NN möglich.

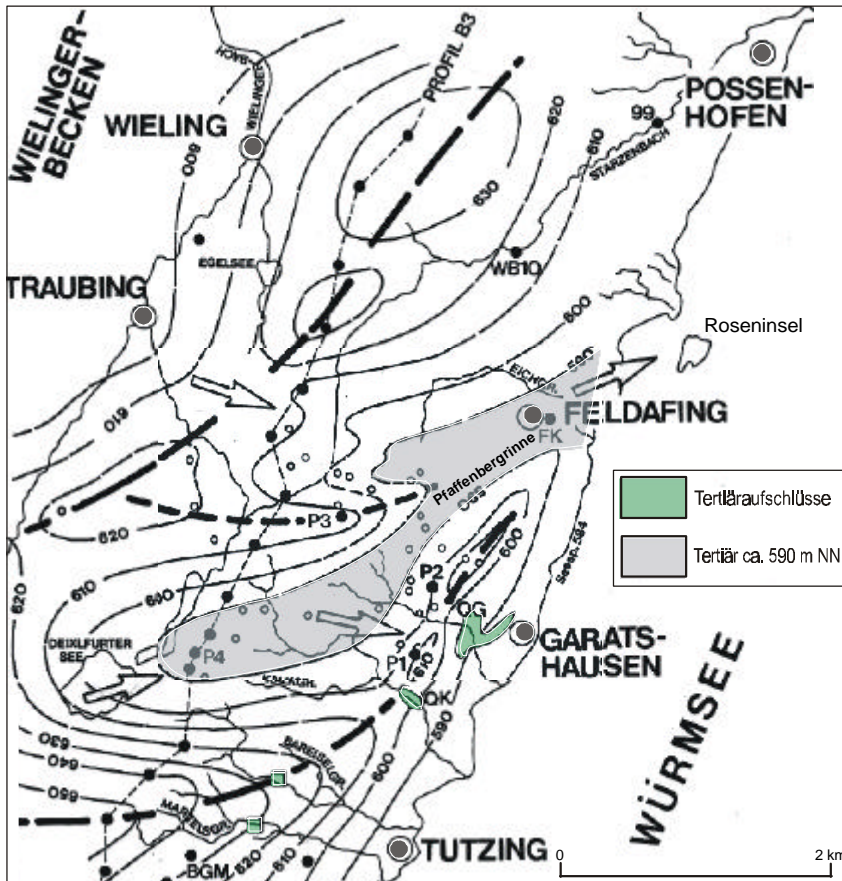


Abb. B15: Die Tertiäroberfläche zwischen Tutzing und Possenhofen im Bereich der Pfaffenbergrinne.

Die Wasserscheide an der Tertiäroberfläche zwischen dem Wieling-Maisinger Becken und der Pfaffenbergrinne verläuft über den kuppigen Höhenzug um 620-630 m ü.NN. Bereiche um 610-615 m ü.NN markieren potentielle hydraulische Verbindungen beider Gebiete. Im Bereich der westlichen Pfaffenbergrinne weichen ober- und unterirdisches Einzugsgebiet voneinander ab. Zwischen den Bohrungen P4/P1/P2 und FK scheint ein flacher "Talboden" zu existieren ($\pm 575-580$ m ü.NN), der ungefähr mittig durch einen Sporn verengt ist, welcher sich von Westen nach Osten in die Rinne verliert und diese in einen südlichen und einen nördlichen Teil untergliedert. Ein bis ± 25 Meter über den Rinnenboden aufragender Tertiärriedel trennt die Pfaffenbergrinne im Osten vom Würmsee. Dieser Riedel, wird im Bereich der südlichen Teilrinne von zwei auf das Seebecken gerichtete Gräben geschnitten (Kalkgraben und Graben nördlich davon) durch die hier das Grundwasser hauptsächlich zu den Quellen am Seeufer gelenkt wird. Die in diesem Bereich auffällige Verfestigung (Kalkausfällung) der Deckenschotter kann auf diesen starken Wasserandrang zum Seebecken hin zurückgeführt werden. Die südliche Teilrinne wurzelt im Raum um den Deixlfurter See. Die Tertiäroberfläche wurde hier in der Bohrung P4 bei 571 m ü.NN erreicht. Allerdings befindet sich darüber Moräne (s.o.), so daß die wirksame Stauoberfläche bei ca. 610-615 m ü.NN liegt. Die nördliche Teilrinne setzt ungefähr im Gebiet südöstlich von Traubing ein. Die Bohrung P3 liegt offensichtlich im Bereich des o.g. Spornes am Südrand dieser Teilrinne, in deren Unterlauf keine nennenswerten Nagelfluhen bekannt sind. Sie zielt in Richtung Feldafinger Kaserne (Bohrung FK) und weiter auf die Roseninsel (Grundwasserübertritt in den See). Der Grundwasserstrom am Würmsee-Zungenbeckenrand ist generell von Westen zum Würmsee (Vorfluter) gerichtet.

2.3 Grundwasservorkommen, Quellschüttungen und Oberflächenabfluß

Zwischen P1/P2 und den Quellaustritten westlich von Garatshausen (Abb. B15, QG und QK) fällt ein zusammenhängender Grundwasserspiegel in östliche Richtung zum Seeufer ab. Dabei wird der seeuferparallele Tertiärrücken nicht vollständig überströmt, so daß nur im Bereich der Bacheinschnitte Grundwasser zum See abfließen kann (Quellaustritte, Vernässungen). Ein Teilstrom wird vermutlich in die nach Nordosten verlaufende Pfaffenbergrinne abgedrängt. Die Grundwasserhöhen in den Bohrungen P1/2 (ca. 610 m ü.NN) liegen deutlich niedriger als in den Bohrungen P3/P4 (ca. 632 bzw. 660 m ü.NN). An P4 wurde 1991 der Grundwasserstand bei 678 bzw. 660 m ü.NN gemessen. Der höhere Wert deutet auf Zustrom oberflächennahen Grundwassers, wahrscheinlich aus dem Gebiet des Deixlfurter Sees, wo sich Stauer- und Grundwasseroberfläche um 680-700 m ü.NN befinden (Abb. B3, B44). Bei P4 fungiert als tiefster Grundwasserstauer entweder Moräne bei ca. 642 m ü.NN oder Seeton bei 610 m ü.NN. Die nahegelegene Bohrung 24 verzeichnet "wasserführende Nagelfluh" im Profilabschnitt von 610 bis 642 m ü.NN.

Ob die in den Bohrungen 21 bis 23 und in den geoelektrischen Widerstandsprofilen S1-S3 aufscheinenden quartären Feinsedimente zwischen dem südlichen Rinnenteil und der Bohrung P3 im Bereich des nach Osten abfallenden Tertiärsporns einen zusammenhängenden Grundwasserspiegel zulassen, bleibt unklar. Deutlich wird allerdings, daß dieser Sporn keine wirksame Grundwasserscheide bildet, also bei den o.g. Wasserständen überströmt werden kann. Die gemessenen Grundwasserhöhen lassen vermuten, daß in beiden Rinnenteilen das Grundwasser mit ähnlichem Gefälle, aber stark abnehmender Mächtigkeit (P3 ca. 20 m, P1/P2 ca. 6-9 m, P4 20-60 m), die aus der Verflachung des Stauers resultiert, nach Osten zu den Quellen und nach Nordosten in den Vorfluter Würmsee (584 m ü.NN) abfließt. Der nördliche Teilstrom könnte partiell aus dem südlichen Bereich des Wieling-Maisinger Beckens gespeist werden, während der südliche Teilstrom wahrscheinlich bis in den Raum um den Deixlfurter See reicht. Ein breiter, zur Ilkahöhe ziehender Tertiärsporn südlich der Pfaffenbergrinne, ist im Bereich des Profilschnittes Abbildung B3 bis über 670 m ü.NN moränenbedeckt. Diese Moräne bildet dort den wirksamen Stauer und verhindert einen größer zusammenhängenden Grundwasserspiegel über diesen Sporn hinaus nach Süden.

Zwischen Tutzing und Garatshausen/Possenhofen treten im Bereich der Tertiär-Quartär-Grenze um 610 m ü.NN mehrere ergiebig schüttende Schichtquellen aus, die lange Zeit der lokalen Trinkwasserversorgung dienten. Als ergiebigste Quellen sind Arco-, Tutzinger-, Feldafinger- und Kalkgraben-Quelle zu nennen. Ihre Gesamtschüttung beträgt ca. 36 l/s (0,036 m³/s; *BGU 1990; Landratsamt Starnberg 1986** - Arco-Quelle ca. 8 l/s; Tutzinger Quelle ca. 6 l/s; Feldafinger Quellen ca. 16 l/s*; Kalkgraben-Quelle ca. 6 l/s). Dies entspricht rund 1,1 Millionen m³/a. Kleinere Bachaustritte und diffuse Wasseraustritte (Vernässungen) um 600 m ü.NN über Seeton, Moräne oder Tertiärmergel in Seeufernähe zwischen Niederpöcking und Possenhofen/ Starzenbach bis Feldafing lassen dort einen breiten Grundwasserabstrom zum Würmsee vermuten.

Nach Pumpversuchsaufzeichnungen an den Meßstellen P1-P3 (*BGU 1991*) sind im Bereich der Pfaffenbergrinne Grundwasserentnahmen von mindestens 1 Mio. m³/a. l/s möglich. Allerdings ist während des Pumpversuchs nicht überprüft worden, ob dabei die Schüttung der grundwasserstromabwärts liegenden Quellen nachläßt. An den Quellen bei Garatshausen wurden bis 1991 rd. 390.000 m³ jährlich entnommen.

Langjährige Quellschüttungs-Aufzeichnungen (*BLfW*) an den Feldafinger Quellen (Garatshausener- und Taxis-Quelle) zeigen keine größeren Schüttungsbreiten - Minima, Maxima und Mittel liegen eng zusammen (Garatshausener Quelle ca. 14 l/s, Taxisquelle ca. 2 l/s), woraus abgeleitet werden kann, daß im Vergleich mit dem relativ kleinen oberirdischen Einzugsgebieten ein deutlich größeres unterirdisches existiert. Die Schüttungen der Quellen zwischen dem Kalkgraben- und Starzenbachgebiet liegen mit je 0,013 m³/s ähnlich hoch wie der Grundwasserabfluß im Kalkgraben (Kap. BII.4). Deshalb, und da wahrscheinlich ein weiterer Grundwasseranteil "unsichtbar" in den See abfließt, muß angenommen werden, daß die verfügbare Grundwassermenge in diesem Gebiet noch erheblich größer ist als aus den o.g. Quellschüttungs- und Fördermengen ersichtlich wird.

Auch die Schwankungen des Oberflächenabflusses (MQ) und des Grundwasseranteils darin (MQ_G) lassen Rückschlüsse auf die Größe des Einzugsgebietes und auf die Fließrichtung des Grundwassers zu. Da MQ- und 6-MoMNQ Werte sowie -Ganglinie von Kalkgraben und Starzenbach noch detailliert in Kapitel BII.4 diskutiert werden, ist an dieser Stelle nur das wichtigste daraus angeführt:

Die Abflußkurven (MQ) von Starzenbach und Kalkgraben Bach (Abb. B16) sind typisch für ein Gelände wie dem Seeuferbereich zwischen Tutzing und Possenhofen mit vorwiegend wasserhemmenden Deckschichten (Moräne) und/oder für kleine Einzugsgebiete (F_N Starzenbach 4,7 km², F_N Kalkgraben 1,4 km²). Im Starzenbachgebiet liegen die wichtigsten Grundwasser-Speichergesteine offensichtlich oberflächennah (Abb. B14), ein größerer Grundwasserzustrom aus benachbarten Einzugsgebieten ist nicht zu erkennen. Starzenbach und Kalkgraben folgen auch im Sommer nur leicht abgeschwächt dem Niederschlagsgang, so daß man zuerst daraus schließen könnte, sie speisten sich weitgehend direkt aus den Niederschlägen, wogegen Passagen durch einen Grundwasserträger nur von kurzer Dauer sind. Doch gibt es in beiden Gebieten, besonders aber im Kalkgrabengebiet, Anzeichen langsamer, von kurzzeitigen Einflüssen unabhängiger Veränderungen im Grundwasserabfluß, die nur durch Grundwasserzustrom aus dem angrenzenden Niederschlagsgebiet (Maisinger Bach) zu erklären sind (Kap. BII.4).

2.4 Wasserbeschaffenheit

Einige Meßparameter in Tabelle B3 belegen auffallende Abweichungen zwischen den Meßstellen P1/P2 und P3/P4. So ist der Sauerstoffgehalt des Wassers bei P3/P4 deutlich niedriger als bei P1/P2, es herrschen dort besonders reduzierende Verhältnisse. Bei P1 und P2 wurden Nitratgehalte von 3,96 und 7,1 mg/l gemessen, bei P3/4 war Nitrat nicht nachweisbar. An P3 ist die elektrische Leitfähigkeit und der Hydrogencarbonat-Gehalt, an P3/P4 der Eisen- und Mangangehalt höher als an P1/P2.

Nitrat- und Sauerstoffgehalte stehen in ursächlichem Zusammenhang miteinander, da bei Sauerstoffgehalten von 5 mg/l und niedriger bereits mikrobieller Abbau von Nitrat (NO₃⁻) zu Nitrit (NO₂⁻) und weiter zu Ammonium ((NH₄⁺) stattfindet und dabei Nitrat nahezu vollständig reduziert werden kann. Die genannten Abbauprodukte kommen deshalb in den Wässern von P1 und P2 kaum vor, wogegen bei P3/P4 die Ammonium-Werte erhöht sind.

Tab. B3: Grundwassercharakteristik an den Meßstellen P1-P4 bei Tutzing

	P1	P2	P3	P4
Datum	19.04.91	30.04.91	15.05.91	10.01.93
pH-Wert	6,3	6,1	5,9	7,5
Temp. EC	9,0	10,1	9,4	10,1
LF _{25€} µS/cm	550	555	637	507
O ₂ mg/l	6,2	6,6	2,1	0,8
NH ₄ ⁻ mg/l	0,01	0,04	0,19	0,08
NO ₂ mg/l	0,02	0,02	0,01	n.n.
NO ₃ mg/l	3,96	7,1	n.n	n.n.
Fe mg/l	< 0,01	< 0,01	0,26	0,05
Mn mg/l	< 0,03	< 0,03	0,11	0,07
HCO ₃ ⁻ mg/l	385,5	370,5	434,9	356,1

n.n. = nicht nachweisbar

BGU (1991/1993)

Tab. B4: Wassercharakteristik der Quellen bei Tutzing und Feldafing und im Kalkgraben-Bach

	Arco-Quelle	Tutzinger-Qu.	Feldafinger-Qu	Kalkgraben-Qu	Kalkgraben
pH-Wert	7,3	7,4	7,2	7,2	7,5
LF _{25€} µS/cm	540	558	584	563	556
O ₂ mg/l	n.b.	n.b.	7,8 *	n.b.	n.b.
NO ₃ mg/l	3,4	3,0	3,9	7,8	6,4
Cl ⁻ mg/l	2,9	3,4	n.b.	6,8	13,2
SO ₄ ²⁻ mg/l	6,6	8,3	n.b.	19,1	21,5

n.b. = nicht bestimmt

BGU (1989/1990) * WATEC (1990)

Tab. B5: Gehalte von Tritium und Sauerstoff-18 an den Quellen Garatshausen und der nördlichen Taxis-Quelle bei Feldafing

	Quelle Garatshausen (Südliche Quelle)	Taxis-Quelle (Nördliche Quelle)
³ H (Tritium) in TU	25,0 ± 3,1	28,7 ± 3,5
ä ¹⁸ O (Sauerstoff) in ‰	- 10,54	- 10,48

WATEC (1990)

Als Ursache für die unterschiedliche Wasserbeschaffenheit können bei P1/P2 geringermächtige Deckschichten (höhere Sauerstoffwerte), intensivere landwirtschaftliche Nutzung im Umfeld oder/und Zufluß von Bachwasser aus dem Kalkgraben gelten (höhere Nitratwerte). Reduzierende Verhältnisse, leicht torfiger Geruch und Verkeimung des Wassers bei P3/P4 lassen eine Herkunft aus den Moor-gebieten um den Deixlfurter See vermuten.

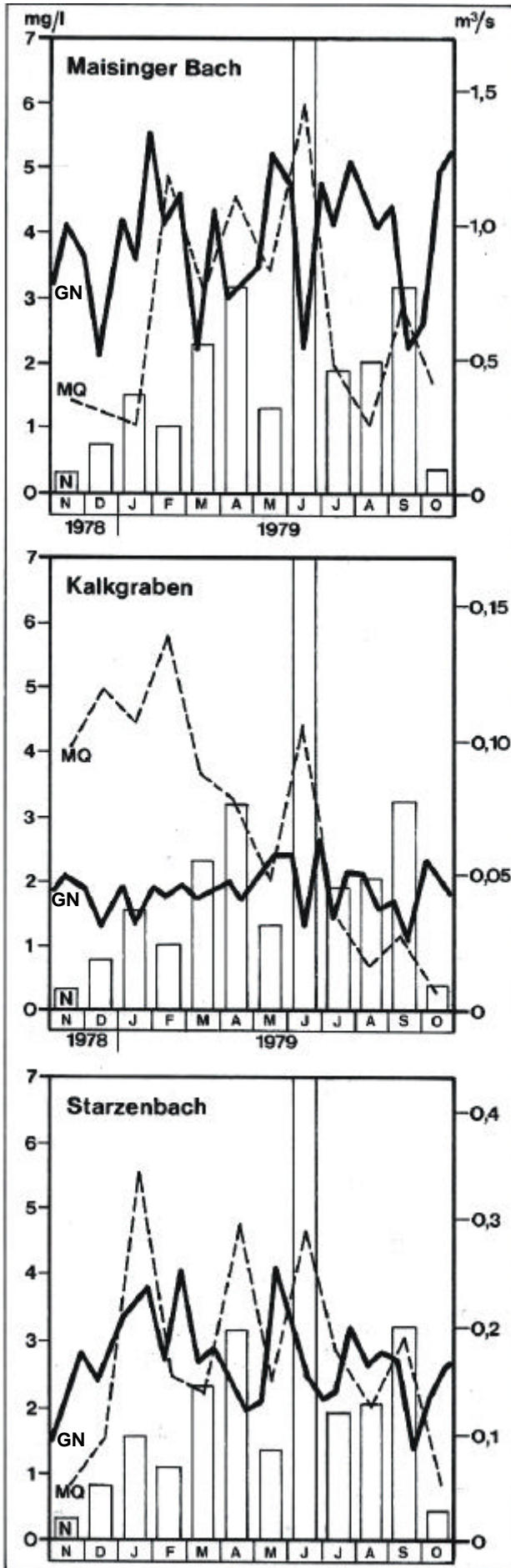
Der Chemismus an der Tutzinger-, Arco- und Feldafinger Quelle ist nach den Werten in Tabelle B4 sehr ähnlich, die Wässer entstammen offensichtlich einem zusammenhängenden Grundwasservorkommen. Besonders fallen die niedrigen Nitratwerte zwischen 3,0 und 7,8 mg/l auf. Die erhöhten Chlorid-, Sulfat- und Nitratgehalte an der kleinen Quelle südlich des Kalkgrabens lassen eine Beeinflussung durch den nahen Kalkgaben-Bach erkennen (z.B. durch landwirtschaftliche Düngung und Straßensalzung). Ein direkter Vergleich des Wassers an den Meßstellen P1-P4 (Tab. B3) mit dem an den Tutzinger und Feldafinger Quellen und am Kalkgraben-Bach (Tab. B4) ist mangels geeigneter Analysenergebnisse nur anhand der pH-Werte und der elektrischen Leitfähigkeiten möglich. Dabei zeigt sich, daß besonders die Werte an P3 (el. Leitfähigkeit) und P4 (pH-Wert) von den übrigen abweichen.

Quellwässer und das Grundwasser der quellennahen Meßstellen P1 und P2 sind ohne Zweifel einem gemeinsamen Grundwasservorkommen zuzuordnen, vermutlich steht auch das Grundwasser der entfernteren und höherliegenden Meßstellen P3 und P4 mit diesem Grundwasservorkommen in Verbindung, obwohl dort deutliche Einflüsse oberflächennaher Wässer aus anmoorigen Gebieten zu erkennen sind. Daß sich diese Einflüsse nicht deutlicher an den seenahen Quellen und Meßstellen abzeichnen, kann mit Verdünnungseffekten, besonders bei P3 auch mit vermehrtem Abstrom an den Quellgebieten vorbei nach Nordosten in Richtung Feldafing erklärt werden.

Die mittlere Verweilzeit des Quellwassers (Garatshausener- und Taxis-Quelle) wurde anhand von Tritium- und $\delta^{18}\text{O}$ - Gehalten abgeschätzt (Tab. B5). Die Tritiumgehalte lassen auf eine mittlere Verweilzeit von 2 bis 5 Jahren oder ca. 90 Jahren schließen. Aus den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten und ^2H -Werten ist keine Beeinflussung durch Verdunstung bzw. durch infiltrierte Oberflächenwässer abzulesen. Demnach stammen die Wässer wahrscheinlich aus einem gemeinsamen, größeren Einzugsgebiet und werden durch mächtigere, gering durchlässige Deckschichten geschützt.

Im Rahmen einer limnologischen Studie über den Würmsee/Starnberger See (*BLFW 1982*) wurde von Januar 1978 bis Dezember 1979 durchschnittlich einmal monatlich die Konzentrationen an mineralischen Stickstoff (NO_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) in mehreren, dem See zufließenden Oberflächengewässern gemessen. Setzt man voraus, daß die Konzentration des anthropogenen, aus dem Boden ausgewaschenen Stickstoffanteils entsprechend der Niederschlagsmenge variiert, müßten Abweichungen davon, wie sie aus der Gegenüberstellung der Stickstoff-Ganglinien des Kalkgrabens, des Starzenbaches und des Maisinger Baches (1978/79) mit den jeweiligen Abflußganglinien (MQ) und Werten der monatlichen Niederschlagshöhen (Station Starnberg) in Abbildung B16 hervorgehen, auf die aus dem Grundwasserzustrom stammende Stickstofffracht zurückzuführen sein.

Danach ist die Stickstoffbelastung im Kalkgraben kaum an den Oberflächenabfluß bzw. unmittelbar an die Niederschläge und damit nicht an eine rasche Nitrat Auswaschung im Einzugsgebiet gekoppelt, wie dies offensichtlich im benachbarten Starzenbach der Fall ist. Vielmehr resultiert sie eher aus einem kontinuierlichen Zustrom (Grundfracht) nitratbelasteten Grundwassers, für dessen Ursprung die anmoorigen Gebiete um den Deixlfurter See in Frage kommen, wogegen die Belastung im Starzenbach wahrscheinlich überwiegend aus landwirtschaftlicher Düngung in der unmittelbaren Umgebung stammt. Die ebenfalls in Abbildung B16 gezeigte Ganglinie des Maisinger Baches wird im Kapitel B1.3 erwähnt.



Der Maisinger Bach (Georgenbach) wies die höchsten Gesamtstickstoff-Konzentrationen (GN) der am Würmsees-Westufer beprobten, hier genannten Bäche auf. Die durchschnittliche Stickstoffkonzentration beträgt ungefähr 4 mg/l, wobei der Hauptanteil als Nitrat vorlag. Die Konzentrationsschwankungen sind beträchtlich und über den Meßzeitraum recht konstant verteilt, wobei im Januar und Juli/ August Maxima auftraten den gegenüber der Oberflächenabfluß (MQ) in den Winter- und Sommermonaten absolute Minima zeigt. Dazwischen, im Frühjahr bis Frühsommer, stieg der MQ deutlich an und variierte ähnlich stark wie die Nitratkonzentration. Der Oberflächenabfluß folgt mit geringer Verzögerung den Niederschlägen.

Im Kalkgraben-Bach beträgt die Gesamt-Stickstoffkonzentration (GN) im Mittel um 2 mg/l. Ihre Schwankungen sind schwächer als in den beiden anderen Bächen und folgen nicht dem jahreszeitlichen Gang des Oberflächenabflusses (MQ), der von Dezember 1978 bis Oktober 1979, mit Ausnahme kurzer Anstiege im Februar (Schneesmelze) und Juli (?Starkregenerenisse), kontinuierlich abnimmt. Es ist keine deutliche Abhängigkeit von Oberflächenabfluß (MQ) und Niederschlagsmenge (N) zu erkennen.

Im Starzenbach beträgt die Gesamt-Stickstoffkonzentration (GN) 1979 im Mittel um 2,7 mg/l. Die Schwankungen waren gegenüber jenen im Kalkgraben wesentlich stärker und folgten ungefähr dem Gang der Niederschläge (N) und des Oberflächenabflusses (MQ).

Abb. B16: Vergleich der Nitratfracht (GN) im Wasser von Kalkgraben, Starzenbach und Maisinger Bach (Aus: BLfW 1982, Abb. 90 und 91) mit dem jeweiligen Oberflächenabfluß (MQ) und Monatsniederschlägen (N, Starnberg) im hydrologischen Jahr 1979

2.5 Zusammenfassung

Grenzt man das unterirdische Einzugsgebiet am westlichen Würmseeufer (IV "Würmsee-Westufergebiet", Abb. B61) anhand der Tertiäroberflächenkarte (Abb. B15) ab, so greift es besonders im Bereich der Pfaffenbergrinne großräumig nach Westen in das oberirdische Einzugsgebiet des Maisinger Baches (Wieling-Maisinger Becken) über. Dies betrifft wahrscheinlich nicht nur Grundwasser über der Tertiäroberfläche, sondern auch solches in darüber liegenden Schottern, die unter den Würmmoränen hindurch ziehen (Abb. B3, B14).

An mehreren Quellen und Erkundungsbohrungen am Würmseebeckenrand tritt starker und kontinuierlicher Wasserandrang auf, der über die Menge hinausgeht, die nach dem Niederschlagsgebiet im günstigsten Fall abzuschätzen ist. Isotopenchemische Untersuchungen an Quellwässern deuten auf längere Verweilzeiten des Grundwasser hin. Die meisten der untersuchten Quell- und Grundwässer weisen ähnliche chemische und physikalische Eigenschaften auf, woraus abgeleitet wird, daß sie einem gemeinsamen Grundwasservorkommen entstammen, welches Zustrom aus den anmoorigen Gebieten um den Deixlfurter See erhält und wovon ein größerer Anteil in Richtung Feldafing zum Würmsee abfließt.

Diese Befunde verdeutlichen insgesamt, daß das unterirdische Seeufer-Einzugsgebiet zwischen Tutzing und Possenhofen deutlich größer ist als das oberirdische und weit bis in das angrenzende oberirdische Einzugsgebiet des Maisinger Baches (Georgenbach) reichen muß. Es bestätigt sich auch die Vermutung, daß die von CONRADI (1986) erkannte Pfaffenbergrinne beträchtliche Grundwassermengen in Richtung Würmsee ableitet (Kap. AI.2). Allerdings gibt es keinen Hinweis für eine hydraulische Verbindung mit den bekannten Grundwasservorkommen im Wieling-Maisinger Becken (Kap. BI.1).

3 Das Würmsee-Westufer zwischen Maxhof und Starnberg (Maisinger Schlucht)

Die Stadt Starnberg und einige umliegende Orte werden noch überwiegend aus den Brunnen in der Maisinger Schlucht versorgt, die in unmittelbarer Nähe des Maisinger Baches liegen. Erhöhte Nitratkonzentrationen sowie gelegentliche bakteriologische Belastungen des Brunnenwassers waren Anlaß dazu, daß 1989 etwa 150 m nordwestlich der bestehenden Gewinnungsanlagen ein neuer Brunnen (BIII) und in den letzten Jahren bei Mamhofen eine zusätzliche leistungsstarke Brunnengruppe errichtet wurde (Kap. BI.4). Außerdem ist eine Brunnengruppe bei Hochstadt vorgesehen (Kap. BI.4).

Die in Kapitel BI.1 aufgezeigten hydrogeologischen Gegebenheiten zwischen Deixlfurter- und Maisinger See erbrachten bereits Anhaltspunkte dafür, daß belastetes Grund- und Oberflächenwasser aus dem Wieling-Maisinger Becken zu den Wassergewinnungsanlagen in der Maisinger Schlucht gelangen und u.U. die dort gemessenen Kontaminationen mit verursachen könnten.

3.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten (Abb. B55, B56)

Zwischen Maising und Neusöcking hat sich der Maisinger Bach (Georgenbach) auf einer Strecke von ca. 1 km bis 25 m in die Deckenschotter eingetieft (Maisinger Schlucht) und ungefähr 2,5 km östlich davon, an seiner Mündung in das heute verlandete Würmseebecken (Starnberger See), einen breiten Schwemmfächer geschüttet. An den steilen Flanken der Maisinger Schlucht sind die Deckenschotter meist nur lagenweise zu Nagelfluh verfestigt oder es sind größere Wandpartien übersintert. Ihre Oberfläche erreicht beiderseits der Schlucht 640-645 m ü.NN und ist im Norden durch würmeiszeitliche Grundmoräne, im Süden durch Wallmoräne verdeckt. Auf der südlichen Grundmoränen-Hochfläche setzen die Brunnen der Kaserne "Maxhof" (Fellgiebel-Kaserne) an. Die Talsohle des Maisinger Baches, auf der sich beide Brunnengruppen der Stadt Starnberg befinden, besteht bachnah aus jüngsten Aueablagerungen, und ist direkt unterhalb der Deckenschotterwände auch stellenweise von Hangschutt und größeren Sturzblöcken verhüllt.

Im ca. 1 km östlich und parallel zur Maisinger Schlucht gelegenen "7-Quellen-Tal" kleidet dichte Grundmoräne die Talsohle aus. An der Basis der die Talflanken aufbauenden Deckenschotter treten nahe der Tertiäroberfläche Quellen aus, die für die nahe Fischzuchtanlage genutzt werden.

Zwischen den Brunnen der Kaserne "Maxhof" und den Gewinnungsanlagen in der Maisinger Schlucht existiert sehr wahrscheinlich ein zusammenhängender, wasserführender Nagelfluh-Schotter-Komplex (Deckenschotter) wenige Meter über der Tertiäroberfläche (Abb. B17), der wie o.g. sowohl in der Maisinger Schlucht als auch im "7-Quellen-Tal" austreicht. Bei der unverfestigten Schotter-Talfüllung der Maisinger Schlucht handelt es sich vermutlich um jungpleistozäne, stellenweise moränenüberdeckte Bildungen, in die Grundwasser aus den randlichen Deckenschottern übertritt. Das bei den Brunnen BIV/BV (westliche Brunnengruppe) bis in die schluffigen Kiese reichende teilgespannte Grundwasser kommuniziert zeitweise mit dem Maisinger Bach, das der Brunnen BVII/BII (östliche Brunnengruppe) liegt rund 10 Meter tiefer.

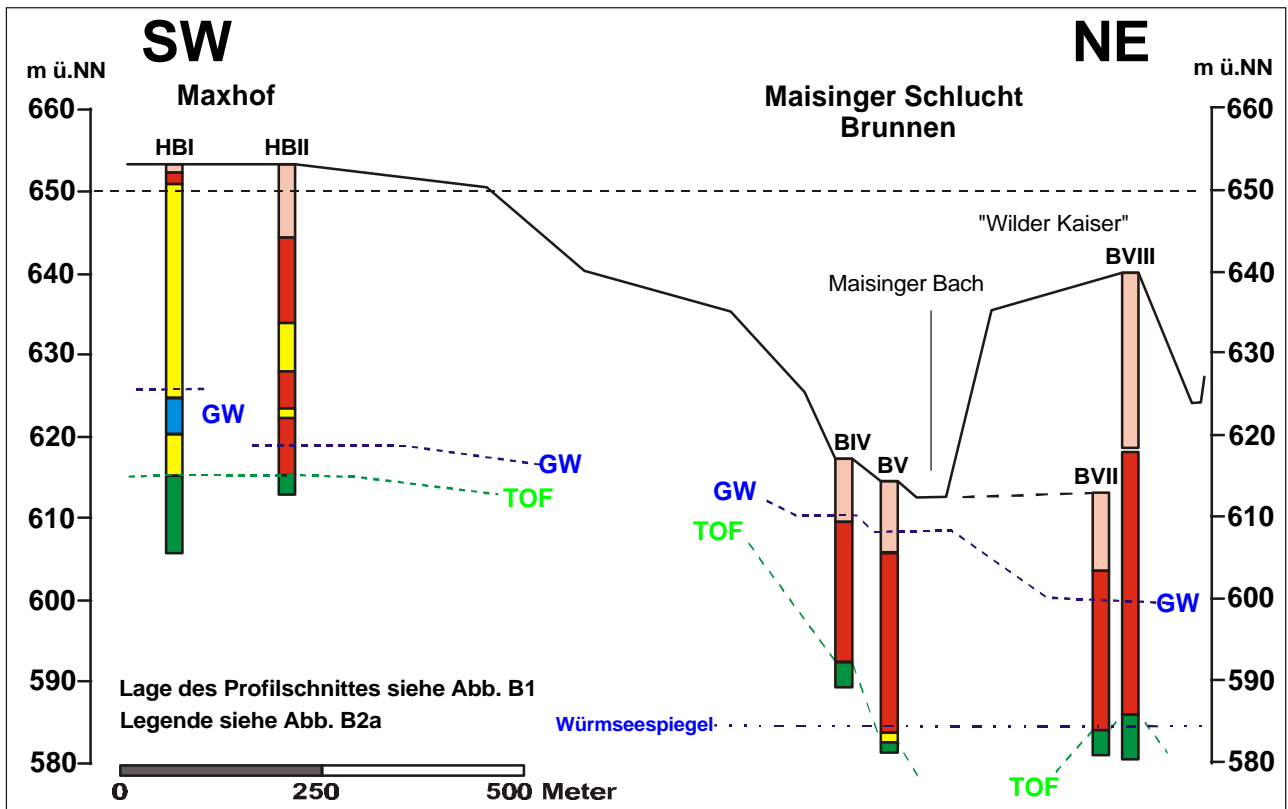


Abb. B17: Nord-Süd Profilschnitt von Maxhof zu den Brunnen in der Maisinger Schlucht

In den "Maxhof-Brunnen" (HB I und II), ca. 700 m südsüdwestlich des Gewinnungsgebietes Maisinger Schlucht, liegt rd. 4-9 m kiesiger Schluff (Moräne) über einer ca. 20-25 m mächtigen Wechselfolge aus lockeren schluffig bis sandigen Kiesen mit Nagelfluhbänken. Die Bohrung HB I zeigt darunter rd. 10 m schwach kiesigen Ton mit Nagelfluhlagen, in Bohrung HB II dagegen überwiegend lockere schluffig-sandige Kiese. Die Tertiäroberfläche liegt bei 615 m ü.NN, das Grundwasser wenige Meter darüber. In den Brunnenbohrungen B IV, V und VII wurden unter rd. 1,5 m Auelehm rd. 5-8 m schluffige Kiese erbohrt (Moräne oder Bachablagerungen/Hangschutt), die bis zur Tertiäroberfläche von rd. 20 m meist sandigen Mittel- bis Grobkiesen ohne nennenswerte Nagelfluhbänke unterlagert werden. Die etwas nordwestlich der östlichen Brunnengruppe (BVII) gelegene Bohrung B VIII ("Wilder Kaiser") durchteuft zuerst rd. 26 m schluffig-sandige Kiese und sandig-kiesige Schluffe (Moräne), darunter folgt rd. 26 m meist sandiger, locker gelagerter Kies.

In der Maisinger Schlucht streicht ein mindeleiszeitlicher Schotter-Nagelfluh-Komplex aus (Deckenschotter). Er bilden allen Anschein nach mit den am "Maxhof" von Würmmoräne bedeckten und dem Tertiär aufliegenden Schottern und Nagelfluhen einen zusammenhängenden Verband. Auch die im "7-Quellen-Tal" austreichenden, meist verfestigten Schotter gehören wohl dazu. Die unverfestigte Schotterfüllung im Untergrund der Maisinger Schlucht, sowie lose sandige Schotter am "Wilden Kaiser" wurden vermutlich später abgelagert. Maisinger Schlucht und "7-Quellen-Tal" sind wahrscheinlich prä-würmzeitlich im Zuge einer bis in den tertiären Untergrund greifenden Eintiefung in die Deckenschotter entstanden.

Das für den Maisinger Bach (Georgenbach) relevante Niederschlagsgebiet beträgt rund 50 km² (Abb. B61). Der gesamte Oberflächenabfluß daraus wird, abgesehen von einer künstlichen Ableitung zum Starzenbach, durch die Maisinger Schlucht in den Würmsee geleitet.

Das Gebiet zwischen Schloßberg und Tutzing Hofplatz im Stadtgebiet Starnberg (Abb. B18), das im Norden an den holozänen Schwemmfächer des Maisinger Baches grenzt, wird hauptsächlich von 10-15 m mächtigen sandigen, z.T. lagenweise verfestigten Schottern aufgebaut, die von geringmächtiger Jungmoräne überdeckt sind. Feinsedimentlagen zwischen 575-595 m ü.NN gehören vermutlich zwei getrennten Bildungsphasen vor und nach der Schotterablagerung an.

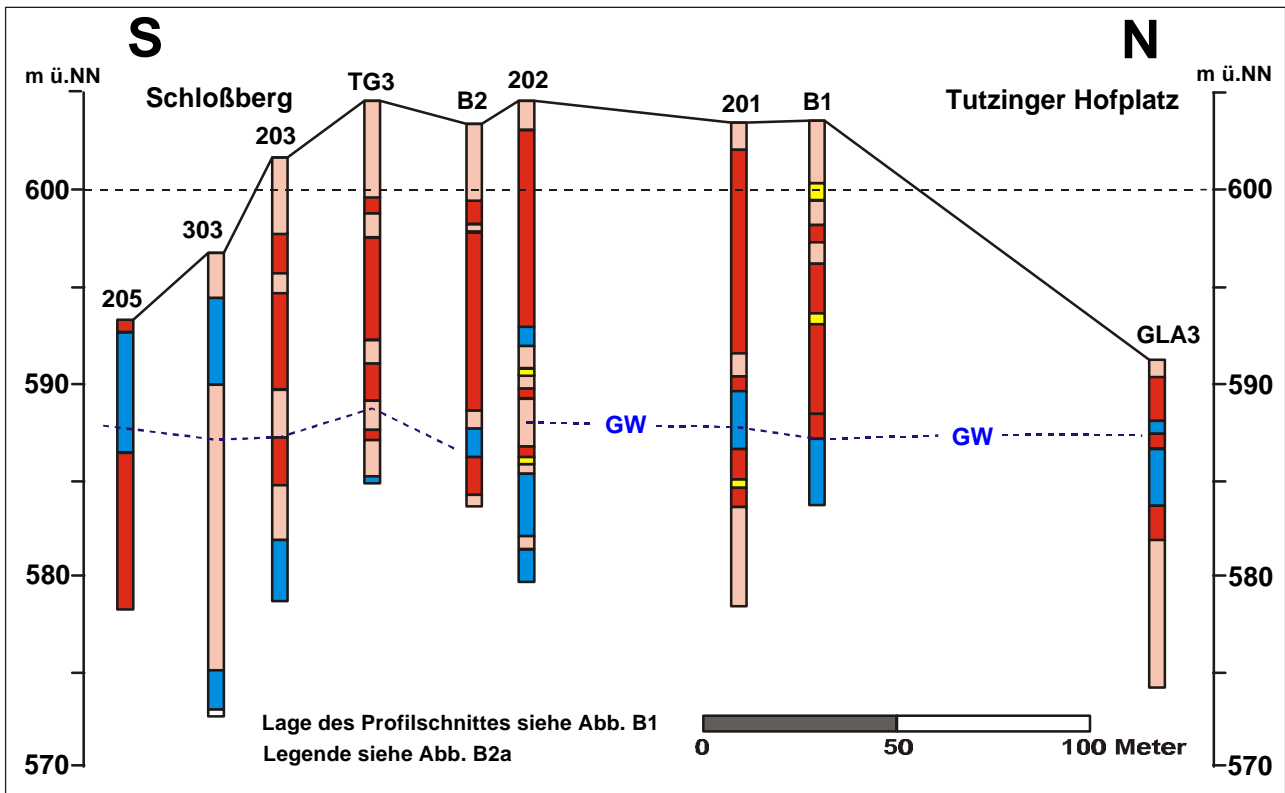


Abb. B18: Nord-Süd Profilschnitt vom Schloßberg zum Tutzinger Hofplatz in Starnberg (TUM 1992)

Auffallend sind ein nahezu geschlossener Schotter-Nagelfluh-Komplex um 580-600 m ü.NN, der in den meisten Bohrungen von geringmächtiger Moräne überdeckt wird, sowie Feinsedimente zwischen ca. 575-595 m ü.NN, die in einigen Bohrungen von Schottern und Moräne unterlagert werden, in anderen nicht durchteuft wurden. Die Bohrungen 202 und 303 zeigen zwei deutlich durch Moräne getrennte Feinsedimentlagen (Ton, Schluff, Sand), der höhere davon um 590 m ü.NN. Eine hier nicht gezeigte Bohrung (PB124) nahe diesem Profilschnitt zwischen B1 und GLA3 traf zwischen 577 und 568 m ü.NN auf schwach kiesige, stark feinsandige Schluffe, darunter folgt schluffiger Ton, darüber eine Schotter-Nagelfluh-Lage. Es kann angenommen werden, daß die genannte obere und die kies- und moränenunterlagerte Feinsedimentschicht zusammengehören, die tiefere aber zu einer zweiten Schicht gehört, die an einigen Stellen auch das Tertiär sein kann. Die Oberfläche des geringmächtigen Grundwassers befindet sich um 587 m ü.NN. Es sind hydraulische Verbindungen zum Grundwasservorkommen in der Maisinger Schlucht anzunehmen.

Bohrung GLA3 setzt unmittelbar am Südrand des Schwemmfächers des Maisinger Baches nahe würmeiszeitlicher Grundmoräne an. Die Schichtenfolge bis 574,13 m ü.NN wird von JERZ (1987a, S.119) als Schwemmkegelablagerungen mit Bachschutt interpretiert. Die wenig östlich der Hauptstraße bis unmittelbar zum Seeufer und von dort ungefähr 1 km nach Süden kartierten Schotter der "Starnberger Eisrandterrasse" (JERZ 1987a, S.57) gelten als hochglaziale Bildungen, die durch das Engtal des Maisinger Baches (und wahrscheinlich etwas später auch aus dem "7-Quellen.-Tal") an Toteis geschüttet wurden und im Norden heute teilweise vom Schwemmfächer des Baches überdeckt werden. Die Schlucht(en) existierte(n) demnach schon im Hochglazial, die lockere Kiesfüllung zwischen 608 m ü.NN und mindestens 584 m ü.NN, in der die Brunnen stehen, ist vermutlich nicht mindeleiszeitlich abgelagert worden. Eine knapp 1 km südlich dieser Schotterterrasse positionierten Bohrung (LfW) nahe dem Seeufer verzeichnet bis zur Endteufe bei etwa 570 m ü.NN nur Kies mit Sand. Es handelt sich offenbar um den gleichen Schotterkörper wie an den Brunnen. Es ist wahrscheinlich, daß Bohrung GLA3 hauptsächlich Schotter dieser Eisrandterrasse zeigt. Der Jungmoränenriegel am Schloßberg und seine südliche Fortsetzung, der quer zu den genannten Talausgängen liegt, wäre dann nachträglich auf die Schotter aufgesetzt. Der höherliegende Feinsedimenthorizont wäre damit jünger als diese Eisrandterrassebildungen, der tieferliegende älter und z.T. dem Tertiär auflagernd.

3.2 Tertiäroberfläche

Das Relief der Tertiäroberfläche im Umfeld der Brunnen in der Maisinger Schlucht (Abb. B19) entspricht in groben Zügen auch dem der rezenten Geländeoberfläche. Die Sohle der eng zum Würmseufer geöffneten „Maisinger Rinne“ liegt um 580 m ü.NN. Entsprechend ihrer Talform muß Grundwasser über der Tertiäroberfläche im Bereich der westlichen Brunnengruppe (Brunnen III-V) vermehrt aus südlicher Richtung (Maxhof) zufließen. Die östliche Brunnengruppen (Brunnen I, VI, VII) und der Brunnen VIII werden dagegen überwiegend aus nördlicher Richtung (Söcking) angeströmt. Der Haupt-Grundwasserstrom wird nach Osten in Richtung Starnberg und zum Würmseer (Vorflut) gelenkt.

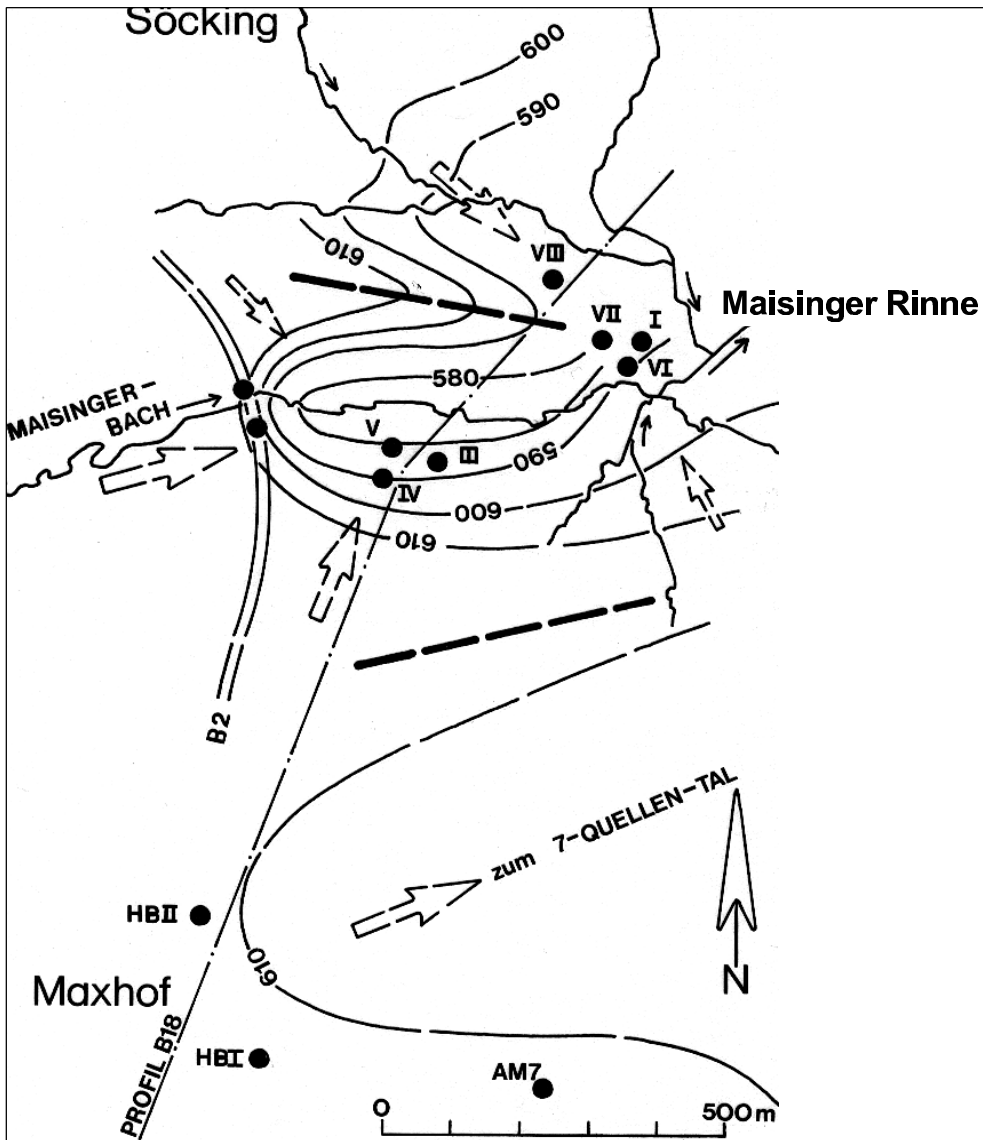


Abb. B19: Die Tertiäroberfläche in der Umgebung der Maisinger Schlucht bei Starnberg

Zwischen den Bohrungen HBI und HBII am „Maxhof“ und der Maisinger Schlucht verläuft ein Rücken mit Höhen über 610 m ü.NN in östliche Richtung. Er trennt zwei etwa parallel angeordnete Rinnen, die zum Würmseebcken führen. Die südliche Rinne (7-Quellen-Tal) ist vermutlich eine heute im Westabschnitt verschüttete ehemalige Entwässerungsrinne aus dem Wieling-Maisinger Becken. Die nördliche Rinne (Maisinger Rinne) wird durch einen schmalen Sporn in zwei Teilrinnen gegliedert, die sich im Bereich der östlichen Brunnengruppe (BI, VI, VII) vereinen. In ihrem südlichen Teil befinden sich die Brunnen III, IV, V (westliche Brunnengruppe), in ihrem nördlichen der neue Brunnen VIII. Der flache Rinnenboden des südlichen Teils liegt bei ca. 580 m ü.NN. Der B2 genannte Straßenabschnitt stellt die Trasse der projektierten neuen Bundesstraße dar.

3.3 Grundwasservorkommen, Quellschüttungen und Oberflächenabfluß

Der Grundwasserspiegel im Umkreis der Maisinger Schlucht (Abb. B17) fällt von ca. 625 m ü.NN an den Brunnen "Maxhof" (HB I/II) nach Norden bis zur ca. 700 m entfernten südwestlichen Brunnengruppe (B III-BV) auf ca. 610 m ü.NN ab. Das Grundwasser an den Brunnen BIV und BV ist wahrscheinlich (?teil)gespannt. Es liegt dort etwa 10 Meter höher als im Bereich der ungefähr 300 m östlich postierten Brunnen VII und VIII (Wasserspiegel ca. 600 m ü.NN; Abb. B20). Im "7-Quellen-Tal" tritt Grundwasser an mehreren Quellen bei etwa 615 m ü.NN aus.

Im Stadtgebiet Starnberg ist ein geringmächtiges, oberflächennahes Grundwasservorkommen um 587 m ü.NN belegt, das nach den in Abbildung B18 und weiteren, hier nicht gezeigten Bohrungen, nach Osten zum Würmsee (Vorfluter) und wahrscheinlich auch bis in den Schwemmfächer des Maisinger Baches reicht. Ein randlicher Kontakt zum Grundwasservorkommen in der Maisinger Schlucht ist wahrscheinlich.

Grundwasserspiegelmessungen an den Brunnen in der Maisinger Schlucht zu verschiedenen Meßzeitpunkten (Stichtagsmessungen bei Hoch-, Niedrig- und Mittelwasserständen des Maisinger Baches (Abb. B21a,b) lassen u.a. erkennen, daß besonders im Bereich der südwestlichen Brunnengruppe (BIII-BV) Wasser des Maisinger Baches infiltriert. Dabei beeinflussen Hoch- und Niedrigwasserstände des Maisinger Baches wahrscheinlich auch die Grundwasserfließrichtung im Nahbereich der Brunnen.

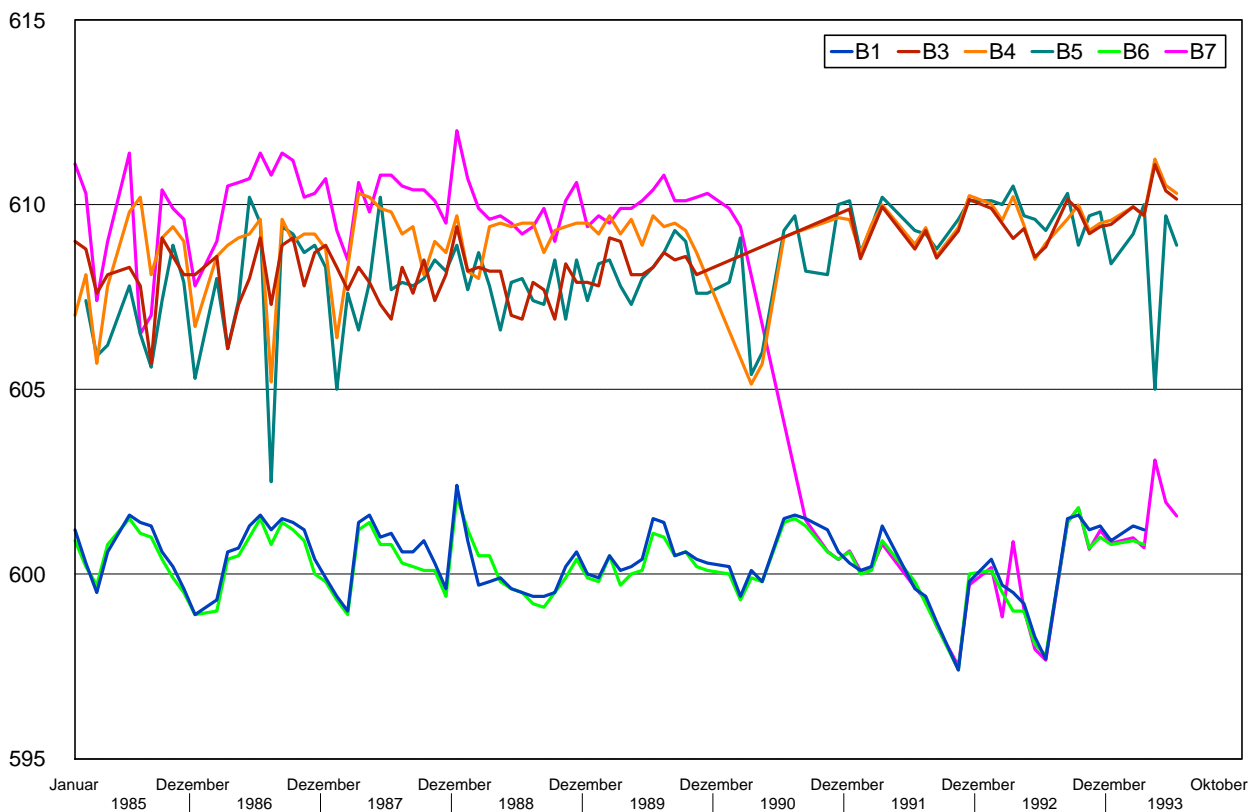


Abb. B20: Grundwasserganglinien an den Brunnen 1, 3-7 in der Maisinger Schlucht 1985-1993
(Quelle: *Landratsamt Starnberg*)

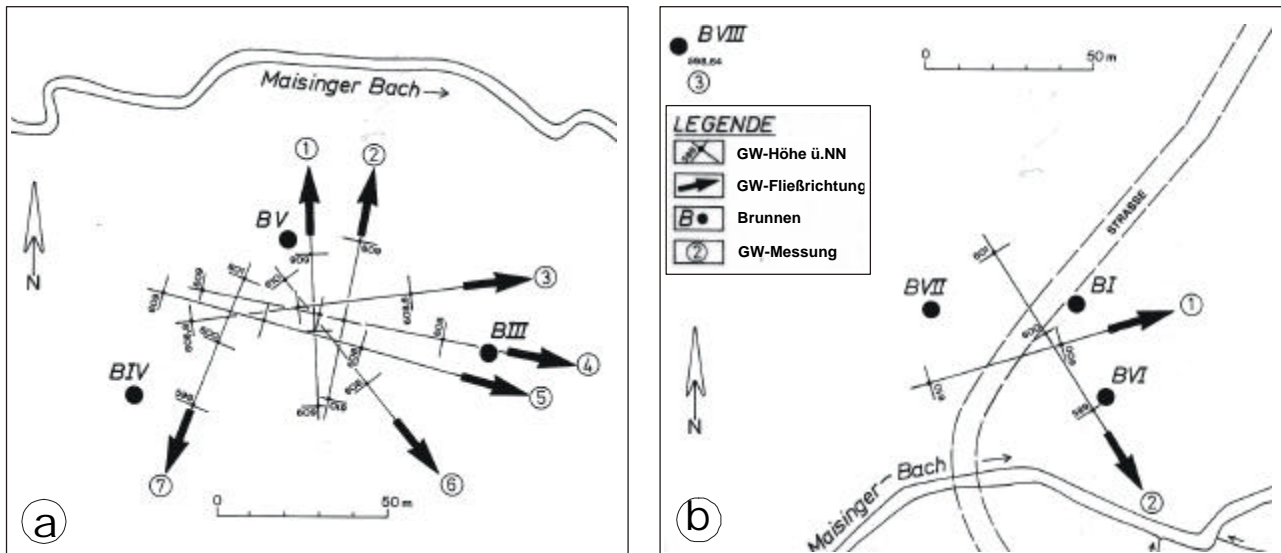


Abb. B21a/b: Grundwassergleichen im Bereich der Brunnengruppen in der Maisinger Schlucht zu verschiedenen Meßzeitpunkten (Stichtagsmessungen bei Hoch-, Niedrig- und Mittelwasserständen des Maisinger Baches) (a: westliche Brunnengruppe BIII-V; b: östliche Brunnengruppe BI, BVI-VIII)

- a: **Messung 1 und 2:** Bach-Hochwasser, Grundwasserfließrichtung nach Norden auf den Maisinger Bach zu;
Messung 3 bis 5: Bach-Niedrigwasser, Grundwasserfließrichtung ungefähr bach- und tertiärrinnenparallel nach Osten;
Messung 6 und 7: Bach-Mittelwasser, Grundwasserfließrichtung nach Süden, entgegen dem Gefälle des tertiären Stauers;
- b: **Messung 8:** Bach-Hochwasser, Grundwasserfließrichtung bach- und tertiärrinnenparallel nach Osten;
Messung 9: Bach-Niedrigwasser, Grundwasserfließrichtung in südöstliche Richtung zum Maisinger Bach.

Die Grundwasserhöhen variieren in der westlichen Brunnengruppe (a) bei den Messungen **1 bis 6** nur gering um den Wert 610 m ü.NN. Dagegen liegt der Grundwasserspiegel bei Messung **7** rund 10 Meter tiefer. Die Messung **3** belegt ein nur sehr geringes Grundwassergefälle. In der östlichen Brunnengruppe (b) liegen die meisten Grundwasserhöhen um 600 m ü.NN, also rund 10 Meter tiefer als in der westlichen Brunnengruppe (außer Messung 7). Auffallend ist das hohe Gefälle bei Messung **8**, wobei die Grundwasserhöhen bei Brunnen VII (rd. 610 m ü.NN) ungefähr den der Durchschnittswert der westlichen Brunnengruppe erreicht.

Aus Meßwerten eines Dauerpumpversuches und nach Bilanzwerten aus der Literatur wurden in einem Gutachten des Landesamtes für Wasserwirtschaft 1977 Förderhöchstmengen für die Brunnen in der Maisinger Schlucht ermittelt. Danach stehen der Stadt Starnberg und den umliegenden Gemeinden rechnerisch rd. 500 l/s zur Verfügung, doch bei Annahme einer mittleren nutzbaren Grundwassermenge von 30% verbleiben nur rd. 140 l/s. Da der 70-stündige Pumpversuch an den Brunnen B III, BIV und BVII auch die Brunnen I, V und VI stark beeinflusste, wurde vorgeschlagen, letztere nur noch als Reservebrunnen zu nutzen.

Der Abfluß des Maisinger Baches (MQ) wird am Pegel Starnberg seit 1979 vom Landesamt für Wasserwirtschaft automatisch aufgezeichnet. Der Gang des MQ, bzw. der des daraus berechneten Grundwasseranteils im Oberflächenwasser (MQN, nach 6-MoMNQ-Verfahren KILLE 1970) wird in Kapitel BII.4 gezeigt und diskutiert.

Die Schüttungsmenge der Quellen im "7-Quellen-Tal" wird in einem Gutachten des Landesamtes für Wasserwirtschaft 1984 mit durchschnittlich 60-70 l/s angegeben. Wie schon an den Tutzing-Garats-hausener Quellen (Kap. BI.2), sind auch hier die Schüttungsschwankungen sehr gering und deuten auf ein größeres, als an der Geländeoberfläche ersichtliches Einzugsgebiet hin.

3.4 Wasserbeschaffenheit

Die in Tabelle B6 angeführten Grundwasseranalysen wurden nicht zeitgleich durchgeführt, so daß die hier vorgenommene vergleichende Grundwassercharakterisierung nur eingeschränkt aussagefähig ist.

Tab. B6: Grundwassercharakteristik im näheren Umfeld der Maisinger Schlucht

Meßstelle	el.Lf. (?S/cm)	O ₂ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
Br. 2 Hanfelder Str. ⁽¹⁾	580 - 700	n.b.	27 - 48	16 - 17
Br. III Maisinger S. ⁽²⁾	660	5,1	--	14,5
Br. IV Maisinger S. ⁽¹⁾	630 - 760	4,9	11 - 14	13 - 15
Br. V Maisinger S. ⁽²⁾	570	2,9	--	14
Br. VI Maisinger S. ⁽²⁾	610	6,6	--	19,7
Br. VII Maisinger S. ⁽¹⁾	530 - 690	6,8	13 - 19	13 - 16
Br. VIII Maisinger S. ⁽³⁾	516	8,4	26,7	17,9
Br. "Maxhof" ⁽⁴⁾	560	8,9	24	19
"7-Quellen-Tal" ⁽³⁾	538 - 625	8,2 - 9,5	20,5 - 28,4	25,9 - 28,5
Jägersbrunn ⁽⁵⁾	590 - 640	7,4	14	26 - 35

1) Dr. Blasy - Dr. Busse 1988-1991

2) REH September 1986

3) Landesuntersuchungsamt f. d. Gesundheitswesen Südbayern

4) Kasernenverwaltung Fellgiebel-Kaserne

5) Stadt Starnberg

Die Analysenwerte an den Brunnen III-V (westliche Brunnengruppe) zeigen zum Teil signifikante Abweichungen gegenüber den Werten der anderen Meßstellen. So sind besonders an Brunnen V der Sauerstoffgehalt, aber auch die Nitrat- und Chloridkonzentrationen deutlich geringer. Des weiteren ist die elektrische Leitfähigkeit des Wassers der westlichen Brunnengruppe mit Ausnahme des bachnahen Brunnens V durchschnittlich höher als in der östlichen Brunnengruppe und an Brunnen VIII.

Die geringen Sauerstoffgehalte im Bereich der westlichen Brunnengruppe deuten auf einen größeren Zustrom meist sauerstoffärmeren Deckenschotterwassers hin. Allerdings ist dieses nicht mit dem Deckenschotterwasser an den Brunnen Maxhof oder im "7-Quellen-Tal" vergleichbar. Ähnlich geringe Sauerstoffgehalte sind im weiteren Umkreis nur aus dem neu-erbohrten tieferen Grundwasservorkommen bei Aschering im Wieling-Maisinger Becken bekannt (Kap. BI.1). Die wesentlich höheren Chloridwerte an Brunnen VIII und am Brunnen 2 Hanfelder Straße lassen vermuten, daß die östliche Brunnengruppe (BI, VI, VII) stärker von Grundwasser aus den nördlich angrenzenden Gebieten, in denen im Winter mehr Salz gestreut wird, beeinflusst ist.

Konzentrationsänderungen von Nitrat und Sauerstoff zu Beginn und am Ende des o.g. Pumpversuches (BLfW 1977) verliefen an beiden Brunnengruppen ähnlich. So strömte bei geringer Förderung höher nitratbelastetes (25-35 mg/l), sauerstoff- und schwebstoffreicher Wasser (Uferfiltrat) in die bachnahen Brunnen BV und BVI, während das Grundwasser bei höherer Förderung nitrat- (11,4-16 mg/l) und sauerstoffärmer (Mischwasser) war.

Diese Befunde legen nahe, daß bei geringen, kurzzeitigen Entnahmen überwiegend Wasser aus oberflächennahen Grundwasserspeichern der näheren Umgebung oder/und aus dem Maisinger Bach zufließt, während es bei stärkerer, längerer Entnahme vermehrt aus Gebieten mit dichteren und mächtigeren Deckschichten stammt. Da die Nitratkonzentrationen im Süden (Brunnen Maxhof) um 25 mg/l betragen, müßte dieser Zustrom hauptsächlich aus westlichen bzw. nördlichen Gebieten erfolgen. Die Nitratfracht des Maisinger Baches, die auch aus dem Grundwasservorkommen der Wieling-Traubinger Schotter stammt (Kap. BI.1), scheint mitverantwortlich für die Grundwasserbelastungen in den Brunnen der Maisinger Schlucht zu sein, wobei geringe Nitratanteile als Stickstoff-Grundfracht des Baches (Abb. B16) anzusehen sind.

Im Jahr 1991 wurden an den Brunnen der Maisinger Schlucht isotopenchemische Untersuchungen - Tritium- (^3H) und $\delta^{18}\text{O}$ - Gehalte - durchgeführt (IGU 1991). Die Probenahme zur $\delta^{18}\text{O}$ -Bestimmung an den Brunnen IV, VI, VII und am Maisinger Bach fanden etwa monatlich ab Januar 1989 bis Januar 1990 statt, für Brunnen III begann sie erst im Oktober 1989. Zur Tritium-Bestimmung wurden für Brunnen IV und VII sowie für den Maisinger Bach im gleichen Zeitraum halbjährlich Proben entnommen, Brunnen III und VI wurden jeweils nur einmal, Brunnen VIII unabhängig davon analysiert. Die Ergebnisse sind in Abbildung B22 und B23 festgehalten.

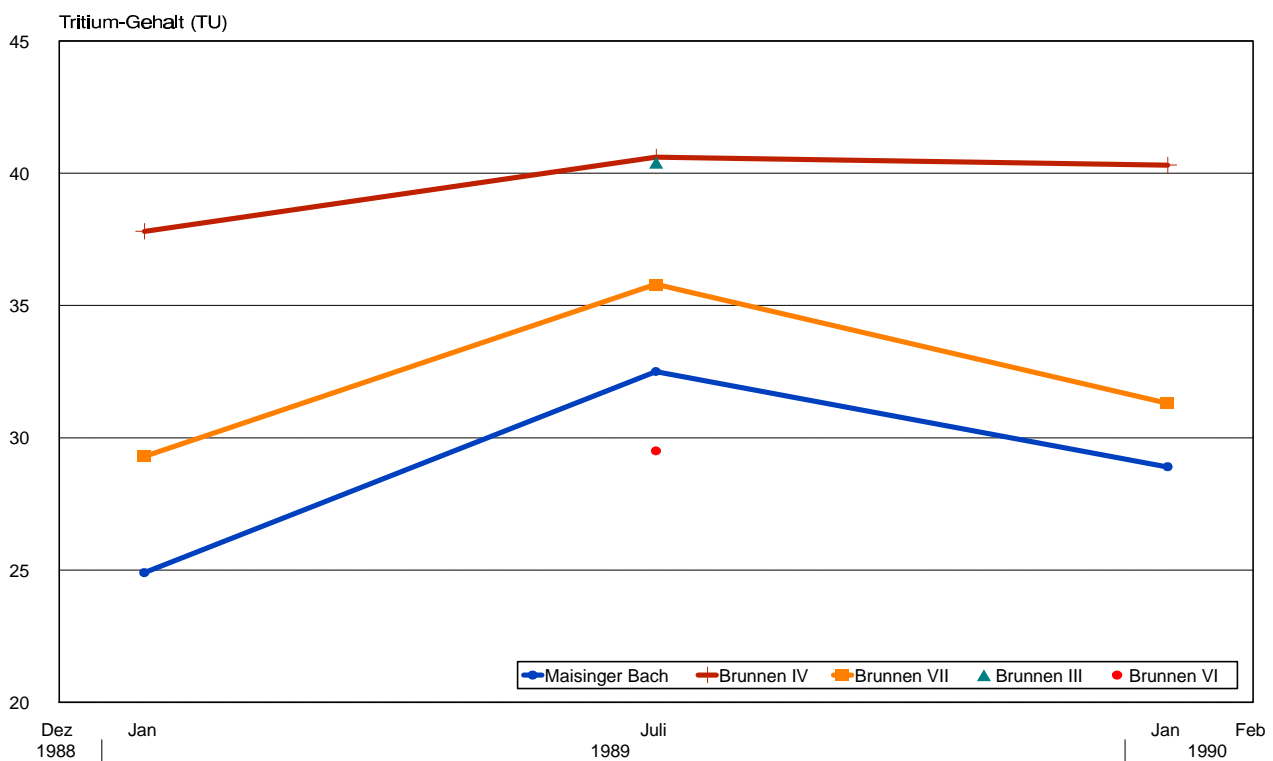


Abb. B22: Tritiumgehalte der Brunnen III, IV, VI, VII und des Maisinger Baches (IGU 1990)

Die Wässer von Brunnen VI, VII und dem Maisinger Bach sind sich sehr ähnlich. Auffallend ist der fast parallele Verlauf der Tritiumgehalte des Maisinger Baches und am Brunnen VII. Der Anstieg der Tritiumgehalte im Juli deutet auf erhöhten Zufluß älterer Wässer (im Bach als Grundwasseranteil). Die Werte an den Brunnen III und IV (Brunnen III nur 1 Wert) sind sich ebenfalls sehr ähnlich und unterscheiden sich deutlich von den der Brunnen VI, VII und vom Maisinger Bach. Der stabile Verlauf der Tritiumgehalte von Brunnen IV läßt analog der $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte (s.u.) keine Einflüsse durch Niederschlagswasser erkennen. Brunnen VIII (nicht in der Grafik, ebenfalls nur 1 Meßwert) hat die geringsten Tritiumgehalte und führt wahrscheinlich jüngeres Wasser als der Grundwasserabfluß im Maisinger Bach. Für Brunnen III und IV ergibt sich eine mittlere Verweilzeit von einigen Jahren. Dagegen entsprechen die Tritiumgehalte der Wässer von Brunnen VI und vom Maisinger Bach weitgehend dem des Niederschlags. Die mittlere Verweilzeit des Wassers am Brunnen VI liegt bei höchstens einem Jahr.

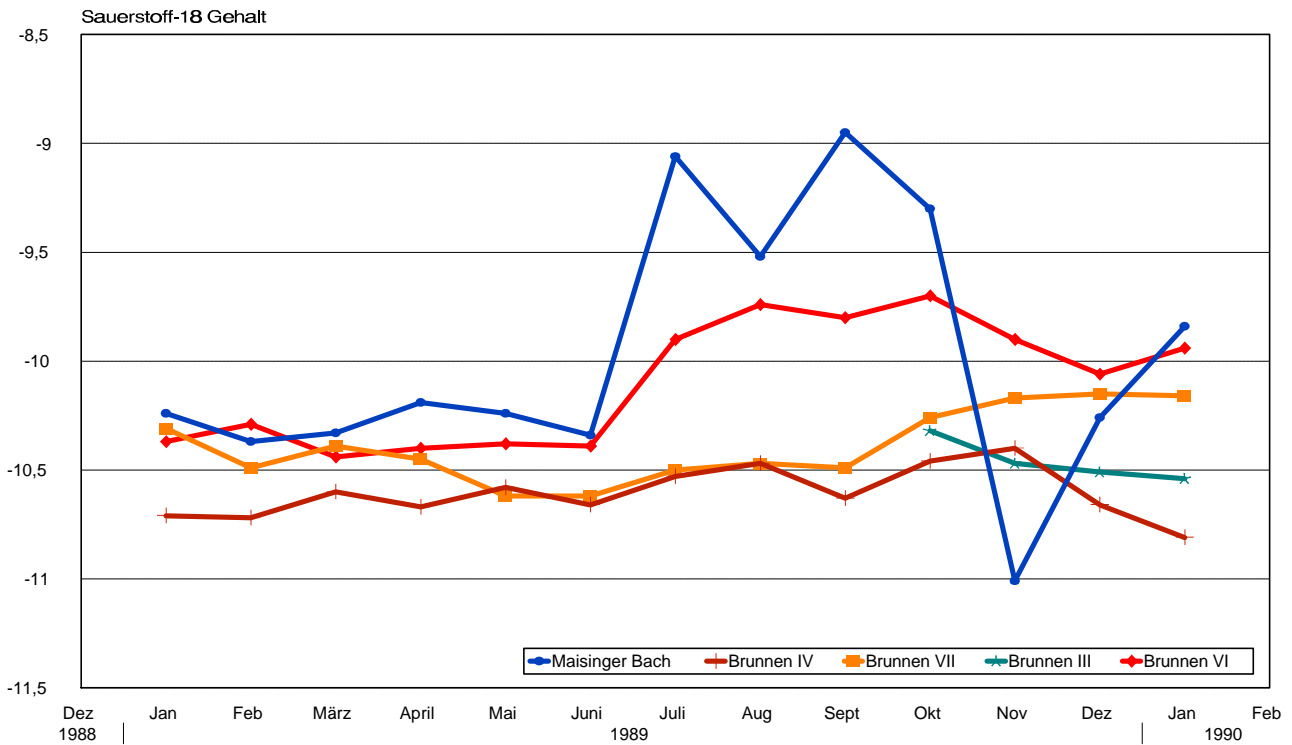


Abb. B23: $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte (‰) der Brunnen III, IV, VI, VII und des Maisinger Baches (IGU 1990)

Das Wasser von Brunnen IV in der Maisinger Schlucht zeigt keine erkennbare jahreszeitliche Variation im $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalt. Handelt es sich um ein Einkomponentensystem, so liegen mittlere Verweilzeiten des Grundwassers von mehr als 3 Jahren vor. Der mittlere $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalt ist hier am niedrigsten und unterscheidet sich am deutlichsten von den am Brunnen VI und im Maisinger Bach, geringer von dem am Brunnen VII. Demnach wird Brunnen IV aus einem anderen, wahrscheinlich höhergelegenen Einzugsgebiet gespeist als Brunnen VI. Der Maisinger Bach zeigt dagegen deutliche Variationen im $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalt mit Amplituden bis ca. 2‰. Da die maximale Amplitude des $\delta^{18}\text{O}$ -Gehaltes in Niederschlägen ca. 5‰ beträgt, ist dies ein Hinweis darauf, daß der Maisinger Bach aus einem größeren Pufferreservoir gespeist wird und der Grundwasseranteil im Bachwasser eine Verweilzeit von einigen Monaten besitzt. Niederschlagsereignisse pausen sich deshalb nur gedämpft bzw. nur bei Starkregen oder während der Schneeschmelze durch. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte von Brunnen VI verlaufen annähernd phasengleich zu den des Maisinger Baches, die Amplitude ist in den Sommermonaten etwas geringer. Brunnen VI führt demnach zum Teil ähnliches Wasser wie der Maisinger Bach (Grundwasserabstrom). Die zweite Komponente dürfte nicht mehr als 50% betragen und eine Verweilzeit im Untergrund von mindestens 2 Jahren haben.

Aus den Meßergebnissen kann gefolgert werden, daß sich die Wässer der Brunnen IV und Brunnen III (westliche Brunnengruppe) sehr ähnlich sind und sich signifikant von den der anderen Brunnen und dem des Maisinger Baches unterscheiden. Sie sind deutlich älter (>3 Jahre) als die Wässer der Brunnen VI, VII, VIII (östliche Brunnengruppe) und das Wasser des Maisinger Baches (Grundwasseranteil) und strömen wahrscheinlich aus einem höhergelegenen Einzugsgebiet zu.

Je nach Förder- und Niederschlagsmengen infiltriert Bachwasser in die Brunnen der westlichen Gruppe, wobei besonders das Wasser des bachnahen Brunnens VI deutliche Merkmale des Maisinger Baches (Infiltrationswasser) aufweist. Möglich ist auch, daß sich derart der Einfluß eines zumindest mehrere Monate alten Wassers bemerkbar macht, welches möglicherweise aus dem Wieling-Maisinger Becken stammt. Bei hohem Grundwasserstand wird vermutlich die lokale unterirdische Wasserscheide zwischen dem südlichen und nördlichen Ast der Maisinger Rinne überströmt (Abb. B19), so daß auch Grundwasser aus nördlichen Richtungen den Brunnen VI erreichen kann. Das Wasser am Brunnen VII wird nur gering vom Maisinger Bach beeinflusst, temporär weist es aber Komponenten auf, die einen Zufluß aus dem Wieling-Maisinger Becken andeuten. Am auffallendsten ist es durch Komponenten geprägt, wie sie im nördlichen Brunnen VIII vorkommen. Auch Brunnen VII und VIII werden vorwiegend aus einem Einzugsgebiet nördlich der Maisinger Schlucht gespeist.

3.5 Zusammenfassung

Dem Tertiärrelief im näheren Umfeld der Maisinger Schlucht entspricht in etwa auch das heutige Relief der Geländeoberfläche, wobei sich in westlicher Verlängerung des „7-Quellen-Tales“ eine verdeckte Verbindung zum Wieling-Maisinger Becken abzeichnet.

In der Umgebung der Maisinger Schlucht sind unter meist geringmächtiger Moränenbedeckung großflächig mindeleiszeitliche Deckenschotter verbreitet. Im Maisinger Bach-Tal und im 7-Quellen-Tal sind sie vermutlich bis zur Tertiäroberfläche ausgeräumt und durch jüngere, unverfestigte Schotter, Feinsedimente und womöglich auch durch Moräne ersetzt.

Grundwassergleichen und -ganglinien sowie wasserchemische und physikalische Merkmale an den Brunnen der Maisinger Schlucht deuten darauf hin, daß beide Brunnengruppen hauptsächlich aus den Deckenschottern, jedoch zumindest zeitweise aus unterschiedlichen Richtungen angeströmt werden. Geringe Wasseranteile infiltrieren aus dem Maisinger Bach, andere, über kürzere Passagen durch die Deckenschotter, aus den oberflächennahen Schottern des Wieling-Maisinger Beckens.

Die Qualität des Brunnenwasser in der Maisinger Schlucht ist aufgrund der geologischen und hydraulischen Verhältnisse gefährdet, besonders in Hinblick auf die im Wieling-Maisinger Becken, mit unbekanntem (?Schad-)Stoffen verfüllte Kiesgruben, die mobilisiert und gelöst im Grund- oder Oberflächenwasser innerhalb von 3-11 Tagen die Brunnen erreichen können (Kap. BII.4).

Die letztjährigen Grundwasserentnahmemengen aus dem Wieling-Maisinger Becken und aus der Maisinger Schlucht von ca. 3 Millionen m³ im Jahr lassen nach ersten Schätzungen, bezogen auf die Grundwasserneubildung im oberirdischen Einzugsgebiet des Maisinger Baches, keine größeren Entnahmesteigerungen zu.

4 Das Gebiet zwischen Hochstadt, Seewiesen, Frieding und Hadorf

Im Zusammenhang mit den im vorangegangenen Kapitel BI.3 dargestellten Problemen der Trinkwasserversorgung der Stadt Starnberg wurden bei Mamhofen und Hochstadt hydrogeologische Untersuchungen durchgeführt. Zur Erweiterung der Trinkwasserversorgung der Gemeinden Erling-Andechs wurde die Umgebung von Rothenfeld begutachtet (Kap. BI.9).

4.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten (Abb. B.55; KOEHNE 1910/1911)

Zwischen Andechs und Mamhofen erstreckt sich ein Übergangsbereich zwischen der kuppigen Jungmoränenlandschaft im Süden und der flachgeneigten Münchener Schotterebene im Norden. Altpleistozäne Bildungen kommen dort an der Geländeoberfläche nicht vor. Als mindeleiszeitliche Deckenschotter bekannte Ablagerungen streichen erst am Nordrand des Würmseebeckens zwischen Starnberg und Mühlthal sowie an der Ostflanke der Pilsensee-Senke zwischen Herrsching und Widdersberg aus und sind meist an den Talrändern zu Nagelfluhen verbacken, während sie im Untergrund aus mehr oder weniger flächenhaft verfestigten Schotterlagen in Wechsellagerung mit lockeren Kiesen und Schluffschichten bestehen. Bohrungen belegen in Partien verfestigte Deckenschotter nach Norden bis ungefähr auf eine Linie Oberalting - Tiefenbrunn - Oberbrunner Holz - Hausen. Rißeiszeitliche Ablagerungen (Moränen, Schotter) reichen westlich der Würm nach Norden bis über Fürstenfeldbruck hinaus und östlich der Würm bis an den Buchendorfer Forst. Im Süden grenzen sie ungefähr auf der Linie Unering-Hanfeld-Leutstetten-Wangen an würmeiszeitliche Endmoränen und Schotterfelder (Hochterrassenschotter). Einst ausgedehntere rißeiszeitliche Schotterfelder wurden von Schmelzwässern weitgehend beseitigt und häufig durch würmeiszeitliche Schotter (Niederterrassenschotter) ersetzt oder überlagert. Rißschotter treten nördlich von Unterbrunn v.a. im Raum Pentenried am Ostrand des Rißmoränenzuges zutage. Rißmoräne und -schotter sind in einigen Gebieten großflächig mit Löß und Lößlehm bedeckt. Inwieweit Riß- oder ältere Moräne direkt dem Tertiär auflagern, ist weitgehend unbekannt, doch ist beispielsweise westlich des Gewinnungsgebietes Mamhofen, ein ungefähr Nord-Süd gerichteter Rücken aus geringdurchlässiger Altmoräne erbohrt, der bis nahe an das Gewinnungsgebiet Hochstadt heranreicht und in diesem Gebiet u.U. den Grundwasserspiegel beider Gewinnungsgebiete voneinander trennt.

Wallförmige, gebietsweise stärker kiesige Würmendmoränenwälle liegen meist einer schluffreichen Grundmoräne auf und verzahnen sich an einigen Stellen (z.B. bei Rothenfeld, Seewiesen) mit fluvioglazialen Abschmelzschottern. Solche Schmelzwasserablagerungen wurzeln hauptsächlich in den äußeren (ältesten) Würm-Endmoränenwällen und queren an mehreren Stellen das vorgelagerte Rißmoränenareal, wie bei Mamhofen in Richtung Königswiesen zum Würmtal oder von Hadorf nach Tiefenbrunn. Zwei weitere breite, würmeiszeitliche Schotterstränge ziehen beiderseits des Rißmoränengürtels nach Norden (Tiefenbrunner Rinne und Würmtalrinne). Das Tiefenbrunner Schotterfeld liegt in einem Trockental zwischen Riß- und Würmmoränen und reicht von Landstetten über Unering bis zum Gewinnungsgebiet Hochstadt und weiter in Richtung Neugilching. Östlich Tiefenbrunn mündet eine aus dem Raum Hadorf/Perchting stammende Schotterrinne in das große Tiefenbrunner Schotterfeld. Westlich von diesem verläuft, getrennt durch einen Würmmoränengürtel, ein weiteres schotterreiches Trockental (Dröblinger Rinne), das im Süden mit der Rothenfelder Schotterflur in Verbindung steht und westlich von Oberalting in die Pilsenseerinne mündet.

Im Gebiet zwischen Perchting und den Gewinnungsgebieten Mamhofen und Hochstadt existiert ein bis 45 m mächtiger Nagelfluh-Komplex, der nach Süden zunehmend von lockeren Schottern unterlagert wird. Der Schotter-Nagelfluh-Komplex wird insgesamt als mindeleiszeitliche Bildung angesehen (MÄRZ 1975, HEPP 1986, FUSCHLBERGER 1988). Darüber folgen weitgehend unverfestigte jungpleistozäne Schotter. Auffallende Feinsedimentlagen treten im Süden um 650 m ü.NN, im Norden bei Hochstadt um 600 m ü.NN (z.T. ?Interglazialboden) und um 565 m ü.NN unmittelbar über der Tertiäroberfläche auf (Abb. B24). Das Grundwasser fließt fast ausnahmslos über der Tertiäroberfläche in den meist unverfestigten Schottern unter dem Nagelfluh-Komplex. Es können hydraulische Verbindungen nach Süden zum Wieling-Maisinger Becken existieren.

Zwischen Pilsensee-, Dröblinger, Tiefenbrunner- und Unterbrunner Rinne erreicht die als Hauptgrundwasserstauer fungierende Tertiäroberfläche selten Höhen über 600 m ü.NN, im Nordwesten bei Neuhochstadt nicht wesentlich über 580 m ü.NN (Abb. B25). Trotz solcher Tertiärauftragungen und stellenweise stauenden Moränenlagen darüber ist zumindest bei Normal- und Hochwasserständen mit einem weitgehend zusammenhängenden Grundwasserspiegel zu rechnen.

Vom Ostrand der Pilsensee-Senke erstreckt sich unter der Dröblinger Rinne (Frieding) bis zur Moränenkuppe des Großen Bühls ein Nagelfluh-Schotter-Komplex über der Tertiäroberfläche, der offensichtlich in einigen Gebieten abgetragen und durch Feinsedimente, die in den Bohraufzeichnungen um 600 m ü.NN als Seeton angegeben sind, ersetzt worden ist. Über der Nagelfluh ist im Bereich der Dröblinger Rinne eine höherliegende Feinsedimentschicht ausgebildet, die dort als hangender Grundwasserstauer fungiert. Die 20-30 m mächtigen Sedimente darüber sind durchwegs kiesig beschaffen (Abb. B26). Dennoch ist das Haupt-Grundwasserstockwerk über der Tertiäroberfläche gestaut, was auch durch zahlreiche ergiebige Quellaustritte entlang der Pilsensee Senke (Ostflanke) um 600 m ü.NN angezeigt wird (Kap. BI.9).

Ähnlich kann auch das Gebiet zwischen Frieding und dem Bad Bühl charakterisiert werden (Abb. B27), wobei in der Pilsenseesenke(-rinne) und unter den Moränen und Schottern ihrer Nordwestflanke über der Tertiäroberfläche, die bis ca. 520 m ü.NN hinabreicht, mehr als 20 m mächtige wasserstauende Feinsedimente (?Seetone) liegen, die von schotterreichen Bildungen überdeckt werden. Wahrscheinlich stehen diese Feinsedimente mit mancherorts an den Rinnenrändern austreichenden Seetonen im genetischen Zusammenhang. Es ist anzunehmen, daß aus den Randgebieten der Senke zufließendes Grundwasser sich über diesem, meist nur wenige Meter unter der Geländeoberfläche verlaufenden Feinsedimenthorizont sammelt, worauf auch großflächige anmoorige Bereiche zurückzuführen sind. Im bisher beschriebenen Gebiet zeichnen sich die Hauptreliefformen der Tertiäroberfläche auch an der Geländeoberfläche ähnlich ab, gebietsweise auch an der Deckenschotter-Oberfläche.

Nördlich der Jungmoränenwälle gibt es in der Wurzelzone der westlichen Münchener Schotterebene zwischen Fischbach/Aubach und der Würm kein nennenswertes Oberflächengewässer. Der nicht verdunstete Anteil der Niederschläge versickert dort nahezu vollständig und trägt somit in großem Umfang zur Grundwasserneubildung bei. Dagegen verhindern im südlich davon gelegenen Jungmoränengebiet um Machtlfing weit verbreitete bindige Deckschichten eine rasche Versickerung der Niederschläge, wodurch Staunässe und Moorbildungen begünstigt werden. Die Grundwasserneubildungsrate wird deshalb hier unterdurchschnittlich sein und die Niederschläge überwiegend der Verdunstung oder dem Oberflächenabfluß zufallen (Kap. BII.4). Die Oberflächenentwässerung erfolgt dort hauptsächlich über den Kienbach und seine Zuläufe zum Ammersee sowie über den Ascheringer Bach (Machtlfinger Bach) zum Wieling-Maisinger Becken und weiter zum Würmsee.

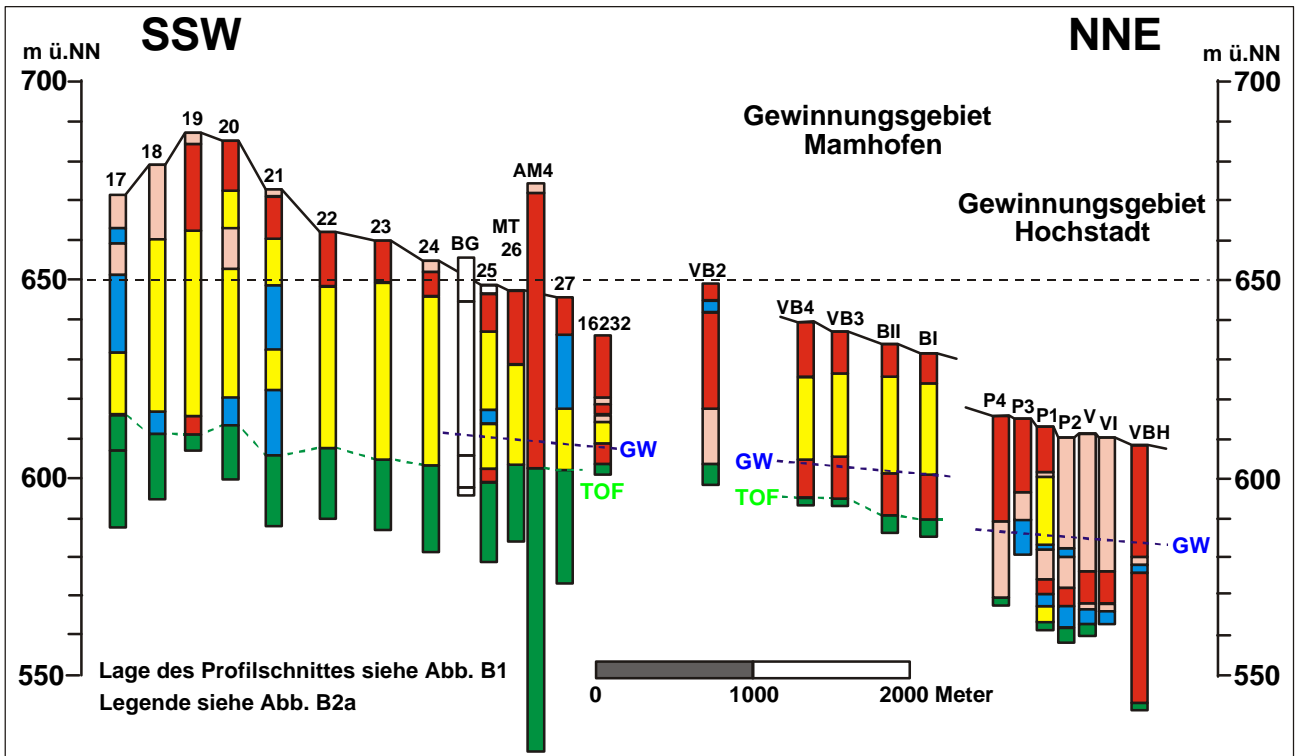


Abb. B24: Nord-Süd Profilschnitt durch die Gewinnungsgebiete Mamhofen und Hochstadt

Bei Bohrung 17 sind nur die untersten 10 m der Quartärschichten verfestigt. Darüber folgen bis zur Geländeoberfläche überwiegend geringdurchlässige Feinsedimente (Grundoräne, Seetone). Zwischen B18 und B27 dominieren ca. 40-45 m mächtige Nagelfluhen meist unmittelbar über der Tertiäroberfläche oder über Moränen- und Seetonresten, die von durchschnittlich 10-20 m mächtigen, vorwiegend kiesigen Schichten überlagert werden, insgesamt also ein gut durchlässige Schichtstapel. Der Grundwasserspiegel liegt am Brunnen Golfplatz (BG) und am "Marterl" (hier nicht abgebildet) bei 610 m ü. NN und nur etwa 6 Meter über der stauender Tertiäroberfläche. In der hier nicht gezeigten trockenen Versuchbohrung Hadorf Nord nahe den Bohrungen 26 und 27 liegt die Tertiäroberfläche bei 591 m ü. NN, die Oberfläche der darüber liegenden wasserstauenden Moräne bei 604 m ü. NN und damit nur gering über den Grundwasserhöhen westlich (Tiefenbrunner Rinne) und östlich (Unterbrunner Rinne) davon. Wahrscheinlich ist diese lokale Grundwasserscheide bei Hochwasserständen überströmt. Im Profilschnitt um das Gewinnungsgebiet Mamhofen, folgt unter einer rd. 13 m (VB4) mächtigen Schicht aus sandigem Kies, die nach Süden bis auf rd. 5 m (BI) abnimmt, eine Wechsellagerung aus schluffig-tonigen, sandigen Kies und sandig-kiesigen Schluffen (Tonen) mit unterschiedlich dicken Nagelfluhbänken. Dieser Schichtstapel ist rd. 20-27 m mächtig und wird von einer rd. 10 m mächtigen Lage lockerer sandiger Kies unterlagert. Darunter erscheinen in BII noch einmal verfestigte Kies. Die Bohrungen enden in diesem Abschnitt in z.T. kiesigen Schluffen/Tonen (Tertiär mit Aufarbeitungshorizont). Grundwasser wurde jeweils nur in den liegenden sandigen Kies um 600 m ü. NN angetroffen.

Der nördliche Profilschnitt zeigt im Bereich um das Gewinnungsgebiet Hochstadt, daß hier in der Tiefenbrunner Rinne die Tertiäroberfläche um rd. 20 m, bei Bohrung VBH sogar um 40 m tiefer liegt als im südlichen und mittleren Profilschnitt. Über der Tertiäroberfläche befinden sich hier bis zu 5 m Seesedimente. An der Meßstelle P4 wurden nahe 590 m ü. NN nur tonig-schluffiger Kies verzeichnet (?Moräne). Seetone und Moränen über der Tertiäroberfläche fungieren als "Stauer". Somit weicht die Stauer Oberfläche dort von der Gestalt der Tertiäroberfläche ab. In den unteren 20 Metern der Quartärschichten kommt keine Nagelfluh vor, die lockeren Sedimente wechseln in vertikalen Aufbau kleinräumig, die Deckenschotter sind hier wahrscheinlich ausgeräumt. Weiter fällt auf, daß über diesem Schichtstapel in einigen Bohrungen ein Horizont mit regem Schichtwechsel aus schluffigen Lagen (?Boden) auftritt. Darüber liegen knapp 30 m meist sandige, teilweise zu Nagelfluh verfestigte Kies (P1-P3). Die Oberfläche des vermuteten Bodenhorizontes und die südlich davon gelegene Tertiäroberfläche bilden miteinander verbunden ein annähernd gleichmäßiges Nord-Süd-Gefälle.

Die oberen 10-15 m der Tiefenbrunner Schotterflur, einer Wurzel der Münchener Schotterebene, sind den hoch- bis spätwürmeiszeitlichen Schottern (Niederterrassenschottern) zuzuordnen, die darunter folgenden bereichsweise zu Nagelfluh verbackenen Schotter können als würmeiszeitliche Vorstoßschotter angesehen werden (BLfW 1992). Die Zuordnung der Schichten unter dem Trennschichten-Horizont bei 580/590 m ü. NN ist unklar. Wahrscheinlich markiert dieser Horizont die Lage eines Riß/Würm-Interglazialbodens, so daß die unterlagernde Moräne und Schotter rißeiszeitlich oder früher gebildet wurden und die Feinsedimente über dem Tertiär mindeleiszeitliche oder ältere Bildungen sind (BLfW 1992). Zwischen den Gewinnungsgebieten Mamhofen und Hochstadt verläuft an der Geländeoberfläche ein rund 1,5 km breiter Rißmoränenzug.

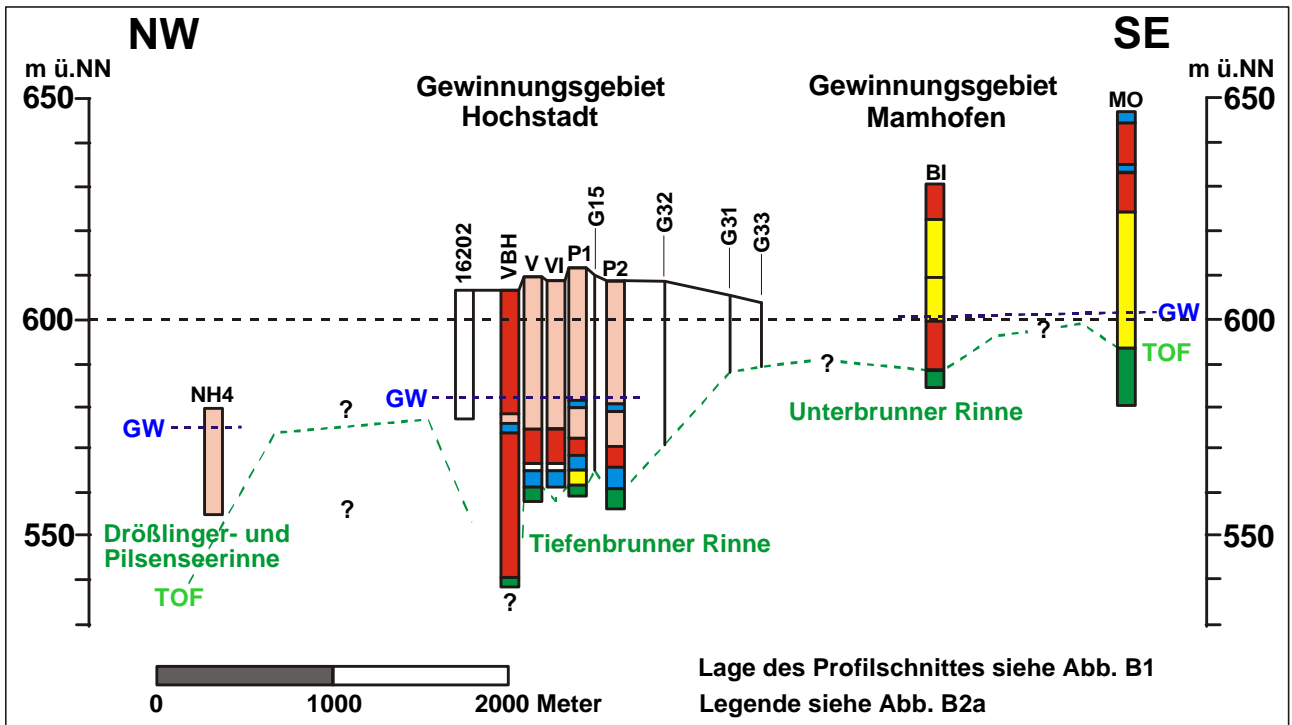


Abb. B25: Nordwest-Südost Profilschnitt durch die Dröblinger Rinne / Pilsenseerinne und die Gewinnungsgebiete Hochstadt und Mamhofen

In der Bohrung MO, ca. 700 m südwestlich der Profillinie, folgt unter rd. 20 m Kies, mit einer Tonlage ca. 12 m unter Gelände, bis zum tonigen Tertiär wahrscheinlich ca. 30 m mächtige Nagelfluh. Der Grundwasserspiegel im Gewinnungsgebiet Mamhofen korreliert recht gut mit dem in der Bohrung Mamhofen Ost (MO). Dazwischen erhebt sich eine flache Tertiärauftragung die u.U. die Ausbildung eines zusammenhängenden Grundwasserspiegels in westliche Richtung verhindert. Die Quartärmächtigkeit beträgt im Bereich der Brunnen Hochstadt (V, VI) rund 50 m, an der Versuchsbohrung Hochstadt (VBH) über 60 m, die Tertiäroberfläche liegen dort durchschnittlich um 20 m tiefer als bei Mamhofen. Das Grundwasser bewegt sich in den älteren Schottern unter einem vermuteten älteren Bodenhorizont und geringfügig darüber. Bohrung NH4 liegt am Nordrand der Pilsensee/Dröblinger Rinne im Gewerbegebiet Neuhochstadt. Tertiär- und Moränenauftragungen unmittelbar über der Tertiäroberfläche können besonders bei niedrigen Grundwasserständen einen großflächig zusammenhängenden Grundwasserspiegel verhindern, doch sind hydraulische Verbindungen zwischen den Grundwasservorkommen in der Dröblinger/Pilsensee-, Tiefenbrunner- und Unterbrunner Rinne generell möglich.

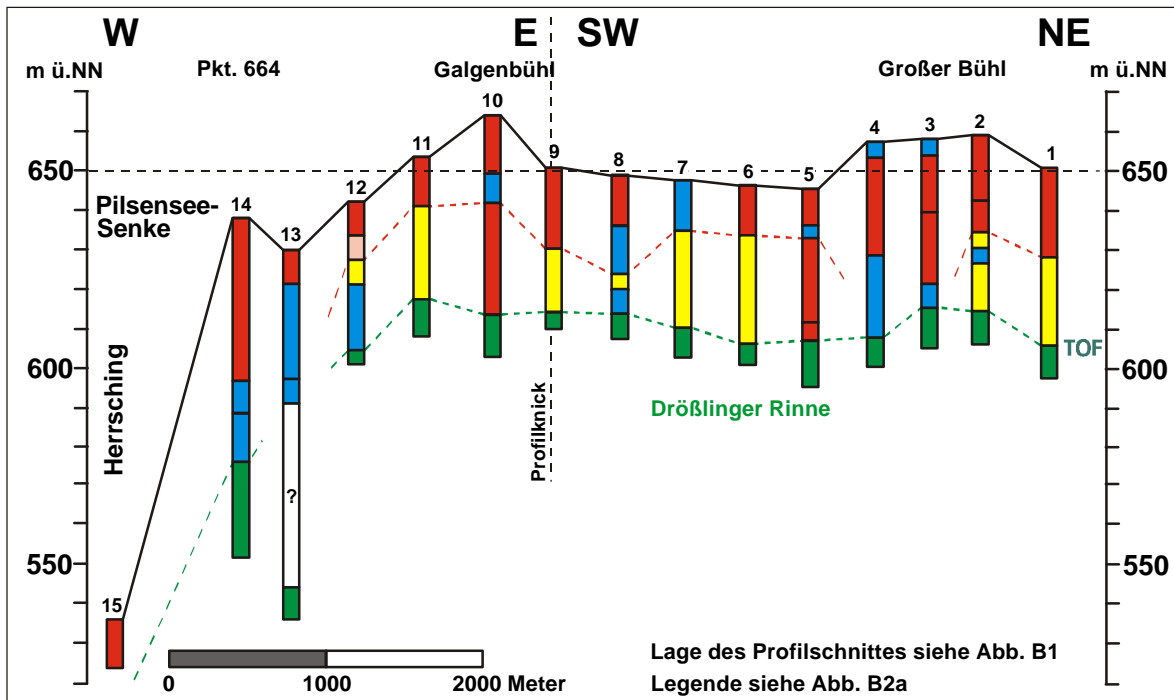


Abb. B26: West-Ost Profilschnitt von der Pilsenseesenke bei Herrsching zum Großen Bühl

Tertiär- und Geländeoberfläche zeichnen gleichermaßen die Hauptreliefelemente - Südostflanke der Pilsenseesenke und Dröblinger Rinne - nach. Die Quartärmächtigkeit beträgt im Durchschnitt zwischen 40 und 50 m. Der Tertiäroberfläche lagert zwischen den Bohrungen 1 und 10 ein Schotter-Nagelfluh-Komplex mit mergeligen Zwischenschichten und größten Höhen um 640 m ü.NN auf. In den Bohrungen 13 und 14 nahe der Pilsenseesenke ist um 600 m ü.NN die Oberfläche eines Seetonhorizontes angezeigt, der in der Bohrung 13 zuerst von ca. 24 m mächtigem Lehm und Mergel, dann von kiesigen Schichten überdeckt ist, in der Bohrung 14 nur von kiesigen Schichten. Zwischen Bohrung 4 und 10 folgt über dem Schotter-Nagelfluh-Komplex eine etwa 10 bis 20 m mächtige Lehm- und Mergellage, die bei den Bohrungen 6 und 9 und westlich und östlich dieses Abschnittes nicht aufsteht. Überlagert wird dieser potentielle Wasserstauer fast im gesamten Profilschnitt von bis zu 30 m mächtigen kiesigen Schichten, die im Bereich zwischen dem Großen Bühl und den Höhenzügen bei Bohrung 10 (Galgen Bühl) und 14 (Höhe 644) die Frieding-Dröblinger Schotterflur anzeigen, in den Höhenzügen daneben stark kiesige Moräne. Nahe der Geländeoberfläche treten durchwegs gut durchlässige Ablagerungen auf. Der Feinsedimenthorizont über dem Schotter-Nagelfluh-Komplex kann zwar gebietsweise zum Aufstau eines hangenden Grundwassers führen, wie es auch etwa 1-2 Kilometer nördlich des Profilschnittes an mehreren Quellen südwestlich von Widdersberg und am westlichen Ortsrand von Frieding und in den anmoorigen Gebieten östlich von Herrsching jeweils um 640-645 m ü.NN austritt, doch ist damit zu rechnen, daß sich das Haupt-Grundwasserstockwerk in den Schottern und Nagelfluhen über der Tertiäroberfläche einstellt, wo es sich dann hauptsächlich im Bereich der "Dröblinger Rinne" bewegt und je nach Grundwasserhöhen und wasserhemmenden Barrieren (Moräne, Seetone) am Zungenbeckenrand mehr oder weniger zur Pilsenseesenke abfließen kann. Beleg darüber liefern die Quellaustritte am östlichen Ortsrand von Herrsching (Kap. BI.9).

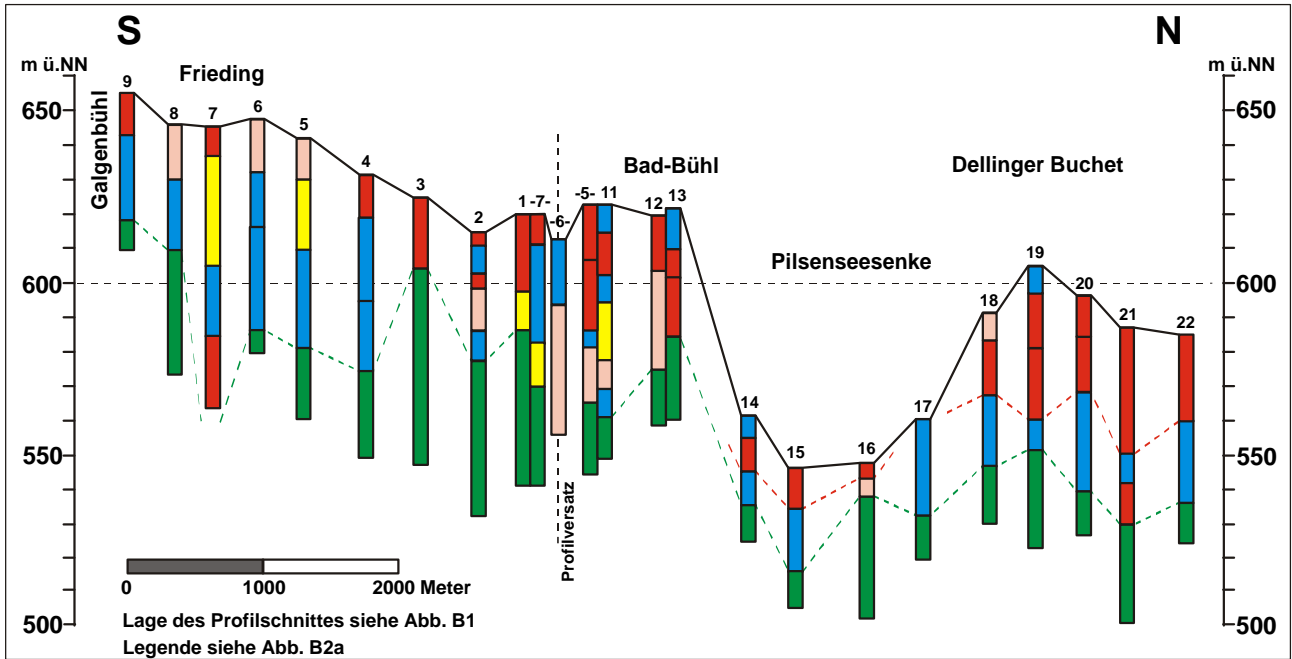


Abb. B27: Nord-Süd Profilschnitt von Frieding durch die Pilsenseesenke zum Dellinger Buchet

Das lebhaftes Relief der Tertiäroberfläche entspricht in seinen Hauptelemente ungefähr lagegleich dem der Geländeoberfläche. So am Galgen-Bühl (9), am Bad Bühl (12/13) in der Pilsenseesenke, am Dellinger Buchet (19) und einigen kleineren, quer zum Nord-Süd-Schnitt verlaufende Rinne, wie jene im Bereich des Höllgrabens bei Seefeld (1/2) und im Bereich des Oberaltinger Mühlbaches, eine weitere bei Widdersberg (4 -7), deren tiefster Punkt bei 565 m ü.NN liegt und die Tertiäroberfläche nicht erreicht. Diese Rinne ist nach Bohrangaben bis 585 m ü.NN mit wasserführenden Kiesen verfüllt. Wie in Abbildung B26, treten in einigen dieser Rinnen nach Bohrangaben Seetone auf, deren Oberfläche nicht über ca. 610 m ü.NN reicht. Verfestigte Schotter sind nur reliktsch östlich der Pilsenseesenke in den Bohrungen 1, 5, 7, -5-, -6-, -7- vom Profilschnitt erfaßt. Dazwischen sind in zahlreichen Bohrungen Lehm, Mergel (?Moräne) und wiederum Seetone angegeben. Darüber liegen durchschnittlich 10-20 m unverfestigte Schotter (z.T. Schottermoräne) und stellenweise kiesige und sandige Schotter (Moräne). Im Bereich der Pilsenseesenke, die hier Tertiärtief lagen bis 520 m ü.NN aufweist und dem nordwestlichen Höhenzug (Dellinger Buchet), befindet sich über der Tertiäroberfläche ein bis 25 m mächtiger Feinsedimenthorizont (Lehm, Ton, Sand), bei dem es sich um \pm schotterfreie Grundmoräne aber auch um Seeablagerungen handeln kann. Die Oberfläche dieses wasserstauenden Horizontes liegt in der Senke um 540 m ü.NN und steigt nach Nordosten auf etwa 570 m ü.NN. Überlagert wird er bis zur Geländeoberfläche von schotterreiche Lagen, auf dem Höhenzug auch von schluffiger Moräne.

4.2 Tertiäroberfläche

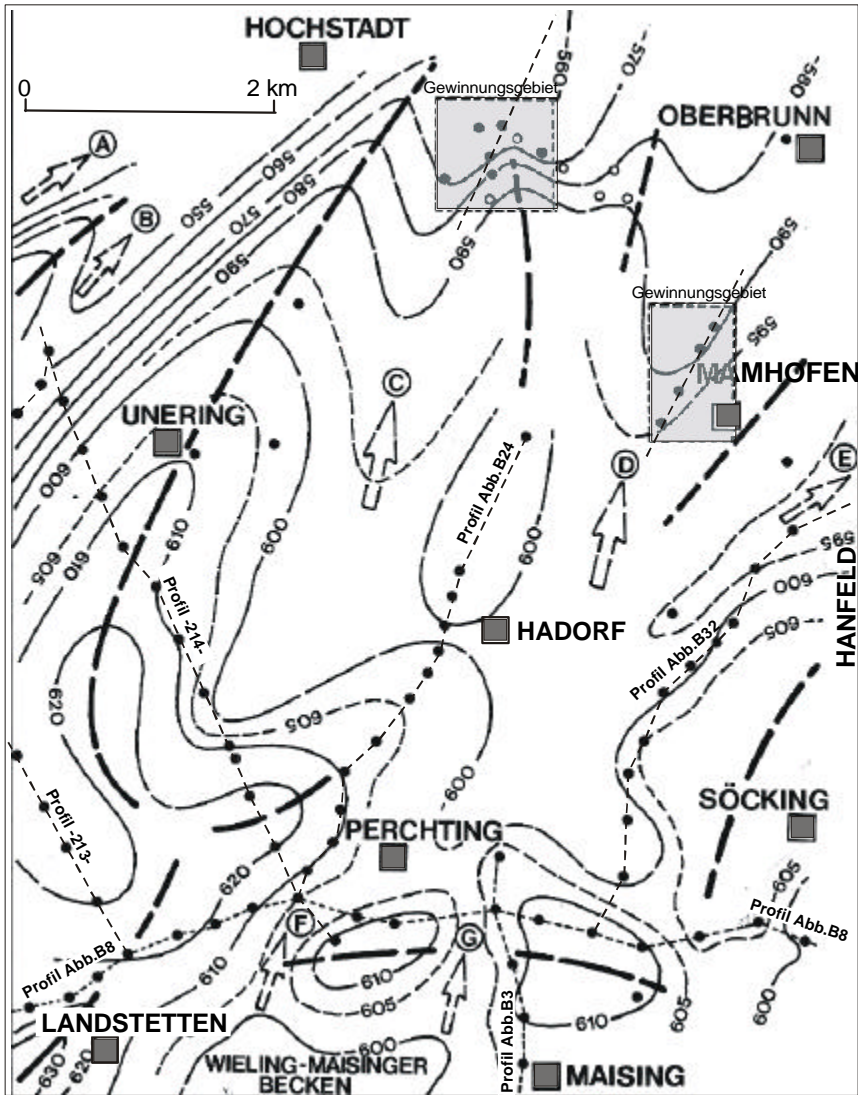


Abb. B28: Die Tertiäroberfläche zwischen Hochstadt, Maiming, Unering und Mamhofen

Die größten Tertiärhöhen (zw. 610-630 m.ü.NN) liegen im Bereich der würmeiszeitlichen Endmoränenwälle im Raum Perchting/Söcking und Landstetten. Nördlich davon, über einer nur gering geneigten Fläche um 590 m ü.NN, befinden sich Rißmoränen. Ein von Mamhofen nach Norden in Richtung Oberbrunn und weiter nach Gilching reichendes Hochgebiet deckt sich ungefähr mit der Lage des dort in Nord-Süd verlaufenden Rißmoränenzuges. Nördlich der o.g. Fläche fällt die Tertiäroberfläche auf unter 550 m ü.NN.

Es fallen mehrere markante, ungefähr Nord-Süd verlaufende Rinnen auf. Zwei davon, Unterbrunner- (D) und Hanfelder Rinne (E), wurzeln in der Umgebung von Perchting, die westlich davon gelegene Tiefenbrunner Rinne (C) nordwestlich von Perchting. Unterbrunner- und Hanfelder Rinne stehen nach Süden mit dem Wieling-Maisinger Becken in Verbindung (F, G) und ermöglichen u.U. Grundwasserzustrom von dort unter den Endmoränenwällen hindurch bis in die Münchener Schotterebene. Während die Hanfelder Rinne aus dem Raum Perchting nach Nordosten in Richtung Würmtal (Würmtalquellen) abfällt, zielt die östlich von Hadorf abzweigende Unterbrunner Rinne auf den o.g., unter dem Rißmoränenzug verlaufenden Tertiärrücken. An ihrem Ostrand liegen die Wassergewinnungsanlagen bei Mamhofen. Im Westen wird die Unterbrunner Rinne von einem nordsüd-gerichteten Tertiärriedel mit Höhen zwischen 604 m ü.NN und ca. 610 m ü.NN begrenzt, im Osten von einem Hochgebiet über 596 m ü.NN. Wahrscheinlich reicht eine flache Teilrinne über dem Tertiärrücken in Richtung Unterbrunn und Frohloh weiter. Inwieweit dahin auch nennenswert Grundwasser fließt, hängt von der Verbreitung der oben angesprochenen, wasserhemmenden älteren Moränen über der Tertiäroberfläche ab. Die Tiefenbrunner Rinne reicht an der Versuchsbohrung Hochstadt bis unter 545 m ü.NN und mündet nördlich davon in die westlich dazu verlaufende Drößlinger Rinne (B), in deren südlichster Wurzel die Brunnen der Gemeinden Andechs und Rothenfeld ansetzen. Es wird angenommen, daß dort jüngere und ältere Moränen über der Tertiäroberfläche im Bereich der Umrahmung der nördlichen Pilsenseerinne (A) wasserhemmende Barrieren bilden und den Haupt-Grundwasserstrom nach Norden in die Gilchinger Rinne (Verlängerung der Tiefenbrunner/Drößlinger Rinne) zur Münchener Schotterebene lenken. Ein Teil-Grundwasserstrom der Drößlinger Rinne kann südlich davon in Deckenschottern über der Tertiäroberfläche zur Pilsenseerinne fließen. Im Nahbereich der Gewinnungsanlage Hochstadt bedingen Seetonablagerungen an der Quartärbasis Abweichungen zwischen Tertiär- und Stauer Oberfläche.

Die Tertiäroberfläche (Abb. B28), in die mehrere, ungefähr SSW-NNE verlaufende Rinnen einsenkt ist, neigt sich von Höhen um 630 m ü.NN bei Landstetten über Hadorf (ca. 600 m ü.NN), Oberbrunn (ca. 580 m ü.NN), bis auf ca. 560 m ü.NN nach Nordnordosten zum Unterbrunner Holz. Im Zentralbereich fällt eine Verebnung zwischen 590 und 600 m ü.NN auf. Ein bogenförmiger Höhenzug zieht von Söcking über Perchting nach Unering und schließt die Wurzelzone dreier Rinnen - Tiefenbrunner-, Unterbrunner- und Hanfelder Rinne - ein. Bei Perchting läßt dieser Höhenzug kleinere Durchlässe um 600 m ü.NN nach Süden zum Wieling-Maisinger Becken frei, so daß Grundwasser über der Tertiäroberfläche von dort der westlichen Münchener Schotterebene zufließen könnte. Der westliche Arm dieses Höhenzuges trennt die Tiefenbrunner Rinne von der Dröblinger- und Pilsensee-Rinne.

Die Wassergewinnungsanlagen von Mamhofen und Hochstadt liegen im Bereich der Unterbrunner bzw. Tiefenbrunner Rinne, die Brunnen von Andechs und Rothenfeld in der Wurzelzone der Dröblinger Rinne. Am Fuß der Hanfelder Rinne befinden sich die gefaßten Mühlthalquellen im Würmtal bei Leutstetten (Kap. BI.5).

Im Gebiet zwischen Hochstadt, Rothenfeld, Unering und Hanfeld decken sich Hochlagen und Rinnen der Tertiäroberfläche in groben Zügen mit der Gestalt der Geländeoberfläche, wobei Tertiär- und Stauer Oberfläche gebietsweise gering voneinander abweichen. Zum Vergleich dazu sei auf die Darstellungen der Tertiäroberfläche von BLASY (1974, s. Abb. A5) hingewiesen..

4.3 Grundwasservorkommen

Die in der Tabelle zur Abbildung B29 angeführten Meßreihen der amtlichen Grundwassermeßstellen zeigen bei Hochstadt ca. 40% bzw. 27% größere Schwankungen als an der ca. 3,5 km südlich davon gelegenen Meßstelle Unering. Die Schwankungsbreite der 7-jährigen Meßreihe 88/94 liegt etwa 50% unter den Mittelwerten der 30-jährigen Meßreihe. Der Grundwasserstand bei Unering lag zum Zeitpunkt der Stichtagsmessung vom 15.02.1996 1,04 m unter dem 8-jährigen und 1,33 m unter dem 30-jährigen Mittelwasserstand (MW), während er an der Meßstelle Hochstadt 0,70 m, bzw. 0,62 m, im Gewinnungsgebiet Mamhofen zwischen 0,46 und 0,88 m darüber lag. Bei Mamhofen lagen die Werte näher an den Hochwasserständen (HW), bei Hochstadt zwischen den Mittel- und Hochwasserständen, bei Unering dagegen nahe am Niedrigwasserstand. Die Grundwassersituation an der südwestlich gelegenen Meßstelle Unering unterscheidet sich somit zum Zeitpunkt der Stichtagsmessung deutlich von der an den nördlich und östlich davon gelegenen Meßstellen. Aus den Ganglinien der Jahre 1987-1994 (Abb. B29) sind solche Abweichungen nicht abzulesen.

Während der Stichtagsmessung am 15.02.1996 (Anh. 1) erreichte der Ruhewasserspiegel am Brunnen II (Mamhofen) den Stand des mittleren mehrjährigen (87/94) Hochwasserwertes (HW 600,72), während er an den übrigen Beobachtungspiegeln ungefähr zwischen den Hoch- und Mittelwasserwerten lag. Für die Grundwassergleichenkarte (Abb. B30) wurden deshalb u.a. die in der Tabelle zu Abbildung B29 angegebenen Mittelwerte verwendet.

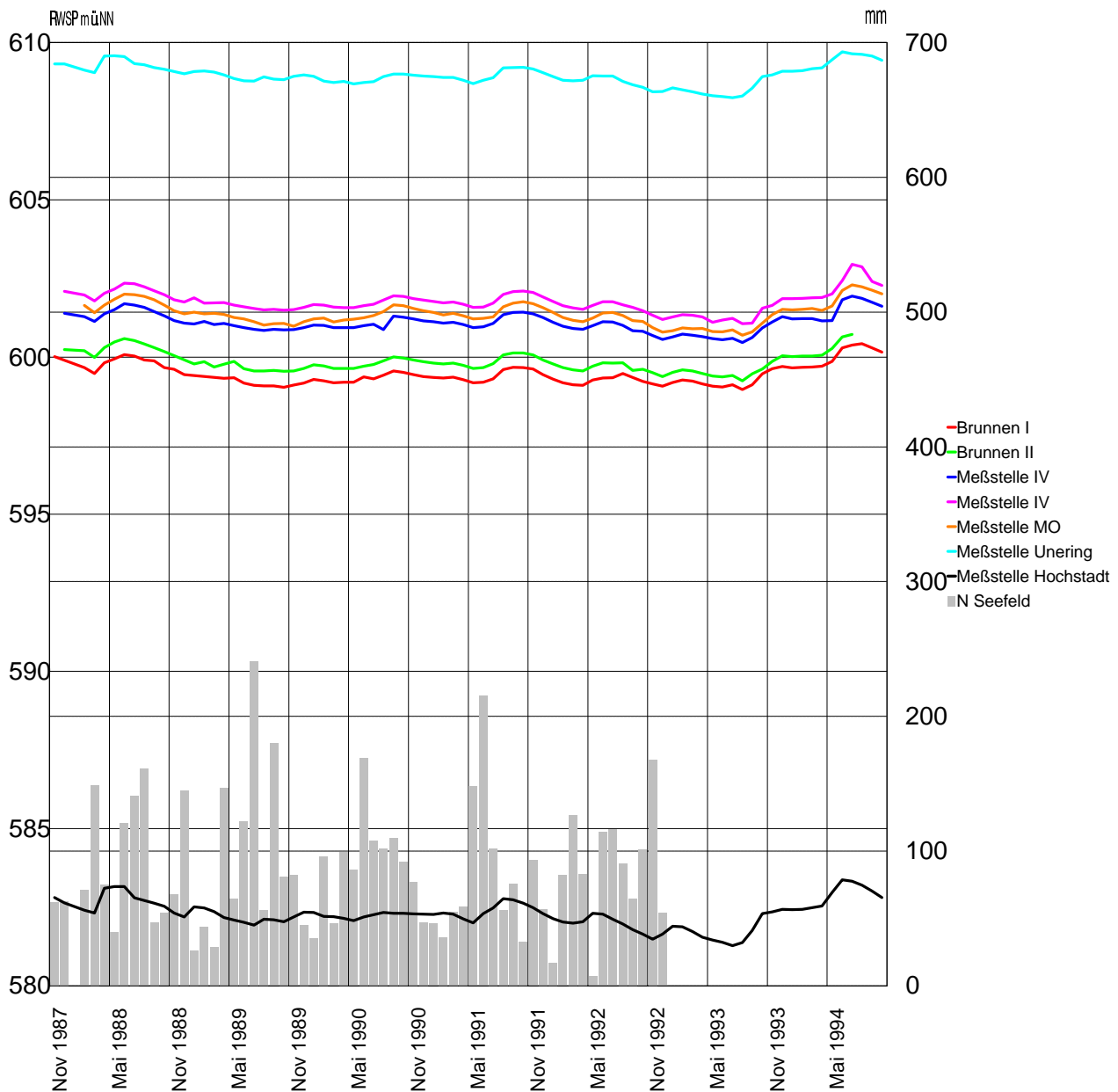


Abb. B29: Grundwasserganglinien im Gewinnungsgebiet Mamhofen und an den amtlichen Meßstellen Unering 16232 und Hochstadt 16202 (1987-1994) sowie Niederschlagshöhen (Seefeld) 1987-1992

	Mamhofen 87/94					Unering		Hochstadt	
	Br.I	Br.II	P3	P4	MO	88/94	61/90	88/94	61/90
HW (m ü.NN)	600,43	600,72	601,94	602,95	602,30	609,72	611,29	583,38	584,99
MW (m ü.NN)	599,45	599,84	601,09	601,76	601,37	608,96	609,25	582,33	582,41
NW (mü.NN)	598,97	599,24	600,46	601,06	600,69	608,22	607,78	581,28	580,53
Schwankung (m)	1,46	1,48	1,48	1,89	1,61	1,50	3,51	2,10	4,46
15.02.1996 *	600,28	600,72	601,55	602,24	601,88	607,92		583,03	
Abweichung MW	+0,73	+0,88	+0,46	+0,48	+0,51	-1,04	-1,33	+0,70	+0,62

* Stichtagsmessung WZV/BGU 1996 (s. Anh. 1)

Am Brunnen Gut Rothenfeld weisen Grundwasserspiegelschwankungen (*BLASY+MADER 1990*) abnorme Höchstwerte auf, die weder auf unterschiedliche Pumpleistungen, noch auf abweichende Klimabedingungen zurück zuführen sind. Solche Höchststände, wie sie im Oktober 1987 (661,5 m ü.NN) und im Juni 1988 (661,4 m ü.NN) gemessen wurden, fallen nicht in niederschlagsreiche Zeiten und übertreffen trotzdem die Schwankungsbreite der übrigen Werte, die ungefähr auf dem damaligen mittleren Grundwasserspiegelniveau von ca. 635 m ü.NN liegen, um ein Mehrfaches. Offenbar trifft hier zu, daß Grundwasser zu bestimmten Zeiten von einem in ein anderes Grundwassergebiet oder -stockwerk übertritt, zu anderen jedoch nicht, wobei das zutretende Wasser aus einem stärker nitrat-belasteten Stockwerk näher der Geländeoberfläche stammt.

Die Grundwassergleichen in Abbildung B30 basieren im wesentlichen auf großräumigen Stichtagsmessungen (*BGU 1995/1996*, s. Anh.1). Dazu wurden kleinräumige Stichtagsmessungen aus der Umgebung des Gewinnungsgebietes Mamhofen (*HAVEN 1995*), dem Gut Rothenfeld (*WATEC 1993*), der Verladestation Unering (*Dr.Blasy- Dr.Busse GmbH 1995*) und dem Gewerbegebiet Neuhochstadt (*Ingenieurgruppe München eG 1993*) integriert und durch Grundwasserhöhen einiger umliegender Brunnen und Meßstellen ergänzt. Zur Eichung dienten langjährige Grundwasseraufzeichnungen an den amtlichen Grundwasser-meßstellen Unering und Hochstadt (Abb. B29).

Die Grundwassermächtigkeit nimmt mit ca. 6 Meter am Golfplatz Hadorf (BG) auf ca. 9 m im Gewinnungsgebiet Mamhofen, bzw. auf ca. 15 m im Gewinnungsgebiet Hochstadt zu. An Brunnen Andechs IV und am Brunnen Gut Rothenfeld beträgt sie ca. 9-13m. Umgekehrt dazu sind die Flurabstände im südlichen Wallmoränenbereich mit rd. 40-50 m größer als im Gewinnungsgebiet Hochstadt, wo der Grundwasserspiegel nur zwischen ca. 25-30 m unter Gelände liegt.

Am Brunnen Gut Rothenfeld (1945), nördlich davon an Brunnen IV (“Eingegrabene Wiesen”) und um Seewiesen (Brunnen MIVF) sind Grundwasservorkommen um 630, 660, 675 und 685 m ü.NN erbohrt. Aufgrund auskeilender Stauschichten fließen einige der höheren Vorkommen vermutlich im Raum Rothenfeld mit dem tieferen Grundwasserstockwerk bei 630 m ü.NN zusammen.

Insgesamt zeichnen die Grundwassergleichen des Haupt-Grundwasserstockwerkes recht deutlich die Haupt-Reliefelemente der stauenden Tertiäroberfläche (Abb. B28) nach, wobei die Fließrichtung ungefähr nach Nordnordosten gerichtet ist. Geringe lokale Abweichungen werden von stauenden Sedimentlinsen (Moräne, Seeton) verursacht. Wahrscheinlich existiert ein zusammenhängendes Grundwasservorkommen zwischen dem Raum Andechs-Rothenfeld-Seewiesen und Hochstadt. Es erscheint plausibel, zwischen dem Raum Andechs-Rothenfeld und der Meßstelle Unering, einen hydraulischen Zusammenhang zu vermuten.

Die Brunnen der Gewinnungsgebiete Hochstadt, Mamhofen, Rothenfeld und Seewiesen befinden sich jeweils im Bereich hoch- und spätwürmeiszeitlicher Schotterfelder und -rinnen. Während die Flachbrunnen bei Seewiesen aus diesen Schottern fördern, stammt das Grundwasser der übrigen Gewinnungsgebiete überwiegend aus tieferliegenden, älteren Schottern.

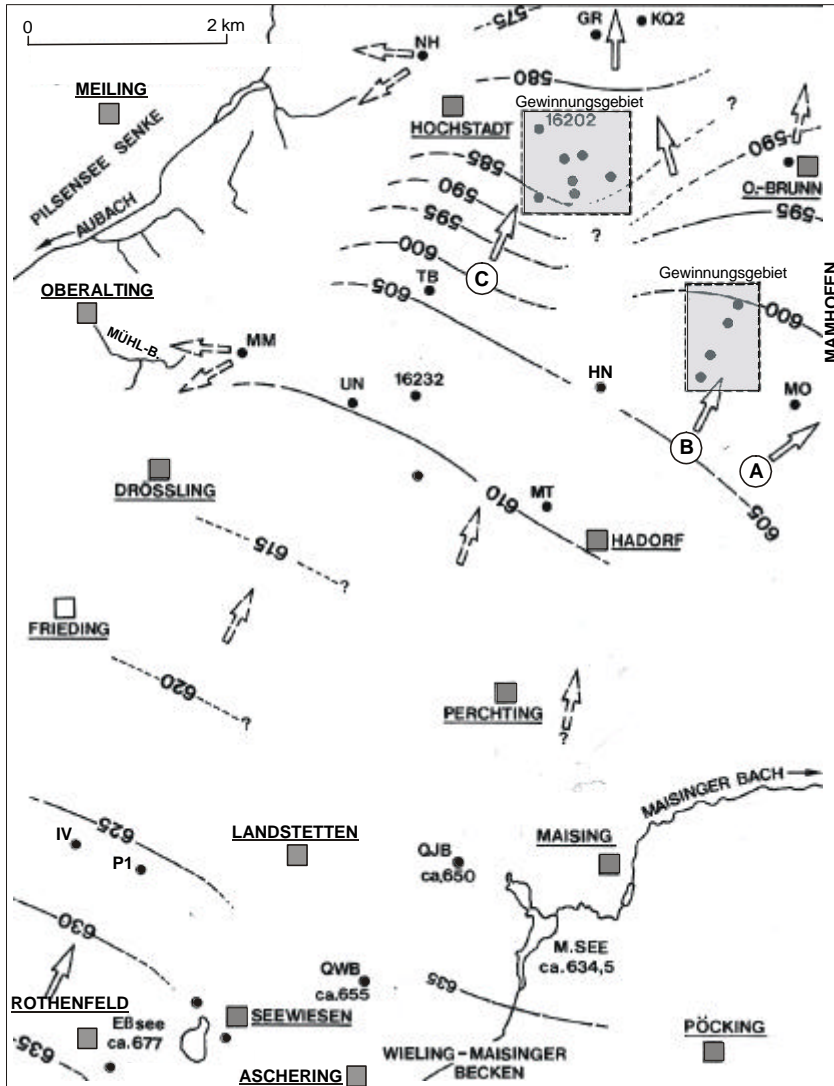


Abb. B30: Grundwassergleichen zwischen Hochstadt, Seewiesen, Frieding und Hadorf

Der Grundwasserspiegel im Löschwasserbrunnen von Oberbrunn liegt bei 593 m ü.NN. An den Brunnen Mamhofen (Wasserversorgung Starnberg) ca. 1-2 km südlich von Oberbrunn liegt er um 600 m ü.NN und korreliert recht gut mit dem in der Bohrung Mamhofen Ost (MO). Die flache Tertiäraufragung zwischen beiden Bohrungen (Abb. B28) wird zumindest zeitweise um wenige Meter überströmt. Östlich des Gewinnungsgebietes Mamhofen fließt das Grundwasser in einer, zum Würmtal zunehmend steiler abfallenden Rinne (A=Hanfelder Rinne) in östliche Richtung. Das Grundwasser tritt dort zum einen an den Mühlthalquellen aus, bzw. strömt dem Vorfluter Würm zu, zum anderen fließt es nach Nordosten in die jüngeren Schotter der Würmtalrinne, in der sich das Gewinnungsgebiet im Königswieser Forst findet. Die Gewinnungsanlagen Mamhofen und der Brunnen Oberbrunn liegen am Ostrand der Unterbrunner Rinne (B). Die Gewinnungsanlage Hochstadt befindet sich ungefähr im Zentrum der Tiefenbrunner Rinne (C). Zwischen beiden Gewinnungsanlagen existiert im Bereich der trockenen Bohrung Hanfeld Nord (HN) vermutlich eine Grundwasserscheide (Altmoräne über Tertiär), westlich davon ist die Tiefenbrunner Rinne deshalb wahrscheinlich enger als es der Gleichenplan zeigt.

Zwischen Andechs (Klosterbrunnen, hier nicht gezeigt), Rothenfeld (Brunnen „Gut Rothenfeld“), dem neuen Brunnen IV und der Meßstelle P1 liegt der Grundwasserspiegel des tieferen (Haupt-)Stockwerkes um 630 m ü.NN und ist ca. 4‰ nach Nordosten in Richtung Unering (UN) geneigt. Im Brunnen „Gut Rothenfeld“ und dem neuen Brunnen IV („Eingrabene Wiesen“) wurden zudem höhere Grundwasserstockwerke um 685, bzw. 660 m ü. NN erhohrt. Östlich davon, um Seewiesen (Brunnen des *MIVF*), ist nur ein Grundwasserstand bei 675 m ü.NN bekannt, der mit dem Spiegel des Eßsees (677 m ü.NN) in Verbindung steht. Der Eßsee selbst besitzt keinen oberirdischen Zu- oder Ablauf und wird offensichtlich direkt durch Niederschläge und Grundwasser gespeist. Die Endteufen der Brunnen bei Seewiesen betragen nur ca. 645, bzw. 665 m ü.NN, so daß ein mögliches tieferes, mit dem um Rothenfeld korrespondierendes Grundwasserstockwerk nicht erreicht werden konnte. In den Aufzeichnungen der Versuchsbohrung SW1 (Endteufe ca.615 m ü.NN; vgl. Abb. B5) sind keine Wasserstände angegeben. Die genannten höheren Grundwasserstände können mehreren kleineren, aber auch wenigen größeren Grundwasservorkommen angehören.

Quellaustritte an der Nordwestflanke des Wieling-Mäisinger Beckens zwischen ca. 650-655 m ü.NN östlich (QWB=Quelle Wildbrunn) und nordöstlich (QJB=Quelle Jägersbrunn), sowie westlich Aschering (Q1-Q3 hier nicht gezeigt), vermitteln den Eindruck eines zusammenhängenden, aus dem westlichen Andechser Höhnrrücken stammenden Grundwasservorkommens, dessen Basis um 660-670 m ü. NN liegen muß und u.U. bis in den Raum Seewiesen-Rothenfeld reicht (vgl. Abb. B11).

Im Bereich der Kiesgrube Mannert (MM) fließt Grundwasser ungefähr nach Westen bis Südwesten (*Dr. Blasy-Dr. Busse 1995*) bzw. der Grundwasserspiegel ist fast horizontal bei 610 m ü.NN (*BGU 1996/1997*). Die maximale Schwankung liegt um 0,45 m (B8). Möglicherweise handelt es sich hierbei um einen kleineren Grundwassersee, der u.U. mit dem Haupt-Grundwasserstockwerk kommuniziert und in westliche Richtungen abfließen kann.

Im Gewerbegebiet Neuhochstadt (NH) lagen die Grundwasserhöhen an den Meßstellen P1-P5 bei drei Messungen (*Ingenieurgruppe München eG 1994*) zwischen 576,19 (P4, P5 im Aug. 1994) und 577,32 m ü.NN (P2 im Sept. 1993). Die Schwankungen zwischen den Septemberwerten 1993 und dem Augustwert 1994 beträgt an P1-P4 rund 0,6 m. Die Fließrichtung variierte zwischen Südsüdwest und Nordwest. Wahrscheinlich fließt das Grundwasser generell nach Westen, bzw. nach Südwesten in die zum Ammersee gerichtete Pilsenseerinne. In den Grundwassergleichenplan (Abb. B30) wurde für den Bereich der Pegel eine Höhe von 576,5 m ü.NN übernommen.

4.4 Wasserbeschaffenheit

Alle im folgenden durchgeführten wasserchemischen Analysen stützen sich nicht auf großräumige Stichtagsmessungen und sind deshalb nur in größeren Konzentrationsintervallen miteinander vergleichbar.

An den Brunnen und Meßstellen im Umfeld des Gewinnungsgebietes Mamhofen stiegen im November 1987 die Nitratkonzentrationen von 25 im Norden (BI) auf 28 im Süden (VB4), die Sauerstoffkonzentrationen von 3,8 mg/l auf 9,8 mg/l. Die Sauerstoffkonzentration bei VB3 betrug 13,7 mg/l.

Im Umfeld des Gewinnungsgebietes Hochstadt lagen die Nitratkonzentrationen im April 1992 mit 26-33 mg/l etwas höher als bei Mamhofen. Abweichend dazu wiesen Meßstellen mit randlicher Lage im Tiefenbrunner Tal niedrigere Werte auf (Zuspeisung aus Waldgebieten). Der Sauerstoffgehalt an den Brunnen Hochstadt V und VI betrug 5-9 mg/l.

Im Kies- und Quetschwerk Oberbrunn wurden an der Meßstelle KQ2 1986 und 1988 etwas höhere Nitratkonzentrationen (36/32 mg/l) gemessen als an den Brunnen Hochstadt, an der Meßstelle KQ1 lagen sie 1981-1993 durchschnittlich etwas niedriger (20-29 mg/l) als bei Hochstadt.

Der Brunnen Andechs IV ("Eingegrabene Wiesen") zeigt von 1985 bis 1989 Nitratkonzentrationen zwischen 30-48 mg/l (Abb. B31). Spitzenwerte traten jeweils im Juli auf. Es zeichnen sich Korrelationen zwischen niederschlagsreichen Perioden, bzw. zwischen größerer Grundwasserförderung und steigenden Nitratkonzentrationen ab. Die Nitratkonzentrationen (8 Werte) im ca. 2 Kilometer südlich gelegenen Brunnen "Gut Rothenfeld" lagen zwar deutlich darunter, doch sind sie auch dort von 1964 (nahe 0 mg/l bis 1986 (23,2 mg/l) signifikant angestiegen, bis 1988 (15,0) gefallen und bis 1990 (24,1 in Abb. B31 nicht angegeben) erneut gestiegen (*BLASY+MADER 1990*). Auch die Chloridgehalte stiegen auffällig von 8,3 mg/l 1973 auf 29,4 mg/l 1988. 1990 wurden erstmals auch PSM (Atrazin und Desethylatrazin) mit steigender Tendenz, daneben geringe Ammonium- und Nitrit-Konzentrationen nachgewiesen. Der Gehalt an gelöstem Sauerstoff lag sowohl bei Brunnen IV als auch am Brunnen "Gut Rothenfeld" um 10 mg/l, also im Bereich der Sättigung. An der Meßstelle P1 wurde Ende November 1992 eine insgesamt geringere Mineralisation (el.Lf.=585 Cl=4,1; SO₄=8,9) gegenüber dem Brunnen Andechs IV (el.Lf.=668; Cl=7,9; SO₄ 18,1) festgestellten. Dabei lag Nitrat mit 23,0 mg/l deutlich unter dem Wert an Brunnen Andechs IV (47,8) (Tab. B7).

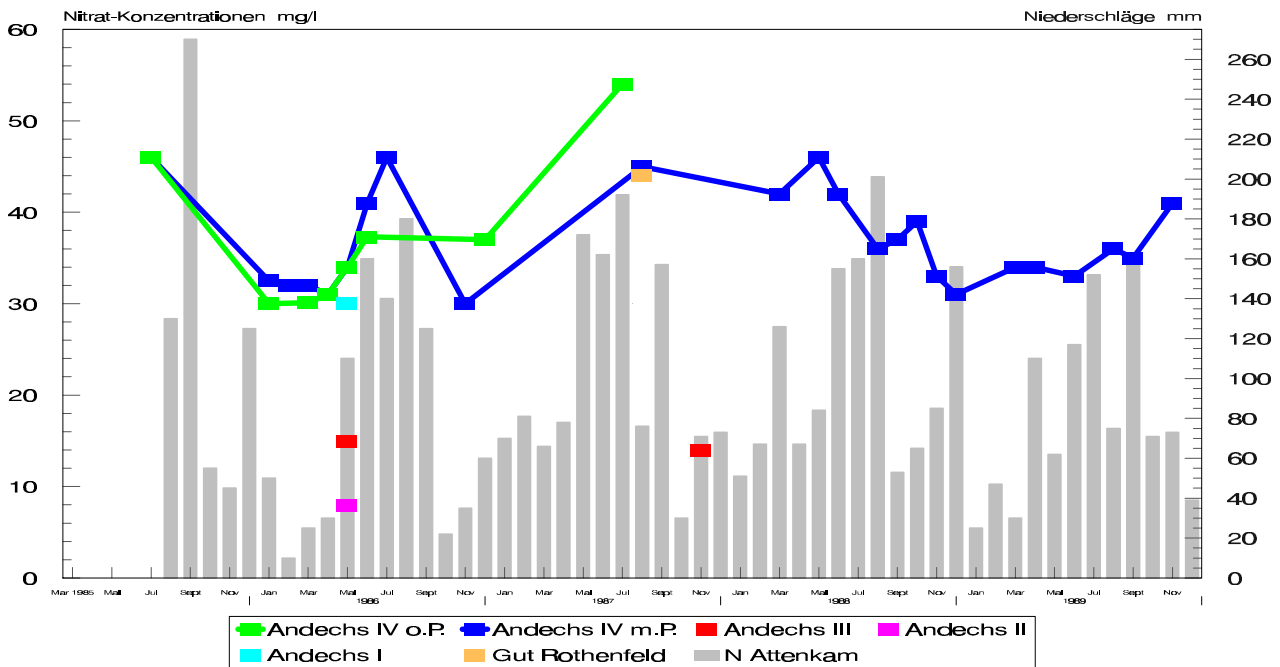


Abb. B31: Nitratkonzentrationen am Brunnen Andechs IV 1985-1989 (*BLfW 1986; WATEC 1990*) mit Vergleichswerten am Brunnen Gut Rothenfeld (*BLASY+MADER 1990*) und den Brunnen I-III im Schwellmoos (*BLfW 1986*) und Niederschlagshöhen (Attenkam)

Die höchsten Nitratwerte im Brunnen Andechs IV nördliche Rothenfeld (ohne Pumpenbetrieb=Ruhewasserspiegel) treten, abgesehen vom Jahr 1989, jeweils in den Sommermonaten (Juli 1985-1988) mit ca. 45 mg/l auf, was entweder mit dem sommerlichen Niederschlagsmaximum oder/und einem verzögert wirksamen Schneeschmelze-Maximum und damit verbundenem größeren Nitrattransport erklärt werden kann. Für den ersten Fall spräche die in Umrissen erkennbare Abhängigkeit der Nitratkonzentrationen vom jahreszeitlichen Rhythmus der Niederschlagshöhen (Monatswerte der Station Attenkam), für den zweiten die aufgrund der mächtigen Deckschichten zu erwartenden längeren Sickerzeiten. Zwei Werte während des Pumpbetriebes (m.P.) im Januar und Juli 1987 lagen im Trend deutlich über den Werten bei Ruhewasserstand. Während eines Pumpversuches vom 22.-24. Juli 1985 an Brunnen Andechs IV stiegen die Nitratkonzentrationen von 37,8 auf 43,4 mg/l an. Die Einzelwerte an den Brunnen Andechs I-III im "Schwellmoos" (16.05.1986 und 24.11.1987) betragen zwischen 30 (Andechs I) und 8 mg/l (Andechs II).

Grundwasserspiegelmessungen (Abb. B30) legen die Vermutung nahe, daß die Grundwasservorkommen am Brunnen "Gut Rothenfeld", Andechs IV und an der Meßstelle P1 miteinander in Verbindung stehen. Ursache für die stark differierenden Nitratkonzentrationen im Brunnen Andechs IV kann ein Zusammenschluß mit höheren, stärker belasteten Grundwasserstockwerken sein, der auf nach Norden auskeilenden Stauschichten beruht. Dadurch fördert der Brunnen IV ein Mischwasser und weist zuweilen höhere Belastungen auf als der südlicher, grundwasserstrom aufwärts gelegene Brunnen "Gut Rothenfeld". Die Nitratkonzentrationen in Brunnen IV verstärken sich zudem noch bei höheren Pumpleistungen.

Das Wasser der Andechser Notbrunnen an der Ostflanke des Mühlal-Baches im "Schwellmoos", ca. 1 km westlich von Erling-Andechs (vgl. Kap. BI.9), wies im Mai 1986 und November 1987 (Andechs III), abgesehen von Brunnen Andechs I (30 mg/l Nitrat), deutlich geringere Nitratgehalte (8-15 mg/l) auf, als die Brunnen und Meßstellen um Rothenfeld. Auch die Chlorid- und Sulfatgehalte waren niedriger (Tab. B7). Allerdings waren nur Spuren an gelöstem Sauerstoff und erhöhte Eisen- und Mangankonzentrationen enthalten, was "reduzierte Grundwasserverhältnisse" anzeigt. Der dabei gewöhnlich ablaufende Nitratabbau scheint bei Brunnen Andechs III noch nicht abgeschlossen zu sein.

Das Grundwasser der Brunnen im "Schwellmoos" kommuniziert anscheinend nicht unmittelbar mit dem im Raum Rothenfeld.

Tab. B7: Grundwasseranalysen an Brunnen und Meßstellen im Raum Andechs-Rothenfeld-Seewiesen

Brunnen und Meßstellen	NO ₃ mg/l	Cl ⁻ mg/l	el.Lf ?S	O ₂ mg/l
Br. Gut Rothenfeld (1964-1990) (13.-17.8.1987)	0-24,1 * 42-45	8,3-29,4 * 14-18	538-560	10,5 / 10,6
Br. Andechs I (5.1986)	30	12	624	7
Br. Andechs II (5.1986)	8	7,2	560	n.b.
Br. Andechs III (5.1986/11.1987)	15 / 14	9,5	762	8
Br. Andechs IV (1.1986-11.1992) (1985-1989)	32-47,8 * 30-46 (54)	7,9-20	496-668	9,8-11,2
Pegel Andechs P1 (11.1992)	23	4,1	585	n.b.
Br. Seewiesen I (5.1993)	32,5	n.b.	n.b.	n.b.
Br. Seewiesen II (5.1993)	19,3	n.b.	n.b.	n.b.

*) kein Ammonium und Nitrit n..b. = nicht bestimmt

Blasy+Mader 1990; MIFV 1994; WATEC 1990-1993; BLfW 1986

Tab. B8: Tritium- und $\delta^{18}\text{O}$ - Gehalte im Gewinnungsgebiet Mamhofen, am Brunnen Andechs IV und am Brunnen Gut Rothenfeld

Brunnen / Meßstellen	Tritium-Gehalte (TU)		$\delta^{18}\text{O}$
Gewinnungsgebiet Mamhofen*	04.10.1989	24.10.1990	
Brunnen I	51,9	42,8	
Brunnen II	53,4	42,0	
Meßstelle VB4	49,2		
Raum Andechs-Rothenfeld **	22.05.1990		
Brunnen Andechs IV	37,0 ± 3,0		- 10,56
Brunnen Gut Rothenfeld	41,6 ± 3,9		- 11,08

* IGU 1990

** WATEC 1990

Für das Gewinnungsgebiet Mamhofen ergeben die Werte in Tabelle 8 mittlere Verweilzeiten der Wässer von ca. 4,6 Jahren. Die großen Unterschiede der Tritiumgehalte von ca. 10 TU zwischen beiden Meßzeitpunkten lassen vermuten, daß je nach hydraulischer Beanspruchung Grundwasser zweier Grundwasserleiter aktiviert wird. Die Werte aus dem Raum Andechs/Rothenfeld sprechen für mittlere Verweilzeiten von 6 bis 10 Jahren. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zeigen, daß das Grundwasser nicht durch Verdunstung oder durch den Einfluß von Oberflächenwasser geprägt ist. Der höhere $\delta^{18}\text{O}$ -Wert am Brunnen Andechs IV gegenüber dem am Brunnen Gut Rothenfeld kann mit unterschiedlichen Einzugsgebieten der Wässer oder unterschiedlich schnell abfließenden Grundwasserkomponenten erklärt werden. (?Zuspeisung aus der randlichen, schotterreichen Wallmoräne). Wahrscheinlich liegt ein Mischwassersystem vor

4.5 Zusammenfassung

Die Tertiäroberfläche zwischen Pilsenseesenke und Würmtaal korreliert besonders im Bereich der Würmmoränenzüge eng mit der Geländeoberfläche und neigt sich generell nach NNE. Ungefähr in diese Haupt-Gefällerrichtung verlaufen nebeneinander mehrere, meist schottergefüllte Rinnen, die im Bereich der Würmendmoränen wurzeln, oder auch mit dem südlich angrenzenden Wieling-Maisinger Becken und dem westlichen Andechser Höhenrücken in Verbindung stehen.

Die Oberflächengeologie legt zuerst nahe, daß Grundwasser im Wallmoränengebiet und dem Übergangsbereich zur Münchener Schotterebene bevorzugt in den schmalen würmeiszeitlichen Schotterrinnen abfließt und daß dieses Grundwasser durch die dazwischen liegenden Moränenareale ungefähr begrenzt ist. Schichtenprofile und Grundwasseraufzeichnungen verdeutlichen jedoch, daß diese Schotter vielerorts ohne nennenswert mächtige Trennschichten unmittelbar über großflächig verbreiteten, meist unter den Wallmoränen hindurch ziehenden Reiß- oder/und Mündelschottern bzw. Nagelfluhen (Deckenschotter) liegen, wodurch einerseits eine weitgehend ungehinderte Versickerung bis in die älteren Schotter gewährleistet ist und sich deshalb auch kein größeres hangendes Grundwasserstockwerk bilden kann, andererseits das Grundwasser weiträumig, mit großem Flurabstand und mehreren Metern Mächtigkeit über der stauenden Tertiäroberfläche unter den Moränengebieten hindurch leitet. Begrenzungen erfährt dieses Grundwasservorkommen allenfalls durch Hochlagen der Tertiäroberfläche, selten durch Seeton- und Altmoränenrelikte. Deshalb zeichnet die Grundwasseroberfläche auch recht genau die Hauptrelief-formen der Tertiäroberfläche nach, wobei die o.g. Tertiärrinnen die Haupt-Grundwasserfließrichtungen vom Andechser Höhenrücken zur westlichen Münchener Schotterebene markieren. Randlich fließt Grundwasser zur Pilsensee- und Würmtalrinne.

Im südwestlichen Andechser Höhenrückens treten über großflächigeren Stauhorizonten mehrere Grundwasserstockwerke auf (vgl. Kap. BI.1), wobei höhere Vorkommen im Bereich der Endmoränenwälle aufgrund dort ausgeprägter Stauschichten mit tieferen zusammenfließen, bzw. an den Beckenrändern und tiefer eingeschnittenen Tälern austreten oder dort in jüngere Schotter übertreten. Diese hydraulischen Verbindungen zwischen meist stärker schadstoffbelasteten oberflächennahen und geringer belasteten tieferen Grundwasserstockwerken, verursachen in den tieferen Stockwerken gelegentlich außergewöhnliche Konzentrationsänderungen bestimmter Wasserinhaltsstoffe (z.B. Nitrat), wie dies beispielsweise im Raum Rothenfeld festgestellt wurde.

5 Das Würmtal bei Leutstetten (Quellaustritte an der Würm)

Die Mühlthalquellen und die Petersbrunner Quelle im Würmtal bei Leutstetten werden seit Jahrzehnten zur Trinkwasserversorgung genutzt. Heute sind nur noch die drei gefaßten Quellen des Würmtal-Zweckverbandes (WZV) am westlichen Würmufer bei Mühlthal von Bedeutung. Sie dienen zusammen mit dem Gewinnungsgebiet im Königswieser Forst (Kap. BI.6) und dem im Kreuzlinger Forst (Kap. BI.7) zur Wasserversorgung der Gemeinden Gauting, Krailling, Planegg und Gräfelfing.

Aus den drei Gewinnungsgebieten ist eine Gesamtentnahme von 540 l/s, maximal aber 5 Mio m³/Jahr (158 l/s) genehmigt. Davon entfallen auf die Mühlthalquellen maximal 140 l/s, auf die Brunnen im Königswieser Forst maximal 230 l/s und auf die Brunnen im Kreuzlinger Forst maximal 170 l/s.

Wegen bakterieller Verunreinigungen und ansteigender Nitratgehalte an den Mühlthalquellen kam es schon zur zeitweisen Stilllegung der Quellwasserversorgung und in Folge zu einer Überlastung der Gewinnungsanlagen im Königswieser und Kreuzlinger Forst.

5.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten (JERZ 1987a, s. Kartenverzeichnis)

Die Umgebung des Würmtales bei Leutstetten bildet mit ihren jungpleistozänen Endmoränenwällen den Übergangsbereich vom Gletscherzungenbecken des Würmsee zum Würmtal- und zur Münchener Schotterebene. Das Würmtal diente, neben weiteren Schotterrinnen, den eiszeitlichen Schmelzwässern als Abflußrinne nach Norden und ist tief in die Tertiäroberfläche eingeschnitten. Die Tertiärbasis ist lediglich am Würmostufer nahe Mühlthal aufgeschlossen.

Ältere Schotter (?Deckenschotter) treten am Nordrand des Würmseebeckens zwischen Starnberg und Petersbrunn, nördlich davon im Würmtal bis zur Lokalität Mühlthal und an den Einschnitten der Bahntrasse bei Rieden an der Oberfläche aus. Sie sind bevorzugt an den Talrändern fest zu Nagelfluhen verbacken, während sie unter Überdeckung meist lagenweise und flächenhaft verfestigt sind und mit lockeren Kies-, Schluff- und Tonschichten wechsellagern.

Ablagerungen (Moränen, Schotter) des rißeiszeitlichen Loisach-(Ammersee-) Gletschers reichen westlich der Würm nach Norden bis über Fürstenfeldbruck hinaus, östlich der Würm bis an den Buchendorfer Forst. Im Süden grenzen sie, ungefähr auf der Linie Unering-Hanfeld-Leutstetten-Wangen, an die würmeiszeitlichen Endmoränen. Ehemals ausgedehnte rißeiszeitliche Schotterfelder (Hochterrassenschotter), wie sie teilweise noch an den Rändern der Reißmoränenzüge um Pentenried und Buchendorf vorkommen, wurden durch Seitenerosion würmeiszeitlicher Schmelzwasserströme weitgehend abgetragen oder, v.a. weiter im Norden, von Würmschottern (Niederterrassenschottern) überlagert. Reißeiszeitliche Moränen und Schotter sind vielerorts noch von Löß- und Lößlehmschichten überzogen. In den äußeren Würm-Endmoränen wurzeln mehrere Schotterstränge, die stellenweise durch Reißmoränen hindurchführen, wie z.B. zwischen Mamhofen und Würmtal oder parallel zur Würmtalrinne in Richtung Gauting, mit einer Verzweigung in Richtung Hausen. Zwei breite Schotterstränge (Tiefenbrunner- und Würmtalrinne) ziehen beiderseits des Reißmoränengürtels nach Norden. Dabei handelt es sich um Hochwürm- sowie um Spätglazialschotter. Nacheiszeitliche Schotter begleiten einem schmalen Streifen beiderseits des Würmufers.

Zwischen Perchting und dem Würmtal sind Tertiär- (um 595 m ü.NN) und Deckenschotteroberfläche (um 630 m ü.NN) fast eben und nur flach nach Nordosten geneigt. In der Umgebung von Rieden wurden wahrscheinlich jüngere, unverfestigte Schotter an Stelle abgetragener Nagelfluhen abgelagert. Grundwasser fließt nur wenige Meter über der Tertiäroberfläche in unverfestigten Schottern des ?mindeleiszeitlichen Nagelfluh-Schotter-Komplexes auf die Mühlthalquellen zu (Abb. B32, B36). Es tritt u.a. im Würmendmoränenbereich an der Grenze Deckenschotter zur Tertiäroberfläche aus. Die Gewinnungsanlagen am Königswieser Forst befinden sich südlich Gauting in der würmeiszeitlichen Schotterfüllung der Würmtalrinne.

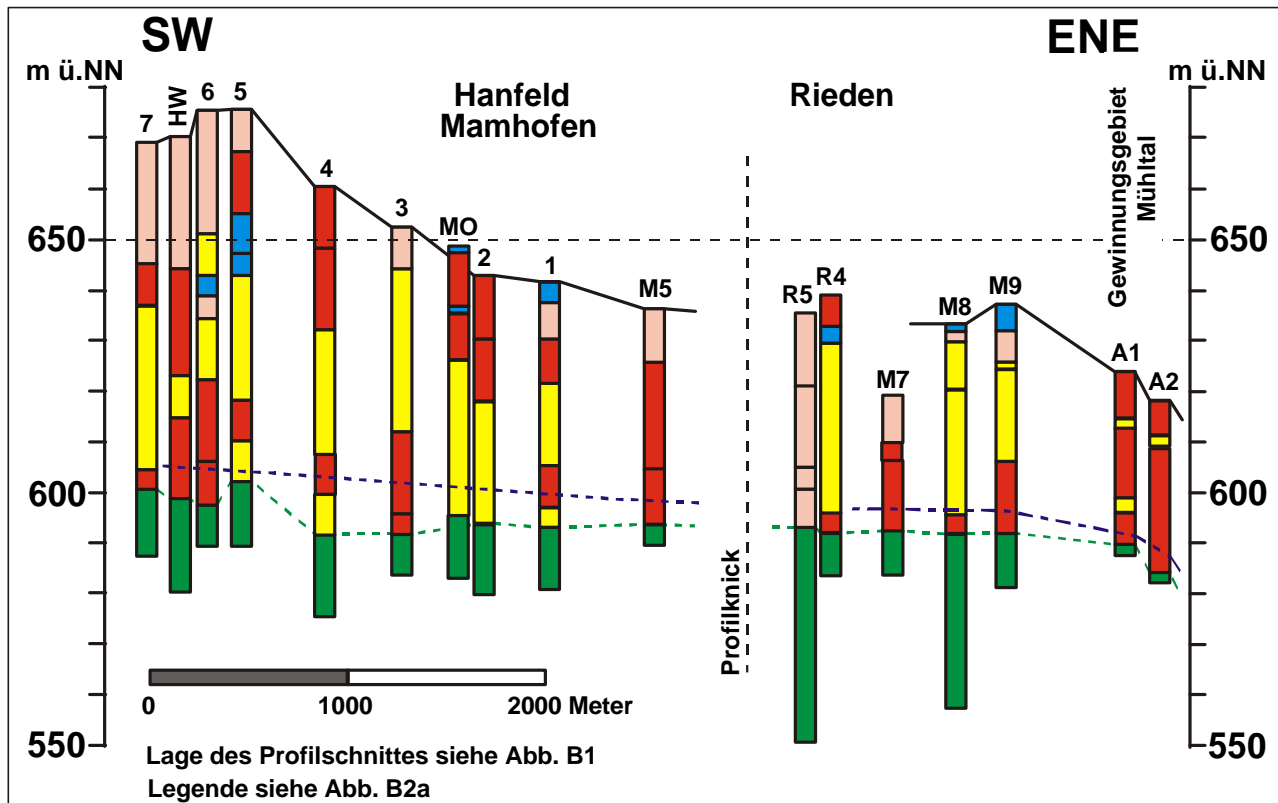


Abb. B32: Südwest-Nordost Profilschnitt von Perchting zu den Mühlthalquellen (Gewinnungsgebiet)

Die Tertiäroberfläche fällt zwischen S7 und A1 an den Mühlthalquellen nur gering (rd. 0,3%) nach Nordosten ab und bildet eine Verebnung um 590-600 m ü.NN. Darüber folgen zwischen 65 Meter (S5) und 27 Meter (M7) mächtige quartäre Ablagerungen. Zwischen S7 und M9 sind die untersten, stellenweise bis 15 Meter mächtigen Lagen des Nagelfluh-Schotter-Komplexes unverfestigt. Darin fließt das Grundwasser mit einer Oberfläche um 600 m ü.NN in Richtung Mühlthalquellen im Würmtal. In den bis zu 30 Meter mehr oder weniger kompakt verbackenen Nagelfluhen darüber, in die auch Schluff- und Tonschichten eingeschaltet sind, ist kein weiteres, nennenswertes Grundwasserstockwerk ausgebildet. Über der Nagelfluhoberfläche um 625 bis 645 m ü.NN liegen zwischen den Bohrungen S7 und M5 stellenweise über 20 Meter unverfestigte Kiese und Moräne. Die größten Geländehöhen im Südwesten werden durch mehr oder weniger schluffreiche Moräne gebildet, die auch die größten Geländehöhen aufbaut. Im Bereich um Rieden, an den Meßstellen M5 und M7, gibt es kaum verfestigte Schotter. In einigen Profilen zeichnet sich ein Feinsedimenthorizont um 640 m ü.NN ab.

Der Nagelfluh-Schotter-Komplex im Würmtal wurden von JERZ (1987a) als mindeleiszeitliche Deckenschotter eingestuft, die unverfestigten Schotter darüber sind wahrscheinlich zur Würmeiszeit abgelagert worden, ebenso wie die über diesen Schottern liegende Moräne. Die lockeren Kiese, die bei M5 und M7 zur Tertiäroberfläche reichen, sind vermutlich von Schmelzwässern des Würmsee-Gletschers im Bereich einer ehemals westlich des heutigen Würmtals existierenden Abflußrinne ausgeräumt und nachträglich wieder mit Schotter verfüllt worden. Stellenweise liegt wieder Würmmoräne darüber. Im hier nicht gezeigten, südlich der Quellen gelegenen Verlandungsbereich des Würmsee sind Seetone- und -kreiden mit Oberflächen um 600 m ü.NN verbreitet (JERZ 1987a).

5.2 Tertiäroberfläche

Eine hier nicht wiedergegebene Tertiäroberflächenkarte der Umgebung des Schön-Berges, die zur Beurteilung der Grundwasserfließrichtung im Umfeld der Mühlthalquellen und der Brunnen im Königswieser Forst erstellt wurde (WATEC 1994), verzeichnet an den Meßstellen M8 und M9 Tertiärhöhen um 573, bzw. 580 m ü.NN (Abbildung B36 zeigt sie dort nach Bohrangaben ca. 15 Meter tiefer). Vom Schön-Berg, an dem diese Karte Tertiärhöhen über 610 m ü.NN angibt, fällt die Tertiäroberfläche nach Norden zu einer Rinne ab, die weiter nach Nordosten auf die Meßstellen M1 und M2 und auf das Gewinnungsgebiet Königswieser Forst weist. Ein nennenswerter Grundwasserzstrom über der Tertiäroberfläche nach Osten zu den Quellen im Würmtal wäre danach nicht plausibel.

Die Tertiäroberflächenkarte von BLASY (1974, s. Abb.A5) verzeichnet im Bereich um den Schön-Berg sogar Höhen bis 630 m ü.NN, was offensichtlich aus einem irrtümlich bei ca. 660 m ü.NN angegebenen Ansatzpunkt der Versuchsbohrung "Schön-Berg" resultiert. Eigene Recherchen ergaben, daß diese und weitere Bohrung unmittelbar am Hangfuß des Schön-Berges, nahe der Petersbrunner Quelle bei ca. 612 m ü.NN ansetzten (Abb. B36). Dadurch ergeben sich für die Tertiäroberfläche dort wie in der nahen Quellbohrung Petersbrunn (QP) nur Höhen von ca. 575 m ü.NN.

Die neue Tertiäroberflächenkarte (Abb. B33) zeigt um Mamhofen ein Hochgebiet wenig über 600 m ü.NN, das nach Norden bis über Unterbrunn hinaus auf ca. 560 m ü.NN abfällt. Ein kleineres Hochgebiet tritt im Süden nördlich von Starnberg auf. Dazwischen führt eine breite Rinne (Hanfelder Rinne) aus dem Raum Perchting in Richtung Mühlthalquellen und Würmtal. Östlich der Hochgebiete fällt die Tertiäroberfläche steil bis ca. 540 m ü.NN zur Würmtalrinne ab, die fast in Nord-Süd Richtung verläuft und im Osten von einer bis über 580 m ü.NN reichenden steileren Flanke begrenzt wird.

Im Zentrum der Würmtalrinne befinden sich etwa 2km südlich Gauting die Brunnenanlagen im Königswieser Forst (Kap. BI.6). Von dort aus zeichnet sich eine Teilrinne nach Nordnordosten in Richtung auf die Brunnen im Kreuzlinger Forst ab (Kap. BI.7). Östlich der Linie Mamhofen-Hausen-Unterbrunn kann Grundwasser über der Tertiäroberfläche in die Würmtalrinne gelenkt werden.

Wahrscheinlich existiert unmittelbar östlich der Mühlthalquellen eine gering ansteigende Nord-Süd-Verbindung in das heutige Würmseebcken. Diese mag noch vor der starken glazialen Übertiefung des Beckens zur Rißeiszeit die Talung eines alten Flußlaufes gewesen sein ("Urloisach"), wie sie bereits von KNAUER (1952, S.16) etwas östlich der heutigen Würmfurche als interglazialer Flußlauf vermutet wurde (Kap. BII.1.3).

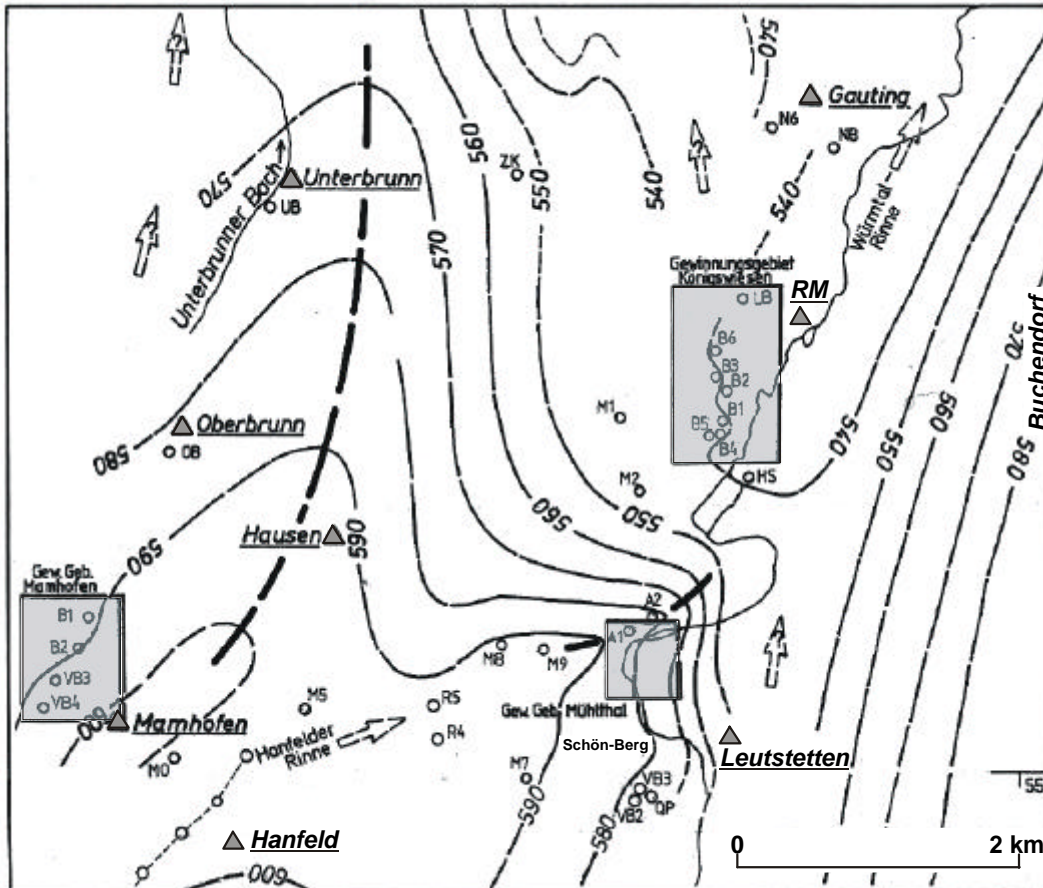


Abb. B33: Die Tertiäroberfläche zwischen Mamhofen - Mühlthalquellen und Königswiesen

Zwischen dem Gewinnungsgebiet Mamhofen (Brunnen B1/2/VB3/4) der Stadt Starnberg und Hanfeld verläuft eine flache, relativ gleichmäßig nach Nordosten abfallende Rinne (Hanfelder Rinne) die im Nordwesten und Süden durch Höhen um 600 m ü.NN begrenzt wird. Die weiter im Nordwesten gelegene Unterbrunner Rinne (Gewinnungsgebiet Mamhofen, Abb. B28) weist ähnliche Höhen auf. Ein zusammenhängender Grundwasserspiegel zwischen beiden Rinnen ist bei Grundwasserhöhen über 600 m ü.NN möglich. Beide Rinnen wurzeln vermutlich im Raum Perchting bzw. weiter im Süden im Bereich des Wieling-Maisinger Beckens (Abb. B10). Das Hochgebiet südlich der Hanfelder Rinne trennt diese von der Maisinger Rinne (Gewinnungsgebiet Maisinger Schlucht, Stadt Starnberg). Die Hanfelder Rinne weitet sich in Richtung der Mühlthalquellen zu einer Plateaufläche mit Höhen wenig über 590 m ü.NN auf. Die Bohrpunkte R4/R5 markieren eine kleinere lokale Hochlage auf diesem Plateau und deuten an, daß darauf ein Kleinrelief ausgebildet ist. Zwischen den Hochlagen an den Meßstellen M8/M9 und am Schön-Berg zeichnet sich eine etwa West/Ost-verlaufende Rinne ab, die bis an den Würmeinschnitt bei Mühlthal reicht, wo die gefaßten Quellen des Würmtal-Zweckverbandes und die südlich davon gelegenen Quellen Q1-Q11 (nicht gezeigt) am Schön-Berg austreten. Der Schön-Berg ist wahrscheinlich nur eine flache, vom Grundwasser umströmte Hochlage. Zwischen der Quelle 11 und der Quelle Petersbrunn tritt deshalb kaum Grundwasser aus. Südlich des Schön-Berges fällt die Tertiäroberfläche nach Osten bis Südosten in das ehemalige Gletscherzungenbecken ab. Nordwestlich der Bohrungen Rieden 4/5 und der Meßstellen M8/M9 zeichnet sich unterhalb ca. 580 m ü.NN eine Teilrinne nach Nordosten ab, die in Richtung des Gewinnungsgebietes Königswieser Forst weist. Unmittelbar nördlich der Meßstellen M8/9 und A1/2 fällt die Tertiäroberfläche steil nach Norden. An der östlichen Würmtalflanke bei Mühlthal streicht die Tertiäroberfläche zwischen ca. 580-590 m ü.NN knapp einen halben Kilometer in West-Ost-Richtung aus (JERZ 1987a; s. Kartenverzeichnis). Die Würm hat sich hier zumindest einige Meter in den tertiären Untergrund eingetieft und da sich dort, im Gegensatz zum westlichen Würmufer, keine Quellaustritte befinden, ist zu vermuten, daß die Tertiäroberfläche wenig östlich davon wieder abfällt. Am Südostfuß des Schön-Berges (Petersbrunner Quelle) liegt die Tertiäroberfläche bereits bei 575 m ü.NN. Nach BGLA (1982; s. Abb. A6) zielt eine Tertiärrinne im Bereich Heimathshausen/-Leutstetten mit einer Tiefenlage von mindestens 560 m ü.NN nach Norden, so daß eine Rinne mit flachem Gefälle zwischen dieser und der Würmtalrinne plausibel ist, die noch vor der großen Übertiefung des Würmseebeckens zur Rißeiszeit das Tal einer "Urloisach" war. Die Ostflanke der Würmtalrinne steigt bis etwa in den Raum Gäuting auf ca. 570 m ü.NN an. Im Westen schwenkt die 550-Meter-Isolinie wahrscheinlich im Bereich der Versuchsbohrung Zentralkrankenhaus Gäuting (ZK) nach Westen und dann weiter nach Südwesten in die Unterbrunner Rinne. Nördlich davon liegen aus dem westlichen Würmrandgebiet bis Stockdorf keine Angaben über die Lage der Tertiäroberfläche vor. Tertiärhöhen über 550 m ü.NN sind nicht belegt. Interpoliert man die 540-Meter-Isolinie aus der Würmtalrinne entsprechend dem Verlauf der 550-Meter-Isolinie und verbindet sie mit der 540-Meter-Isolinie im Raum Pentenried, so entsteht eine mögliche Verbindung zwischen der Unterbrunner Rinne (bei BLASY 1974 "Neugerminger Rinne"), bzw. der Teilrinne im Bereich der Gewinnungsanlage Kreuzlinger Forst (Kap. BI.6). Nach BLASY (1974; s. Abb. A5) liegen die Königswieser Brunnen im Randbereich einer nach Süden in Richtung Mühlthalquellen bis über 580 m ü.NN steil ansteigenden Rinne. Im Bereich Mühlthal/Leutstetten hat BLASY Tertiärhöhen bis 630 m ü.NN verzeichnet. Abgesehen von einem Tertiäraustrich am östlichen Würmufer mit einer Höhe von ca. 600 m ü.NN sind östlich der Würm keine weiteren Tertiärhöhen erfaßt.

Das Isolinienbild der Grundwasseroberfläche (Abb. B34) vermittelt ein ähnliches "Relief" wie das der Tertiäroberfläche (Abb. B33). Das Grundwasser fließt aus westlicher bis südwestlicher Richtung den Quellen und Gewinnungsanlagen (Königswiesen) im Würmtal zu. Die nördliche Randstromlinie des gemeinsamen Anstrombereiches der Quellen orientiert sich an der Grundwasserscheide im Bereich der Meßstellen A1/A2 zu M8/M9. Die südliche Randstromlinie muß zwischen der Iglquelle und der südlich gelegenen Quelle Q1 verlaufen, also etwa im Bereich der Straße Mühlthal/Obermühlthal. Bei Starkregenereignissen ist im Bereich des Tertiärrückens zwischen Hanfeld und Mamhofen ein verstärkter Grundwasserzufluß in Richtung Hanfelder Rinne bzw. ein Umbiegen der Grundwasserhöhen gleichen mehr nach Westsüdwest zu erwarten. Die weitere Begrenzung des Zuspeisungsbereiches nach Südwesten orientiert sich an der vermuteten Begrenzung der Hanfelder Rinne (Abb. B33, B28).

Im näheren Umfeld der Mühlthalquellen sind nach Auswertung dreier Stichtagsmessungen keine jahreszeitlich bedingten Änderungen der Grundwasserfließrichtung ersichtlich.

Die Grundwassermächtigkeit im Anstrombereich der Quellen beträgt bei Rieden 0,8 m (R5) bzw. 4,40 m (M7), an den Meßstellen M8, M9 und A2 zwischen 3,5 und 4 m, an der Meßstelle A1 nur 1,5 m (WATEC 1994, BGZ / WZV 1995). Der geringe Wert bei R5 ist auf eine lokale Stauer-Hochlage zurückzuführen, der gleichfalls geringe Wert bei A1 auf eine kleinere Barriere (Tertiär-Hoch) nördlich der Bohrung A2, noch vor dem "Steilabfall" der Tertiäroberfläche in die Würmtalrinne. Diese Barriere wird zumindest bei höheren Grundwasserständen überströmt.

Die bedeutendsten Quellaustritte in diesem Gebiet sind die 1898 gefaßten Mühlthalquellen des Würmtal-Zweckverbandes (Igl-, Bahn- und Fischzuchtquelle; IQ, BQ, FQ), südlich davon die ungefaßten Quellen Q1-11, deren mögliche Nutzung im Anschluß an die Erhebungen zu dieser Fallstudie untersucht wurde (BGU / WZV), sowie die gefaßte Quelle bei Petersbrunn, an der das Wasser artesisch austritt (Grundwasseranstieg von ca. 6,0 auf ca. 0,5 m u.GOK). Jahresgang und Variabilität der Schüttungen an den gefaßten Mühlthalquellen (IQ,BQ,FQ; 1987-1990), sowie monatliche Niederschlagshöhen sind in Abbildung B35 und Tabelle B9 ersichtlich.

Danach betrug die mittlere jährliche Schüttungsmenge 1986-1990 der drei Mühlthalquellen 142 l/s, die mittlere jährliche Entnahmemenge 107,5 l/s, also ca. 75% der mittleren Quellschüttung. Der Anstieg der Schüttungsmaxima in den Sommermonaten der Jahre 1987 und 1990, beginnend im Mai bzw. April, läßt sich zumindest für April 1987 mit erhöhten Niederschlägen korrelieren, 1988/89 zeigt sich kein vergleichbarer Verlauf. Die jährlichen Schüttungsschwankungen resultieren hauptsächlich aus der jahreszeitlichen Variabilität der Niederschläge bzw. unterschiedlicher Grundwasserneubildung. Während der Zeiträume 1943-1985 und 1981-1991 weichen die Quellschüttungsmengen nicht wesentlich voneinander ab. Lediglich die Schüttungsminima an der Iglquelle sind im längeren Beobachtungszeitraum etwas niedriger.

Die Schüttungen von unmittelbar südlich der gefaßten Mühlthalquellen auf einer Strecke von ca. 400 m austretenden Quellen (Q1-Q11) variieren zwischen 1,5 und 13 l/s. Ihre Gesamtschüttungsmenge beträgt rd. 60 l/s. Die Petersbrunner Stauquelle schüttet ungefähr 20 l/s (Tab. B10). Zwischen der Quelle Q11 und der Würmbrücke deuten Kalksinterbildungen auf einer Strecke von über 200 m am linken Würmufer auf weitere Grundwasseraustritte bzw. grundwasserführende Schichten hin.

Aus Bohrungen im Bereich der Iglquelle und Q1 ist bekannt, daß aufgrund der Tiefenlage der Tertiäroberfläche nur ein Teil des Grundwasserzuflusses austritt. Der restliche Zustrom fließt zur Würm oder unter der Würm in östliche Richtung ab. Die geringeren Quellschüttungen an diesem Uferabschnitt sind vermutlich darauf zurückzuführen.

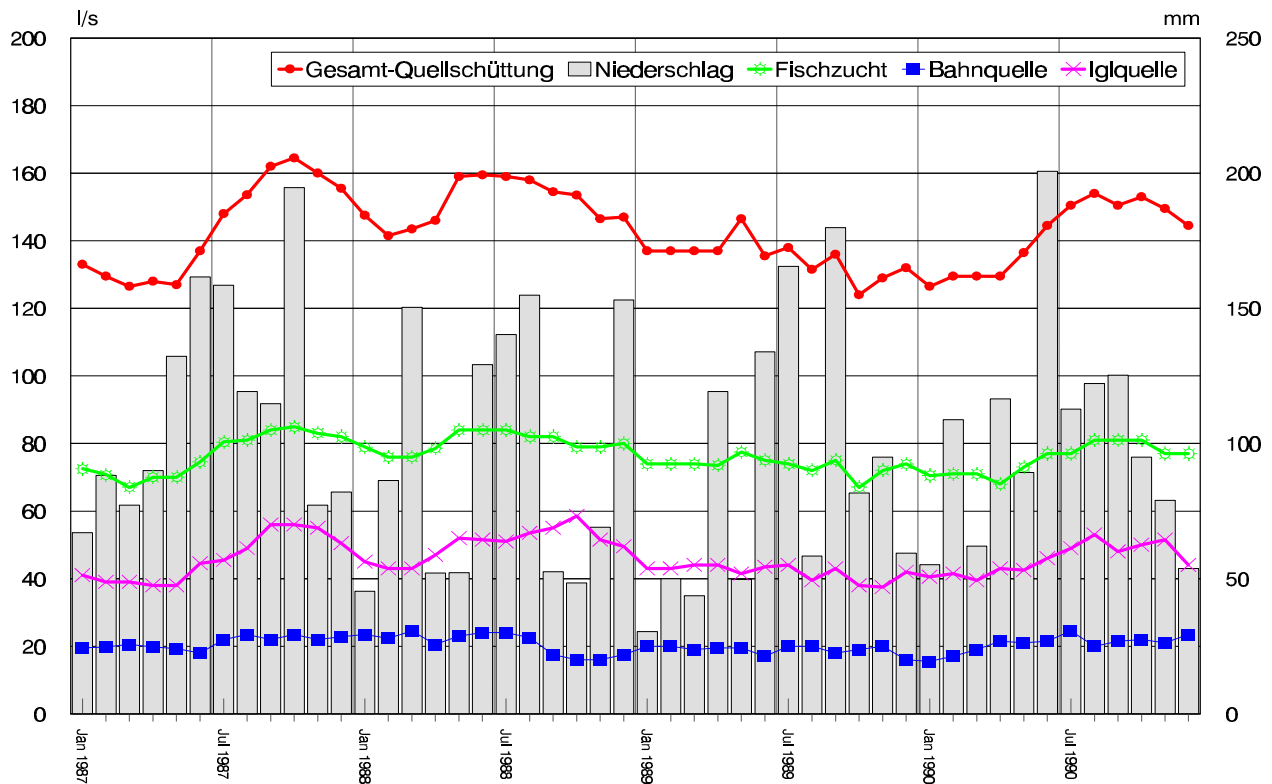


Abb. 35: Schüttungen der Mühlthalquellen - Monatsniederschläge (Station Starnberg) - 1887-1990

Tab. B9: Schüttungen (Variabilität) der gefaßten Mühlthalquellen (l/s)

	Quelle	Quellschüttungen	Variabilität der Schüttungen
1981-1991	Iglquelle	26 - 70*	ca. 44
	Bahnquelle	13 - 30*	ca. 17
	Fischzuchtquelle	60 - 96*	ca. 36
	Gesamt	99 - 196	
1943-1985	Iglquelle	14 - 70**	ca. 56
	Bahnquelle	10 - 32**	ca. 22
	Fischzuchtquelle	57 - 97**	ca. 40 (1951-1963)
	Gesamt	81 - 199	

* WATEC (1993)

** JERZ (1987a, Beil. 4)

Tab. B10: Gesamtquellschüttungen am westlichen Würmufer zwischen Mühlthal und Petersbrunn

Quelle	Quellschüttungen
Igl-, Bahn- und Fischzuchtquelle:	Mittel rd. 140 l/s
Quellen Q1 - Q11:	rd. 60 l/s (Q1-Q11; WZV 1.8.1957)
Stauquelle Petersbrunn:	rd. 20 l/s (Pumpversuch vom 15.9.1982)
Gesamt	rd. 220 l/s

Die Würm fließt nördlich des Durchbruchtales bei Leutstetten ca. 25 m über der Grundwasseroberfläche auf gut durchlässigen Schichten des Würmtales ab. BLASY (1974; Flügelradmessungen am 26.04.1973) zeigt zwischen Leutstetten und Stockdorf/Krailling sowohl Bereiche, in denen Oberflächenwasser versickert, als auch solche, in denen eine Zunahme des Abflusses erfolgt und gibt Größenordnungen dieser Defizite und Zuwächse an. Danach fließen der Würm im Uferabschnitt mit den o.g. Quellaustritten 423 l/s zu, während im Bereich nördlich des Würmdurchbruches, in dem der Fluß bereits in der breiten Schotterrinne fließt, 437 l/s in das Grundwasser infiltrieren.

Der Oberflächenabfluß der Würm beträgt am Pegel Leutstetten bei Starnberg, in der Nähe des Meßpunktes P1, nach langjährigen Abflußmessungen (1921/1986, BLFW 1988) zwischen 0,97 (NQ) und 16,5 m³/s (HQ), der Mittelwasserabfluß (MQ) 4,63 m³/s (vgl. Abb. B37b). Nimmt man daraus die Frühjahrswerte des Jahres 1973 (April: NQ=2,91; MQ=3,59; HQ=4,15; Mai: NQ=3,65; MQ=3,84; HQ=4,10 jeweils in m³/s) und vergleicht diese mit dem von BLASY am 26.04.1973 gemessenen Wert am Meßpunkt P1 (4,91 m³/s), so fällt auf, daß sogar die Höchstwasserstände (HQ) der amtlichen Messungen um rd. 800 l/s (rd. 16%) niedriger liegen, als der einmalig mit dem Flügelrad gemessene Abfluß von BLASY. Die amtlichen Niedrigwasserstände (NQ) liegen rd. 1600 l/s (rd. 32 %), die monatlichen Mittelwerte (MQ) 1200 l/s (25 %) darunter.

Die Messungen von BLASY am 26.04.1973 wurden nach mehreren niederschlagsfreien Tagen durchgeführt, so daß zum Meßzeitpunkt wahrscheinlich Niedrigwasserabfluß herrschte. Es wird deshalb angenommen, daß sie bezogen auf den amtlich gemessenen NQ rd. 30 % zu hoch sind und daß dieser Meßfehler an allen Meßstellen ungefähr gleich groß ist. Im langjährigen Mittel liegt der MQ rd. 75 % über den mittleren Niedrigstwerten (MNQ), weshalb der durchschnittliche Wasserverlust der Würm zwischen P2 und P3 rd. 765 l/s betragen kann.

Gemäß der Differenz aus der Gesamtquellschüttungsmenge am westlichen Würmufer von ca. 220 l/s (Tab. B10) und der mittleren jährlichen Fördermenge an den Mühltalquellen von rd. 107 l/s (Anh.2), können der Würm in diesem Abschnitt Quellwasser in einer Größenordnung von 115 l/s zufließen. Die Differenz dieses Wertes zu dem von BLASY gemessenen Zustrom in die Würm (423 l/s) beträgt rd. 308 l/s. Grundwasser in dieser Größenordnung muß im o.g. Gewässerabschnitt zusätzlich zuströmen.

Für den o.g. gemeinsamen Anstrombereich der Quellen mit einer Breite von ca. 500 m ergibt sich nach der Formel von DARCY ein mittlerer Grundwasserzufluß von 120-150 l/s (mit $k_f=0,004$ m/s, $I=1,5\%$, $M=4-5$ m). Dies entspricht der gemessenen mittleren Schüttungsrate der Quellen von 140 l/s. Durch eine Bohrung im Bereich der Iglquelle ist bekannt, daß hier die Grundwassersohlschicht (quartärer Feinsedimenthorizont) über dem Wasserspiegel der Würm liegt. Somit ist anzunehmen, daß der Haupt-Grundwasserzustrom im gemeinsamen Anstrombereich über die Igl-, Bahn- und Fischzuchtquelle gefaßt wird. Die einzelnen Austritte der Quellen am westlichen Würmufer sind vermutlich durch ein Kleinrelief innerhalb der Grundwassersohlschicht bedingt. Zudem wird der Grundwasserzustrom im Nahbereich der Quellen durch die fassungstechnischen Gegebenheiten (Filterstränge) gelenkt.

5.4 Wasserbeschaffenheit

An der Iglquelle (südlichste Quelle) waren die Nitratkonzentrationen zwischen 1990 und 1993 mit 19-22 mg/l am niedrigsten, an der Bahn- (mittlere Quelle) und Fischzuchtquelle (nördlichste Quelle) im

gleichen Zeitraum mit 26-30 mg/l, bzw. 24-34 mg/l am höchsten. Bahnquelle und Fischzuchtquelle zeigen auch einen zeitlich ähnlichen Konzentrationsverlauf. Dabei traten an der Fischzuchtquelle bei gleichen Meßintervallen im Gegensatz zu den Jahren 1990 und 1991 in den Jahren 1989, 1992 und 1993 keine bedeutsamen Meßwertschwankungen um den Wert von 25 mg/l auf. An der Petersbrunner Quelle wurden im Zeitraum 1985-1990 Nitratkonzentrationen von 21-29 mg/l gemessen.

Die Sauerstoffgehalte der genannten Quellwässer lagen bei Wassertemperaturen von 9 °C mit 8-10 mg/l im Sättigungsbereich.

Zwei im Winter bzw. Frühjahr an der Quelle Petersbrunn gemessene Chloridkonzentrationen (28-30 mg/l) waren deutlich höher als vier Septemberwerte an den Mühlthalquellen (14,2-17,7 mg/l).

An den drei Mühlthalquellen wurden PSM (Atrazin, Desethylatrazin) nachgewiesen. Zum Teil lagen die Konzentrationen über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung für Einzelsubstanzen von 0,1 µg/l. Bei zeitgleicher Beprobung in den Jahren 1989-1991 traten an den drei Quellen ähnlich hohe Desethylatrazin-Konzentrationen auf, während Atrazin nur an der Igelquelle und der Bahnquelle vorkam.

Erhöhte Nitratkonzentrationen, sowie die zum Teil über dem Grenzwert liegenden PSM-Gehalte stammen wahrscheinlich aus dem Bereich der Rodungsinsel Hanfeld. Der Hauptteil dieser Flächen wird ackerbaulich genutzt. Die höheren Chloridkonzentrationen an der Petersbrunner Quelle sind auf den Einfluß von Salzung auf der Straße Starnberg-Gauting zurückzuführen.

5.5 Zusammenfassung

Eine am Schön-Berg von früheren Bearbeitern irrtümlich über 600 m ü.NN angenommene Tertiär-Hochlage wurde nach gründlichen Recherchen und Berechnungen auf unter 590 m ü.NN korrigiert. Aus dem daraus resultierenden neuen Oberflächenbild der Tertiäroberfläche, einer Grundwassergleichenkarte, dem rekonstruierten quartären Schichtenbau sowie wasserchemischen Merkmalen waren die Anstromverhältnisse zu den Quellen im Würmtal und zu den Brunnen im Königswieser Forst (Kap. BI.6) weitaus plausibler abzuleiten als bisher.

Demnach erfolgt der Haupt-Grundwasserzustrom in den Deckenschottern der Hanfelder Rinne aus dem Raum Perchting (Wurzelzone der Tiefenbrunner-, Unterbrunner- und Hanfelder Rinne; vgl. Kap. BI.4), wobei der Hauptanteil an den Quellen aus- bzw. in die Würm übertritt, geringere Anteile daran vorbei nach Norden in die jungpleistozäne Schotterfüllung der Würmtalrinne abfließen, oder in gebietsweise tieferliegenden Schottern des Quellgebietes nach Osten unter der Würm hindurch leiten. Der Würm fließt somit in bestimmten Abschnitten, wie auch im Bereich der Mühlthalquellen, Grundwasser zu, in anderen Abschnitten aber, wahrscheinlich auch in jenem südlich der Gewinnungsanlagen im Königswieser Forst, infiltriert Flußwasser in den Untergrund bzw. in das Grundwasser und stellt zumindest temporär eine Gefährdung für die Trinkwasserqualität im Würmtal dar (vgl. Kap. BI.6).

Zwischen Würmseebecken und Würmtalrinne existiert wahrscheinlich eine zumindest teilweise schottergefüllte "Tertiärrinne", die als prä-rißeiszeitliches Flußtal ("Urloisach") gedeutet wird, jedoch keine erkennbare Bedeutung für die Grundwasserverhältnisse im Würmtal besitzt.

6 Das Würmtal um den Königswieser Forst

Es gelten die einleitenden Bemerkungen zum vorangegangenen Kapitel BI.5.

6.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten (vgl. Kap. BI.5.1)

Die Brunnen der Gewinnungsanlagen im Königswieser Forst setzen in den spät-würmeiszeitlichen Schottern des Würmtales an, wobei sich die südlich gelegenen Brunnen 1, 4 und 5 an den Rändern einer ehemaligen Flußschleife westlich des heutigen Würmbettes befinden. In der Umgebung der Gewinnungsanlagen ist die fast 2 km breite Schotterfläche beiderseits der Würm zu mehreren Erosionsterrassen getrept und wird im Westen durch gebietsweise lößbedeckte Rißmoränen bzw. -schotterareale begrenzt. Das Zentrum der Würmtalrinne zwischen Königswiesen und Gauting ist mit weitgehend unverfestigten hoch- bis spät-würmeiszeitlichen Schottern verfüllt. Tiefere Schotter unter einer schwach angedeuteten "Trennschicht" um 555 m ü.NN könnten rißeiszeitliche Ablagerungen sein und mit den Rißschottern der Hochgebiete beiderseits des Würmtales zusammenhängen. Der ?mindeleiszeitliche Nagelfluh-Schotter-Komplex westlich der Würm ist durch einen Feinsedimenthorizont (?Seeton) um 590 m ü.NN in zwei Schichtpakete gegliedert.

Zwischen Starnberg und Gauting existiert wahrscheinlich eine bisher nicht erkannte ±niveaugleiche Verbindung (Rinne) an der Tertiäroberfläche die vom Würmseebecken in das Würmtal überleitet und im Süden (Würmsee-Verlandungsgebiet) großenteils durch Stausedimente verfüllt ist. In diese Stausediment ist vielleicht eine jüngere, schottergefüllte, mit dem Raum Königswiesen in Verbindung stehende Rinne eingetieft ist (Abb. B36).

Grundwasser fließt in nennenswerter Menge nur wenige Meter über der Tertiäroberfläche. Entsprechend dem Tertiärrelief (Abb. B33) und der Schichtenausbildung des Quartärs (ABB. B36) müßte das Zentrum der Würmtalrinne randlichen Grundwasserzstrom sowie Zusickerung aus der Würm (Kap. BI.6.2) erhalten. Die Würm wiederum wird anteilig aus dem rd. 40 Meter höherliegenden Grundwasservorkommen westlich der Quellgebiete bei Mühlthal und Petersbrunn (Schön-Berg) gespeist. Eine hydraulische Verbindung bis in den Raum Leutstetten ist aus hydrologischer Sicht nicht belegt (Kap. BI.5).

Das Grundwasser im Bereich der Gewinnungsanlage Königswiesen, des Luftwaffenbrunnens (LB) und der Notwasserbrunnens in Gauting (NB, N6) bewegt sich in unverfestigten, wahrscheinlich jung- bis mittelpleistozänen Schottern der Würmtalrinne und staut sich über der Tertiäroberfläche. Das in der Würmtalrinne nach Nordnordosten gerichtete Gefälle der Stauer Oberfläche zwischen der Meßstelle M2 und dem Luftwaffenbrunnen (LB) beträgt nur rd. 0,1% .

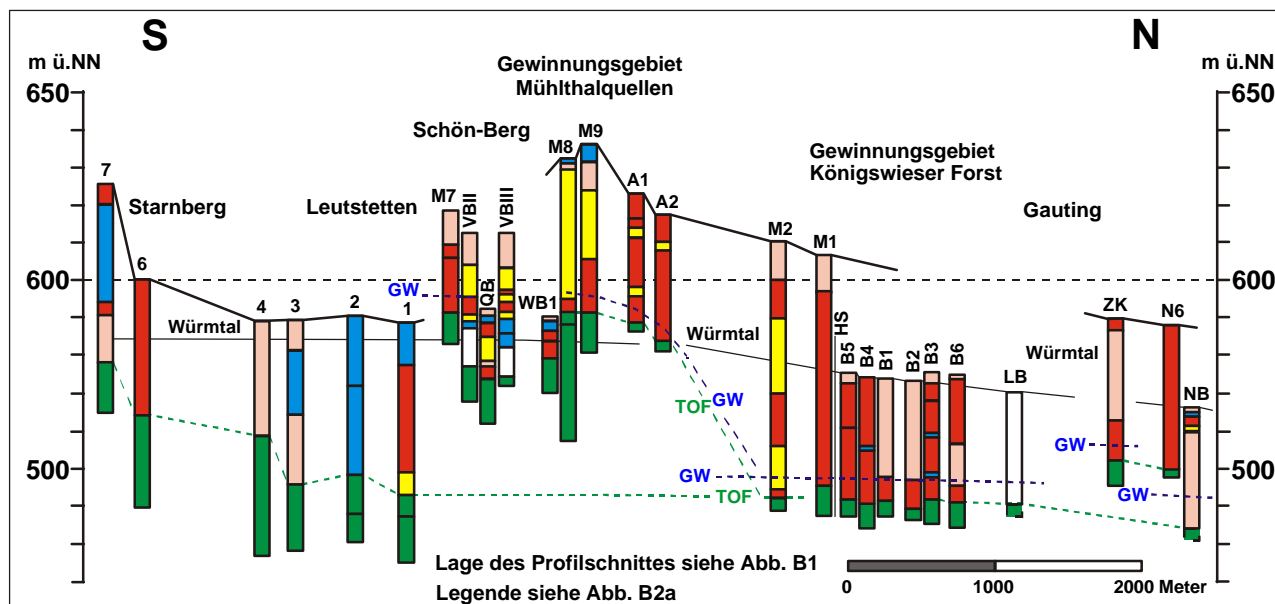


Abb. B36: Nord-Süd Profilschnitt zwischen Gauting und Starnberg

Die Tertiäroberfläche (Tone und ?Sande) liegt im Südabschnitt zwischen Bohrung 1-3 und im Nordabschnitt zwischen Bohrung M2 und LB unter 550 m ü.NN. Dazwischen existiert vermutlich eine niveaugleiche Verbindung ("Würmse- Würmtalrinne"). Im genannten Südabschnitt zeigt nur die Bohrung B1nennwert mächtige Schottervorkommen, in den Bohrungen 2-4 gibt es stellenweise über 50 m mächtige, wasserhemmende Schichten, wovon der Hauptteil vermutlich aus älteren Seetonen besteht, deren Oberfläche hier bis knapp über 580 m ü.NN reicht (Verlandungsbereich des Würmsee) und die offensichtlich von Moräne und jüngeren Seesedimenten überlagert werden. Solche oberflächennahe Seetone und -kreiden stehen um Leutstetten bis ca. 600-610 m ü.N an und sind aus zahlreichen Flachbohrungen im Raum Starnberg bekannt. Tiefere Grundwasservorkommen sind in diesem Bereich nicht belegt. Der Mittelabschnitt, zwischen den Bohrungen M7 und A2, zeigt die etwas nach Westen versetzte Untergrund- und Oberflächenkulisse um das Gewinnungsgebiet Mühlthal (vgl. Kap. B1.5.1, Abb. B32). Darauf wird der nach Westen steil ansteigende Tertiärrücken und die für die Quellaustritte verantwortliche Unterschneidung der Tertiär/Quartärgrenze durch die Würm sichtbar. Die Bohrungen am Schön-Berg (VBII/VBIII, QB) und an der Würmbrücke (WB1) erschließen etwas über dem heutigen Seespiegel um 590 m ü.NN einen Feinsedimenthorizont (?Seeton), der von quartären Schottern und Nagelfluh unter- und überlagert wird und ungefähr mit der Seetonoberfläche in der Umgebung von Landstetten korreliert.

Im nördlichen Profilschnitt befinden sich die Bohransatzpunkte der Meßstellen M1 und M2 auf der oberen Würmterrasse im Bereich hochwürmeiszeitlicher Schotter und Moräne. In M1 gibt es keine verfestigten Schotter (Nagelfluhen), dagegen finden sich in M2 zwei 10-20 m mächtige Lagen mit Nagelfluhbänken. Diese können mit dem Nagelfluhkomplex im Bereich westlich der Würmtalquellen in Verbindung stehen (Abb. B32) und sind nur von wenigen Metern jüngerer (Würm) Schotter überdeckt. Tertiär- und Grundwasseroberfläche liegen hier um rd. 10 Meter höher als im Bereich der Gewinnungsanlage Königswiesen und der Meßstellen M1 und M2. Sandige Fein- bis Grobkiese reichen im Bereich der Gewinnungsanlage Königswieser Forst mehr als 30 Meter unter Gelände. Die Profile B3 und B4 zeigen Sandlagen um 550 m ü.NN. Der Grundwasserspiegel liegt zwischen M2 und LB flach nach Norden geneigt wenige Meter über der Tertiäroberfläche um 540 m ü.NN. Grundwasserzustrom aus dem Bereich der Mühlthalquellen ist nur mit steilem Gefälle möglich (Abb. B34). Eine hydraulische Verbindung zum nördlichen Würmseebecken ist, wenn überhaupt nur über eine schmale Schotterrinne möglich.

Weite Bereiche des nördlichen Würmsee-Verlandungsgebietes sind von Würmmoräne und hoch- bis spätwürmglaziale Stausedimenten (v.a. Seetone und -kreiden) plombiert. Die jungpleistozänen Seesedimente, die an den Beckenrändern stellenweise aufgeschlossen, im Beckeninneren z.T. erodiert sind, führen zwischen Leutstetten und Starnberg zu großflächigen Moorbildungen. Sie werden wahrscheinlich durch mächtige rißeiszeitliche und/oder ältere Seetone und Moräne unterlagert. Schotter- und Nagelfluh, wie sie in Bohrung 1 vorkommen, können einer, vom Profilschnitt erfaßten schottererfüllten Rinne angehören, die vom Würmsee in das Würmtal leitet und auch in die Seetone eingeschnitten ist. Schotter, bzw. Schotterrinne könnten rißeiszeitliches, die Nagelfluhrelikte über der Tertiäroberfläche der gleichen Bohrung eventuell mindelzeitliches Alter haben (vgl. Bohrung M2). Der Feinsedimenthorizont um 590 m ü.NN zwischen Schön-Berg und Mühlthal-Quellen muß präwürmzeitlich entstanden sein. Die Nagelfluhen zwischen Schön-Berg und Würmtalquellen wurden von mehreren Autoren (z.B. KNAUER 1931, JERZ 1987a) als mindeleiszeitlich eingestuft (Deckenschotter), Feinsedimente, Schotter und Nagelfluh darunter (Bohrungen VBII/VBIII/QP/WB1) müßten danach älter sein, bzw. einer älteren Mindelphase angehören. Gemessen an ihrer Höhenlage könnten auch die Schotter und Nagelfluhen in A1, A2, M2 und M1 den Deckenschottern angehören. Dagegen werden die tieferen Schichten in der Umgebung des Köniswieser Forstes (HS bis B6) von hochglazialen Schottern (WG2) oder älteren Schottern (?Riß), wie sie in den höheren Terrassen beiderseits der Würm vorkommen, aufgebaut. Insgesamt deutet sich in diesem Profilschnitt um ca. 555 m ü.NN ein Sedimentwechsel an. Möglicherweise liegen dort spätwürmeiszeitliche Schotter über Hochwürmschottern oder/und rißeiszeitlichen Schottern.

6.2 Tertiäroberfläche

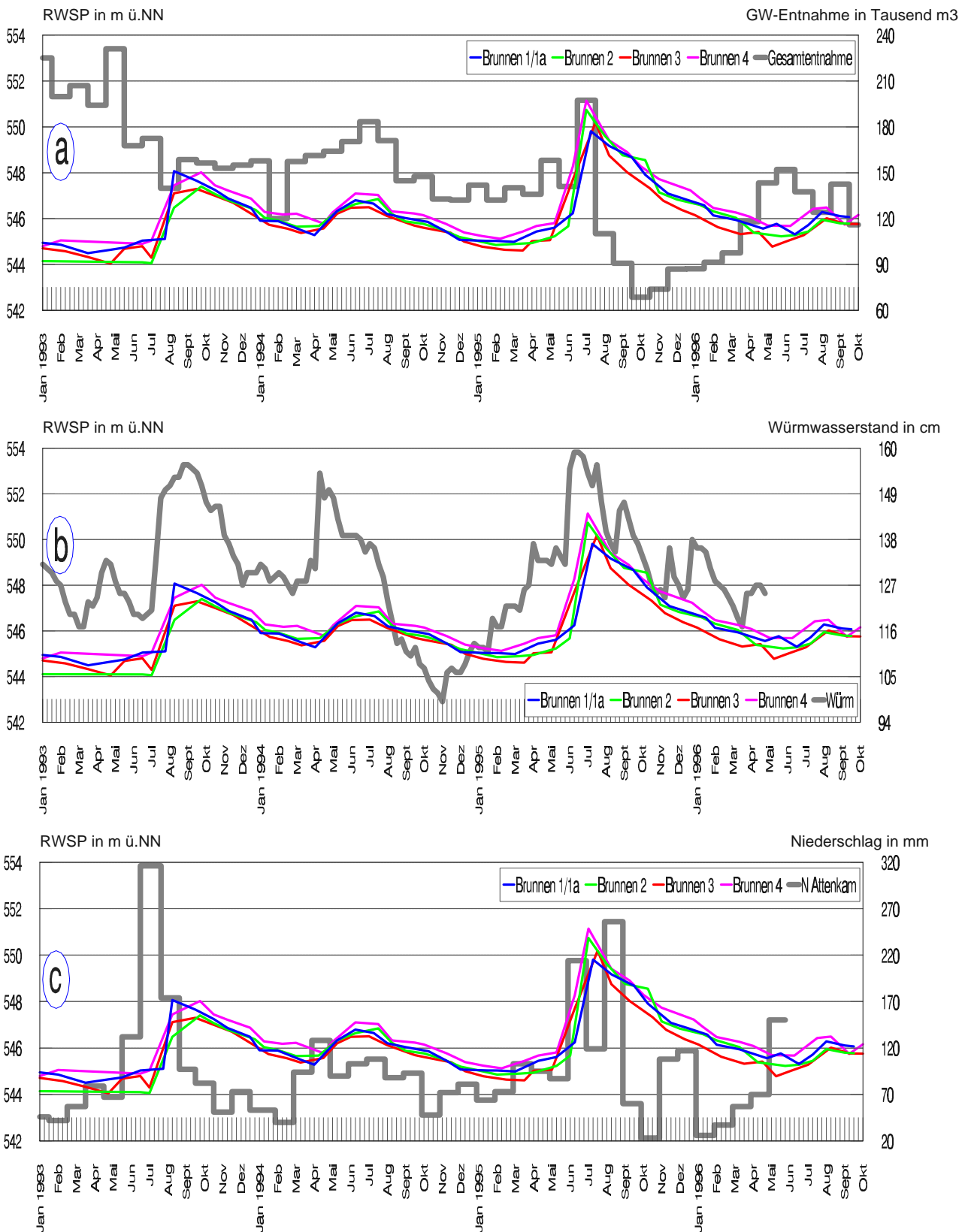
Erläuterungen hierzu siehe Kapitel BI.5.2 und Abbildung B33.

6.3 Grundwasservorkommen und Oberflächenabfluß

Die Grundwassergleichen in der Umgebung der Gewinnungsanlagen Königswieser Forst sind in Abbildung B34 (Kap. BI.5.3) dargestellt und erläutert. Basis dafür war eine Stichtagsmessung vom 10.02.1994. Zusätzlich wurden Grundwasserhöhen umliegender Brunnen und Meßstellen zu verschiedenen Meßzeitpunkten verwendet. Die Grundwasserhöhen (um 546 m ü.NN) liegen zwischen einem Mittel- und Niedrigwasserstand. Die Grundwassermächtigkeiten liegen zwischen 2,8 m (B1/1a) und 8,8 m (B2), die Flurabstände zwischen 21,1 m (B2) und 30,4 m (B3).

Nach der bisher höchsten Grundwasserentnahme an den Königswieser Brunnen (Anh.3) im Jahre 1992 von ca. 2,3 Mio. m³, wird unter der Annahme stationärer Verhältnisse (Deckung der Entnahmen durch die Grundwasserneubildung) für die Grundwasserneubildung eine Fläche von mindestens 4,5 km² benötigt. Da Brunnen in seitlich begrenzten Talgrundwasserleitern nur etwa die Hälfte des anströmenden Grundwassers oder weniger erschließen können (BLfW 1990a), beträgt die benötigte Neubildungsfläche mindestens 9 km². Diese Fläche entspricht in etwa einem Zuspeisungsbereich nach Süden bis Leutstetten, wobei nicht ausgeschlossen werden kann, daß dieser bis in das Gebiet um Heimathshausen reicht. Darüber hinaus muß v.a. aus der Hanfelder Rinne (Abb. B28, B33) mit erheblichem Grundwasserzustrom zum Würmtal gerechnet werden. Unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse an den Grundwassermeßstellen M1 und M2 dürfte der Zustrom aus dieser Richtung um 10-20 l/s liegen. Weiter ist Grundwasserzufluß aus dem Bereich der Mühlthalquellen unter der Würm bzw. eine Versickerung von Würmwasser ins Grundwasser nicht auszuschließen (Kap. BI.5). Bei BLASY (1974; s. Abb. A15) wird für das "Mühlthaler Einzugsgebiet" ein Grundwasserzustrom zu den Quellen zwischen Petersbrunn und Mühlthal und zum Verlandungsgebiet des Würmsees von 300 l/s genannt.

In Abbildung B37a/b/c werden den Grundwasserhöhen (Ruhewasserspiegel = RWSP) der Brunnen 1-4 die Gesamtentnahmemengen (a), der Pegelstand der Würm bei Leutstetten (b) und die Niederschlags Höhen an der Station Attenkam (c) der Jahre 1994 bis 1996 gegenübergestellt. Daraus wird deutlich, daß Oberflächenabfluß und Niederschlagshöhen eng miteinander korrelieren, wobei der Würmsee vermutlich weit größere Schwankungen abpuffert. Die Grundwasserentnahme orientiert sich offensichtlich zumeist an zuvor gemessenen Grundwasserständen. Hauptmaxima des Würmabflusses im August/September 1993, April 1994 und Juni/Juli 1995 korrelieren ungefähr mit Grundwasserhöchstständen, woraus zumindest eine zeitweise Beeinflussung der Grundwasserneubildung durch infiltriertes Würmwasser, wie sie in Kapitel BI.5 bereits angedeutet wurde, abgeleitet werden kann.

**Abb. B37a/b/c:**

Ruhewasserspiegel, Brunnenfördermengen, Würrwasserstände und Niederschläge (1994-1996)

- a) Ruhewasserspiegel und Entnahmemengen der Brunnen 1-4 im Königswieser Forst
- b) Ruhewasserspiegel und Wasserstand der Würr bei Leutstetten
- c) Ruhewasserspiegel und Niederschlagshöhen an der Station Attenkam

6.4 Wasserbeschaffenheit

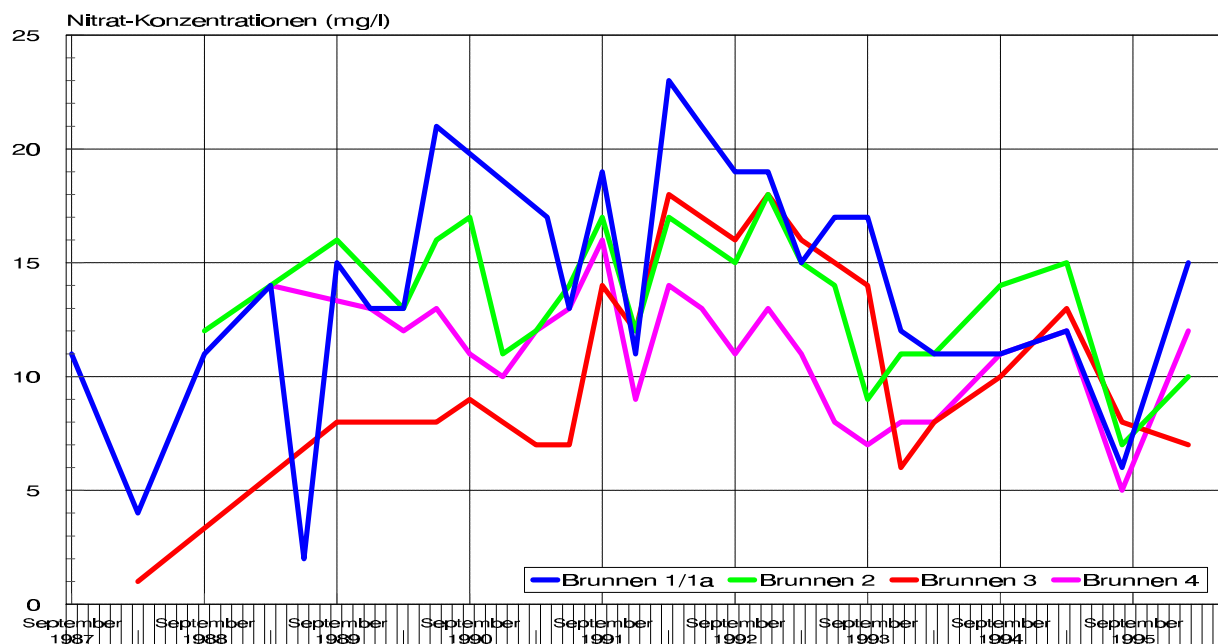


Abb. B38: Nitratkonzentrationen an den Brunnen 1-4 im Königswieser Forst (1987-1995)(BGU/WZV)

Auffällig sind hohe Konzentrationsschwankungen in kurzen Zeitabständen an Brunnen 1 und ein "Konzentrationsprung" im Jahre 1991 an Brunnen 3. An Brunnen 2 und 4 ist der Konzentrationsverlauf ähnlich, wobei die Werte am Brunnen 4 um 2-3 mg/l niedriger sind als am Brunnen 2. Zumindest das Konzentrations-Minimum im August 1995 steht wahrscheinlich im Zusammenhang mit Grundwasser- und Pegelhöchstständen der Würm im Juni/Juli 1995 (Abb. B37b).

Ein Vergleich von Nitratkonzentrationen mit Grundwasserentnahmen an Brunnen 1 und 4 (Abb. B38) (Abb. B37a, B74, Anh.3) läßt vermuten, daß einige Konzentrationsunterschiede zwischen den Brunnen aus unterschiedlichen Entnahmebedingungen resultieren. So waren zwischen 1991 und 1993 die Nitratkonzentrationen an Brunnen 1 etwa doppelt so hoch wie an Brunnen 4, während die Grundwasserentnahme an Brunnen 1 im Jahresmittel 1992 und 1993 um das 10-bis 100-fache niedriger war als an Brunnen 4. Eine damit verbundene Aufweitung des Entnahmebereiches für Brunnen 4 könnte den Zustrom geringer nitratbelasteten Grundwassers aus Randbereichen der Würmtalrinne verursachen. Auf einen ähnlichen Zusammenhang deutet auch der Konzentrationsverlauf für Brunnen 3 in den Jahren 1991-1992.

Niedrige Nitratwerte an allen Brunnen bei gleichzeitigen Grundwasserhöchstständen, hohem Abfluß der Würm (Abb. B37b) und Niederschlagsmaxima (Abb. B37c), wie dies beispielsweise zwischen Juni und August 1995 der Fall war, deuten auch auf eine Beeinflussung (Verdünnungseffekt) durch infiltriertes Oberflächenwasser in Folge von Überflutung geringer abgedichteter Ufer- und Talbereiche hin.

Die Sauerstoffgehalte liegen an den Brunnen zwischen ca. 7-10 mg/l und somit bei den vorherrschenden Grundwassertemperaturen etwas unter bzw. im Bereich der Sauerstoffsättigung. Wesentlicher Nitratabbau kann demnach noch nicht stattgefunden haben.

Chlorid wurde an Brunnen 1 (1991-1993) zwischen 18-35 mg/l, an Brunnen 2 (1990-1991) zwischen 22-25 mg/l gemessen. Höchstwert um 35 mg/l traten an Brunnen 1 im März bzw. im Dezember 1992 auf und können durch winterliche Salzung der brunnennahen Straßen im Würmtal bedingt sein. Die Werte an den Mühlthalquellen (Kap. BI.5) waren im gleichen Zeitraum im Mittel ähnlich hoch.

6.5 Zusammenfassung

Im vorangegangenen Kapitel BI.5 wurde schon dargelegt, daß zwischen Würmseebecken und Würmtal offenbar eine Rinne an der Tertiäroberfläche existiert. Diese Rinne führt im Würmtal zuerst flach geneigt um 540 m ü.NN auf das Gewinnungsgebiet im Königswieser Forst zu. Nach einer Aufweitung im Raum Gauting verzweigt sie sich wahrscheinlich, wobei der östliche Rinnenteil dem heutigen Würmtal folgt, der westliche auf das Gewinnungsgebiet im Kreuzlinger Forst zielt (Abb. B40). Somit ist auch eine hydraulische Verbindung beider Gewinnungsgebiete vorgezeichnet.

Der Grundwasserspiegel an den Brunnen im Köniswieser Forst liegt im Bereich der Rinnenachse um 545 m ü.NN. Das Wasser staut sich über der Tertiäroberfläche in unverfestigten, würmeiszeitlichen, vielleicht auch rißeiszeitlichen Schottern. Die vermuteten rißeiszeitlichen Schotter liegen im Rinnenzentrum wahrscheinlich unter einer lückenhaften, geringmächtigen Trennschicht bei 555 m ü.NN, über der sich aber kein nennenswertes Grundwasser staut. Die grundwasserführenden Schotter der Würmtalrinne stehen mit den Würm-, Riß- und Mindelschottern an den Rinnenflanken und über solchen der randlichen Hochgebiete in Verbindung. Aus diesen Randgebieten fließt Grundwasser unbekannter Menge zu.

Unterschiedliche Entnahmebedingungen an den Brunnen verändern die Anstromverhältnisse und damit auch die Wasserqualität. Bei Starkniederschlägen und Hochwasserständen der Würm kann in geringer abgedichteten Bereichen Oberflächenwasser rasch in das Grundwasser der Würmtalrinne infiltrieren und die Wasserqualität der Brunnen im Königswieser Forst beeinflussen.

7 Das Gebiet zwischen Gauting, Kreuzlinger Forst und Unterbrunner Holz

Es gelten die einleitenden Bemerkungen der vorangegangenen Kapitel BI. 5 und BI. 6.

7.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten (vgl. Kap. BI.5.1 und BI.6.1)

Das Grundwassergewinnungsgebiet im Kreuzlinger Forst mit den Brunnen 7-10 befinden sich am Westrand der mit würmeiszeitlichen Schottern (Niederterrassenschotter) gefüllten Würmtalrinne, rund 2 km östlich eines rißeiszeitlichen Moränen- und Schotterzuges um die Orte Unterbrunn, Pentenried und Frohnloh. Die Schotterfläche ist eine Wurzel der westlichen Münchener Schotterebene, ebenso wie die Gilchinger Rinne, in der sich das Gewinnungsgebiet im Unterbrunner Holz befindet.

Von den Bohrungen Frohnloh (FL), Pentenried (PB) Prellinger (PR), Unterbrunn (UB), Oberbrunn (OB) und den IVG-Meßstellen (4-6) gibt es keine Schichtenprofile. Ihre Ansatzpunkte liegen im Bereich rißeiszeitlicher Moränen und Schotter, wie auch die trockene Versuchsbohrung Frohnloh (VFL). Die Brunnen und Meßstellen im Kreuzlinger Forst sowie die IVG-Meßstellen setzen in würmeiszeitlichen Schottern an (Abb. B39).

Der Grundwasserspiegel in den Rißschottern über dem Tertiär-Hochgebiet westlich der Würmtalrinne liegt ungefähr 20 m über dem im Gewinnungsgebiet Kreuzlinger Forst. Zum Gewinnungsgebiet bei Königswiesen wird eine flachgeneigte, \pm niveaugleiche Verbindung an der Tertiäroberfläche mit einem zusammenhängenden Grundwasserspiegel vermutet (vgl. Kap. BI.6).

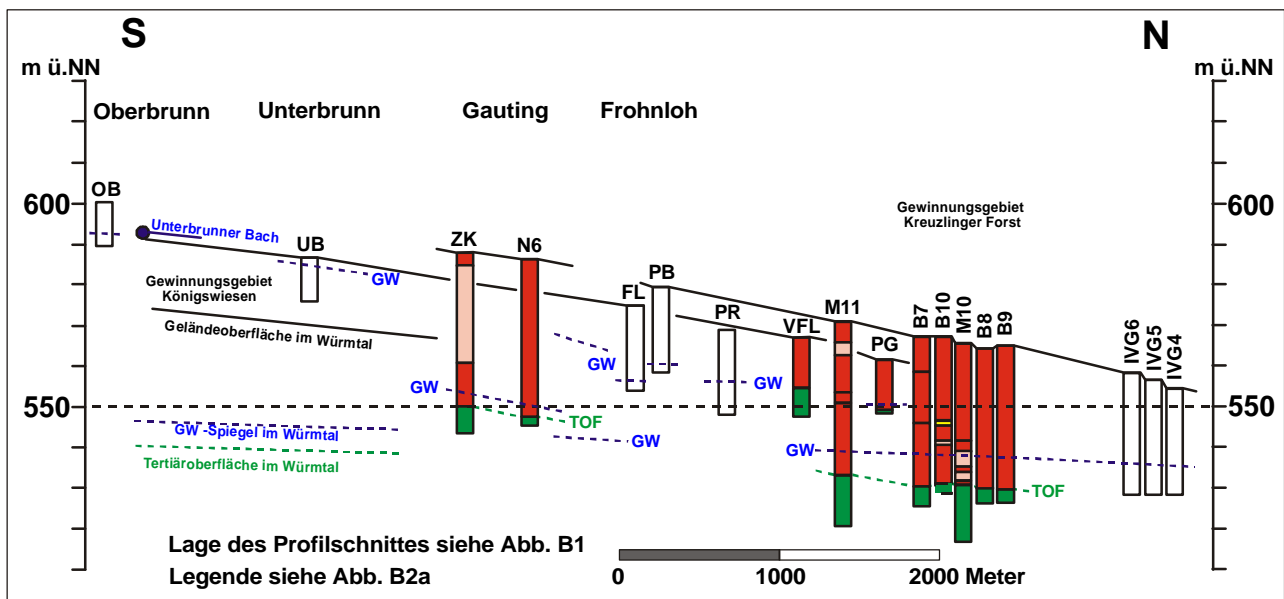


Abb. B39: Nord-Süd Profilschnitt vom Kreuzlinger Forst nach Oberbrunn

Im Gewinnungsgebiet Kreuzlinger Forst (Brunnen 7-10 und Meßstellen M10 und M11) liegen ca. 35 Meter sandig-schluffige Schotter, an der Meßstelle M 10 zwischen 34- 42 Meter unter Gelände leicht kiesige, sandige Schluffe über dem Tertiär, das hier bis 535 m ü.NN reicht. Im Bereich Unterbrunn (UB), Pentenried (PB) und Frohnloh (FL) reicht die stauende Tertiäroberfläche bis um 560 m ü.NN und gehört zu einem Hochgebiet, daß wenig nördlich der trockenen Versuchsbohrung Frohnloh (VFL, Tertiär um 555 m ü.NN) endet. Der Grundwasserspiegel südlich der Bohrung VFL liegt gegenüber dem im Würmtal rd. 20 Meter höher bei 560 m ü.NN.

Die höhergelegenen Schotter über der Tertiäroberfläche im Raum Unterbrunn-Pentenried-Frohnloh sind rißeiszeitliche Schotter (Hochterrassenschotter). Die leicht kiesigen, sandigen Schluffe über dem Tertiär in der Meßstelle M 10 könnten Grundmoränenreste oder ein geringmächtiger Aufarbeitungshorizont an der Tertiäroberfläche sein.

7.2 Tertiäroberfläche

Die Tertiäroberflächenkarte (Abb. B40) erfaßt im Westen randlich das Tertiär-Hoch bei Gilching mit Höhen über 570 m ü.NN, südöstlich davon das Frohloher Tertiärhoch mit Höhen über 550 m ü.NN, das nach Süden bis Unterbrunn weiter ansteigt, dazwischen die Germeringer Rinne (Gewinnungsgebiet Unterbrunner Holz) und ihre nach Südwesten angedeutete Fortsetzung zur Tiefenbrunner Rinne. Im Ostteil zeigt sie die Würmtalrinne zwischen Stockdorf und Königswiesen, in der nördlich von Gauting eine Hochlage um 550 m ü.NN eine westliche Teilrinne abtrennt, die auf das Gewinnungsgebiet im Kreuzlinger Forst zielt. Die Hochlagen stellen potentielle Wasserscheiden dar. Die Hauptreliefelemente sind SW-NE bzw. SSW-NNE ausgerichtet. In diese Richtungen muß der Haupt-Grundwasserstrom über der Tertiäroberfläche hauptsächlich im Bereich der Tiefenbrunner-Germeringer Rinne und in der zweigeteilten Würmtalrinne nach Norden zur Münchener Schotterebene fließen.

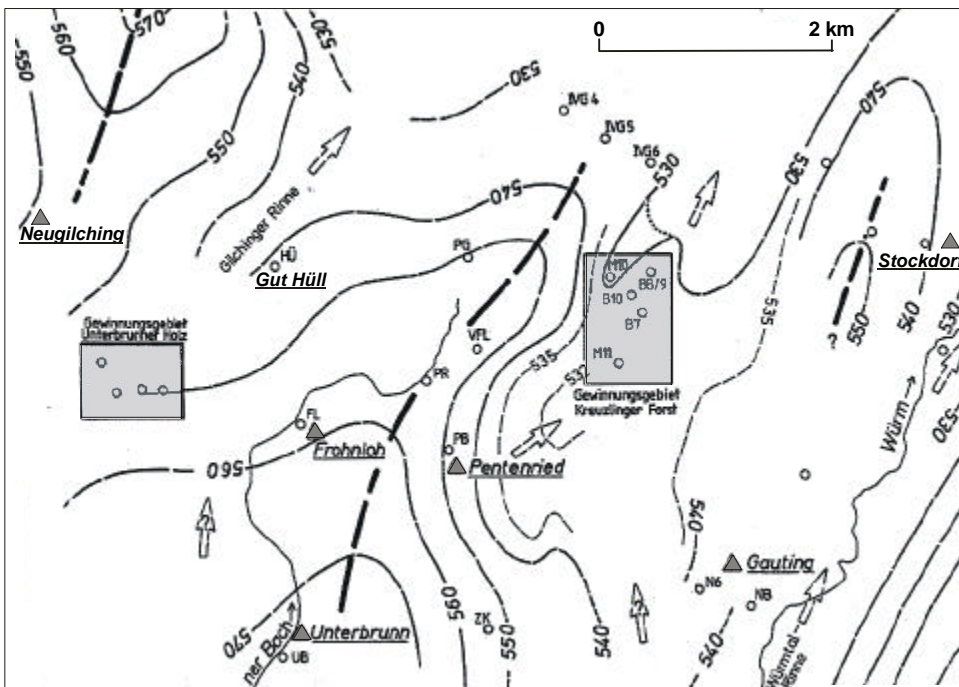


Abb. B40: Die Tertiäroberfläche im weiteren Umfeld der Gewinnungsanlagen im Kreuzlinger Forst

Es sind drei markante, ungefähr Nordnordost gerichtete Reliefelemente zu unterscheiden:

Die Gilchinger Rinne im Westen, in die eventuell im Bereich des Oberbrunner Forst eine Teilrinne der Unterbrunner Rinne aus dem Raum Perchting-Mamhofen einmündet und dort bis unter 545 m ü.NN abfällt (vgl. Abb. B28).

Die Würmtalrinne im Osten, deren Ostflanke im Süden bis über 580 m ü.NN steil ansteigt und wahrscheinlich bis über Stockdorf hinausreicht, während die Westflanke vermutlich zwischen Königswiesen und Stockdorf (im Raum Gauting) über ca. 550 m ü.NN nach Westen in Richtung Unterbrunn umbiegt und sich dann bis zum Gewinnungsgebiet im Kreuzlinger Forst aufweitet. Ein steiler, ununterbrochener Riedel westlich der Würmtal-Rinne, wie er auf der Tertiäroberflächen-Karte von BLASY (1974) eingezeichnet ist (Abb. A5), ist nicht sicher. Lediglich westlich von Stockdorf und im Bereich des Notbrunnens 6 (N6 Gauting) sind westlich der Würm Tertiärhöhen bis um 548 m ü.NN bekannt. Demnach liegt die Tertiäroberfläche zumindest an diesen Stellen über den mittleren Grundwasserhöhen der Gewinnungsgebiete Kreuzlinger Forst (Abb. B41). Die Sohle der Würmtalrinne liegt bei Königswiesen um 540 m ü.NN, bei Stockdorf um 525 m ü.NN.

Das Tertiärhoch um Frohloh im Bereich des rißeiszeitlichen Moränenwalles reicht im Raum Oberbrunn bis ca. 590 m ü.NN, zwischen dem Gewinnungsgebiet Kreuzlinger Forst und Gut Hüll (HÜ) bis ca. 550 m ü.NN. Im Hochgebiet verläuft nach Nordnordosten wahrscheinlich die Verlängerung der Unterbrunner Rinne (vgl. Abb. B28). Das Gewinnungsgebiet Kreuzlinger Forst liegt ca. 1 km östlich der Versuchsbohrung Frohloh in einer nach Nordnordost gerichteten Rinne. Im Nahbereich der Gewinnungsanlage westlich der Meßstelle M10 (Tertiär bei ca. 526 m ü.NN) zeichnet sich ein schmaler Sporn ab, auf dem sich die Meßstelle M11 (Tertiär bei ca. 534 m ü.NN) und die Brunnen 7-10 befinden (Tertiär an Brunnen 8,9 um 531 m ü.NN). Da bei M10 über der Tertiäroberfläche rd. 6 m Grundmoränenreste folgen, verliert die schmale Rinne westlich des o.g. Sporns, als ein die Grundwasserfließrichtung beeinflussendes Element, an Bedeutung. Um Pentenried deutet sich eine nach Südwesten zurückspringende Bucht der Tertiäroberfläche an, die offensichtlich weit in den Tertiärrücken unter dem Rißmoränenzug hineinreicht. Im Bereich der Bohrungen IVG 4-6 kann aus angenommen vergleichbaren Grundwasserhöhen wie an den Brunnen und Meßstellen im Kreuzlinger Forst, auf Tertiärhöhen um 530-532 m ü.NN geschlossen werden. Das Tertiärhoch im Bereich der VB Frohloh keilt hier bereits aus. Möglicherweise existiert eine hydraulisch wirksame Verbindung zwischen der Würmtalrinne (Königswiesen) und dem Gewinnungsgebiet im Kreuzlinger Forst.

7.3 Grundwasservorkommen

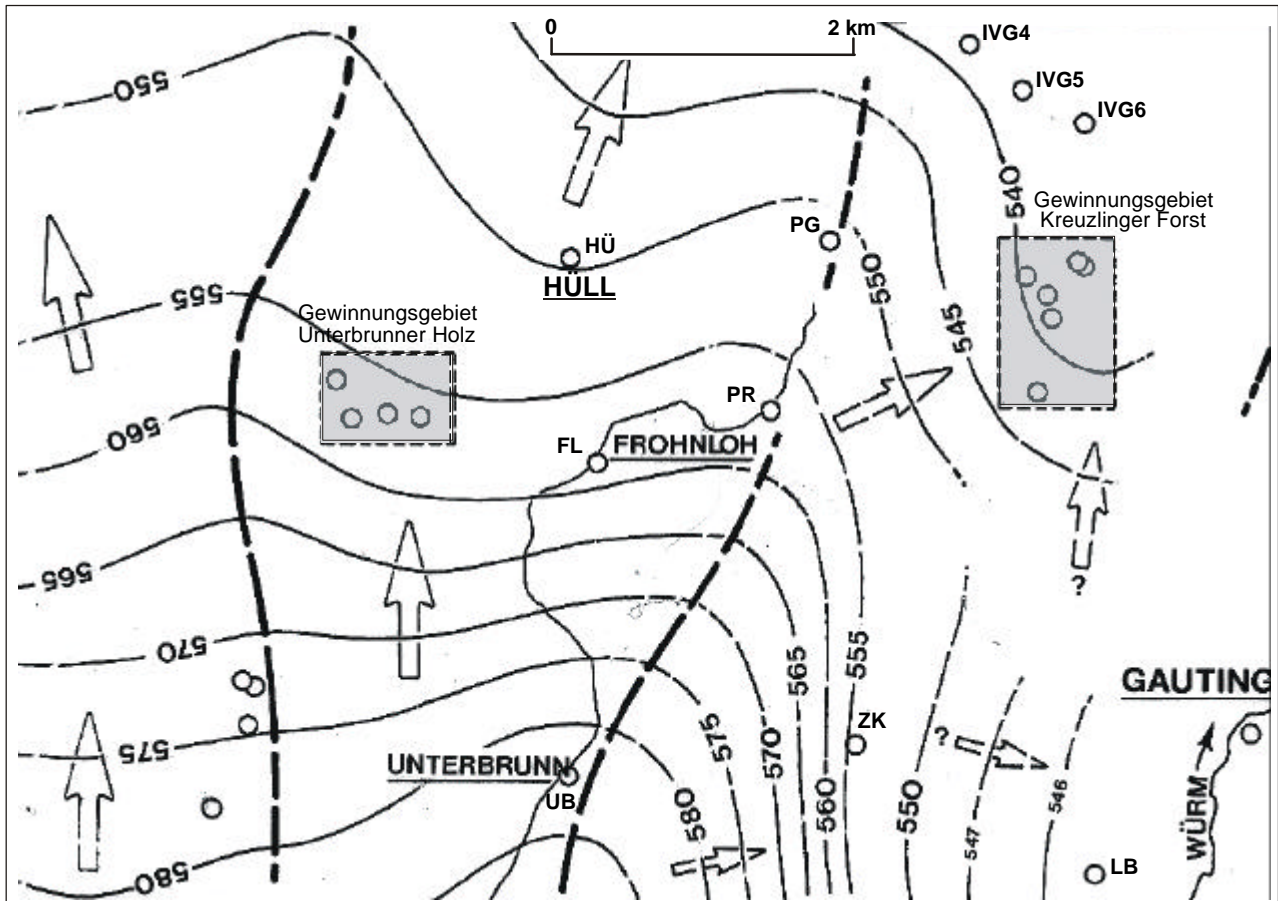


Abb. B41: Grundwassergleichen im weiteren Umfeld der Gewinnungsanlagen im Kreuzlinger Forst

Der Grundwasserspiegel liegt um 585 m ü.NN, das Gelände bei 586,82 m ü.NN. Der Wasserspiegel des Unterbrunner Baches korrespondiert zumindest bereichsweise mit dem Grundwasser. Ungefähr 1 km südlich des Brunnens tritt der Unterbrunner Bach bei ca. 591 m ü.NN aus. Weitere rd. 700 m südlich liegt die Grundwasseroberfläche im Löschwasserbrunnen von Oberbrunn (Abb. B33) bei 591,7 m ü.NN (BLASY 1974). An den Brunnen bei Mamhofen 1-2 km südlich von Oberbrunn (Abb. B33) ist der Grundwasserspiegel um 600 m ü.NN. Die Geländeoberfläche liegt am Brunnen Frohnloh bei 575,3 m ü.NN, das Grundwasser ca. 18 m unter Gelände bei 557 m ü.NN. Es fällt danach, vorausgesetzt es handelt sich um eine zusammenhängendes Grundwasser-vorkommen, zwischen Unterbrunn und Frohnloh auf einer Strecke von rd. 2 km um nahezu 30 m ab. Der Grundwassersstand im Brunnen Prellinger beträgt wie schon im Brunnen Frohnloh 557 m ü.NN, die Geländeoberfläche liegt bei 570 m ü.NN. Etwa 800 m nordöstlich davon, war die Versuchsbohrung Frohnloh trocken, ungefähr 700 m nach Nordwesten liegt der Grundwasserspiegel an der Meßstelle der Stadtwerke Germering bei 551,5 m ü.NN. Im Bereich des Brunnens Pentenried beträgt der Grundwasserstand 561 m ü.NN und ist damit etwa 4 m höher als in Frohnloh. Der Flurabstand beträgt hier ca. 19 m. In der Bohrung Zentralkrankenhaus Gauting (ZK) ca. 1 km südlich Pentenried und ca. 2 km östlich von Unterbrunn lag der Grundwasserspiegel 1985 bei 555 m ü.NN. Die Grundwassermächtigkeit betrug dort ca. 4 m. Beim Pumpen sank der Grundwasserspiegel unter die Staueroberkante ab. Zwischen Frohnloh, Prellinger und Pentenried fließt das Grundwasser hauptsächlich in Richtung Gut Hüll/Argelsried nach Nordnordosten. Im Bereich Pentenried-Zentralkrankenhaus Gauting schwenkt der Grundwasserstrom nach Nordosten in Richtung Gewinnungsgebiet Kreuzlinger Forst. Es handelt sich vermutlich um einen randlichen Abstrom aus dem höhergelegenen Grundwasservorkommen in den Rißschottern. Es ist zu vermuten, daß entsprechend der in Abbildung B40 gezeigten Tertiäroberfläche südlich und östlich der Brunnen im Kreuzlinger Forst das Grundwasser in Süd-Nord-, bis Südost-Nordwest-Richtung fließt. Zwischen den Brunnen 7-10, und den Vorfeldmeßstellen M10 und M11 (in der näheren Umgebung der Brunnen), sowie den Pegel im IVG-Gelände (IVG4-6) fließt das Grundwasser nach Nordosten. Die Grundwasserstände erreichen Werte zwischen 540 m ü.NN (M11) und 537,5 m ü.NN (IVG 5/6). Das Gefälle beträgt hier ca. 0,2 %, zwischen dem rd. 2 Kilometer südwestlich der Meßstelle M11 gelegenen Brunnen Pentenried (Abb. B40) rd. 1 %.

Die Grundwassergleichen (Abb. B41) basieren auf Werten einer Stichtagsmessung vom 29.03.1995 bzw. 15.02.1996 (Anh.1) und beziehen Grundwasserhöhen umliegender Brunnen und Meßstellen verschiedener Zeitpunkten ein. Die Grundwasserstände der Stichtagsmessungen lagen zwischen dem Mittel- und Niedrigwasserstand. Insgesamt wird der generell nach Nord bis Nordnordost gerichtete Grundwasserstrom vom Relief der Tertiäroberfläche gelenkt (Abb. B40). So führt das Frohnloher Tertiärhoch Grundwasser nach Osten zur Würmtalrinne. Bis zur Linie Frohnloh-Unterbrunner Holz beträgt das Grundwassergefälle rund 1- 1,5 %, nördlich davon rund 0,5 %.

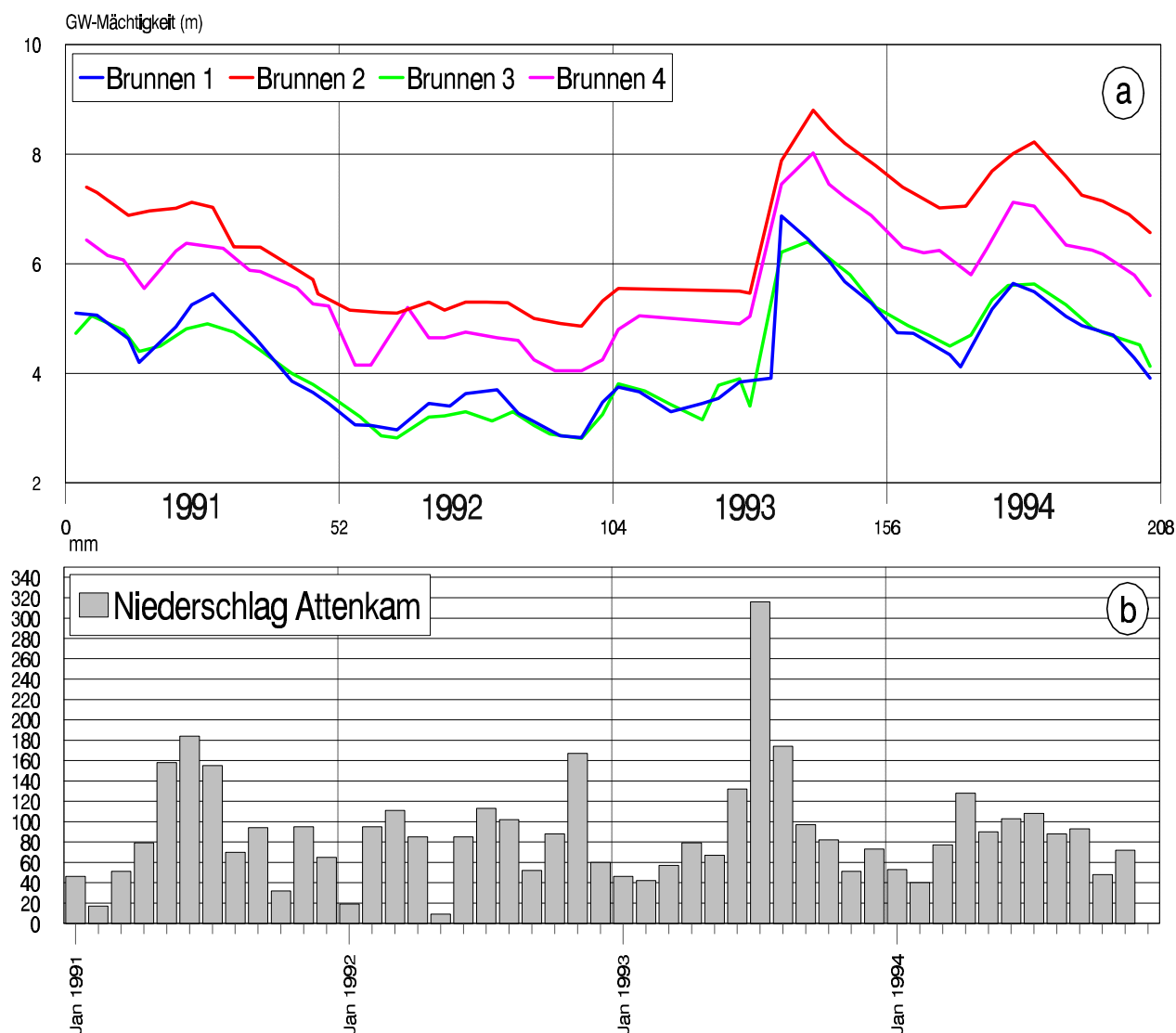


Abb. B42: Grundwasserganglinien und Niederschläge

- a) Grundwassermächtigkeiten an den Brunnen 7-10 im Kreuzlinger Forst (1991-1994)
 b) Niederschlagshöhen an der Station Attenkam (1991-1994)

Grundwasserspiegelschwankungen an den Brunnen 7-10 im Kreuzlinger Forst und der Gang zeitgleicher Niederschlagshöhen von 1991 bis 1994 verlaufen ähnlich (Abb. B42a/b), aber mit ca. 3-4 monatiger Verzögerung im Grundwasser, was allem Anschein nach teilweise auf entsprechend lange Sickerzeiten zurückzuführen ist. Die Grundwassermächtigkeiten betragen im Mittel rd. 8 Meter, die Grundwasserspiegelschwankungen ca. 2-3 m.

7.4 Wasserbeschaffenheit

Analysenwerte (1986) an den Brunnen 7, 8 und 10 im Kreuzlinger Forst sowie an weiteren Brunnen im Umfeld des Gewinnungsgebietes (Tab. B11) belegen eine insgesamt höhere Mineralisation im Bereich Pentenried, Anwesen Prellinger und Gut Hüll (in rißeiszeitlichen Ablagerungen).

Tab. B11: Grundwasseranalysen im weiteren Umfeld der Gewinnungsanlagen im Kreuzlinger Forst

Meßstelle	el. Leitfähigkeit µS/cm	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l
Brunnen 7	585	88,6	24,5	284
Brunnen 8	585	88,6	25,8	311
Brunnen 10	648	94,6	24,8	327
Br.Pentenried	695	130,2	24,8	424
Prellinger	809 ¹	-	-	-
Gut Hüll	800	133,4	30,1	435
N6 Gauting	609 ²	-	-	-

WZV (1986)

1) WZV (1991)

2) (JERZ 1987a, Beil 4 - Messung vom 12.06.86)

Tab. B12: Nitratkonzentrationen des Grundwassers im weiteren Umfeld der Gewinnungsanlagen im Kreuzlinger Forst

Meßstelle / Brunnen	Analysendatum	Nitrat mg/l
Meßstelle M 10	20.07.1993	40,1
	30.04.1996	36
Meßstelle M 11	17.07.1993	30,9
	30.07.1996	24
Meßstelle M 101	30.01.1996	29
	30.04.1996	19
Meßstelle M 103	01.02.1996	40
	30.04.1996	40
Meßstelle M 104/1	28.02.1996	17
Meßstelle M 104	30.04.1996	20
Meßstelle M 105	11.03.1996	40
	30.04.1996	36
Brunnen Prellinger	1986	38
	1991	46
Brunnen Unterbrunn		>40
Notbrunnen 6 - Gauting	12.08.1986	24
Brunnen Gut Hüll	17.09.1986	41,8
Gewinnungsgebiet Mamhofen	11.1987	25-29

BGU

Leitfähigkeitsmessungen an den Brunnen 7-10 (1987-1993) zeigen, daß die höchsten Werte im Bereich der Gewinnungsanlage Kreuzlinger Forst an Brunnen 10 auftraten (648 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Die Zunahme der Werte an Brunnen 7 und 8 ab 1991 hängt wahrscheinlich mit einer Entnahmesteigerung im gleichen Zeitraum zusammen, wobei offenbar Wasser mit höherer Mineralisation angepumpt wurde. Ein parallel dazu gemessener Anstieg der Mineralisation ist generell auf die Zunahme der Carbonatspezies (Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Ionen) zurückzuführen, aber auch auf höhere Nitrat- (Abb. B43a) und Chloridkonzentrationen. Vermutlich findet bei höheren Entnahmen vermehrt Zusp eisung aus dem o.g. Bereich in den rißeiszeitlichen Ablagerungen statt.

Die Nitratkonzentrationen (Abb. B43a) lagen von 1987-1996 an Brunnen 7 zwischen 14-28 mg/l, an Brunnen 8 zwischen 17-27 mg/l, an Brunnen 9 zwischen 15-21 mg/l und an Brunnen 10 zwischen 21-35 mg/l. Tendenziell steigen die Werte von Beginn der Meßreihen bis zum Jahr 1994 an allen Brunnen. An Brunnen 7 und 8 sind sie nach Verlauf und Höhe ungefähr gleich. An Brunnen 9 sind sie seit 1992 rd. 8 mg/l niedriger, an Brunnen 10 um rd. 10 mg/l höher als an Brunnen 7 und 8. Zwischen 1989 und 1991 lagen sie an Brunnen 9 nur wenig unter den Konzentrationen von Brunnen 7 und 8. Die starken Schwankungen der jeweiligen Entnahmemengen (Anh.4) von 1988 bis 1993 lassen sich nicht mit dem Änderungen der Nitratkonzentrationen korrelieren. Auffällig ist jedoch, daß zumindest im Zeitraum von 1990 bis 1993 bei deutlich zunehmender Gesamtentnahme tendenziell auch die Nitratkonzentrationen stiegen. Dies ist vor allem bei Brunnen 7 und 8 zu beobachten und korreliert mit den höheren Fördermengen früherer Jahre. Auch die Tatsache, daß die Werte an Brunnen 8 ab 1991 deutlich höher als am direkt daneben liegenden Brunnen 9 waren, kann mit einem ab diesem Zeitpunkt einsetzenden Förderanstieg an Brunnen 8 und einer damit verbundenen Aufweitung des Anstrombereiches in stärker schadstoffbelastete Bereiche in Zusammenhang gebracht werden.

An den Meßstellen M 10 und 11 (*WATEC 1993*, *BGU 1996*), an den Meßstellen M101, 103, 104/1, 104/2, 105 (Vorfeldmeßstellen *BGU 1996*) und an einigen Privatbrunnen (Gesundheitsamt Starnberg) gemessene Nitratkonzentrationen (Tab. B12) zeigen, daß die höchsten Konzentrationen (zwischen ca. 36-40 mg/l) im Umfeld der Gewinnungsanlagen an den Meßstellen M103, M105 und M10 auftraten. An den Meßstellen M101, M104 und M11 waren sie deutlich niedriger (zwischen 17-29 mg/l). Insgesamt nehmen die Nitratkonzentrationen in diesem Gebiet von Nordwesten (um 40 mg/l) nach Südosten (um 20 mg/l) ab. Weiter ist festzustellen, daß an den Brunnen Prellinger, Gut Hüll und Unterbrunn Nitratkonzentrationen auftraten, die generell über denen im Kreuzlinger Forst lagen und wahrscheinlich auf landwirtschaftliche Düngung im Grundwasserneubildungsgebiet zurückzuführen sind.

Die Chloridkonzentrationen variieren an Brunnen 7 zwischen 13-26 mg/l (1987-1993). Einzelmessungen 1986 an den Brunnen 7, 8 und 10 (*JERZ 1987a*, Beil. 4) zeigen, daß an Brunnen 10 (23,4 mg/l) die Konzentration etwas über den an Brunnen 7 (22 mg/l) und Brunnen 8 lag (um 17 mg/l). An M10 lag sie am 20.07.93 (*WATEC 1993*) ähnlich hoch (20 mg/l), an M11 am 17.07.93 (*WATEC 1993*) dagegen im Vergleich mit allen anderen Werten überdurchschnittlich hoch (50 mg/l). Möglicherweise ist dies auf NaCl-haltige Bohrspülungen bzw. auf die Verwendung von Salzsäure zur Regenerierung der Meßstelle zurückzuführen. Eine Beeinflussung durch Straßensalzung ist aufgrund der geographischen Lage der Meßstelle M11 unwahrscheinlich.

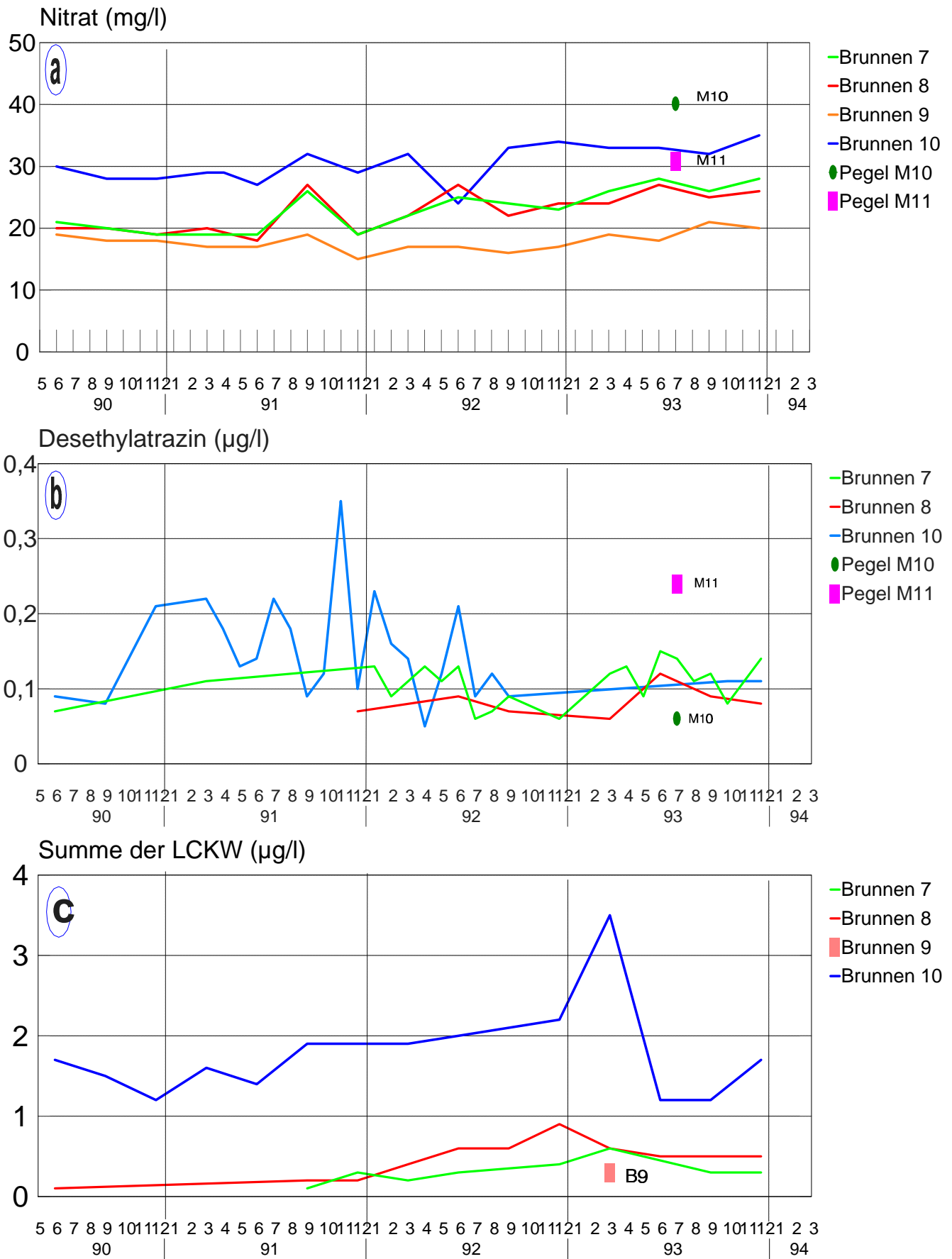


Abb. B43a,b,c: Nitrat-(a), Desethylatrazin-(b) und LCKW-Summe(c) -Konzentrationen an den Brunnen 7-10 im Kreuzlinger Forst von 1990 bis 1994 (BGU / WZV)

An Brunnen 10 war die PSM-Konzentration (PSM=Atrazin, Desethylatrazin, Simazin) bis Mitte 1992 am höchsten, wobei die Desethylatrazin-Werte (Abb. B43b) zw. 0,05 und 0,35 µg/l (19 Proben) und die Atrazin-Werte zw. 0,05 und 0,08 µg/l (8 Proben) betragen. Ab Mitte 1992 lagen die Atrazin-Werte um 0,1 µg/l (in 5 Analysen). Darüber hinaus wurde Atrazin nur noch 1993 an Brunnen 8 bei einer Messung registriert (0,06 µg/l). An Brunnen 8 wurden von 1992 bis 1993 Desethylatrazin-Konzentrationen zwischen 0,06 und 0,12 µg/l (8 Proben) gemessen. Am Brunnen 7 (seit 1990 in 20 Proben zwischen 0,06 und 0,15 µg/l) und Brunnen 8 (seit 1992 in 7 Proben zw. 0,06 und 0,12 µg/l) wurde nur Desethylatrazin festgestellt. Demnach gibt es v.a. Belastungen mit Desethylatrazin, die zumindest bis Mitte 1992 am Brunnen 10 deutlich höher als an den Brunnen 7 und 8 und am Brunnen 8 am niedrigsten waren.

An Brunnen 7 wurde zwischen Dezember 1992 und Dezember 1993 in 6 von 11 Proben, am Brunnen 8 im gleichen Zeitraum in 4 von 5 Proben Simazin qualitativ nachgewiesen (Bestimmungsgrenze 0,05 µg/l). An Brunnen 10 wurde zwischen April 1991 und Dezember 1993 Simazin in 20 von 33 Proben nachgewiesen, davon in drei Proben (März 1991, Juli 1992, September 1993) in Konzentrationen zwischen 0,05 µg/l und 0,08 µg/l. Allein im Zeitraum von April 1992 bis Dezember 1993 wurde an Brunnen 10 in 17 von 20 Proben Simazin qualitativ bestimmt. An Brunnen 9 wurde dagegen zwischen 1991 und 1993 in 12 Proben kein Simazin nachgewiesen.

Die Summen der PSM-Konzentrationen sind an den Meßstellen M10 (0,27 µg/l) und M11 (0,31 µg/l) ähnlich hoch und zeigen, wie schon die o.g. Nitratbelastungen, daß das geförderte Grundwasser aus landwirtschaftlich stärker genutzten Bereichen stammen muß, wie den Gebieten zwischen Pentenried und Unterbrunn.

An allen Brunnen (7-10) wurden leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe LCKW - Tetrachlorethen, 1,1,1-Trichlorethan und Trichlorethan - nachgewiesen (Abb. B43c). Hauptsächlich handelt es sich um Belastungen mit Tetrachlorethen. Generell ist, wie schon bei den Nitrat- und PSM-Belastungen, die LCKW-Belastung an Brunnen 10 am höchsten. Sie lag über den gesamten Meßzeitraum meist zwischen 1-2 µg/l und erreichte Höchstwerte bis 3,5 µg/l. Die Werte an Brunnen 8 lagen etwas höher als an Brunnen 7, jedoch in beiden Brunnen immer unter 1 µg/l. An Brunnen 9 wurde nur in einer von 18 Proben eine Konzentration im Bereich der Bestimmungsgrenze ermittelt. Der Konzentrationsverlauf zeigt jeweils ein Maximum im ersten Halbjahr 1988 und Anfang 1993. Besonders hoch sind die LCKW-Konzentrationen auch an der Meßstelle M10. Die Konzentrationen nehmen zu den Brunnen 7, 8 und 9, sowie zur Meßstelle M11 deutlich ab. Am Privatbrunnen Prellinger wurde vom Gesundheitsamt Starnberg 1991 Trichlorethan mit 0,08 µg/l gemessen.

7.5 Zusammenfassung

Die Gestalt von Tertiär- und Grundwasseroberfläche sowie die Ausbildung der Quartärsedimente im Umfeld der Brunnen im Kreuzlinger Forst vermitteln ein schlüssiges Bild über die hydrogeologische Situation. Danach zeichnet sich auch eine hydraulische Verbindung zwischen dieser und der Gewinnungsanlage im Königswieser Forst ab (vgl. Kap. BI.5), die auch einen möglichen Ausbreitungsweg für LCKWs aus dem westlichen bis nördlichen Siedlungsbereiche von Gauting darstellt. Als Quelle für die im Gewinnungsgebiet schon in grenzwertüberschreitenden Konzentrationen gemessenen LCKWs kommt z.B. die ehemalige chemische Reinigung des Zentralkrankenhauses Gauting in Betracht.

Zudem liegen im Grundwassereinzugsgebiet, etwa 500 m südwestlich von Pentenried, mindestens zwei verfüllte Kiesgruben, deren Inhalt unbekannt ist. Des weiteren gelten das Gelände der Pionierkaserne Krailling und der Standortübungsplatz mit mehreren Kiesgruben und Bunkerresten darauf, sowie ein Tanklager der Industrie-Verwaltungs-Gesellschaft (IVG) mit zahlreichen Gas- und Öltanks als potentielle Belastungsquellen vielfältiger Art, dazu auch eine Kompostieranlage etwa 800 m westlich der Brunnen. Die besonders an Brunnen 10 aufgetretenen PSM-Belastungen stammen aus Bereichen mit überwiegend landwirtschaftlichen Nutzflächen im Grundwassereinzugsgebiet zwischen Pentenried und Unterbrunn.

8 Das Gebiet zwischen Pähl, Kerschlach, Deixlfurt und Ilkahöhe

Im Wasser der Flachbrunnen bei Kerschlach (Gemeinde Tutzing) traten in den letzten Jahren vermehrt hohe Nitrat- und PSM-Belastungen auf. Bei Rößlberg und Diemendorf wurden Standorte für Mülldeponien erkundet (Tab. B1). In beiden Fällen mußten zur Beurteilung der Grundwassersituation die hydrogeologischen Verhältnisse hinreichend geklärt werden.

8.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten (Abb. B55, B56)

Das Südennde des Andechser Höhenrückens von der Ilkahöhe bei Oberzeismering (725 m ü.NN) bis zum Hirsch-Berg bei Pähl (684 m ü.NN), markiert die Nahtstelle zweier Teilgletscher des Isar-Loisach-Vorlandgletschers (Ammer- und Würmseegletscher). Dort, um das Berndorfer Buchet, erheben sich auch die größten Geländeauftragungen des Andechser Höhenrückens (rd.760 m ü.NN). Dieses Hoch-gebiet zwischen den beiden Gletscherzungenbecken und dem unmittelbar südlich daran angrenzenden flachen Rücken des "Eberfinger Drumlinfeldes" teilte die vordringenden Eismassen wiederholt in zwei Eisströme, wobei die Erosion vielerorts bis auf die Tertiäroberfläche übergriff und deshalb dort letztendlich überwiegend würmeiszeitliche Ablagerungen erhalten geblieben sind. Wie nach Osten und Westen zum Würm- und Ammersee-Zungenbeckenrand, treten gleichermaßen auch nach Süden zum Eberfinger Drumlinfeld Höhenunterschiede um 100 m mit durchschnittlichen Hangneigungen um 7% auf. Der nur schwach geneigten Hochfläche südlich des Berndorfer Buchets, mit Geländehöhen um 710-720 m ü.NN, sind nach Süden gestaffelte, würmeiszeitliche Endmoränenwälle aufgesetzt. Zwischen diesen Endmoränenwällen sind besonders um den Deixlfurter See ausge dehnte anmoorige Gebiete entstanden, die nach Westen bis nahe an den Filzweiher und ebensoweit nach Süden bis dicht an die Ilkahöhe heranreichen. Zwischen Filzweiher und Deixlfurter See folgen nach Bohrstocksondierungen (BGU 1990) in den zentralen Bereichen unter Dezimeter bis Meter mächtigen Torfen geringmächtige Seetone mit Feinsandlagen, an den Rändern zunehmend Grundmoräne. Das Hochflächenareal um diese Seen wird durch eine flache Anhöhe von einer ähnlich hochgelegenen Verebnung um die Ortschaft Kerschlach (702 m ü.NN) getrennt. Auf dem flachwelligen, leicht nach Süden geneigten Gelände um Kerschlach (Grundmoräne) befindet sich auch der künstlich gestaute, durch den Burgleiten-Bach gespeiste Kerschlach-Weiher und die Quellen und Brunnen des Gutes Kerschlach. Im Norden sind halbkreisförmig würmeiszeitliche Endmoränenwälle angeordnet. Weiter nach Norden schließen die Moore und Drumlinoide der "Machtlfinger Hochfläche" zwischen Erling und Machtlfing an, weiter im Nordwesten am Deuten-Berg die Wurzeln der Wieling-Traubinger Schotterflur (Wieling-Maisinger Becken, Kap. BI.1). Westlich Machtlfing sind in einigen Entwässerungsgräben oberflächennahe tonig-schluffige Sedimente um ca. 700 m ü.NN aufgeschlossen. In den umliegenden niveaugleichen anmoorigen Gebieten gibt es auf dieser Höhe wie aus Rohrgräben und Baugrundsondierungen bekannt, ebenfalls wasserstauende Feinsedimente (z.T. Seetone).

Zwei der eindrucksvollsten Aufschlüsse mindeleiszeitlicher Deckenschotter im "Fünfseenland" sind in der Pähler Schlucht und im Kienbachtal bei Andechs zu sehen. Dazwischen wurden bei eigenen Geländebegehungen am Ammersee-Ostufer entlang einer Geländekante bei ca. 650 m ü.NN bis zum Mühlbach-Tal bei Herrsching mehrere kleinere neue Deckenschotter-Aufschlüsse aufgefunden. Unterhalb der Geländekante streuen auch zwischen den Aufschlüssen häufig kristallinarme Kalkschotter, die

offensichtlich aus den im nahen Untergrund anstehenden Deckenschottern stammen. Man kann deshalb annehmen, daß Deckenschotter zwischen Pähl und Herrsching, meist von Würmmoräne verdeckt, nahezu ohne Unterbrechung parallel zum Seeufer oberhalb ca. 620-630 m ü.NN mit einer Oberfläche um 650/660 m ü.NN vorkommen.

Nördlich von Pähl, an der Ostseite des Weißen Bach (ca. 620 und 630 m ü.NN), im Mühlbach-Tal (ca. 620 m ü.NN) und östlich von Herrsching (ca. 600-630 m ü.NN) finden sich mehrere isolierte Nagelfluhverbände bzw. Blöcke, die über dem wasserstauenden Tertiär abgerutscht sind.

Etwa einen Kilometer nordwestlich der schon lange bekannten Nagelfluh bei Monatshausen (Oberfläche bei 730 m ü.NN) wurden in der Nähe von Kerschlach bei eigenen Geländeaufnahmen bisher noch nicht beschriebene Konglomerate gefunden (Oberfläche bei ca. 725 m ü.NN). Die Verflachung des Geländes zwischen beiden Nagelfluhaufschlüssen läßt vermuten, daß diese unter den jungpleistozänen Schichten hindurch miteinander in Verbindung stehen und gleiches Alter haben. Es ist auch nicht auszuschließen, daß sie mit den ca. 4,5 Kilometer nördlich davon ausstreichenden Konglomeraten im Ascheringer Bach (Oberfläche ca. 685 m ü.NN; Abb. B55) ursprünglich einen geschlossenen Schotter-Nagelfluh-Komplex (?Günz) bildeten. Im Aufschluß bei Monatshausen folgen unter einer groben, unsortierten Moränennagelfluh lagenweise verfestigte, bis zu vier Meter mächtige Schotter. Unter diesen tritt eine sandige, glimmerreiche Moräne zutage. Die Schotter liegen also zwischen Moränenmaterial verschiedenen Alters. Der hohe Glimmeranteil der Liegendmoräne könnte die unmittelbare Nähe des tertiären Untergrundes anzeigen oder aus dem hier am südlichen Zungenbeckenrand überdurchschnittlich hohen Anteil glimmerhaltiger Flysch-Geschiebe resultieren.

Hochgelegene Nagelfluhen und Schotter (ca. 670-705 m ü.NN) sind auch in zahlreichen Bohrungen über ca. 9 Kilometer Nord-Süd-Erstreckung im westlichen Andechser Höhenrücken (Abb. B7, Kap. BI.1) und auf der Ilkahöhe (Abb. B.44) registriert. Da in diesem Komplex v.a. um 650/660 m ü.NN häufig Feinsedimentlagen (Moräne, Seeton) auftreten, kann von mindestens zwei eiszeitlichen Sedimentationsphasen ausgegangen werden. Im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte geoelektrische Messungen (BGLA) deuten allerdings an, daß die Ablagerungen oberhalb ca. 660 m ü.NN überwiegend unverfestigt sind. Wahrscheinlich handelt es sich bei den Nagelfluhen und Schottern darunter um mindeleiszeitliche den Schottern, darüber um rißeiszeitliche Bildungen.

Die Haupt-Oberflächenentwässerung der anmoorigen Machtlfinger Hochfläche nach Norden bzw. Nordwesten zum Ammersee leisten Kobel- und Kienbach, nach Nordwesten zum Wieling-Maisinger Becken und weiter zum Würmsee der Machtlfinger-, bzw. Ascheringer Bach, sowie der Deixlfurter Bach und der Schwarze Graben. An den südlichen Zungenbeckenrändern treten am Würmsee-Westufer zwischen Oberzeismering (Ilkahöhe) um 690 m ü.NN zahlreiche, zum Seebecken abfließende Bäche (Kalk-, Bareisl-, Martels-Graben und einige unbenannte Bäche südlich davon) aus, deren Wasserführung aufgrund kleiner Einzugsgebiete stark mit den Niederschlagsmengen variiert. Zwischen Ilkahöhe, Monatshausen und Hirsch-Berg (Pähl) entspringen an der Südflanke des innersten Moränenwalles mehrere kleine Bäche auf unterschiedlichen Höhen (Gröben-Graben um 700 m ü.NN, Kinschbach und Burgleiten-Bach um 730 m ü.NN, Offen- und Ziegelleitengraben um 650 m ü.NN), die zur Ammer und weiter zum Ammersee entwässern. Ihre Quellaustrittshöhen (Abb. B48) markieren in bestimmten Gebieten allem Anschein nach Höhenlagen stauender Seeton- oder Grundmoränenareale.

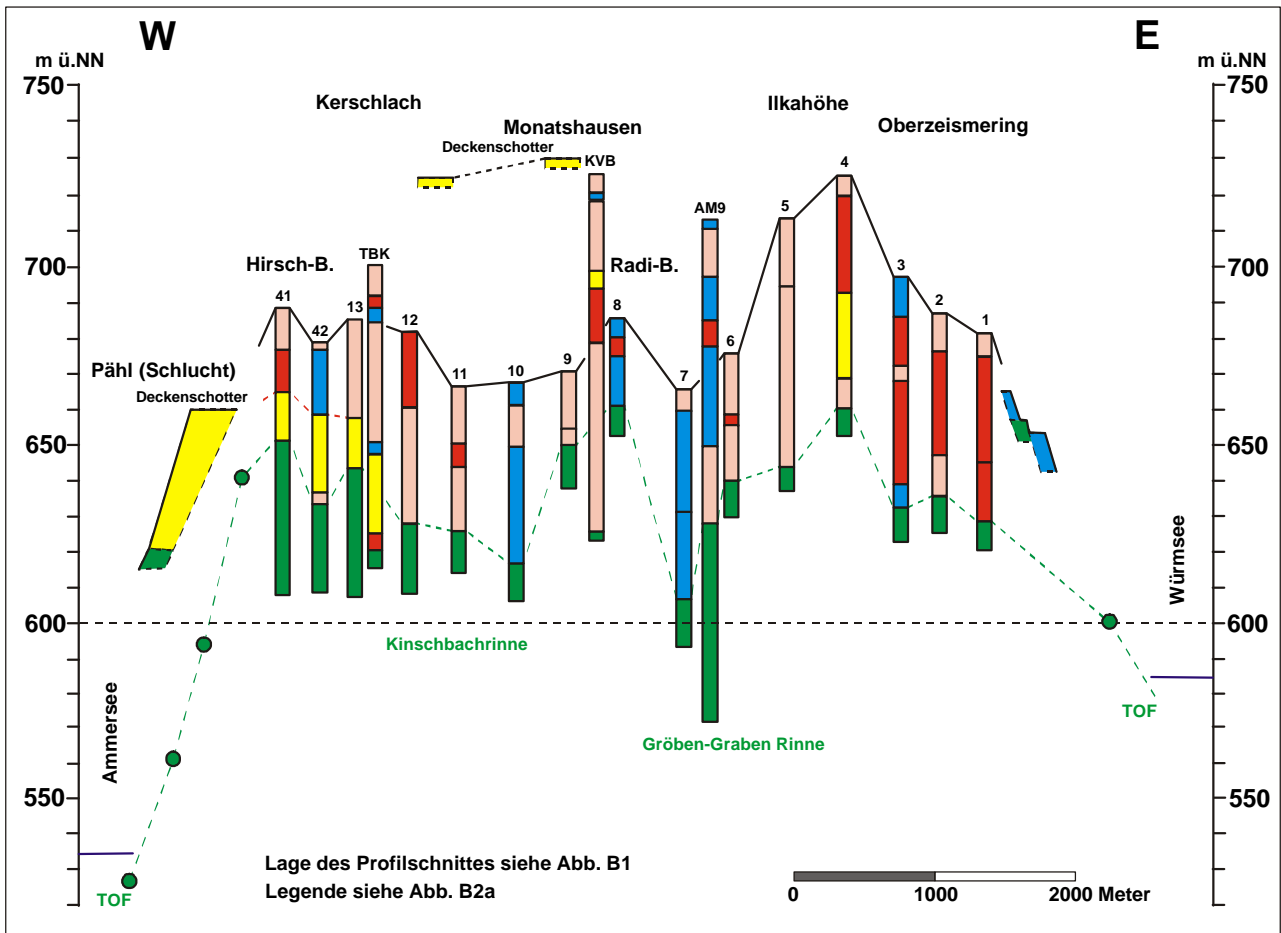


Abb. B44: West-Ost Profilschnitt vom Hirsch-Berg (Pähler Schlucht) zur Ilkahöhe

Der Tertiärsockel (TOF) zeigt im Westen (Hirsch-Berg), Osten (Ilkahöhe) und in der Mitte (Radi-Berg), ähnlich wie die Geländeoberfläche, Hochgebiete mit Höhen um 650-660 m ü.NN, dazwischen Tieflagen wie die "Kinschbachrinne" (ca. 630 m ü.NN) südlich Kerschlach und die "Gröben-Graben Rinne" (ca. 640 m ü.NN) südlich Obertraubing. Quartäre Schotter und Nagelfluhen kommen hauptsächlich über den Tertiär-Hochgebieten im Westen und Osten vor, wobei Nagelfluhen immer mehrere Zehnermeter überdeckt sind. Am Hirschberg und in der benachbarten Pähler Schlucht liegt die Nagelfluhoberfläche bei 660 m ü.NN, an der Ilkahöhe über 690 m ü.NN. Die Oberfläche der rd. 0,7 bzw 1 km nördlich der Profillinie ausstreichenden Nagelfluhvorkommen (ältere Deckenschotter) bei Monatshausen bzw. südöstlich von Kerschlach, erreicht rd 730 m ü.NN. In den Bohrungen 42, 3, 8 und 10 (13) scheinen Feinsedimentlagen ohne nennenswerte Quartärüberdeckung mit Oberflächen zwischen knapp 670 und 700 m ü.NN auf. Wahrscheinlich handelt es sich um Seeablagerungen ("Deixlfurter-Kerschbacher Niveau"). Im oberen Gröben-Graben, etwa 600 m nördlich der Bohrungen 5 und 6, sind mehrere Meter mächtige, geschichtete Seetone aufgeschlossen, die zumindest nahe der innersten Wallmoräne moränenbedeckt und eisüberfahren sind (vgl. Abb. B45). Östlich des Deixlfurter Sees, des Langen Weiher und von Oberzeismering sind in mehreren kleinen Gräben zum Würmsee-Zungenbecken Seetone bei ca. 695 m ü.NN freigelegt, deren Oberfläche ähnlich hoch liegt wie das "Deixlfurter-Kerschbacher Niveau". Im Graben östlich von Oberzeismering finden sich zudem bei ca. 665 m ü.NN stärker verfestigte Seetone, die über tertiären Sanden, an einer Stelle auch über harter, vermutlich älterer (?Riß-) Moräne liegen. Obflächennahe Grundwasservorkommen gibt es im Raum Kerschlach und um den Deixlfurter See um 700 m ü.NN in würmeiszeitlichen Schottern, v.a. in der Umgebung Kerschlach auch um 630 m ü.NN in Deckenschottern über der Tertiäroberfläche.

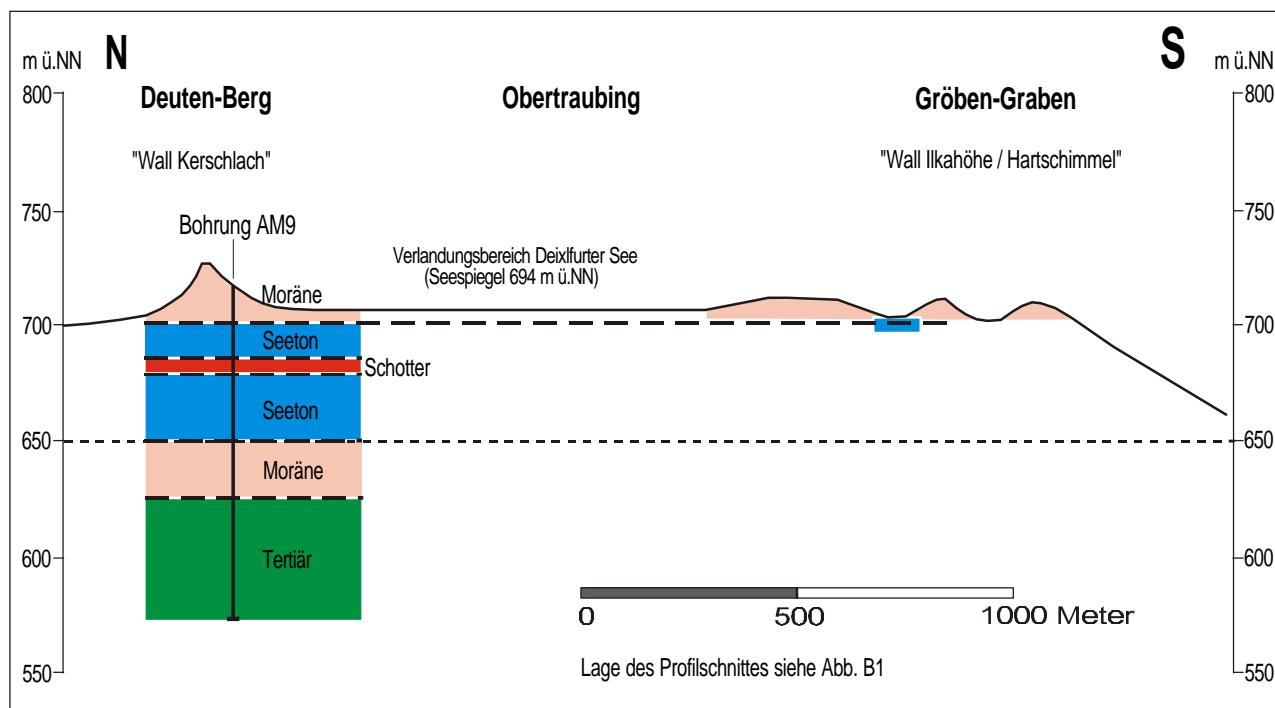


Abb. B45: Nord-Süd Profilschnitt vom Deuten-Berg (westlich Deixlfurter See) zum Gröbengraben

Ein über 150 m Horizontalf Entfernung und stellenweise mehrere Meter mächtiger Seetonaufschluß bei 690/700 m ü.NN im oberen Gröben-Graben nahe des Verlandungsgebietes um den Deixlfurter See ist im Süden vom nördlichen Wall eines Doppelwallsystems ("Wall Ilkahöhe / Hartschimmel", Abb. B56) gekappt und stellenweise überfahren. Die Bohrung AM9 setzt über 1,5 km von diesem Aufschluß entfernt und am Südrand eines Walles an ("Wall Kerschlach", Abb. B56), dem auch der Deuten-Berg angehört und durchteuft die obersten Meter dieser Moräne. Darunter folgen zwei durch eine etwa 7 Meter mächtige Schotterschicht getrennte Seetonkomplexe. Der obere, ca. 12 m mächtige Komplex ("Deixlfurter-Kerschbacher Niveau"), ist \pm niveaugleich mit den Seesedimenten im oberen Gröben-Graben. Möglicherweise ist auch dieser eisüberfahren. Der tiefere, ca. 28 m mächtige Komplex reicht bis ca. 650 m ü.NN und liegt einer älteren, ca. 25 m mächtigen Moräne auf, unter der bei ca. 625 m ü.NN die Tertiäroberfläche folgt. Die Seetone des "Deixlfurter-Kerschbacher Niveaus" sind auch östlich des Deixlfurter Sees in einigen kleinen, zum Würmsee gerichteten Gräben angeschnitten und in Bohrstocksondierungen (BGU) erfaßt.

Die Seetone des "Deixlfurter-Kerschbacher Niveaus" haben würmeiszeitliches Alter. Da sie sowohl im oberen Gröben-Graben, als auch am Deuten-Berg offensichtlich unter den Würmendemoränen der beiden jüngsten Wallsysteme liegen, werden sie im Hochglazial entstanden sein. Setzt man voraus, daß beide Vorkommen zeitgleich gebildet wurden, hat das Eis die Seetone mindestens 2 km überfahren. Bei den Schottern zwischen den Seetonkomplexen könnte es sich um Würm-Vorstoßschotter handeln, bei den tieferen Seetonen um spätrißeiszeitliche Bildungen. Die Moräne über der Tertiäroberfläche wäre dann rißeiszeitlich oder älter.

Im südlichen Verlandungsgebiet des Deixlfurter Sees um Obertraubing sind zwischen der würmeiszeitlichen Moräne am Deuten-Berg (Abb. B45; Bohrung AM9) und einem Seeton-Aufschluß im oberen Gröben-Graben am Nordrand eines Doppelwall-Systems unter geringer Moor- und stellenweise auch Moränenüberdeckung \pm niveaugleiche, bis ca. 12 m mächtiger Seetone mit einer Oberfläche um 700 m ü.NN verbreitet. Darunter folgt zumindest in der Umgebung des Deuten-Berges, getrennt von mehreren Metern Schotter, eine weitere, ca. 28 m mächtiger Seetonschicht, die über älterer Moräne liegt.

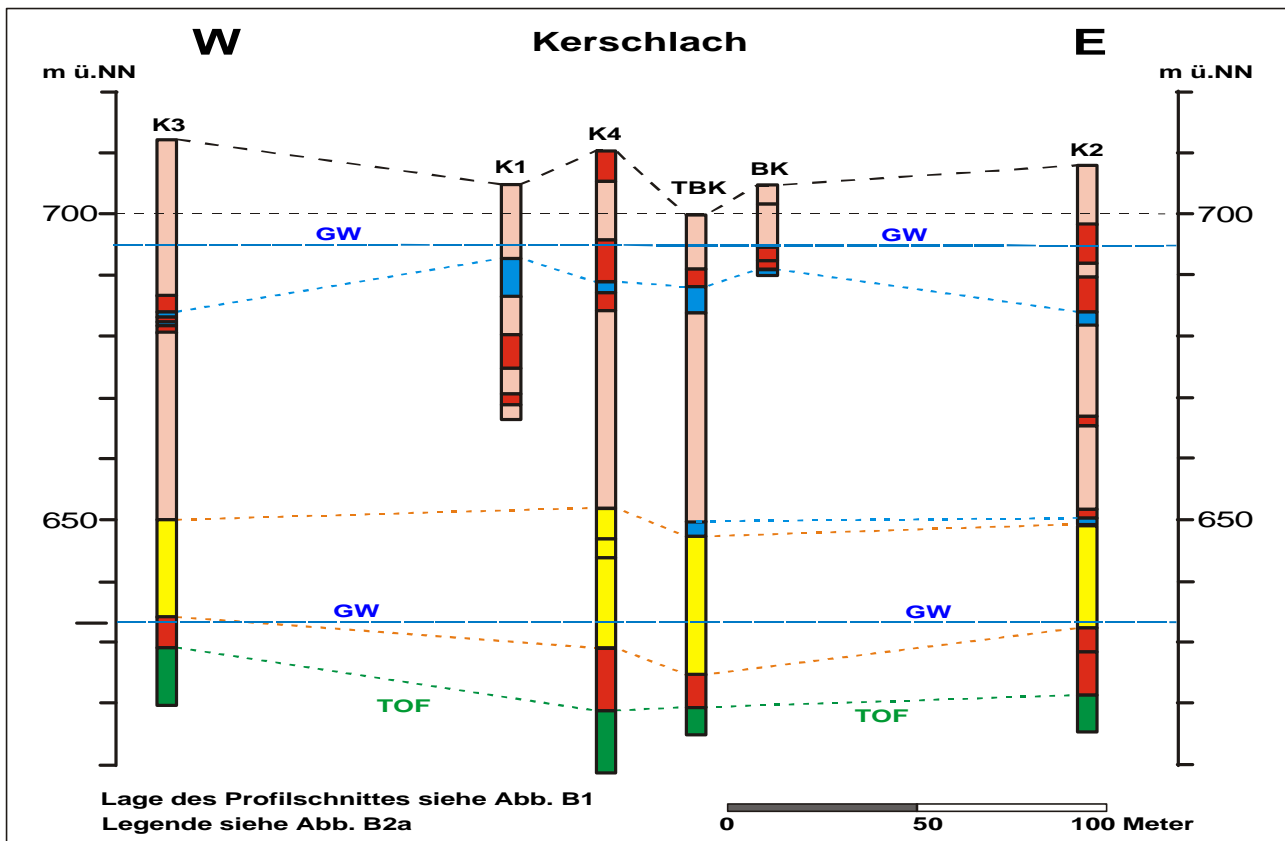


Abb. B46: Profilschnitt durch Brunnen- und Versuchsbohrungen bei Kerschlach

Die Bohrprofile zeigen unter ca. 10-25 Meter Moränen- und Kiesbedeckung bei 680/690 m ü.NN geringmächtige, annähernd niveaugleiche, wasserstauende tonig-sandige Schluffe (?Stillwasserbildungen). In der Bohrung K2 handelt es sich dabei, wie auch ca. 30 Meter tiefer, wahrscheinlich um Verwitterungsbildungen. Die hier nicht gezeigten Versuchsbohrungen VB1, VB2 und VB3 etwa 250 Meter südlich von K1 endeten bei etwa 690 m ü.NN in festem, gelb-braunem Ton, der wie der Stauhohizont im Brunnen (BK) vor dem Abteufen der tieferen Bohrungen als "Tertiär" angesprochen wurde.

Über diesem Stauhohizont stellt sich bei 695 m ü.NN ein Grundwasserspiegel ein. Darunter folgen rd. 30 Meter kiesig-sandige Schluffe (Moräne), unter den in den Bohrungen TBK und K2 wiederum eine dünne Feinsedimentlage auftritt (?Verwitterungsbildungen über Deckenschottern), die ungefähr niveaugleich mit den Nagelfluhoberflächen in den westlichen Bohrungen K3 und K4 ist und selbst über Nagelfluh liegt. Die in allen Bohrungen in der Tiefe folgenden ca. 20-30 Meter mächtigen lagenweise verfestigten sandigen Kiese (?Deckenschotter) lagern dem Tertiär auf. In ihrem untersten, unverfestigten Abschnitt ist bei 632 m ü.NN ein tieferes Grundwasserstockwerk über der Tertiäroberfläche ausgebildet.

Im Bereich des Brunnens Kerschlach wurden die das oberste Grundwasser stauenden Feinsedimente bei 680-690 m ü.NN (Abb. B46), ähnlich wie im Wieling-Maisinger Becken (Kap. BI.1), bisher als Tertiär angesprochen. Anhand von Bohrungen und Profilschnitten (Abb. B44, B46) konnte geklärt werden, daß es sich dabei überwiegend um Seeton handelt, unter dem zuerst Moräne und darunter partiell verfestigte, grundwasserführende Schotter folgen.

Der Grundwasserleiter des hangenden Grundwasserstockwerkes zwischen ca. 12-24 m u. GOK besteht aus Grobkiesen, die im Bereich der ehemals genutzten Kerschbacher Quellen auch austreichen. Als stauende Trennschicht zum liegenden Grundwasserstockwerk fungieren Seetone und Moräne (*"Deixlfurter-Kerschbacher-Niveau"*), die gebietsweise auskeilen oder stark ausdünnen, so daß hydraulische Kontakte zum tieferen Grundwasservorkommen, wie sie sich auch aus wasserchemischen Analysen (s.u) abzeichnen, auftreten können. Der tiefere Grundwasserleiter besteht aus sandigen, überwiegend verfestigten, 30-40 m mächtigen Schottern (?Mindel-Deckenschotter), in deren unverfestigter, stark durchlässiger Basis zwischen 80-100 m unter Gelände ein ungespanntes bis halbfreies Grundwasservorkommen mit mehreren Metern Mächtigkeit auftritt, das sich über Tertiärmergeln staut.

8.2 Tertiäroberfläche

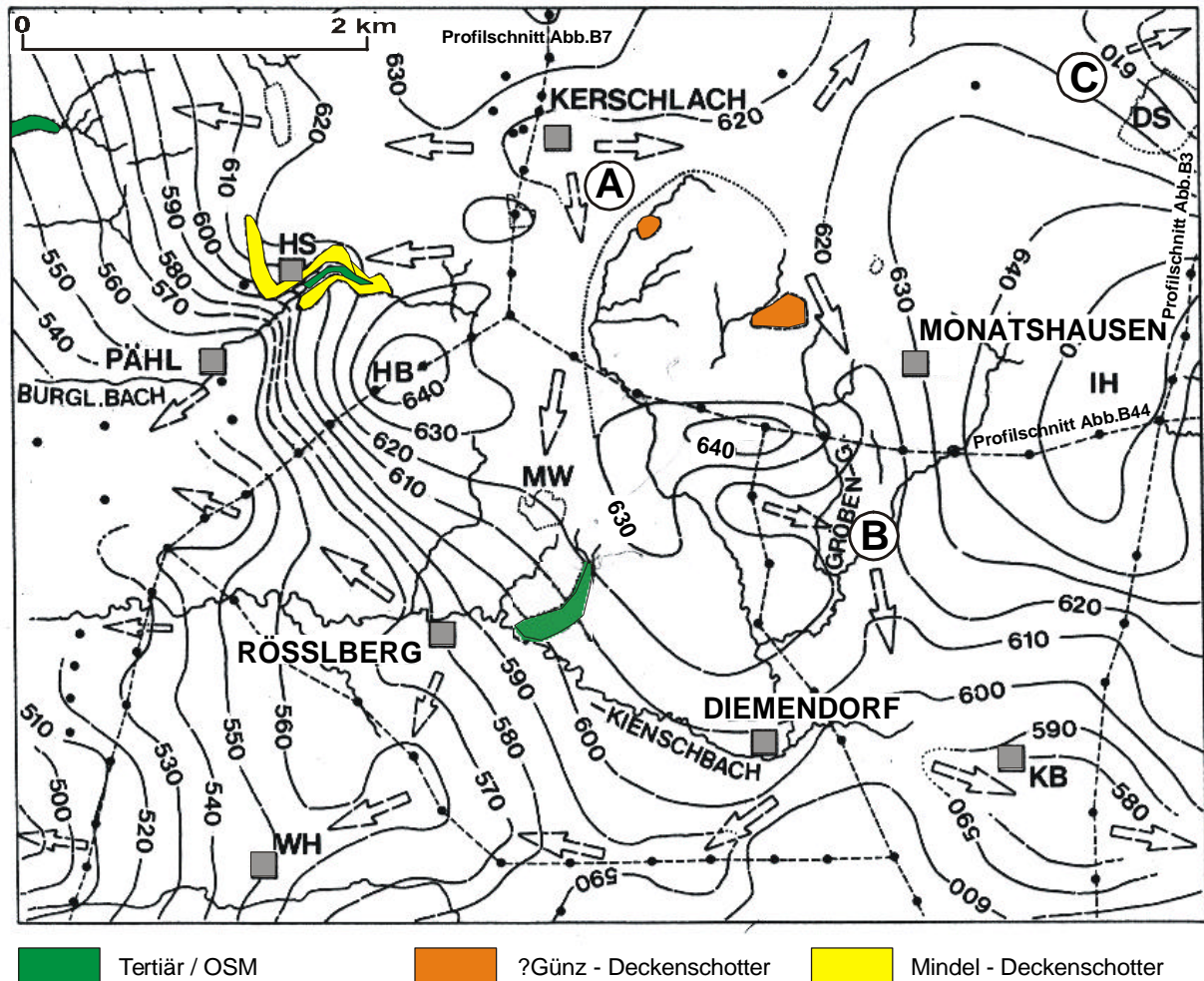


Abb. B47: Die Tertiäroberfläche im Raum Pähl-Kerschlach-Rösslberg-Diemendorf-Monatshausen

Die Hauptreliefformen der Tertiäroberfläche sind ähnlich angeordnet wie die der Geländeoberfläche. So befinden sich die größten Tertiärhöhen bis ca. 650 m ü.NN nahe dem steilabfallenden Süden des Andechser Höhenrückens am Hirsch-Berg (HB), südwestlich von Monatshausen (M), an der Ilkähöhe (IH) sowie im Bereich des Kerschlach Forstes in Richtung Erling-Andechs. Wahrscheinlich gibt es bei Monatshausen auch Tertiärhöhen über 700 m ü.NN, da dort an der Geländeoberfläche ältere Deckenschotter (?Günz) um 730 m ü.NN vorkommen und diese wahrscheinlich nicht mächtiger als 30 m sind. Die größten Geländehöhen mit ca. 760 m ü.NN liegen um das Berndorfer Buchet. Die genannten Hochlagen sitzen einem Sockel bzw. einer Hochfläche mit durchschnittlicher Höhe um 620 m ü.NN auf, deren Ränder in die Zungenbecken abfallen. Die Bereiche zwischen den Hochgebieten bilden die Wurzelzonen mehrere zum Zungenbecken und nach Norden zum Wieling-Maisinger Becken gerichteter Rinnen. Die auffallendste Rinnenstruktur ist die "Pähler-Kerschlachener Rinne" (A), die aus dem Raum Kerschlach in westliche Richtung verläuft und vom Burgleiten-Bach und der Pähler Schlucht nachgezeichnet wird. Vermutlich liegt ihr Sattelpunkt nur wenig westlich der Kerschlachener Brunnen. Von dort fällt die Rinne zuerst flach nach Osten und wendet sich dann nach Nordosten zum Wieling-Maisinger Becken. Offensichtlich wurde diese Rinne schon vor- oder frühmindeleiszeitlich angelegt, da die mindeleiszeitlichen Deckenschotter in der Pähler Schlucht darin eingebettet sind. Denkbar ist auch, daß sie zu dieser Zeit noch ausschließlich zum Ammersee-Zungenbecken orientiert war und erst nach der Eintiefung des Wieling-Maisinger Beckens in die Tertiäroberfläche infolge rückschreitender Erosion ihre heutige Form erhielt. Etwa 1 km nördlich der Pähler Schlucht deutet sich eine wesentlich flachere Rinne im Bereich des Hochschloß Weihers an, die auf den Tertiäraufschluß im Eichgraben zielt, unterhalb ca. 600 m ü.NN aber nicht mehr nachzuweisen ist. Eine weitere markante Rinne, die hier aufgrund ihres ähnlichen Verlaufes mit dem Gröben-Graben als "Gröben-Graben Rinne" (B) bezeichnet wird, wurzelt westlich von Monatshausen und fällt in Richtung Diemendorf. Unsicher ist, ob sie im Norden mit der "Pähler-Kerschlachener Rinne" in Verbindung steht. Nördlich der Ilkähöhe, zeichnet sich in der Umgebung des Deixlfurter Sees (DS) die zum Würmseeführende "Pfaffenberger Rinne" (C) ab (Kap. BI.2). Am Ostabhang der Ilkähöhe bei Oberzeismering sind weitere (hier nicht gezeigte), jedoch flache Eintiefungen in Richtung Würmseeführende Zungenbecken angelegt. Im Bereich des rezenten Grünbach-Tales bei Wilzhofen (WH) scheint auch an der Tertiäroberfläche eine West-Ost gerichtete Rinne zu existieren, die möglicherweise einer weitreichenderen Struktur angehört, welche die Zungenbecken von Ammer- und Würmseeführende unterhalb 600 m ü.NN miteinander verbindet. Das Ost-West verlaufende untere Kinschbachtal ist an der alten Landoberfläche erst in der Umgebung von Rösslberg (RB) als Tälchen erkennbar, von dem etwas westlich dieser Lokalität ein Teilarm in Richtung Pähl abzweigt. Am Ammersee-Zungenbeckenrand sind die Tertiäraufschlüsse in der Pähler Schlucht/Burgleiten-Bach (ca.620 m ü.NN), im Eichhofgraben (ca. 550-575 m ü.NN), im Weißen Bach (ca. 570-620 m ü.NN) und im Feldgraben (ca.580 m ü.NN) bekannt. Die beiden zuletzt genannten liegen außerhalb des Kartenrahmens.

Tiefbohrungen für sprengseismische Untersuchungen, Wasser- und Baugrundbohrungen in der Umgebung von Kerschlach und Pähl, Sondierungsbohrungen an ursprünglich vorgesehenen Deponiestandorten bei Diemendorf und Rößlberg, zahlreiche, hier nicht näher beschriebene geoelektrische Erkundungen, sowie mehrere Oberflächenaufschlüsse bilden die Konstruktionsgrundlagen für das lebhaftes Isolinienbild der Tertiäroberfläche in Abbildung B47, deren Hauptreliefformen enge Gemeinsamkeiten zum heutigen Geländere relief aufweisen. So sind mehrere rezente Rinnen und Gräben, wie der nach Süden gerichtete Oberlauf des Kienschbaches und der Gröben-Graben (Gröbenbach), in ähnlicher Position auch in die Tertiäroberfläche eingetieft. Hochlagen um 650 m ü.NN, wie am Hirsch-Berg, bei Monatshausen oder an der Ilakhöhe, sitzen einem Sockel mit Höhen um 620 m ü.NN auf, von dem Rinnen aus dem Zentralbereich um Kerschlach nach Westen und Süden in das Zungenbecken, sowie in nördlicher Richtung zum Wieling-Maisinger Becken (Kap. BI.1) bzw. in die Pfaffenberggrinne (Kap. BI.2) führen.

8.3 Grundwasservorkommen und Bach-/Quellaustritte

In der Umgebung von Kerschlach treten zwei größere Grundwasservorkommen auf (Abb. B48): Ein höheres Grundwasserstockwerk um 700 m ü. NN, das mit geringem Gefälle nach Südwesten in Richtung Kerschlacher Weiher (ca. 695 m ü.NN) und Burgleiten-Bach gerichtet ist und auch vom alten Kerschlacher Brunnen und durch die Kerschlacher Quellen erschlossen wird sowie ein tieferes Grundwasserstockwerk um 630 m ü.NN, das in ?Mindel-Deckenschottern über der Tertäroberfläche mit etwa 2 ‰ nach Nordosten in Richtung Wieling-Maisinger Becken fließt („Pähler-Kerschlacher Rinne“).

Zwischen dem Kerschlacher Weiher und Deixlfurter See treten an den Hängen eines Hochgebietes (Berndorfer Bucht) um 720/730 m ü. NN mehrere Bäche aus. In diesem Hochgebiet steht wahrscheinlich um 720/730 m ü.NN ?günzezeitliche Nagelfluh an (s.o.). Im Osten fließt beginnend bei ca. 710 m ü.NN Grundwasser in Richtung Deixlfurter See und weiter zum Wieling-Maisinger Becken. Ein weiterer Quellhorizont um 700/705 m ü.NN erstreckt sich vom nordöstlich des Hochschloß-Weiher über Kerschlach, Monatshausen bis Oberzeismering und von dort in nördliche Richtung. Dieser Quellhorizont liegt in vergleichbarer Höhe wie das obere Grundwasservorkommen bei Kerschlach und das Grundwasservorkommen um den Deixlfurter See. Beide Vorkommen stauen sich über Seetonen und Grundmoränen des *“Deixlfurter-Kerschlacher Niveaus”*.

Nördlich von Diemendorf (erkundeter Deponiestandort) zeichnet die Grundwasseroberfläche zwar recht gut die Tertiäroberfläche nach (Abb. B47), doch staut es sich mehrere Meter darüber an Moräne. Östlich des Majestätweiher korreliert sie mit dessen Seewasserspiegel (ca. 650 m ü.NN), nach Nordwesten steigt sie bis über 655 m ü.NN an, nach Südosten fällt sie mit ca. 1 ‰ Gefälle bis auf ca. 635 m ü.NN zum Kinschbach, der im Osten auch die Vorflut des Grundwassers bildet, im Süden aber tiefer als die grundwasserführenden Schichten liegt, so daß es dort oberhalb des Baches diffuse und großflächige Grundwasseraustritte mit ausgedehnten Vernässungen gibt.

Westlich von Rößlberg (erkundeter Deponiestandort) korreliert das Grundwasser (um 580 m ü.NN) mit dem Wasserspiegel des Windachgrabens (Vorfluter). Das Grundwassergefälle beträgt ca. 2-4 ‰. Am alten Brunnen der Gemeinde Pähl liegt der Grundwasserspiegel im Schwemmfächer des Burgleitenbaches bei 550 m ü.NN. Sein Gefälle ist in westliche Richtung zum Ammertal (Ammerwasserspiegel rd. 540 m ü.NN) gerichtet.

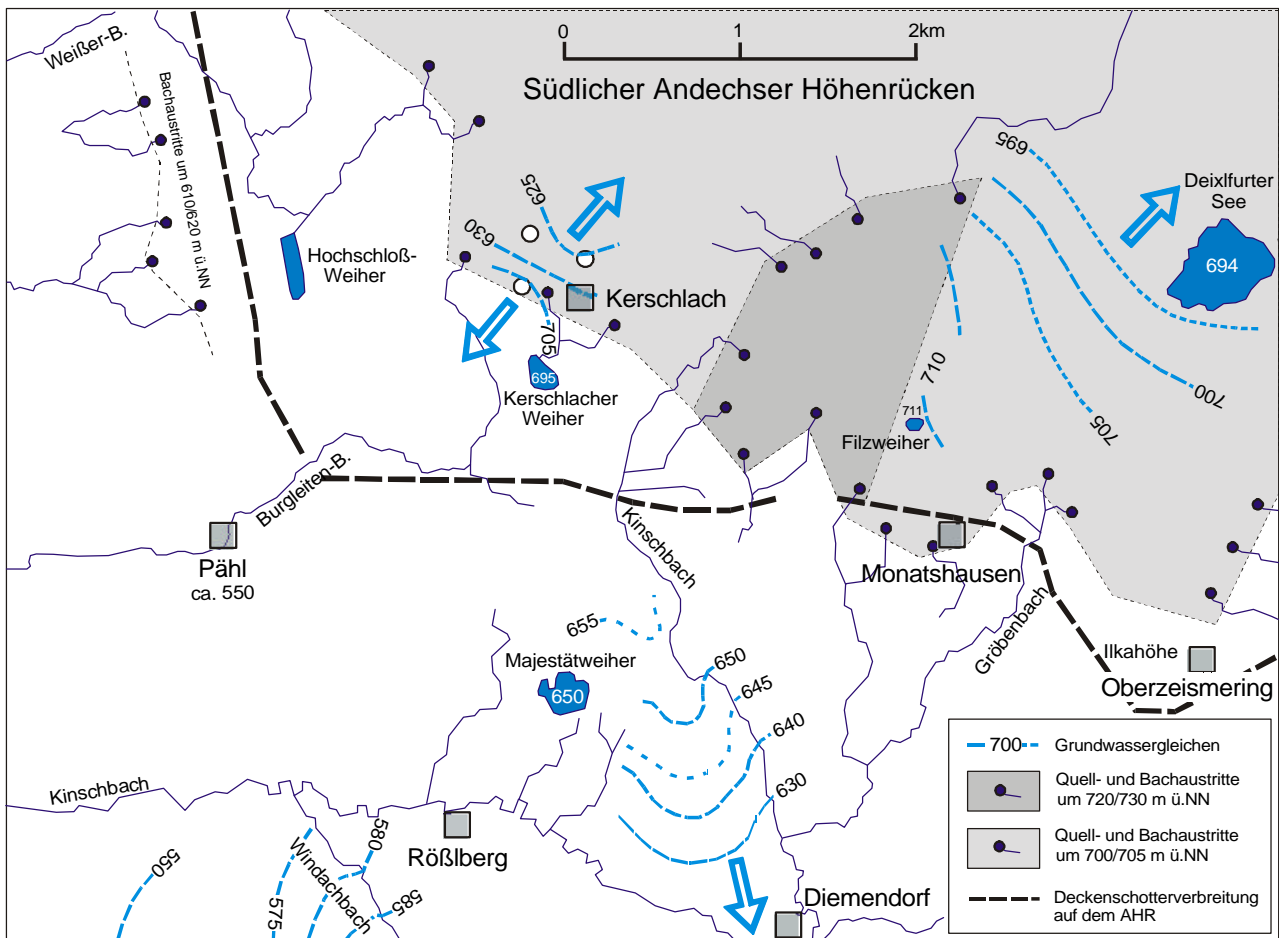


Abb. B48: Grundwassergleichen und Bach-/Quellaustritte auf dem südlichen Andechser Höhenrücken

8.4 Wasserbeschaffenheit

In den Jahren 1988-1993 lagen sechs Nitratwerte im oberflächennahen Aquifer am Flachbrunnen Kerschlach zwischen 21,6 und 27 mg/l, mit leicht steigender Tendenz. Die Desethyltriazin-Konzentration betrug vom November 1990 bis November 1991 im Durchschnitt 0,0003 mg/l, wobei sie im Dezember 1991 auf 0,00050 mg/l anstieg. Der Wasserchemismus ist dem im oberen Aquifer an der Bohrung K2 ähnlich (BGU 1993, s. Abb. B49).

Das Grundwasser des neu-erbohrten tieferen Grundwasserstockwerkes (Bohrungen K2, K3, K4; Deckenschotter) bei Kerschlach war 1993 (BGU) nur gering nitratbelastet (2,2-6,2 mg/l) und insgesamt geringer mineralisiert als das des höheren Stockwerkes. Die Sauerstoffkonzentration war mit 6,5 bis 8,4 mg/l für Deckenschotterwasser großer Überdeckung auffallend hoch. Diese Werte deuten, wie auch geringe Spuren von PSM, auf Zusickeung oberflächennahen Wassers hin, wie es mit ähnlichem Chemismus auch in den Kerschbacher Flachbrunnen vorkommt. Im hangenden Grundwasserstockwerk wurde an der Bohrung K4 zum gleichen Zeitpunkt ein Nitratgehalt von 18 mg/l und 5,5 mg/l Sauerstoff gemessen. Bei zunehmender Förderung aus dem tieferen Stockwerk stiegen Sauerstoff-, Chlorid-, Sulfat- und Nitratgehalte, was durch stärkere Absenkung, Aufweitung des Anstrombereiches und Zustrom aus entfernteren Gebieten, bzw. aus dem höheren Grundwasserstockwerk bewirkt werden kann. Auch an der Bohrung K2 unterschied sich das Wasser des tieferen Aquifers deutlich von dem des höheren (Abb. 49, z.B. PSM, Chlorid, Calcium, elektrische Leitfähigkeit)

Bei geringer Förderleistung gezogene Wasserproben im neuen Brunnen Kerschlach ergaben entsprechend ihren Tritiumgehalten eine Verweilzeit von >40 Jahren, bei höherer Förderleistung von >20 Jahren (BGU 1993). Auch daraus ist, wie aus den wasserchemischen Befunden, eine hydraulische Verbindung zweier Grundwasserstockwerke, einem vermutlich älteren, tieferen und einem jüngeren, höheren, ersichtlich.

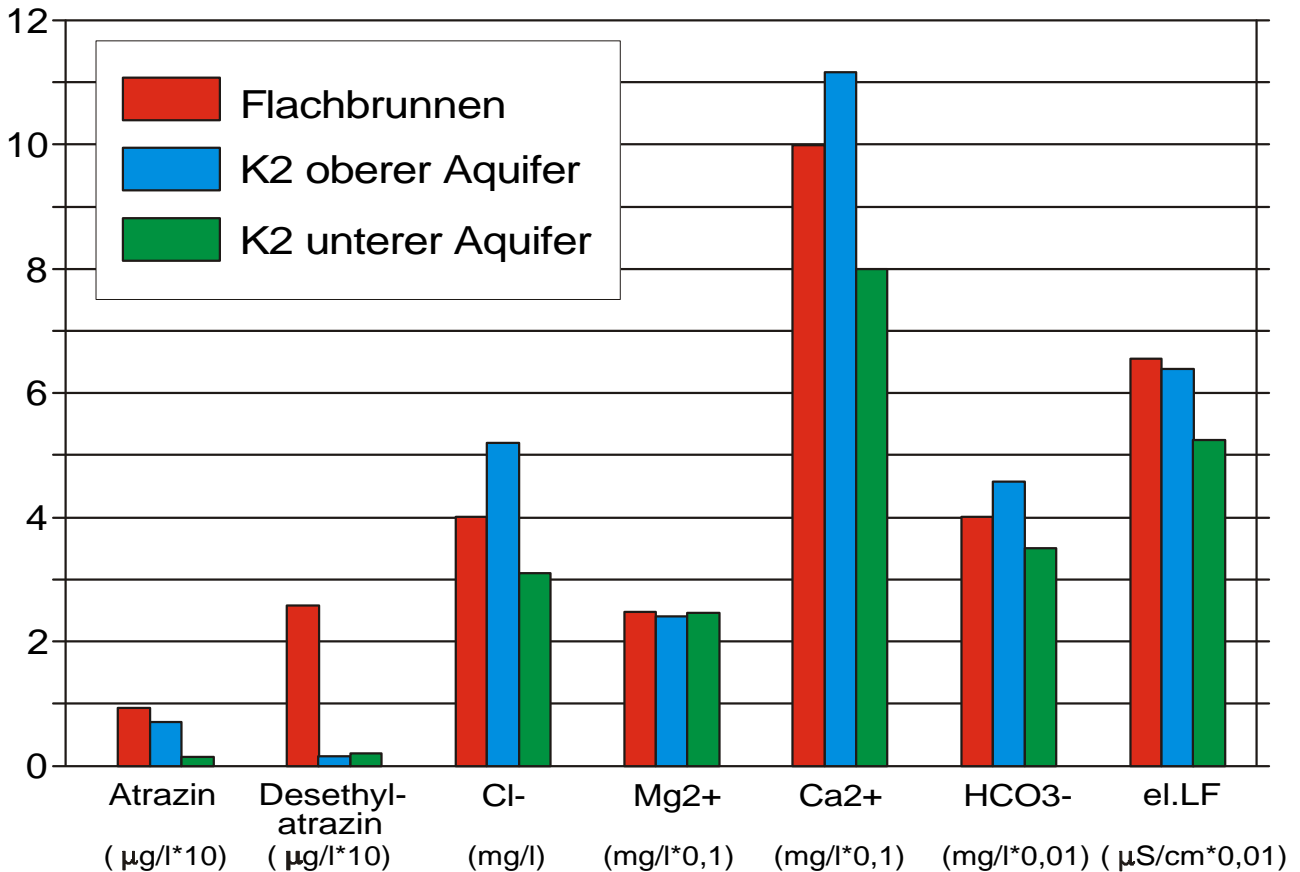


Abb. B49: Grundwasseranalysenvergleich - Brunnen Kerschlach und Bohrung K2 (nach: BGU 1993)

Der Kinschbach-Oberlauf und einige randlich Draingräben werden anteilig durch Grundwasser lateral austreichender, wasserführender Schottern gespeist, die mit dem Grundwasserleiter im Bereich des prospektierten Deponiestandortes Diemendorf und an der alten Diemendorfer Quelle in Kontakt stehen. Deutlich wird dies u.a. an hohen elektrischen Leitfähigkeiten der Oberflächenwässer (um 800 $\mu\text{S/cm}$) und den Ende Oktober 1990 gegenüber der Lufttemperatur (5 - 7 °C) erhöhten Wassertemperaturen (9 - 12 °C). Die Nitratwerte variierten zwischen ca. 15 und 25 mg/l. An den Deponiebohrungen betrugen sie im Oktober 1990 nur um 2 mg/l bei gleichzeitig hohen Ammoniumwerten um 0,2 mg/l und Nitritwerten um 0,02 mg/l, was auf reduzierende Verhältnisse hinweist (anmoorige Umgebung des Majestätweiher). Die elektrische Leitfähigkeit betrug 650-813 $\mu\text{S/cm}$. An der Diemendorfer Quelle lag im April 1990 der Nitratgehalt bei 40 mg/l, Ammonium und Nitrit wurden dort nicht nachgewiesen (BGU 1990).

8.5 Zusammenfassung

Am Südrand des Andechser Höhenrückens zwischen Pähl und Ilkahöhe weist die Tertiäroberfläche ein ähnliches Relief wie die Geländeoberfläche auf. Mindeleiszeitliche Deckenschotter sind dort nahezu flächendeckend unmittelbar über der Tertiäroberfläche verbreitet, streichen aber nur im Bereich der Pähler Schlucht aus. Nach Norden treten sie mit Obergrenzen um 650/660 m ü.NN ungefähr parallel zum Ammerseezugbecken bis zum Mühlbach-Tal bei Herrsching zwar nur reliktsch in Erscheinung, sind aber allem Anschein nach im nahen Untergrund durchgehend vorhanden.

Schotter und Nagelfluhen um 730 m ü.NN bei Monatshausen und Kerschlach sind wahrscheinlich günzeiszeitliche Ablagerungen. Ein weiterer, bis über 700 m ü.NN reichender Schotter-Nagelfluh-Komplex zwischen Kerschlach und Machtlfing setzt sich vermutlich aus einem mindeleiszeitlichen Anteil bis 650/660 m ü. NN (wie am Ammerseezugbecken) und einem vermutlich rißeiszeitlichen Anteil darüber zusammen (vgl. Kap. BI.1). Im Verlandungsgebiet des Deixlfurter Sees treten unter würm-eiszeitlichen Moränen und geringmächtigen spätglazialen, z.T. grundwasserführenden Schottern verbreitet würmeiszeitliche Seetone mit einer Oberfläche um 690/700 m ü.NN auf ("*Deixlfurter-Kerschlach-Niveau*"). Dabei handelt es sich um Absätze eines ausgedehnten ehemaligen Eisrandstausees, die um Obertraubing mutmaßlich bis zu zwei Kilometer nach Norden eisüberfahren und würm-moränenbedeckt sind. Ähnlich hoch gelegene Beckensedimente sind auch im Raum Kerschlach verbreitet. Vermutlich gehören diese Sedimente beider Gebiete einer gemeinsamen Bildungsphase an. Am Südfuß des Deuten-Berges belegen Bohraufzeichnungen tiefere (650-680 m ü.NN), ca. 30 Meter mächtige, wahrscheinlich spät-rißeiszeitlichen Seetone.

Im Raum Kerschlach staut sich über ursprünglich als Tertiär gedeuteten Seetonen des "*Deixlfurter-Kerschlach-Niveaus*" Grundwasser um 700 m ü.NN. Diese Neu-Interpretation der Grundwassersohlschicht war Anlaß zu mehreren Erkundungsbohrungen bei Kerschlach, die unter diesem Stauer und nachfolgender Moräne mindeleiszeitliche Deckenschotter mit einem ergiebigen Grundwasserstockwerk um 630 m ü.NN antrafen. Die Tertiäroberfläche liegt hier bei 620-630 m ü.NN, also rund 50 Meter tiefer als bisher angenommen. Beide Grundwasserstockwerke stehen nach Befunden wasserchemischer und physikalischer Untersuchungen zumindest zeitweise in hydraulischer Verbindung. Gründe hierfür können auskeilende Stauschichten des "*Deixlfurter-Kerschlach-Niveaus*" oder "Fenster" darin sein.

9 Das Gebiet zwischen Mühlbach-Tal, Herrsching und Pilsensee

Die Gemeinde Herrsching versorgte sich früher aus mehreren, in ihren Schüttungen zeitweise stark schwankenden Quellen am östlichen Ortsrand mit Trinkwasser. Wegen des gestiegenen Wasserbedarfs wurden neben Einspeisungen aus dem Fernverbund auch Flachbrunnen im Bereich des Kienbach-Schwemmfächers am Rand des Herrschinger Moores genutzt. Mangelnde Wasserqualität und Probleme beim Schutz dieser Grundwasservorkommens sowie ein weiter gestiegener Wasserbedarf veranlaßten die Gemeinde dazu, die Erkundung neuer Vorkommen vorzunehmen (Tab. B1).

Erfolgversprechend erschienen Gebiete im Mühlbach-Tal südlich von Herrsching und im Rieder Wald auf der Nordseite der Herrschinger Bucht. Im hier näher untersuchten Mühlbach-Tal betreibt bereits die Gemeinde Erling-Andechs mehrere Notbrunnen für ihre Wasserversorgung (Brunnen im Schwellmoos).

9.1 Geologisch-hydrogeologische Situation der Quartärschichten (Abb. B55; KUNZ 1992)

Mühlbach- und Kienbach-Tal liegen am Westrand des Andechser Höhenrückens. Eine auffällige, ammerseeparallele Hangkante um 650 m ü.NN, die bei Pähl beginnt (Kap. BI.8), wird bei Herrsching durch die von Nordosten in die Herrschinger Bucht einmündende Pilsenseerinne abgeschnitten. In diese Teilrinne zweigte zumindest während der Würmeiszeit ein Arm des Ammerseegletschers und schuf an seiner Stirn die Endmoränenloben bei Hochstadt. Während die moränenbedeckte Südostflanke der Pilsenseerinne/-senke über Widdersberg hinaus bis Oberalting noch Höhen nahe 650 m ü.NN verzeichnet, werden an ihrer Nordflanke nur noch Höhen bis 600 m ü.NN erreicht.

Die seebeckenparallele Hangkante südlich der Herrschinger Bucht markiert annähernd die Oberfläche der meist von jüngeren Schottern und Moränen verdeckten mindeleiszeitlichen Deckenschotter, die nur in tiefer eingeschnittenen Gräben, wie dem Kienbach-Tal, dem Widdersberg- und Höll-Graben sowie dem Mühlbach bei Oberalting, dazwischen nur an wenigen Stellen der steilen Zungenbeckenränder, aufgeschlossen sind. Einige darauf aufgesetzte Würmmoränenwälle erreichen Höhen über 700 m ü.NN (Kloster Andechs 711 m ü.NN, Höhe 735 m ü.NN nordöstlich Hartschimmel u.a.).

Noch geringer an Zahl und Fläche sind Oberflächenausstriche des Tertiärs, das fast überall die Basis der Deckenschotter bildet und zwischen Mühlal und Oberalting ein bevorzugter Quellhorizont ist. Im Ochsengraben, an der Kienbach-Ostflanke, im östlichen Ortsbereich von Herrsching, wahrscheinlich auch an der Mühlbach-Ostflanke und an einigen anderen Stellen, haben sich dadurch im Bereich der Quartär-Tertiärgrenze größere Hangrutsche ereignet, wodurch Nagelfluhpartien aus ihrem ursprünglichen Verband in wesentlich tiefere Positionen verfrachtet wurden. Dieser Umstand erklärt, daß beispielsweise am östlichen Ortsrand von Herrsching moränenbedeckte und moränenunterlagerte Nagelfluhen bei 600 m ü.NN und tiefer erbohrt wurden.

Westlich der o.g. markanten Hangkante - auf der Linie Pähl - Kienbach-Tal (Klosterleite) sind bis zum Seeufer würm-, darunter vermutlich auch rißeiszeitliche Bildungen, staffelförmig mit gegen Norden immer geringeren Abständen zueinander und dadurch von immer schmaleren Grundmoränenarealen und Schmelzwasserrinnen getrennt, an den älteren Sedimentsockel angelagert. Die größte, schottergefüllte Schmelzwasserrinne, in der heute der am "Hartschimmel" austretende Mühlbach fließt, ist flach nach Norden geneigt und streicht am Mühlfeld bei 590 m ü.NN "in die Luft" aus ("Ramseeschotter"), wodurch in dieser Höhe eine auffallende Terrasse entstanden ist, die sich auch westlich des seeseitigen

Moränenzuges (Höhen-Berg) fortsetzt. Offensichtlich ist diese würmeiszeitliche Seitenmoräne auf die Schotterfläche aufgesetzt, ebenso wie die Moränenbedeckung der Schotter südlich des Schwellmooses. Die "Ramseeschotter" und möglicherweise auch die "Drumlinoide" des Machtlfinger Grundmoränengebietes (s.u.) wurden demnach während einer Oszillation des würmeiszeitlichen Gletschers zumindest gebietsweise überfahren. Das erwähnte Ausstreichen der "Ramseeschotter" zur Herrschinger Bucht und mehrere deutliche Gefälleänderungen im Verlauf des Mühlbach-Tales oberhalb der tiefsten Terrasse lassen vermuten, daß hier Schotter aus Süden gegen eine sukzessive nach Norden(!) aus dem Mühlbach-Tal austauende Eiszunge geschüttet wurden. Ein weiterer Beleg dafür sind mehrere nach Norden geöffnete Bögen hintereinander gestaffelter "Drumlinoide" zwischen der Stephanskapelle und dem Oberen Weiher im Bereich des Machtlfinger Grundmoränengebietes, zwischen die kleinere Seetonflächen eingeschaltet sind, welche heute weitgehend von Mooren und anmoorige Flächen bedeckt sind.

FUSCHLBERGER (1988, S. 59 ff) und KUNZ (1992) sehen als Ursache für die Entstehung der die Herrschinger Bucht im Süden und Osten umgreifenden und an der Südostseite der Pilsensee-Senke weiter verlaufenden Schotter-Terrasse ("Widdersberger Terrasse") ein eisrandparalleles Entwässerungssystem.

Das Mühlbach-Tal wurde wie der Widdersberg-Graben an der Südostflanke der Pilsenseesenke während des Eisrückganges im ausgehenden Würmglazial, das Kienbach-Tal wahrscheinlich schon früher, durch Schmelzwässer ausgeformt. Die Bäche darin fließen heute unterhalb der o.g. Terrasse über mächtige Schwemmkegel zur Herrschinger Bucht in den Ammersee (Kienbach und Mühlbach) bzw. in den Pilsensee. Die Pilsenseesenke wird durch den Fischbach (Aubach) und seine randlichen Zuflüsse (z.B. Widdersberg- und Höll Graben, Mühlbach bei Oberalting) zum Ammersee entwässert. Weitere kleinere Gerinne fließen in engen Gräben meist innerhalb der jüngsten Wallmoränen zentripetal zum Ammersee. Insgesamt ist die Anzahl der Oberflächengewässer am Ammersee-Ostufer sehr gering, was trotz großflächiger Moränenbedeckung auf relativ gut durchlässige Deckschichten und eine hohe Grundwasserneubildung schließen läßt.

Eine etwa 1,5 km breite Verlandungszone (Herrschinger Moos), die hauptsächlich durch die Schüttungen des Mühl- und Kienbaches entstanden ist, riegelt Ammer- und Pilsensee, deren Wasserspiegel mit ca. 533 m ü.NN fast gleich hoch sind, voneinander ab. Die Verlandungszone setzt sich nordöstlich des Pilsensees bis südlich Dellling fort. Zahlreiche Baugrundbohrungen (*AUFSCHLÄGER 1964, STUMP 1971, THM 1972, KLING 1983* u.a.) im Ortsbereich von Herrsching (z.B. an der evangelischen Kirche und am Hotel "Seespitz") bezeichnen unter meist mehreren Metern Schwemmfächermaterial großflächige Seeablagerungen, die von den meisten Bohrungen nicht durchteuft wurden. Ihre Oberfläche, mit stellenweise lebhaftem Kleinrelief, liegt zwischen ca. 526-533 m ü.NN, ihre größte Mächtigkeit beträgt an der evangelischen Kirche mindestens 10 Metern (Endteufe ca. 522 m ü.NN). Bis in diese Tiefe wurden auch reichliche organische Beimengungen vorgefunden, so daß diese Ablagerungen sicherlich holozäne Bildungen sind. Die größten Seetiefen betragen im Pilsensee, ähnlich wie die der Herrschinger Bucht, ca. 517 m ü.NN. Seetiefen unterhalb rd. 500 m ü.NN gibt es nur im Ammersee-Hauptbecken. Aus diesen Befunden läßt sich folgern, daß noch nach dem letzten Eisrückgang ein gemeinsames Seebecken mit einer Sohle unterhalb 520 m ü.NN existiert hat.

Grundwasser tritt aus den Deckenschottern des westlichen Andechser Höhenrückens in die Schotterfüllung des Mühlbach-Tales (Ramseeschotter) über und flächenhaft im Bereich "Mühlfeld" (z.T. auch unterseeisch) aus. Dabei kommt es zu verbreiteten Quelltuff-Bildungen, wie sie auch weiter nach Süden am Ammersee-Ostufer bis Wartaweil, an der östlichen Mühlbach-Talflanke im Bereich der Erlinger Quellen (Alexander-, Blumenschein- und Forstquelle) oder auch unter Moorbedeckung am Ostrand von Herrsching auftreten und dort Grundwasseraustritte markieren.

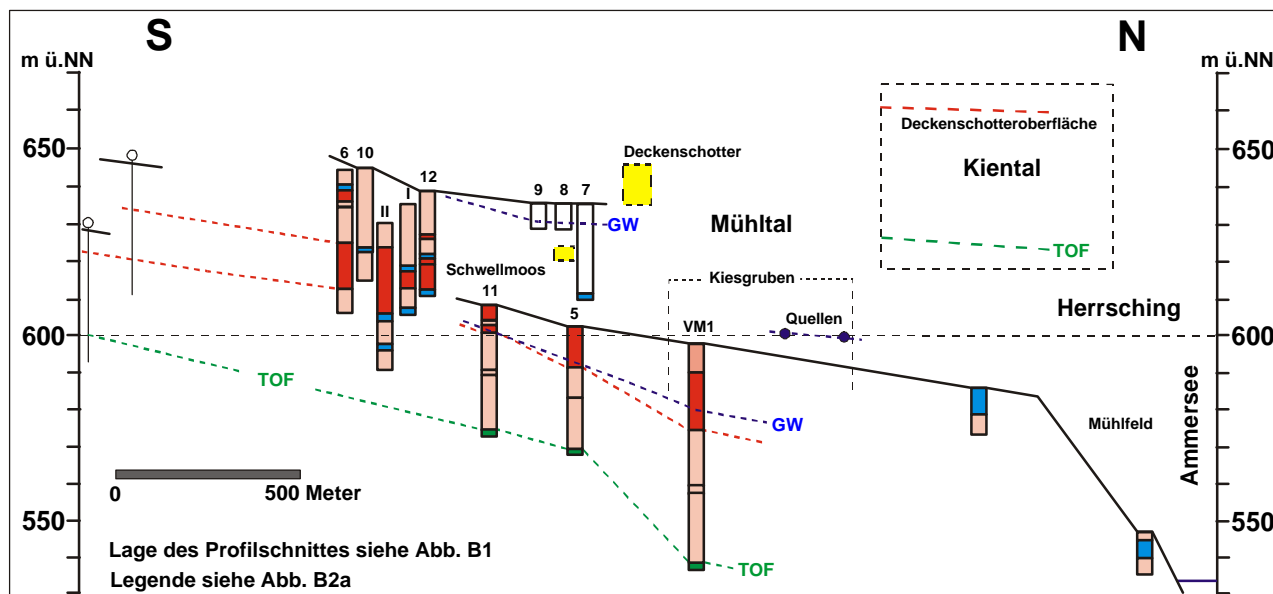


Abb. B50: Nord-Süd Profilschnitt durch das Herrschinger Mühlal

Der Profilschnitt schneidet im Südabschnitt zum einen die Ostflanke des Mühlbach-Tales (Bohrungen 6-10, 12), zum anderen gibt er die Situation in der bachnähe wieder. Im Nordabschnitt ist zudem schematisch die Situation im östlich benachbarten Kiental eingeblendet. Aus einigen Bohrungen ist nur der Grundwasserstand bekannt.

Es wird deutlich, daß das Grundwasser an den Notbrunnen (7, 8, 9) der Gemeinde Erling-Andechs überwiegend aus den Deckenschottern des Andechser Höhenrückens stammt und in das Grundwasser der Schotterfüllung des Mühlbach-Tales ("Ramseeschotter") infiltrieren kann. Dieses Vorkommen ist zwischen dem Schwellmoos (Bohrung 11) und der Versuchsbohrung VM1 belegt. Die Sohlschicht des Deckenschotterwassers ist wahrscheinlich die Tertiäroberfläche (Abb. B51). An den Deckenschotter-Komplex sind von Westen jüngere Moränen und Schotter angelagert. Sohlschicht des Grundwassers der "Ramseeschotter" ist eine meist 20-30 m mächtige, feinkornreiche Moräne, die ungefähr mittig von einer noch feinkörnigeren Zwischenlage unterbrochen wird. Südlich des Schwellmooses sind die "Ramseeschotter" moränenbedeckt und keilen an nicht genau bestimmbarer Stelle aus.

Die Talsohle des Mühlbaches weist mehrere markante Gefälleänderungen auf. Die augenscheinlichste davon befindet sich unmittelbar am Talaustritt zur Herrschinger Bucht, wo Ramseeschotter und stellenweise auch Seetone an einer Geländestufe bei ca. 585-590 m ü. NN "in die Luft" austreichen. Als Ursache für die Entstehung dieser seehnahen Stufe kommt die Sedimentation an einen Eisrand in Betracht. Die Entstehung der südlicheren, hier nicht dargestellten Geländestufen könnte durch eine sukzessive aus dem Mühlbach-Tal nach Norden (!) austauenden Eiszunge erklärt werden.

9.2 Tertiäroberfläche

Die Tertiäroberflächenkarte der Umgebung der Pilsenseesenke (Abb. B51) beruht weitestgehend auf Bohrungen schußseismischer Untersuchungen (*Mobil Oil*). Im Mühlbach-Tal wurden auch Ergebnisse geoelektrischer Messungen berücksichtigt. Im Kienbach-Tal, im Gebiet östlich von Herrsching sowie an den Flanken der Pilsenseerinne und ihrer einleitender Gräben konnten mehrere Oberflächenaufschlüsse einbezogen werden. Es wird deutlich, daß sich Lage und Gestalt vieler Reliefelemente von Tertiär- und Geländeoberfläche sehr ähnlich sind. Dies gilt besonders für die Pilsensee-, Dröflinger-, Kienbachtal- und Mühlbachtalrinne und die sie randlich begrenzenden Hochgebiete.

In einigen Rinnen (z.B. Kienbach-Tal, Höllgraben) und über dem hier gezeigten Hochgebiet des Andechser Höhenrückens liegen ?mindeleiszeitliche Deckenschotter. Die ursprüngliche Anlage der deckenschotter-verhüllten Reliefformen muß demnach schon im Altpleistozän erfolgt sein. Die größeren Rinnen lenken (potentielles) tieferes Grundwasser zur Pilsenseerinne bzw. direkt oder von dort in das Ammerseebecken. Eine hydraulische Verbindung zum Wieling-Maisinger Becken bietet sich im Raum Seewiesen (Eßsee) an. Über dem Hochgebiet um Andechs kann Grundwasser nur über 620-630 m ü. NN liegen.

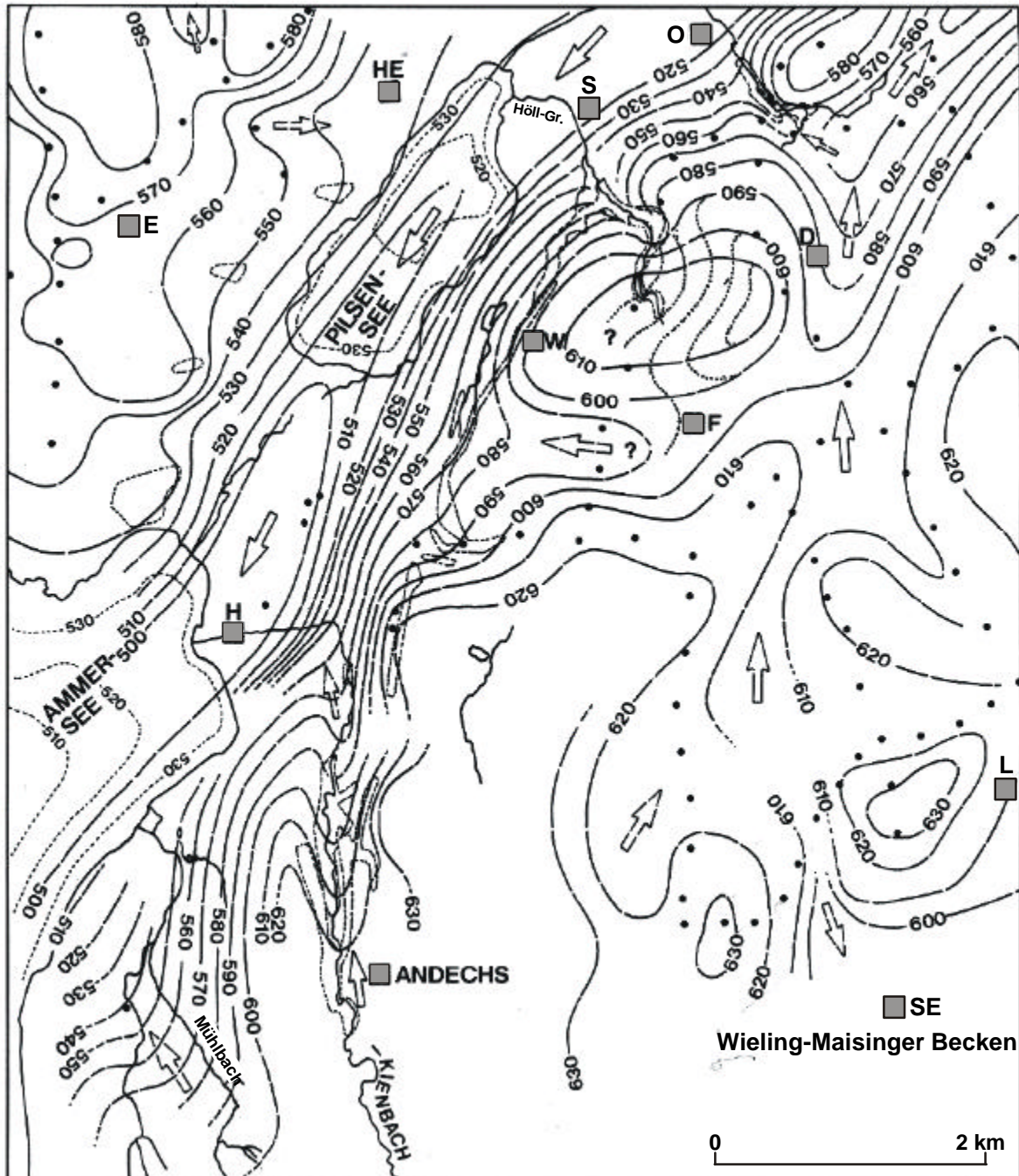


Abb. B51 : Die Tertiäroberfläche in der Umgebung der Pilsenseesenke

Das Hauptreliefelement dieses Gebietes ist die Pilsenseerinne, die hier nach SSW zum Ammerseebecken fällt und in der sich heute der Pilsensee befindet. Sie wurzelt bei 540-550 m ü.NN im Raum Hochstadt (hier nicht abgebildet). Ihre Begrenzung zum Ammerseebecken ist an einer unterseeischen Erosionsschulter bei 500 m ü.NN zu erkennen. Ihre östliche Talflanke ist deutlich steiler und höher und führt auf den nördlichen Andechser Höhenrücken. Dieser gliedert sich hier in ein randliches Hochflächenareal, daß aus dem Raum Andechs (um 630 m ü.NN) über Frieding (F), Dröbbling (D) in Richtung Oberalting (O) (um 580 m ü.NN) verläuft und im Osten durch eine nordgerichtete Rinne begrenzt wird, die mit der Dröbbling Rinne an der Geländeoberfläche zusammenfällt. Aus dieser Rinne, die deshalb auch Dröbbling Rinne genannt wird, führen im Bereich heutiger Gräben (Höll-Graben, Mühl-Bach Graben) mehrere kleinere, z.T. mit Deckenschottern gefüllte Zweigrinnen zur Pilsenseerinne. Eine heute verdeckte Rinne wurzelt im Raum Frieding (F) und zielt auf das Südende des Pilsensees. Dröbbling- und Pilsenseerinne vereinen sich wahrscheinlich im Raum Hochstadt. In der Wurzelzone der Dröbbling Rinne im Raum um den Eßsee (Seewiesen) zeichnet sich eine schmale Rinne um 600 m ü.NN zum Wieling-Maisinger Becken ab. Bei Andechs ist in das beckenrandliche Hochgebiet die mit Deckenschottern gefüllte Kienbachtal-Rinne eingetieft. Westlich davon und durch einen schmalen Sporn (Klosterleite) getrennt, deutet sich im Bereich des heutigen Mühlbach-Tales eine flache, nach NNO zum Ammerseebecken bzw. zum Südende der Herrschinger Bucht zielende Rinne an (Mühlbachtalrinne). Kienbachtal-, Mühlbach-Tal- und Dröbbling Rinne sind vermutlich zu mehreren Eiszeiten als eisrandnahe Schmelzwasserrinne wirksam gewesen.

9.3 Grundwasservorkommen, Bach-/Quellaustritte und Oberflächenabfluß

Alle größeren Grundwasservorkommen und Quellaustritte am Westrand des Andechser Höhenrückens stammen mehr oder weniger aus den Deckenschottern (Hauptgrundwasserleiter). So auch das Wasser mehrerer Quellen im Bereich der Tertiäroberfläche (Hauptgrundwasserstauer) am Kienbachtal-Osthang zwischen Kloster Andechs und Herrsching, an der "Quellgalerie" im Ortsbereich von Herrsching (Schreyegg-, Neue Galerie-, Höllriegel- und Bubenhofer-Quelle), aus der früher die Gemeinde mit Trinkwasser versorgt wurde, sowie der Quellen am Fehlnerweiher und der Quellen in der Umgebung von Widdersberg (Toerring-, Widdersberg- und Friedinger Quelle).

Das Grundwasser in den Schottern des Mühlbach-Tales und an den Erlinger Quellen (Alexander-, Blumenschein- und Schwellmoosquellen), die der Gemeinde Erling-Andechs zur Notversorgung dienen, wird in Anteilen randlich aus den Deckenschottern gespeist. Es staut sich hauptsächlich über schluffreicher Moräne, gebietsweise wohl auch über der Tertiäroberfläche. Auch das Wasser der Herrschinger (Brunnen 2, 3) in den Schottern des Kienbach-Schwemmfächers, dessen Spiegel mit ca. 533-535 m ü.NN ungefähr in Wasserspiegelhöhe von Ammer- und Pilsensee (ca. 533 m ü.NN) liegt, kommuniziert mehr oder weniger mit dem Deckenschotterwasser des randlichen Andechser Höhenrückens. Am Ammersee-Ostufer zwischen Wartawail und Mühlfeld staut sich Grundwasser vorwiegend über Seetonen und Grundmoräne und fließt oft diffus (z.T. auch in Quellschächten gefaßt) in würmeiszeitlichen Schottern, an einigen Stelle auch unter dem Seespiegel (Uferabschnitte bleiben länger eisfrei) ab, wobei es an mehreren Stellen zu Quelltuffbildungen, Nagelfluhbildungen und Vernässungen kommt. Vermutlich existieren hydraulische Verbindungen zum Mühlbach-Tal und zu den Deckenschottern des Andechser Höhenrückens. Östlich von Andechs (um 630 m ü.NN) befindet sich das Haupt-Grundwasserstockwerk in den Deckenschottern über der Tertiäroberfläche und fließt hauptsächlich nach Nordost- bis Nordnordost-Richtung zur westlichen Münchener Schotterebene. Ein wahrscheinlich geringerer Zustrom erfolgt zu den Quellen zwischen Herrsching und Widdersberg (vgl. Kap. BI.4). Nach eigenen Schätzungen und Angaben aus hydrogeologischen Gutachten (*BGU 1995, LFW*) schütten die "Herrschinger Quellen" am Kiental-Osthang, an der Quellgalerie (Schreyegg-, Höllriegel- und Bubenhofer Quelle) sowie die "Alte Quelle" zusammen ca. 10-12 l/s, die "Widdersberger Quellen" (Püschlinger-, Toerring-, Widdersberger- und Friedinger Quelle) ca. 25-30 l/s, die Erlinger Quellen (Alexander-, Blumenschein- und Forst Quelle) ca. 9-10 l/s und die "Mühlfeld-Quellen" (Nagl- und Ostenrieder Quelle) ca. 3-4 l/s. Die Schüttungen der Quellaustritte zwischen Wartawail und Mühlfeld belaufen sich auf etwa 10-12 l/s.

Die gesamte Quellschüttungsmenge zwischen Wartawail (Ammersee-Ostufer) und „Widdersberger Quellen“ (östliche Pilsenseeflanke) beträgt demnach ca. 57-68 l/s. Da kleinere Quellen, Bachaustritte und diffuse Wasseraustritte (stellenweise unterseeisch) dabei nicht berücksichtigt sind, liegt dieser Betrag sehr wahrscheinlich noch deutlich höher. Aus den Herrschinger Brunnen 2 und 3 wurden durchschnittlich 35 l/s gefördert, aus den Brunnen im Schwellmoos rd. 15 l/s.

Die hydrologischen Verhältnisse der Hauptbäche Kienbach und Mühlbach, insbesondere Grundwasserzufluß und Infiltrationen in das Grundwasser sind aufgrund der hydraulischen Situation (s.o.) kompliziert. So versickern ca. 20-30 l/s Bachwasser des Mühlbaches zeitweise vollständig (*BGU*). Der Bach tritt dann erst nach ca. 350 m wieder zutage.

Abflußberechnungen des Kienbaches finden sich in Kapitel BII.4.3.

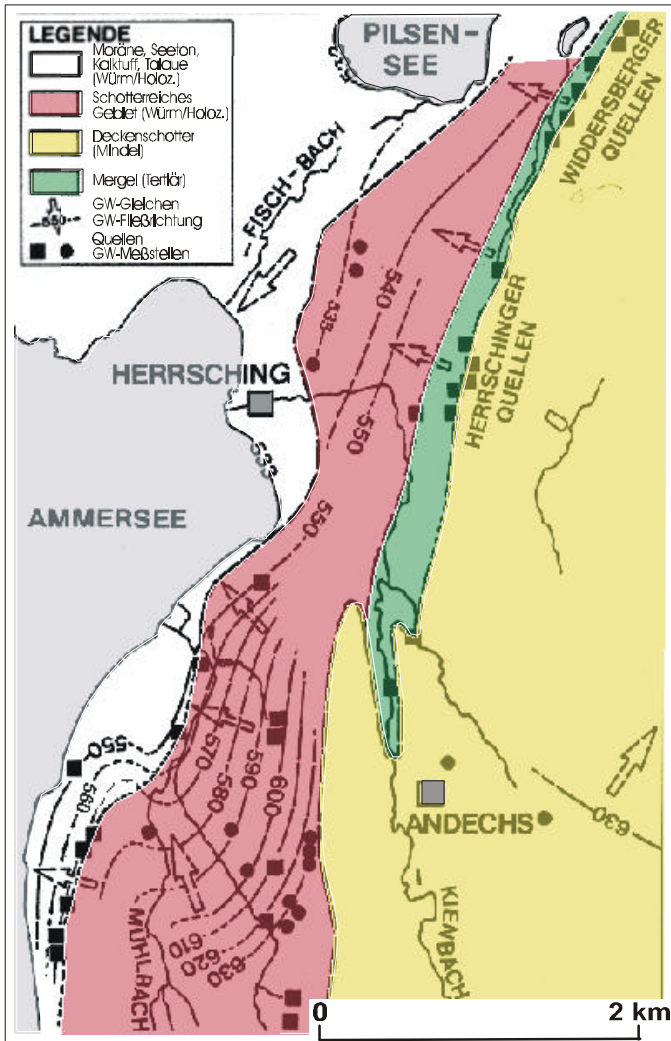


Abb. B52: Grundwassergleichen, Quellen und geologische Situation (Würmmoräne z.T. „abgedeckt“) in der Umgebung von Herrsching

9.4 Wasserbeschaffenheit

Die Wässer der Erling-Andechser Notbrunnen im Mühlbach-Tal (Schwellmoos), sind von Süden nach Norden zunehmend nitratbelasteter (BII 8 mg/l; BIII 15 mg/l; BI 30-50 mg/l). Ihr Sauerstoffgehalt lag 1980 bei 1 mg/l, Nitrit und Ammonium waren nicht nachweisbar. In das reduzierende Grundwasser, das an Brunnen II noch überwiegend aus den Deckenschottern gespeist wird, mischt sich grundwasserstromabwärts offensichtlich zunehmend nitratreicheres Wasser aus dem talfüllenden Aquifer. Auch die etwa 1 Kilometer nördlich der Erling-Andechser Notbrunnen austretende Alexander- und Blumenscheinquelle werden aus Deckenschottern des östlichen Hochgebiets gespeist. Ihre hohen Nitratgehalte (bis 20 mg/l) deutet ebenfalls auf Zumischung des o.g. Talgrundwassers hin.

Tab. B13: Nitrat- und Chloridkonzentrationen (mg/l) sowie elektrische Leitfähigkeiten ($\mu\text{S}/\text{cm}$) an Brunnen, Quellen und Oberflächengewässern im Gebiet um Herrsching

	NO_3^- (mg/l)	Cl^- (mg/l)	el.Lf. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Hirschgraben-Quelle (LANDAUER 1.88)	6,5	4,9	522
(LANDAUER 11.88)	6,0	4,2	506
Hirschgraben-Bach (LANDAUER 1.88)	5,0	4,5	520
(LANDAUER 11.88)	3,4	4,2	486
Feldgraben-Bach (LANDAUER 1.88)	4,5	8,2	552
(LANDAUER 11.88)	0,5	4,9	493
Mühltal-Bach (LANDAUER 11.88)	8,7	7,3	554
Brunnen Schwellmoos I-III (1979-1981)	8-50	30,7 (I)	620,5 (I)
Alexander- und Blumenscheinquelle (1992)	bis 20	-	-
Schreyegg-Quelle (BGU 7.12.94)	42	17,5	635
Höllriegel-Quelle (BGU 7.12.94)	77	23,5	701
Bubenhofer-Quelle (BGU 7.12.94)	53	32	717
Toerring-Quelle (BGU 7.02.95)	33	-	746
Widdersberger-Quelle (BGU 7.02.95)	34	-	742
Kienbach (BGU 31.1.1995)	5,3-8,3	-	516-542
(LANDAUER 1.88)	2,7-4,5	5,1-8,1	503-584
(LANDAUER 11.88)	6,2-7,1	2,8-6,9	475-532
Ochsental-Graben (BGU 31.1.95)	23	-	640-707
Aubach (FUSCHLBERGER 10.87)	33-40	13,0-14,5	608-626
Mühlb. Oberalt. (FUSCHLBERGER 10.87)	32	18,8	619

Die in Tabelle B13 gezeigten Analysenwerte (NO_3^- , Cl^- , el.Lf.) stammen aus Brunnen, Quellen und Oberflächengewässern in der Umgebung von Herrsching. Wegen der zeitlich oft weit auseinanderliegenden Analysen (1987-1995) ist nur eine stark vereinfachte Korrelation möglich.

Auffällig ist, daß die kleineren Oberflächengewässer unmittelbar am Ammersee-Ostufer (Hirsch- und Feldgraben-Bach) und zwei größerer Bäche (Mühl- und Kienbach) etwas weiter östlich davon, gegenüber dem Ochsental-Graben bei Andechs, dem Mühlbach bei Oberalting und seiner Vorflut, dem Aubach, sehr geringe Nitrat- und Chloridkonzentrationen und deutlich niedrigere elektrische Leitfähigkeiten aufweisen. Die Quell- und Brunnenwässer in diesem Gebiet enthalten, mit Ausnahme des südlichen Schwellmoos-Brunnens (II) und der Hirschgraben-Quelle am Ammersee-Zungenbeckenrand, z.T. sehr hohe Nitratkonzentrationen, die meist über dem Richtwert von 25 mg/l, in einigen Fällen sogar über dem Grenzwert von 50 mg/l liegen. Ihre elektrische Leitfähigkeit liegt meist über 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Auch die Grundwässer im Gebiet zwischen Herrsching und Oberalting sind besonders hoch Nitratbelastet.

Ursache für die hohen Nitratwerte sind in den meisten Fällen landwirtschaftliche Nutzung im Grundwassereinzugsgebiet.

9.5 Zusammenfassung

Am Nordwestrand des Andechser Höhenrückens und in der Umgebung des Pilsensees sind die wesentlichen Reliefelemente der heutigen Geländeoberfläche schon an der Tertiäroberfläche vorgezeichnet. Die meisten Hochgebiete der Tertiäroberfläche sind wahrscheinlich mehr oder weniger grundwasserbedeckt. Rinnen in der Tertiäroberfläche (z.B. Mühlbachtal-, Kienbachtal-, Drößlinger- und Pilsenseerinne) lenken das Grundwasser des tiefsten quartären Grundwasserleiters zur Pilsenseesenke, zum Ammerseebecken und zur westlichen Münchener Schotterebene.

Als Haupt-Grundwasserleiter fungieren v.a. auf den Hochgebieten des Andechser Höhenrückens Deckenschotter, in den tieferen Seeufer-Randgebieten überwiegend jüngere, meist würmeiszeitliche Schmelzwasserschotter und durchlässige Moränenpartien sowie holozäne Schwemmfächer. Diese Schichten sind häufig randlich und jeweils etwas tiefer an den älteren Aquifer angelagert. Dadurch kann Grundwasser aus den Hochgebieten in die seeufernen Aquifere übertreten. So gelangt beispielsweise geringer belastetes Deckenschotterwasser aus dem Gebiet südlich von Andechs in das stärker belastete, oberflächennahe Grundwasser des Herschinger Mühlbach-Tales, oder es fließt stark nitratbelastetes Wasser aus den Schottern der Drößlinger Rinne unter Moränen hindurch und tritt an der parallel dazu verlaufenden Südflanke der Pilsenseerinne aus. Auch die Brunnen der Gemeinde Herrsching auf dem Schwemmfächer des Kienbaches sind über solche, die oberirdischen Einzugsgebietsgrenzen querenden Wege an die Grundwasservorkommen des Andechser Höhenrückens gekoppelt. Die Qualität der tiefer liegenden Grundwasservorkommen am Nordwestrand des Andechser Höhenrückens ist deshalb auch von der Nutzung und dem Schutz in den Grundwassereinzugsgebieten der Hochgebiete abhängig.

BII Großräumige geologisch-hydrogeologische Situation

Während in den Fallstudien (Kap. BI) die hydrogeologische Situation in der näheren Umgebung wichtiger Trinkwassergewinnungsanlagen im Vordergrund steht, werden in diesem Abschnitt wesentliche geologisch-hydrogeologische Aspekte großräumig betrachtet.

Ergebnisse aus dieser Zusammenschau sollen auch für eine weiträumige wasserwirtschaftliche Rahmenplanungen in diesem und hydrogeologisch ähnlichen Gebieten hilfreich sein.

Zuerst werden in Abschnitt BII.1 die Hauptreliefelemente der meist wasserstauenden Tertiäroberfläche im "Fünfseenland" hinsichtlich ihrer topographischen Besonderheiten untersucht (Abb. B53) und ihr möglicher Einfluß auf das großräumige Grundwasserregime diskutiert.

Des weiteren wird geprüft, ob manche Reliefelemente an der Tertiäroberfläche bereits durch Brüche im Molasseuntergrund vorgezeichnet sind und ob sie in ähnlicher Lage und Form auch an der Geländeoberfläche auftreten (Abb. B54). Um mögliche „Reliefsysteme“ besser erkennen zu können ist es sinnvoll, den Rahmen des Untersuchungsgebietes auf die angrenzenden Gebiete auszuweiten.

Des weiteren wird in Abschnitt BII.2 eine schematisierte großräumige hydrogeologische und stratigraphische Stockwerksgliederung der Quartärsedimente erstellt die es erlaubt, weitreichende Grundwasserleiter und -stauer zu erkennen (Abb. B55, B57).

Die in Kapitel BI gezeigten Grundwassergleichenpläne werden in Abschnitt BII.3 zu einer Übersichtskarte (Abb. B58) verbunden, ergänzt und erläutert.

An ausgewählten Grundwasserstandsganglinien (Abb. B59), Abflußganglinien einiger Oberflächengewässer, an Nitratkonzentrationen im Grundwasser (Abb. B60), sowie anhand von Wasserhaushaltsbilanzen, werden in Abschnitt BII.3 und 4 hydraulische Zusammenhänge erörtert.

Ein Abgleich des bilanzierten Grundwasserdargebotes (Kap. BII.4) mit dem aktuellen Grundwasserverbrauch (Abb. B73 bis B77) sowie mit dem prognostizierten zukünftigen Wasserbedarf beleuchtet in Abschnitt BII.5 zu erwartende Probleme bei der Trinkwasserversorgung.

1 Tertiäroberfläche

Die Tertiäroberflächen-Übersichtskarte des "Fünfseenlandes" und südlich angrenzende Gebiete (Abb. B53) stellt neben einer Karte von KUNZ (1998), die sich in den nordwestlichen Randgebieten mit der hier gezeigten Karte überschneidet, erstmals einen größeren, zusammenhängenden Ausschnitt der Tertiär-Quartär-Grenze des Ammersee-Würmsee Gebietes ("Fünfseenland") mit südlich angrenzenden, bis an die Murnauer Molassemulde und den Nordrand des Kocheler Beckens reichenden Gebieten dar. Grundlage dazu waren hauptsächlich die in Kapitel BI vorgestellten Detailkarten, die durch Teilkarten verschiedener Bearbeiter ergänzt wurden (Autorenübersicht Abb. B53). Kleinere Lücken wurden durch Interpolation geschlossen.

Die Karte erfaßt mit maximal ca. 42 km Nord-Süd- und ca. 36 km Ost-West-Erstreckung ca. 700 km² der Tertiäroberfläche. Der vom Autor bearbeitete Flächenanteil daran beträgt ca. 50% und beinhaltet Neu-Bearbeitungen der Isohypsendarstellungen von CONRADI (1986, s. Abb. A7), BLASY (1974, s. Abb. A5) und FUSCHLBERGER (1988, unveröff.). Dieser Anteil stützt sich auf ca. 700 Bohrungen, geoelektrische Meßpunkte und Oberflächenaufschlüsse (Koordinaten Anh. 5). Als Schichtlinien-Äquidistanz wurden wegen des großen Abbildungsmaßstabes trotz genauerer Detaildarstellungen in Kapitel BI.1-9 20 m gewählt und nur in einigen Gebieten eine 10-m-Konturlinie eingefügt.

1.1 Becken, Rinnen und Rinnensysteme

Becken und Rinnen:

Südlich des Molasseriegels erstreckt sich zwischen Sindelsdorf und Kochel das Kocheler Stammbecken, ca. 10 km westlich davon zwischen Murnau und Eschenlohe das Murnauer Stammbecken. Die Murnauer Mulde schließt im Osten bei Großweil/Habach. Unmittelbar nördlich von Murnauer Stammbecken und Murnauer Mulde beginnt das Spatzenhausener/Oberhauser Becken, daß zwischen Oberhausen und Polling in das Ammersee-Weilheimer Zungenbecken übergeht. Nördlich des Molasseriegels bei Penzberg wurzeln Würmsee- und Wolfratshausener Zungenbecken.

Die durch subglaziale Erosion mindestens 100 bis 200 m übertieften Zungenbecken des Ammersee-, Würmsee- und Wolfratshausener Teilgletschers (Isar-Loisach-Vorlandgletschers) erstrecken sich bis 30 km nach Norden. Sie werden von Westen nach Osten vom Wessobrunner-, Andechser-, Münsinger und Neufahrner Höhenrücken flankiert und getrennt. Im Norden enden sie ungefähr an einer Linie in WNW-ESE-Richtung, im rechten Winkel zur Hauptabdachung der Tertiäroberfläche (NNE). In den Zungenbecken sind unter 590 m ü.NN keine altpleistozänen Ablagerungen bekannt, so daß ihre tiefste Ausformung später erfolgt sein muß.

Aus dem *Ammersee-(Weilheimer) Becken* (Ammerseetiefe 451,9 m ü.NN) sind im Norden (Ampermoos) Tieflagen der Tertiäroberfläche um 510 m ü.NN bekannt (SCHNEIDER 1992; KUNZ 1992, 1998), im Hauptbecken möglicherweise um 250 m ü.NN (seismischer Reflektor, mündl. Mitteilung Dr. Jens Müller Technischen Universität München) bzw. im Süden bei Wielenbach um 350 m ü.NN (nach geoelektrischen Sondierungen, JERZ 1993a, Abb. 11). Die würmeiszeitliche Tiefenexaration reichte nach Oberflächenhöhen spätrißeiszeitlicher Seesedimente am Nord- und Südende des Ammerseebeckens nur bis wenig unter 500 m ü.NN, die des rißeiszeitlichen Gletschers dagegen bis mindestens 350 m ü.NN.

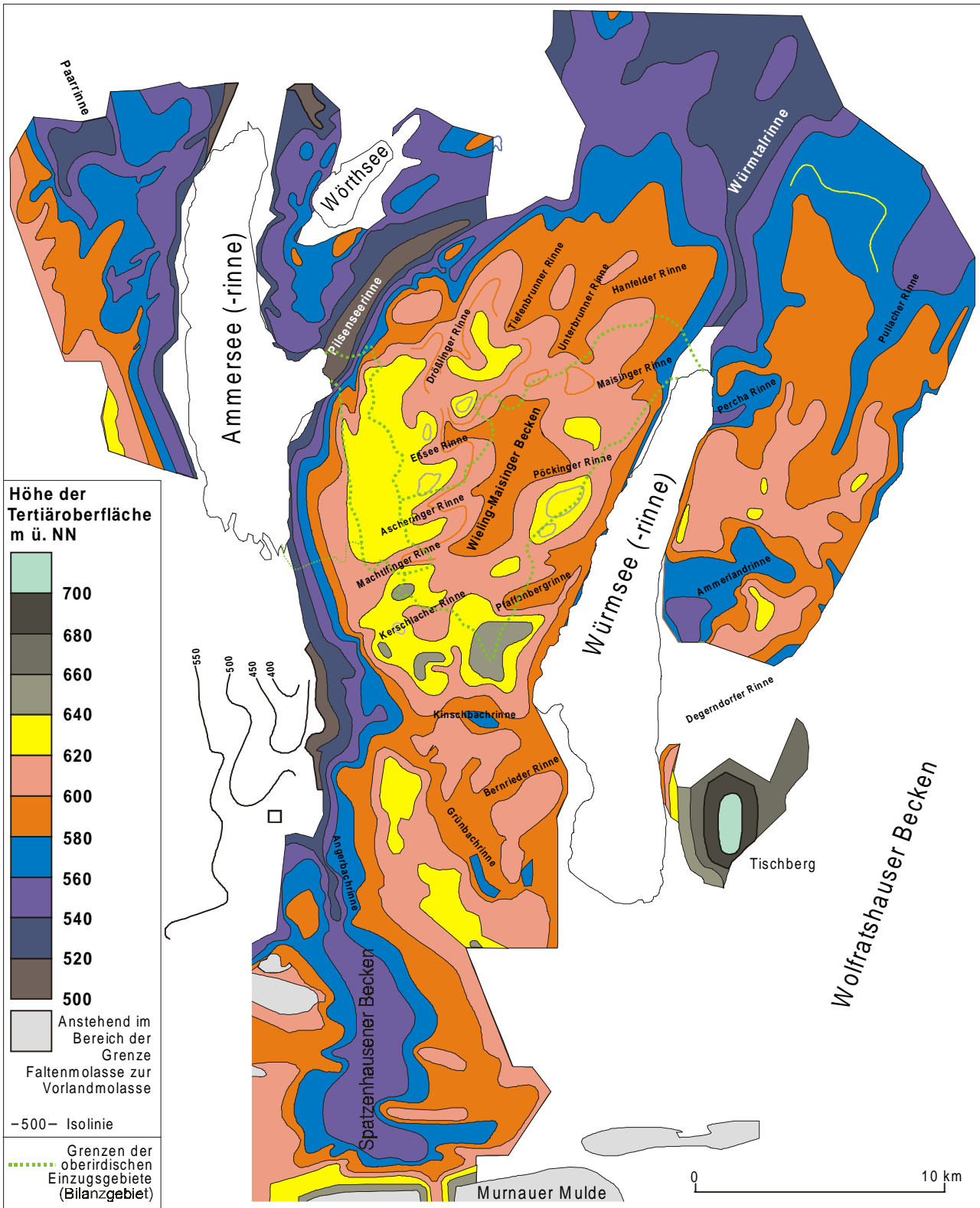


Abb. B53: Die Tertiäroberfläche des "Fünfseenlandes" mit angrenzenden Gebieten

Autorennachweis (s. Kartenverzeichnis):

WOLF (1989): Ammersee-Westufer zwischen Utting und Bierdorf;

SCHNEIDER (1992): Ammersee-Westufer zwischen Eching, Utting und Windach;

KUNZ (1992): Ammersee-Ostufener zwischen Eching und Würthsee;

WROBEL (1982): Gebiete westlich des Würmtales und am Würmsee-Westufer zwischen Starnberg und Ammerland;

FRANK (1979): Spatenhausener Becken;

JERZ (1993a): Südliches Ammerseebecken;

Das am Nordostrand des Ammersees gelegene kleine **Wörthseezweigbecken** (Wörthseetiefe 526,5 m ü.NN) ist nach KUNZ (1992; 1998, Anl. 2) durch einen etwa Nord-Süd-verlaufenden Tertiärrücken vom Ammerseebecken und durch einen kuppigen Höhenzug von der **Pilsenseerinne** (Pilsenseetiefe 517,3 m ü.NN) abgeriegelt. Die Höhen des Tertiäriedels zum Ammerseebecken resultieren größtenteils aus Bohraufzeichnungen der Fa. Mobil Oil (Celle). Eigene Recherchen und die Überprüfung tieferer Bohrungen im Raum Rieder Wald-Breitbrunn lassen jedoch kaum einen Zweifel daran, daß die Tertiäroberfläche in südwestlicher Verlängerung der "Wörthseesenke" stellenweise bis um 500 m ü.NN eingetieft ist. Sehr wahrscheinlich existiert eine Rinne zwischen Ammersee- und Wörthsee-Zweigbecken ("Wörthseerinne"), die ungefähr parallel zur Pilsenseerinne (s.u.) verläuft. Als tertiäre Bildungen gedeutete Feinsedimente im Bereich der Endteufen der o.g. Bohrungen sind offensichtlich quartäre Stillwassersedimente oder feinkörnige Grundmoräne.

Die **Pilsenseerinne** weist von einem Scheitelpunkt bei Hochstadt (um 550 m ü.NN) ein Gefälle nach Südwesten gegen den tiefsten Punkt des Ammersees (451,9 m ü.NN) auf. Am Ostrand des Ammerseebeckens wird sie unterhalb ca. 500 m ü.NN im Übergangsbereich vom steilsten und tiefsten Beckenabschnitt des Ammersees abgeschnitten. Dies ist vermutlich zur Rißeiszeit erfolgt, in der nach BADER (1979) die größte Tiefenerosion in den Zungenbecken erfolgte. Das südwestwärts gerichtete Gefälle der Pilsenseerinne müßte dann aus einer vor-rißzeitlichen (?Mindel-Riß-Interglazial oder Spät-Mindelglazial) zentripetalen Entwässerung in das eisfrei gewordene Becken resultieren, in dem die Vorflut um 500 m ü.NN gelegen hat. Vom Scheitelpunkt der Pilsenseerinne, der ähnlich hoch wie die nördlichen "Schwellen" des Würmsee- und Wolfratshausener Beckens liegt (s.u.), führt der nach Nordosten gerichtete Rinnenteil zur westlichen Münchener Schotterebene.

Im südlich an das Ammersee-Weilheimer Becken grenzenden **Spatzenhausener Becken** liegt die Tertiäroberfläche im Norden um 560, im Zentrum um 550 und im Süden am Rand der Faltenmolasse bei 600 m ü.NN (FRANK 1979, Abb. 6). Drei quer dazu verlaufende Festgesteinsrücken markieren den Südflügel der Peißenberger Mulde bzw. den Südrand der Vorlandmolasse. Südöstlich von Polling ist eine Kulmination bei ca. 580 m ü.NN zu erkennen, die das Becken vom Ammersee-Weilheimer Zungenbecken abriegelt (FRANK 1979: Abb. 6). Mehrere vom Verfasser recherchierte Bohrungen (*Mobil Oil*) nordöstlich dieser Schwelle deuten auf eine bis ca. 540 m ü.NN tief eingeschnittene, Nord-Süd gerichtete Verbindung zwischen beiden Becken ("Angerbachrinne"). Form und Sohlengefälle des Spatzenhausener Beckens lassen ein ehemaliges Flußtal aus dem Kochelsee- bzw. Murnauer Becken zum Weilheimer-Ammersee-Becken vermuten.

Das **Würmseebecken** ist im Norden wahrscheinlich bis 550 m ü.NN und am Süden mindestens bis 525 m ü.NN in das Tertiär eingetieft. Für das Beckenzentrum kann als Mindesttiefe die größte Seetiefe von 456,4 m ü.NN angenommen werden. Im nördlichen Verlandungsbereich (Leutstettener Moos) gibt es nach Ergebnissen dieser Arbeit (Kap. BI.5 und BI.6) Hinweise auf eine vermutlich zur Würmtalrinne überleitende Verbindung an der Tertiäroberfläche mit einer Sohle um 550 m ü.NN, die im Würmtal bis in den Raum Gauting-Stockdorf auf etwa 535 m ü.NN fällt. Einige randlich in das Würmseebecken einmündende kleinere Rinnen (s.u.) reichen ebenfalls bis ca. 550 m ü.NN hinab, was auf ein ehemals zusammenhängendes Entwässerungssystem schließen läßt. Es kann angenommen werden, daß interglazial im Würmsee-Tal eine "Ur-Loisach" zur Würmtalrinne und weiter zur Münchener Schotterebene geflossen ist, die im Bereich der jungpleistozänen Endmoränenwälle ein ungefähr 40-50 m tieferes Abflurniveau besaß als die Würm heute. Gemessen am vermuteten Höchstalter der

randlichen Rinnen (?spätmindeleiszeitlich) und dem der Moränenverbauung am nördlichen Würmseebecken (würmeiszeitlich), müßte ein solches Entwässerungssystem in den dazwischen liegenden Interglazialzeiten, wahrscheinlich im Riß-Würm-Interglazial existiert haben.

Im *Wolfratshauer Becken* wird die Tertiäroberfläche am Nordende mit ca. 550 m ü.NN und im Beckentiefsten um 440 m ü.NN (rißeiszeitliche Exaration) bzw. um 550 m ü.NN (mindeleiszeitliche Exaration) angegeben. Durch die würmeiszeitliche Exaration, die bis 470 - 480 m ü.NN reichte, wurden spätrißeiszeitliche Seetone fast völlig ausgeräumt. Seeton-Obergrenzen an den Rändern des Beckens sind Beleg dafür, daß die nördlichen Abflüsse zur ausgehenden Mindel-, Riß- und Würmeiszeit um 600 m ü.NN gelegen haben (JERZ 1979, S. 63 ff).

Rinnesysteme:

Legt man über die kuppige Tertiäroberfläche eine Tangentialfläche, so neigt sich diese ausgehend von den größten Höhen auf der Linie zwischen Ammersee- und Würmsee-Südende relativ gleichmäßig nach Nordnordost ("Schiefe Ebene", A. PENCK & BRÜCKNER 1901/1909). Becken und Rinnen, die diese Tangentialfläche unterschneiden, kann man grob in vier Gruppen oder "Rinnesysteme" zusammenfassen (Abb. B54b) - solche, die sich ungefähr lotrecht, der Richtung des (heutigen) stärksten Gefälles auf der "Schiefen Ebene" nach Nordnordosten folgend orientieren und andere, die nach Norden, Nordosten bis Osten oder nach Nordwesten weisen.

Zum ersten Rinnesystem (SSW-NNE) zählt die Nordhälfte der Würmseerinne und die nördlich daran anschließende Würmtalrinne, der nördliche Abschnitt der Ammersee-Rinne, der Südabschnitt der Pilsenseerinne, das Wörthsee-Becken, das Wieling-Maisinger Becken mit der nördlich davon einsetzenden Drößlinger, Tiefenbrunner und Unterbrunner Rinne, sowie die Pullacher Rinne zwischen Würm- und Isartal. Ihre Richtung dominiert auch im Gewässernetz des Tertiärhügellandes nördlich von Freising, das nicht von Glazial- und Fluvioglazialablagerungen bedeckt ist, und fällt mit der Hauptabdachung von Tertiär- und Deckenschotteroberfläche zusammen. Es kann sich deshalb teilweise um präglaziale bis altpleistozäne Reliefformen handeln. Reichen ihre Wurzeln weit in das einst eisbedeckte Gebiet südlich dieser Jungmoränenwälle zurück, wie dies beim nördlichen Abschnitt von Ammer- und Würmseebecken/rinne, der Pilsenseerinne und dem Wieling-Maisinger Becken der Fall ist, kann daran eine altpleistozäne Eisrandlage geknüpft werden, deren Eisrandentwässerung an das ältere Relief gebunden war. Eine solcher Eisrand könnte auf einer Linie westlich von Utting über den mittleren Ammersee, dem Südwestende der Pilsenseerinne zum Berndorfer Buchet zwischen Kerschlach und Ilkahöhe und dem Gebiet um den Galla Weiher gelegen haben. Es ist anzunehmen, daß diese Rinnen durch die jungpleistozäne Eisrandentwässerung überprägt wurden.

Zum zweiten Rinnesystem (S-N) gehören als auffallendste Elemente die Ammersee-Rinne südlich von Utting bis in den Raum Polling und mit leichtem Versatz nach Osten, auch das südlich davon anschließende Spatzenhausener-(Eberfinger) Becken sowie der Südabschnitt der Würmsee-Rinne. Für die Entstehung dieser Elemente kommt eher jungpleistozänes Alter in Betracht.

Das Umbiegen von Ammersee- und Würmseebecken aus S-N in SSW-NNE Richtung resultiert somit aus einer Kombination zweier zu unterschiedlicher Zeiten entstandener Tal-/Beckenrichtungen, wobei die südlichen Abschnitte die jüngeren, die nördlichen Abschnitte die älteren darstellen.

Eine ähnliche Besonderheit ist einem ca. 310 m² großen Ausschnitt der Tertiäroberfläche des württembergischen Alpenvorlandes im mittleren Oberschwaben zu entnehmen (GERMAN et.al.1967). Auch dort herrschen südlich der würmeiszeitlichen Endmoränenwälle etwa Nord-Süd- gerichtete Reliefstrukturen vor, während sie nördlich davon überwiegend nach Nordost bis Nordnordost weisen.

Dem dritten System (WSW-ENE/W-E) gehören meist kürzere Rinnenabschnitte an, wie die Pfaffenberg-, Pöckinger, Maisinger, Hanfelder, Kerschbacher, Machtlfinger, Ascheringer und Eßsee-Rinne auf dem Andechser Höhenrücken bzw. die Bernrieder Rinne südlich davon, oder die Degerndorfer-, Ammerland- und Percha-Rinne auf dem Münsinger Höhenrücken. Die Kinschbachrinne, die zwischen dem Süden des Andechser Höhenrückens und dem Eberfinger Drumlinfeld eingeschnitten ist, verläuft ungefähr in W-E-Richtung, ähnlich wie eine Struktur zwischen der Ammerland und Wolfratshausen auf dem Münsinger Höhenrücken. Möglicherweise handelt es sich hier um ein System älterer, ursprünglich flacherer, tektonisch angelegter Strukturen, die als Ausdruck alpiner Quer- und Längsstörungen bzw. der tektonischen Grenze Faltenmolasse/Vorlandmolasse im Abdachungsprofil des Molasseberglandes wieder zu finden sind. Erst infolge pleistozäner Eintiefung des Ammersee-, Würmsee- und Wieling-Maisinger Beckens fungierten diese Rinnen dann bevorzugt als zentripetale Entwässerungsrinnen von den Endmoränenwällen in die Seebecken und änderten in einigen Rinnenabschnitten (v.a. an den östlichen Beckenflanken) ihre Laufrichtung. Eine weitere Erklärung wäre ihre Entstehung durch Eisschurf oder fließendes Wasser unter dem Eis, wie dies in einer schmalen Rinne östlich der Pullacher Rinne, die bis unter 525 m ü.NN, also tiefer als das benachbarte Isartal reicht, vermutet wird (WROBEL 1982).

Zum vierten Rinnensystem (nach SSE-NNW) zählt eine von SCHNEIDER (1992, S.31 ff) als "Windacher Becken" bezeichnete Struktur, die in nordwestlicher Verlängerung des Ammersee-Hauptbeckens in Richtung des heutigen Paarursprungs abzweigt. Die nördliche Begrenzung dieses Beckens wird nur von wenigen Bohrungen gestützt (SCHNEIDER 1992, Anl. 4). Es erscheint plausibler, daß hier eine vom Ammerseebecken ausgehende Rinne vorliegt, die zumindest bis in das gleichermaßen orientierte obere Paar-Tal reicht, wie sie auch KUNZ (1998, Anl. 2) bis Egling darstellt. Verlängert man diese Rinne nach Süden über das Ammersee-Weilheimer Becken hinweg, so findet man im Höhenzug des Eberfinger Drumlinfeldes und im Übergang zum in ähnlicher Richtung angelegten Nordteil des Spatzenhausener Beckens zwei Rinnen, die hier nach den heute dort abfließenden Bächen "Grünbach Rinne" und "Angerbach Rinne" genannt werden. Ihre rezenten Täler (Grün- und Angerbach) sind ebenso wie das Rott-Tal an der westlichen Beckenflanke wahrscheinlich würmeiszeitliche Urstromtäler bzw. Schmelzwasserrinnen zum Weilheim-Ammerseebecken. Weniger deutlich zeichnet sich eine solche Rinnenstruktur zwischen Frieding und dem Eßsee ab. Sie setzt sich möglicherweise auch an der Ostseite des Wieling-Maisinger Beckens unter dem Deixlfurter Bach fort.

Drittes und viertes Rinnensystem stehen, abgesehen von wenigen Elementen mit West-Ost-Richtung, ungefähr senkrecht aufeinander und bilden ein Schollenmuster, das im wesentlichen unter moränenbedecktem Gebiet liegt und von Süd-Nord-gerichteten Rinnen und Becken unterbrochen wird.

1.2 Hochgebiete

Markanteste Tertiär-Hochgebiete im "Fünfseenland" sind, wie auch im heutigen Landschaftsbild, der Wessobrunner Höhenrücken zwischen Lech und Ammersee, der Andechser Höhenrücken zwischen Ammer- und Würmsee sowie der Münsinger Höhenrücken zwischen Würmsee und Isar-Loisachtal (Wolfratshauser Becken). Andechser- und Münsinger Höhenrücken erreichen im Süden zwischen Ilkahöhe und Berndorfer Buchet mindestens 650 m ü.NN, bzw. 700 m ü.NN am Tischberg. Sie bildeten die Nahtstellen zwischen den drei großen Gletscherbecken, wobei auf dem Andechser Höhenrücken im "Zwickel" zwischen Ammer- und Würmseegletscher ein kleineres Zweigbecken eingesenkt ist (Wieling-Maisinger Becken), auf dem Münsinger Höhenrücken entsprechend das Becken um Bachhausen und in seiner Verlängerung die Pullacher Rinne. Diese Strukturen sind heute an der Geländeoberfläche an halbkreis-förmigen, jeweils vom Würmseebecken nach Westen bzw. nach Osten umgreifenden Tieflagen zu erkennen.

Der Andechser Höhenrücken reicht großflächig über 600 m ü.NN, wobei um das Wieling-Maisinger Becken kleinere Gebiete über 620 m ü.NN liegen, zwischen Kerschlach und Ilkahöhe sogar über 640 m ü.NN. Nach Norden unter der westlichen Münchener Schotterebene, fällt die Tertiäroberfläche großflächig auf Höhen um 540 m ü.NN ab. Bei Argelsried tritt noch einmal ein Tertiärhügel mit rd. 560 m ü.NN auf, der etwa 20 m über das allgemeine Erosionsniveau herausragt und als Rest des Tertiär-rückens zwischen Wörth- und Pilsensee gedeutet werden kann. Im Wörthseegebiet nordwestlich der Pilsenseerinne liegt die Tertiäroberfläche nicht über 600 m ü.NN. Im Bereich des südlich an den Andechser Höhenrücken angrenzenden Eberfinger Drumlinfeldes werden, abgesehen von wenige Erhebungen über 620 m ü.NN, nur noch Höhen um 600 m ü.NN erreicht.

Der Münsinger Höhenrücken reicht im Süden bis zur Ammerlandrinne in weiten Gebieten über 640 m ü.NN, nördlich davon bis zur Buchendorfer Hochfläche zwischen 580 und 620 m ü.NN mit wenigen Kuppen über 620 m ü.NN.

Die größten Tertiärhöhen des Wessobrunner Höhenrückens werden auf der vorliegenden Übersichtskarte nicht aufgezeigt, erreichen aber nördlich von Wessobrunn über 750 m ü.NN (JERZ 1993a). Am Nordostufer des Ammersees ist ein Anstieg auf über 630 m ü.NN zu erkennen (SCHNEIDER 1992; WOLF 1989). Der größte Flächenanteil liegt hier jedoch unter 570 m ü.NN. Innerhalb des von SCHNEIDER (1992, S.32) definierten nordwestlichen Zungenbeckenrandes des Ammerseegletschers dominiert das "Greifenberger Hoch" (575 m ü.NN).

Aus der Differenz zwischen Höchst- und Tiefstpunkten ergibt sich zwischen der vermuteten Beckensohle des Ammersees und dem Andechser Höhenrücken ein größter Reliefunterschied der Tertiäroberfläche von rd. 400 m. Für den Andechser- und Münsinger Höhenrücken errechnet sich für die Tangentialfläche über den Tertiärhöhen nach Nordnordost bis unter die Münchener Schotterebene ein durchschnittliches Gefälle von 4- 4,5 ‰.

Untersucht man dieses Gefälle genauer, so kann man südlich und nördlich der 600/580 m- Isolinie zwei Abschnitte unterscheiden: Das südliche, bis zu den würmeiszeitlichen Endmoränenwällen reichende Gebiet mit einem Gefälle von rd. 3- 4 ‰ und einen nördlichen Abschnitt mit ca. 6 ‰ Gefälle, das damit ziemlich konform mit dem Gefälle der heutigen Flüsse in diesem Gebiet geht. Es scheint so, als

wechselte die Front der Höhengichtlinien im Bereich dieser Gefälleänderung von ungefähr WNW-ESE (ältere Hauptabdachung) nach W-E. Es liegt nahe, die Neigung im Südabschnitt für glazial überprägt zu halten, während sie im Norden fluvial entstanden ist.

Die Hochgebiete von Wessobrunner-, Andechser- und Münsinger Höhenrücken sind südlich der Jungmoränenwälle nahezu lückenlos von altquartären Deckenschotter bedeckt. Das davon verdeckte Tertiärrelief muß schon im Altquartär oder früher entstanden sein.

Liegen Hochgebiete der heutigen Geländeoberfläche über solchen der Tertiäroberfläche, wie dies im großen bei den o.g. Höhenrücken der Fall ist, mag dies damit zusammenhängen, daß diese präglazialen Erhebungen zu den jeweiligen Eiszeiten einerseits am längsten eisfrei waren, andererseits die Eisüberdeckung dort wesentlich geringer war als in den Becken. Altpleistozäne Schotter wurden deshalb dort weniger abgetragen, wodurch auch die Tertiärschichten vom Abtrag weitgehend verschont blieben, wogegen fluvioglazial geformte Rinnen und Becken sukzessive stärker ausgeformt wurden und sich somit die Reliefunterschiede vergrößerten.

1.3 Hydrographische Deutung der Becken und Rinnen

Entsprechend den o.g. Hauptrichtungen des Tertiärreliefs im einst vergletscherten Voralpenland und im glaziofluvial geprägten, quartärüberdeckten Bereich zwischen Tertiärhügelland und Endmoränen muß die jungpliozän-altquartäre Haupt-Entwässerung im bayerischen Alpenvorland nach Nordost bis Ostnordost gerichtet gewesen sein, so wie es auch KRAUS (1964) annahm und es auch im unvergletscherten Tertiärhügelland heute noch überwiegend der Fall ist. Besonders im westlichen Alpenvorland hat das Eis dann, einem veränderten Gipfelflurgefälle folgend, den Gewässern nordwärtige, kürzere Abflußwege zur Donau eröffnet und das ältere, im Tertiär angelegte Entwässerungssystem überprägt. So fließt der Lech und die westlich davon verlaufenden größeren Flüsse des Alpenvorlandes heute generell von Süden nach Norden, während zahlreiche Flüsse östlich des Lechs noch nach NE bis NNE, entsprechend der Hauptabdachung der Tertiäroberfläche, orientiert sind (z.B. untere Paar, Amper, Isar). Im Untersuchungsgebiet zeichnen sich drei Nord-Süd-gerichtete Haupt-Abflußwege ab, die über weite Strecken mit dem Ammersee-, Würmsee- und Wolfratshausener Becken zusammenfallen und deren Abflußniveau an den nördlichen Beckenabläufen um 500 bzw. 540-550 m ü.NN gelegen haben muß.

Die rezenten Seeausläufe des Ammer- und Würmsees sowie die Sohle der Isar/Loisach befinden sich jeweils ca. 40 m über den tiefsten Punkte der Tertiäroberfläche an den Nordrändern (Überläufen) des Ammersee-, (ca. 500-510 m ü.NN), Würmsee- und Wolfratshausener Beckens (ca. 550 m ü.NN).

Wesentlich Abschnitte dieser Abflußwege sind vermutlich schon durch präglaziale Kerbtäler vorgezeichnet gewesen, an den die glaziale Tiefenerosion ansetzte. Für ihre Anlage kommen je nach Rinnenabschnitt Fließgewässer in Betracht, die aus den Alpentälern des heutigen Lech, der Ammer, der Loisach oder der Isar stammen können. Ihr bedeutendster Zulauf scheint aus dem Murnauer Becken über Großweil zum Kocheler Becken und um das Ostende der Murnauer Molassemulde herum nach Dürrenhausen (westlich von Penzberg) erfolgt zu sein. Dabei mußte zwischen Murnauer und Kocheler Becken eine "Schwelle" um 550-560 m ü.NN überwunden werden.

Verschieden Autoren äußern sich über ältere Abflußwege von Lech, Ammer, Paar, Loisach und Isar:

Der Lech ist nach KNAUER (1952:18ff) präglazial in nordöstliche Richtung zur heutigen Amper geflossen, doch haben ihn Moränen des Altpleistozäns schon früh in seinen heutigen Unterlauf abgedrängt. SCHEUENPFLUG (1993, S. 31ff, Abb. 80) geht davon aus, daß der Ur-Lech noch im frühen Quartär nicht wie heute von Schongau aus nach Norden floß, sondern über den jetzigen Ammersee zur Amper und von dort zur Isar, da die Augsburger Altwasserscheide den heutigen Weg versperrte.

Die Ammer mündete noch im Riß/Würminterglazial bei Oberau in das Loisach-Tal. Ihr spätwürmglazialer Lauf war zuerst zum Lech bei Peiting gerichtet. Ihre Ableitung in das tiefere Ammersee-Becken erfolgte nach KNAUER (1952, Abb. 5) postglazial, nach PIEHLER (1974, S.73) schon im Spätglazial.

Das obere Paartal diente nach SCHEUENPFLUG (1977) während der Würmeiszeit, wahrscheinlich schon seit der Rißeiszeit als nordwestlicher Abfluß des Loisach-Ammersee-Gletschers, der bei Mering in den Lech mündete.

Den Verlauf der Loisach vermutet KNAUER (1952, S.16) bereits während des Riß/Würm-Interglazials über Johannesried - Staltach (Osterseen) in das Würmsee-Becken, das er zweifelsfrei als altes Flußtal erkannte. Der Ablauf aus dem Würmsee-Tal sollte etwas östlich des heutigen Würmtals im Bereich der Burchendorfer Hochfläche erfolgt sein. JERZ (1993b, S 111 ff) vermutet den Loisachlauf vorrißzeitlich durch das Würmtalbecken und die damals breitere Würmtalrinne.

Eine "Urloisach" bei MEYER & SCHMIDT-KALER (1997, S. 42, Abb. G17) ist würmeiszeitlich über verschiedene Wege vom Nordrand der Murnauer Mulde zuerst von Uffing, dann über Huglfing und zuletzt über Etting in das Weilheimer-Ammerseebecken, dann über Antdorf und das Osterseengebiet zum Würmsee geflossen, bevor sie nach dem Abschmelzen des Toteises im Kocheler Becken den Weg um die Molasse Mulde herum ihren heutigen Verlauf zum Isartal fand.

Die Isar floß präglazial und wahrscheinlich auch im Altpleistozän zum Inn. Ihre Ablenkung in das Tertiärhügelland wird, bedingt durch Moränenverbauungen frühestens zur Mindelzeit vermutet. Ihr Unterlauf war der präglaziale Unterlauf des Lechs (KNAUER 1952, S. 10 ff).

Eine der drei Abflußvariante nördlich des Molasseriegels führt zuerst in westliche Richtung (Eglfing) und dann nach Norden zum Ammerseebecken, von dort weiter in Richtung Paar und Lech.

Eine zweite führt direkt nach Norden in das Würmseebecken. Nach Ergebnissen der vorliegende Arbeit wird vermutet, daß v.a. im Riß/Würm-Interglazial eine heute verschüttete, fluviatil angelegte Verbindung durch das "Würmseetal" zur Würmtalrinne existiert hat (Kap. BI.5 und 6).

Die dritte Variante entspricht dem heutigen Loisachlauf, der nach dem Verlassen des Kocheler Beckens im Osten um die Molasserippe bei Penzberg herumschwenkt, sich von dort bis Wolfratshausen direkt nach Norden richtet und danach mit der aus Südosten zufließenden Isar nach Nordnordosten wendet. Die Isar kann das Wolfratshausen Becken nur zwischen Mindel- und Rißeiszeit belegt haben, da sich ihr Durchbruch durch die Molasserippe und durch die würmeiszeitliche Moränenverbauung des Isargletschers bei Wolfratshausen erst postglazial ereignete (JERZ 1969, S. 68).

Es ist vorstellbar, daß diese drei Abflußvarianten von einer "Ur-Loisach" nacheinander benutzt wurden.

Ursache für ihre Verlegung (von Westen nach Osten) könnte, neben der unterschiedlichen Ausformung und Abdämmung der Gletscherbahnen und Abflußwege zu den jeweiligen Kalt- und Warmzeiten, auch tektonische Bewegungen (Hebungen/Kippung) gewesen sein. Da sich die Iller infolge Kippung der Iller-Lech-Platte nach Westen verlagerte, müßte dazu im "Fünffseenland" eine Kippung nach Osten erfolgt sein.

1.4 Kongruenzen zwischen Tertiär- und Geländeoberfläche

Um der Frage nachzugehen, welche Reliefelemente der Tertiäroberfläche sich am häufigsten und deutlichsten im heutigen Landschaftsbild wiederfinden und inwieweit solche Kongruenzen tektonische Ursachen haben könnten, wurden Schema-Darstellungen der Molassebruchlinien, der Tertiäroberfläche und der Geländeoberfläche miteinander verglichen (Abb. B54a/b/c).

Danach sind die Haupt-Bruchstrukturen der Molasse (Abb. B54a) W-E, WNW-ESE bis NW-SE, WSW-ENE bis SW-NE und SW-NE bis SSW-NNE ausgerichtet. Einige dieser Strukturen queren die großen Zungenbecken des Ammer- und Würmsees. W-E-Bruchstrukturen sind wesentlich häufiger, als ähnlich orientierte Reliefformen der Tertiär- und Geländeoberfläche. Sie resultieren wahrscheinlich aus Bewegungen an der Grenze Faltenmolasse zur Vorlandmolasse, wie auch die meisten WSW-ENE bis SW-NE-Elemente, die sowohl als Bruchlinien, als auch als Reliefelemente der Tertiäroberfläche vorkommen und an der Geländeoberfläche nur im Bereich der nördlichen Jungmorängürtel auffallen, sowie alle WNW-ESE bis NW-SE-Elemente. SSE-NNW und N-S-Strukturen, wie sie im Tertiär- und Geländere relief vorkommen, sind als Bruchstrukturen kaum vorhanden.

Die Haupt-Reliefriichtungen der Tertiäroberfläche (Abb. B54b) verlaufen SSW-NNE, WSW-ENE bis SW-NE und SSE-NNW. S-N- und W-E-Elemente treten im Vergleich zu den Molassebrüchen deutlich weniger in Erscheinung. WNW-ESE bis NW-SE-Elemente, die in den unvergletschert gebliebenen Gebieten ungefähr im rechten Winkel zur Hauptabdachung der Tertiär- und Geländeoberfläche orientiert sind, fehlen.

Die Haupt-Reliefriichtungen der Geländeoberfläche (Abb. B54c) verlaufen SSW-NNE, SSE-NNW, S-N und WSW-ENE bis SW-NE. W-E-Elemente treten gegenüber den der Molassebrüche stark zurück. Es fehlen wie im Tertiärrelief WNW-ESE bis NW-SE-Elemente. Kongruenzen mit Bruchstrukturen der Molasse sind erst im hier nicht gezeigten, eisfrei gebliebenen Tertiärhügelland häufiger, wobei WSW-ENE-Elemente überwiegen. Im Jungmoränengebieten sind hierzu lediglich die Pilsenseerinne, das Wieling-Maisinger Becken oder die Kinschbachrinne zu nennen. Rezente Flußläufe des "Fünfseenlandes" sind offensichtlich kaum von Molassebrüchen vorgezeichnet.

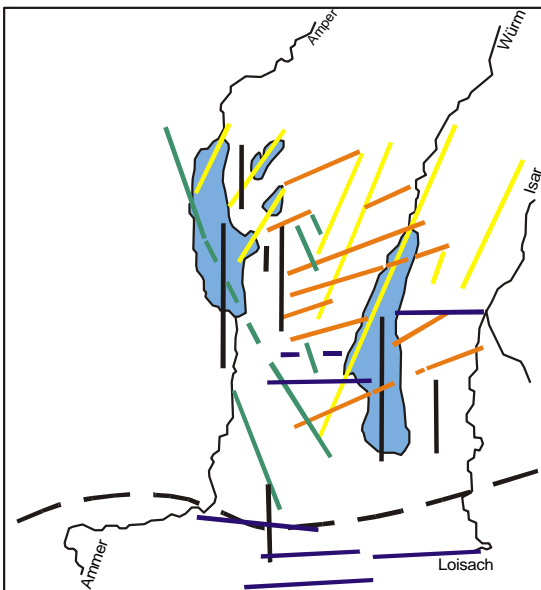
Tertiärrelief und Geländeoberfläche im "Fünfseenland" sind insgesamt erstaunlich kongruent. Dies gilt besonders für zahlreiche SSW-NNE-, einigen WSW-ENE bis SW-NE-Elementen sowie für mehrere SSE-NNW- und S-N-Strukturen. Andere Elemente, wie z.B. die meisten WSW-ENE verlaufenden Rinnen im Jungmoränengebiet des Andechser Höhenrückens (z.B. Pfaffenberg-, Machtlfinger und Kerschbacher Rinne), haben keine Spuren an der Geländeoberfläche hinterlassen. Das heutige Würmtal, das untere Ammer- und das obere Ampertal sind im Tertiärrelief eingetieft.

Als eine Ursache hierfür kann man sich vorstellen, daß Gletschervorstöße bevorzugt an vorgefundenen Rücken und Höhenzügen zum Stillstand kamen und bestehende Täler erneut Schmelzwässer aufnahmen, wie z.B. im Zwickel von Ammer- und Würmseegletscher, wo das ursprünglich bis zur westlichen Münchener Schotterebene reichende, bis in das Tertiär eingesenkte Wieling-Maisinger Becken (Rinne) auch heute noch deutlich in Erscheinung tritt.



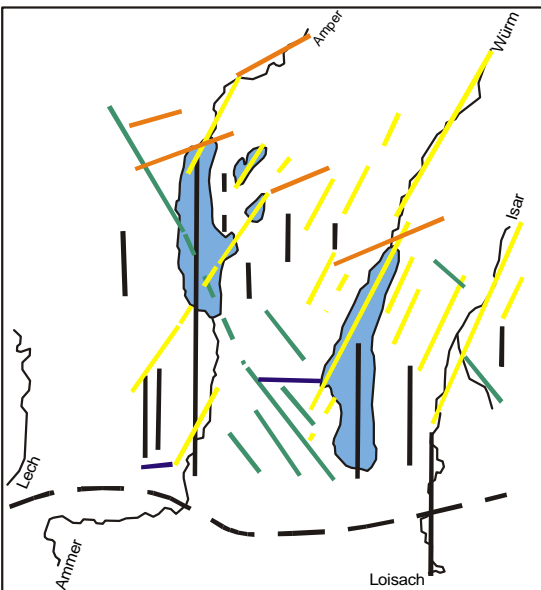
a: Bruchlinien der Molasse (s. Abb. A3 und A4):

- ca. W-E (dunkelblau);
- ca. WNW-ESE bis NW-SE (hellblau)
- ca. WSW-ENE bis SW-NE (orange)
- ca. SW-NE bis SSW-NNE (gelb)
- ca. SSE-NNW (grün)
- ca. S-N (schwarz)



b: Reliefrichtungen der Tertiäroberfläche (s. Abb. B53):

- ca. WSW-ENE bis SW-NE (orange)
- ca. SSW-NNE (gelb)
- ca. SSE-NNW (grün)
- ca. S-N (schwarz)
- ca. W-E (dunkelblau)



c: Reliefrichtungen der Geländeoberfläche:

(nach: DGM des Bayerischen Landesvermessungsamtes)

- ca. SSW-NNE (gelb)
- ca. SSE-NNW (grün)
- ca. S-N (schwarz)
- ca. WSW-ENE bis SW-NE (orange)
- ca. W-E (dunkelblau);

Abb. B54: Haupt-Strukturelemente von Tertiär- und Geländeoberfläche

(a) Molasseuntergrund - (b) Tertiäroberfläche - (c) Geländeoberfläche

Schwarze gestrichelte Linie = Grenze Faltenmolasse zur Vorlandmolasse

1.5 Der Einfluß des Tertiärreliefs auf das großräumige Grundwasserregime

Im Untersuchungsgebiet und in den angrenzenden Gebieten, bilden die obersten, tonig-mergelig-sandigen Tertiärschichten den wichtigsten Stauhohizont des tiefsten Quartär-Aquifers (v.a. Deckenschotter). Ihre Hauptreliefformen (s.o.) müssen deshalb auch einen wesentlichen Einfluß auf das großräumige Grundwasserregime ausüben.

Mit Ausnahme der Gebiete an den Beckenrändern (Würmsee-Westufer, Ammersee-Ostufer, Südende des Andechser Höhenrückens, Pilsenseesenke) ist die Tertiäroberfläche generell nach Norden bzw. Nordnordosten geneigt. Die Hauptwasserscheide an der Tertiäroberfläche des Andechser Höhenrückens verlaufen im Süden, Westen und Norden des Wieling-Maisinger Beckens. Dem entsprechend wird bei geeigneten quartären Grundwasserleitern der Haupt-Grundwasserabstrom nach Nordnordosten zur Münchener Schotterebene stattfinden, in geringerem Umfang v.a. in beckenrandlichen Rinnen nach Westen und Osten zum Ammer- und Würmsee, nach Nordwesten in die Pilsenseesenke sowie nach Nordosten in die Würmtalrinne. Der geringste Grundwasserabstrom kann aufgrund des kleinen unterirdischen Einzugsgebietes, nach Süden erfolgen. Auf dem Andechser Höhenrücken sind die Hochgebiete über 620 m ü.NN wahrscheinlich nur gering grundwasserbedeckt, da Grundwasser von dort auf relativ kurzen Wegen in die randlichen Tiefgebiete abfließen kann.

Als auffälliges potentiell Grundwassersammelbecken tritt auf dem Andechser Höhenrücken das Wieling-Maisinger Becken in Erscheinung. Es ist zu erwarten, daß dort, besonders über die Kerschbacher-, Machtlfinger- oder Ascheringer Rinne, Grundwasser aus den im Westen und Süden umgreifenden Hochgebieten zufließt und bei Grundwasserständen ab ca. 600 m ü.NN nach Norden über die Tiefenbrunner- und Unterbrunner Rinne zur westlichen Münchener Schotterebene, über die Pfaffenberg- und Pöckinger Rinne zum Würmsee oder über die Maisinger und Hanfelder Rinne zum verlandeten Nordende des Sees und in das Würmtal geleitet wird.

Wenn Reliefelemente der Tertiäroberfläche nicht aus Bohrungen, Oberflächenaufschlüssen oder Geoelektrik bekannt oder nach der Geländeoberfläche zu vermuten sind, ist bei Grundwassererkundungen in diesen und geologisch ähnlichen Gebieten darauf zu achten, daß sie sich bevorzugt an den in Kapitel BII.1.1 genannten Hauptrichtungen der Tertiäroberfläche orientieren, um eine größere "Trefferquote" zu erzielen. So ist es beispielsweise sinnvoll, solche Sondierungen ungefähr in W-E Richtung anzuordnen, um auf neue Rinnen zu stoßen, oder bei Erfolg ungefähr eine S-N Richtung beizubehalten.

2 Quartärsedimente

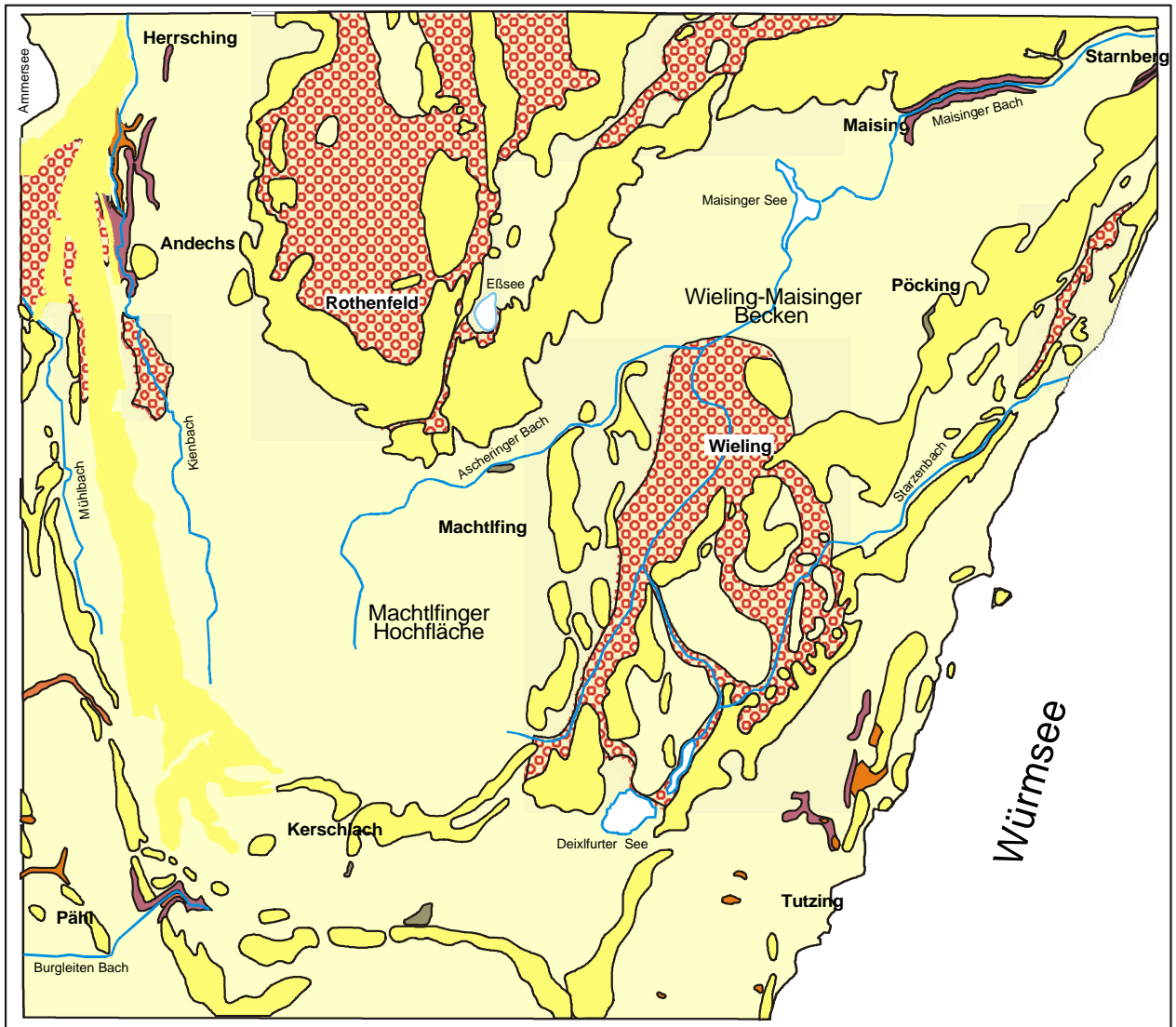
Aus den Befunden der Fallstudien (Kap. BI) und Angaben aus der Literatur (Kap. AI.3), werden in diesem Kapitel, unter Zuhilfenahme von weitreichenden Schema-Profilschnitten (Abb. B57) und Übersichtskarten (Abb. B55, B56), Verbreitung, Schichtenbau und Genese der Quartärsedimente großräumig beschrieben und diskutiert.

Die Schema-Profilschnitte (Abb. B57), deren Lage in Abbildung B1 eingezeichnet ist, schneiden besonders prägnante Landschaftsformen wie den westlichen Andechser Höhenrücken, das Wieling-Maisinger Becken, das Würmseebcken, das Würmtal, die Pilsenseesenke und die Wurzel der westlichen Münchener Schotterebene. Für ihre schematisierte Schichtendarstellung wurde das lithologisch-hydrogeologische Standard-Profil (Abb. B2) so vereinfacht, daß nur noch \pm gut durchlässige Grobsediment-Horizonte (potentielle Grundwasserleiter) und \pm schlecht durchlässige Feinsediment-Horizonte (potentielle Grundwasserstauer) gezeigt werden (s. Legende Abb. B57).

Als \pm gut durchlässige Grobsedimente werden alle schotterreichen Ablagerungen mit geringem Feinkornanteilen, wie Vorstoß- und Abschmelzschotter oder gut ausgewaschene Wallmoräne bzw. Schottermoräne sowie gröbere Sande bezeichnet. Aber auch Nagelfluhen, wenn man annimmt, daß es sich dabei meist nur um lagenweise verfestigte, überwiegend kiesige Ablagerungen handelt die aber u.U. auch geringmächtige und lokal begrenzte Feinsedimentlagen enthalten. Als \pm schlecht durchlässige Feinsedimente zählen neben dem Tertiär (Mergel und Sande, Kap. BII.1) feinkornreiche Ablagerungen mit geringem bis fehlendem Grobsedimentanteil, wie Seeton und -kreiden, Schluffe, oder schluff- und tonreiche Grund- und Wallmoräne. Auch großflächigere Feinsedimentlagen in den Schotter-Nagelfluh-Komplexen gehören dazu.

Schichten mit geringen Mächtigkeiten sind wegen des großen Vertikal-Maßstabes, aber auch wegen ungenauer Schichtangaben vieler Bohrungen (vgl. Tab. B2) oft nicht dargestellt. Dadurch weisen manche Profilabschnitte z.B. keine Grundmoränenüberdeckung auf, obwohl eine solche nach der Oberflächenkartierung, wie sie die hydrogeologische Übersichtskarte (Abb. B55) zeigt, in weiten Gebieten vorkommt.

Die beiden sich ergänzenden geologisch-hydrogeologischen Übersichtskarten (Abb. B55, B56, Blatt 8033 Tutzing) basieren auf unveröffentlichten Geländeaufnahmen verschiedener Bearbeiter (s. Autorenverzeichnis Abb. B55) und eigenen, meist im Rahmen hydrogeologischer Gutachtertätigkeiten durchgeführter Geländeaufnahmen (s. Tab. B1). Abbildung B55 unterscheidet abgestuft zwischen wasserstauenden (Tertiär) und sehr gut wasserleitenden Schichten (Würm/Postglazial-Schotter), während Abbildung B56 die würmeiszeitlichen Moränenstadien (Stillstandsstadien) zwischen Ammer- und Würmsee hervorhebt und diese in Beziehung zu den von KNAUER (1929) benannten Stadien im nördlichen Alpenvorland setzt.



Legende




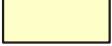


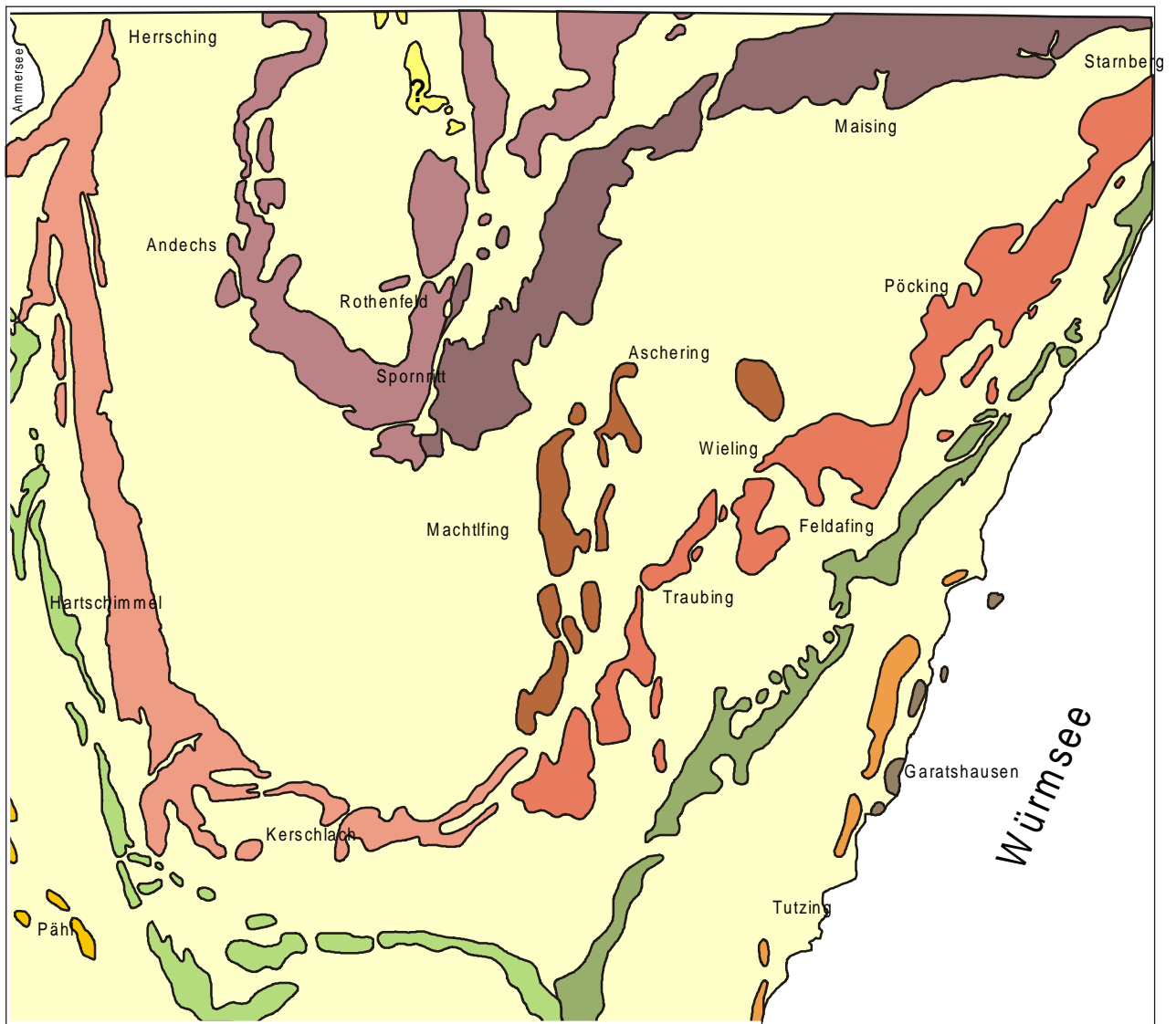
- 0 5 km
-  Wurm/Postglazial - Schotter - gut bis sehr gut wasserleitend;
 -  Mindel - "Jüngere Deckenschotter" - Schotter, Nagelfluh - gut wasserleitend;
 -  Wurm/Riß - Wallmoränen - gut bis mäßig wasserleitend;
 -  Wurm - Grundmoräne - mäßig wasserleitend;
 -  ?Günz - "Ältere Deckenschotter" - Moränennagelfluh, Schotternagelfluh - gering wasserleitend;
 -  Tertiär (OSM) - Tone, Mergel, Sandmergel, Sande - schlecht- bis undurchlässig, wasserstauend;

Abb. B55: Hydrogeologische Übersichtskarte (Blatt 8033 Tutzing)

Autorennachweis:

MÄRZ (1975); HEPP (1985); WOHL (1985); BRAML (1986); CONRADI (1986); LANDAUER (1988); FUSCHLBERGER (1988); HERZ (1992).



Legende











Ammersee - Lobus		n. KNAUER (1929)	Würmsee-Lobus		n. KNAUER (1929)
	Stillstandslage "Spornrit" "Machtfing"	"St. Ottilien"		Stillstandslage "Spornrit"	"Söcking"/"Ebenhausen"
	Stillstandslage "Kerschlach" "Andechs"	"Wessobrunn"		Stillstandslage "Aschering"	"Münsing"/"Icking"
	Stillstandslage "Hartschimmel"	"Wessobrunn"		Stillstandslage "Feldafing"	"Münsing"/"Icking"
	Stillstandslage "Fischen"			Stillstandslage "Buchingen"	
	Würm-Grundmoräne			Stillstandslage "Garatshausen"	

Abb. B56: Würmeiszeitliche Eisstillstandslagen - Moränenzüge (Blatt 8033 Tutzing)
 Autorennachweis siehe Abbildung B55

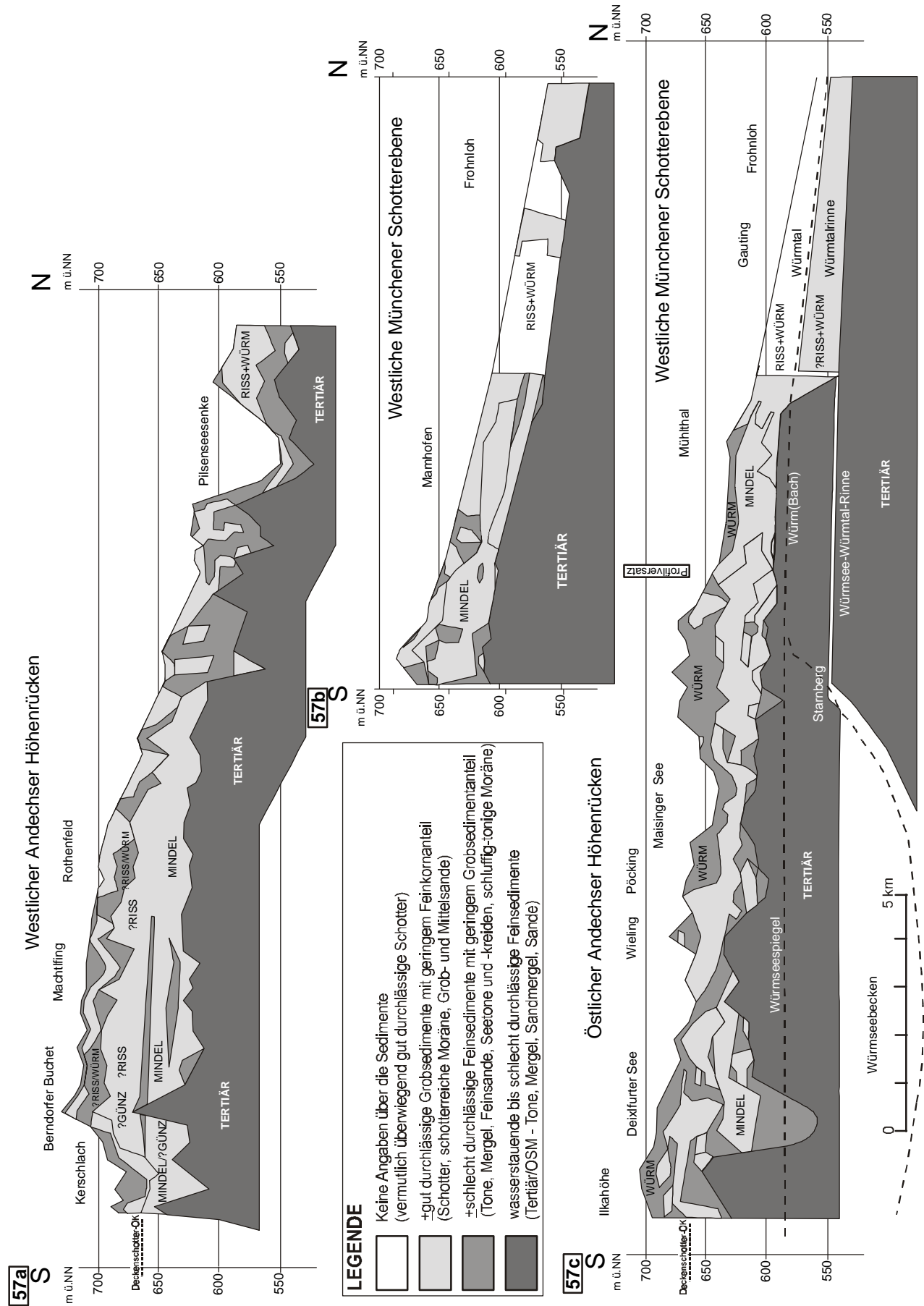


Abb. B57: Geologisch-hydrogeologische Nord-Süd Schema-Übersichtprofile
 Lage der Profilschnitte siehe Abbildung B1

Die Gesamtquartärmächtigkeit des westlichen Andechser Höhenrückens (Abb. B57a) beträgt im Süden, nördlich des "Berndorfer Buchets", ca. 100 Meter und nimmt nach Norden bis zur Pilsenseerinne bzw. bis unmittelbar nördlich der Würmmoränenwälle auf etwa die Hälfte ab. Im östlichen Teil des Andechser Höhenrückens (Abb. B57c) erreicht sie im Bereich der würmseuferparallelen Seitenmoränen durchschnittlich etwa 50 Meter, an den südlichen Wallmoränen etwa 70-80 Meter. Im Bereich der westlichen Münchener Schotterebene (Abb. B57b) liegen westlich der Würm Quartärsedimente mit weniger als 50 Metern Mächtigkeit, in der Würmtalrinne bis Stockdorf (Abb. B57c) nur mit etwa 20-30 Metern.

Die Mitte des westlichen Andechser Höhenrückens (Abb. B57a) beherrscht eine Wechselfolge gut bis schlecht durchlässiger Schichten, wobei der Anteil gut wasserdurchlässiger Schichten (potentielle Grundwasserleiter) überwiegt. Dagegen sind die End- bzw. Seitenmoränengebiete (Abb. B57a/b) deutlich heterogener aufgebaut, der Anteil gut grundwasserleitender Schichten ist hier deutlich geringer. In der Münchener Schotterebene und der Würmtalrinne (Abb. B57b/c) dominieren gut durchlässige Ablagerungen.

Der Anteil würmeiszeitlicher Schichten des westlichen Andechser Höhenrückens an der Gesamtquartärmächtigkeit beträgt wahrscheinlich nur etwa 20-30%, der Anteil mindeleiszeitlicher bzw. altpleistozäner Bildungen mindestens 50%. Die verbliebenen 20-30% der Sedimente könnten rißeiszeitliches Alter haben.

Die Hauptreliefformen von Tertiär- und Geländeoberfläche des Andechser Höhenrückens sind sich sehr ähnlich (vgl. Abbildungen Kap. BI., Kap. BII.1.4, Abb. B57). Da ältpleistozäne Ablagerungen südlich der Endmoränenwälle nahezu lückenlos über Tertiär liegen, kann angenommen werden, daß auch die meisten Reliefformen der Tertiäroberfläche altpleistozän oder älter entstanden sind, während sie nördlich der Endmoränenwälle allem Anschein nach größtenteils jünger sind.

Die Tertiäroberfläche weist zwischen Kerschlach und der Pilsenseerinne ein Durchschnittsgefälle nach Norden von rund rd 0,3 % auf (Würmseewürmtalrinne etwa 0,1 %). Das Gefälle der vermuteten Deckenschotteroberfläche scheint noch etwas geringer zu sein, während die Geländeoberfläche im Mittel etwas stärker geneigt ist.

2.1 Grobsedimenthorizonte - Potentielle Grundwasserleiter

Entsprechend der Hauptabdachung der Quartärbasis (Kap. BII.1) kann angenommen werden, daß generell alle größeren Schotter-Komplexe, dazu auch einige jüngere (s.u.) Schotterfelder, von Schmelzwässern ungefähr von Süden nach Norden geschüttet wurden. Ausnahmen bilden Schotterfüllungen kleinerer Rinnen zu den Zungenbecken. Ebenso richtungsweisend für die Sedimentfracht der Schmelzwasserströme war die während der Eiszeiten wirksame, besondere Lage des Andechser Höhenrückens an der Nahtstelle zwischen Ammersee- und Würmseegletscher (PIEHLER 1974).

Danach ist zu erwarten, daß in den Schotter-Komplexen, welche hier als potentielle Grundwasserleiter betrachtet werden, die Komponenten generell nach Norden kleiner werden, besser sortiert sind und insgesamt weniger Feinanteil enthalten, wodurch ihre Wasserwegsamkeit und Grundwasserergiebigkeit in diese Richtung zunehmen sollten.

2.1.1 Ältere Schotter und Nagelfluhen (Günz und Mindel)

Die unter dem Begriff "Deckenschotter" zusammengefaßten glazialen und glaziofluvialen Bildungen des Altpleistozäns (Mindel und älter) treten im Untersuchungsgebiet als Wechsellagerungen aus mehr oder weniger verfestigten Schottern, Sanden und Schluffen auf. Sie streichen in weitgehender Übereinstimmung mit der in Kapitel AI.3.3.2 beschriebenen bisher bekannten Situation nur an wenigen Stellen der Geländeoberfläche aus, so z.B. an den Rändern des Ammer- und Würmseebeckens und der Pilsenseerinne sowie in einigen Gräben darin, wie z.B. in der Pähler und Maisinger Schlucht, dem Kalkgraben, dem Kienbach-Tal, dem Höllgraben, dem Würmtal oder dem Tal des Ascheringer Baches. Nach Beschreibungen in verschiedenen Diplom-Arbeiten (MÄRZ 1975, HEPP 1985, CONRADI 1986, BRAML 1986, FUSCHLBERGER 1988, LANDAUER 1989) und der Literatur (Kap A.3.3.2) sowie nach eigenen Geländeaufnahmen (Kap. BI) können verfestigten Anteile dieser Sedimente als *Schotter- oder Moränennagelfluhen* charakterisiert werden.

In den *Schotternagelfluhen* sind häufig Schluff- und Sandlagen(-Linsen) eingeschaltet. Die Schottergerölle sind großenteils gut gerundet bis plattig, häufig eingeregelt, klassiert geschichtet und manchmal gekritzelt. Es sind überwiegend Kalke und Dolomite, kristalline Komponenten sind selten, ihre Durchmesser schwanken je nach Aufschluß zwischen einem und zehn Zentimetern, gelegentlich kommen auch bis kopfgroße Komponenten vor. In den unverfestigten Partien sind Sande seltener, aber auch dichtverbackene Nagelfluhen sind stellenweise völlig ohne Sandanteil. Kalk-(Schluff)bänke können 10 bis 100 Zentimeter Schichtdicken erreichen (z.B. im Kalkgraben bei Tutzing) und wittern als härtere Bänke heraus. Die genannten Sedimente können vertikal scharf gegeneinander abgegrenzt liegen oder allmählich ineinander übergehen. Da ihr Verfestigungsgrad von im Dezimeterbereich gebankten, mehr oder weniger horizontbeständigen Konglomeraten zu schwach verfestigten bis lockeren Schichten wechselt, wobei die Nagelfluhbildung meist in den obersten Lagen ausgeprägter ist als in tieferen, manchmal auch 10-15 m mächtige, durchgehend verfestigte Schotter auftreten, ist es sinnvoller, von "Schotter-Nagelfluh-Komplexen" zu sprechen. Oft sind nur die äußeren Partien einer Aufschlußwand, v.a. in Taleinschnitten, verfestigt oder mit einer Kalkkruste (Kalksinter) überzogen, während das Material seitlich in lockere, oft nur lagenweise verbackene Schotter übergeht. Das Bindemittel der verfestigten Schichten besteht aus carbonatischem Zement. Die *Moränennagelfluh* ist dagegen meist unsortiert, ungeschichtet, sehr hart verbacken mit zahlreichen großen (bis ca. 25cm), ungerundeten Komponenten, die eisrandnah abgelagert wurde. Sie kann, wie bei Monatshausen an ihrer Oberfläche vom Gletschereis glattgeschliffen sein.

?Günzeiszeitlicher Komplex

Die Nagelfluhen bei Kerschlach und Monatshausen werden aufgrund ihrer Höhenlage um 730 m ü.NN, ihre Basis liegt wahrscheinlich nur wenig darunter (Kap. BI.8), ihres v.a. in den oberen Partien (*Moränennagelfluh*) hohen Verfestigungsgrades und des geringen bzw. nicht nachweisbaren Kristallinanteils als günzeiszeitlich oder älter angesehen, ebenso wie Konglomerate im Ascheringer Bach (um 685 m ü.NN; Kap. BI.1), deren Oberfläche und Liegendes nicht aufgeschlossen sind. Die tieferen Partien sind bei Monatshausen deutlich geringer verfestigt, besser sortiert und geschichtet. Die *Moränennagelfluh* bei Pöcking um 670 m ü.NN wird zwar wegen ihrer petrographischen Zusammensetzung und ihres Verfestigungsgrades vorrangig als mindeleiszeitlich eingestuft (CONRADI 1986, S.31; WOHL 1985, S.12), doch könnte man sie aufgrund ihrer Höhenlage ebenso den günzeiszeitlichen Ablagerungen zuordnen.

Auf dem westlichen Andechser Höhenrücken werden in zahlreichen Bohrungen Nagelfluhen angeführt, die stellenweise bis 705 m ü.NN reichen (Abb. B7) und aufgrund ihrer Oberflächenhöhe ebenfalls den älteren Deckenschottern angehören können. Geoelektrische Messungen weisen aber den Schichtenanteil über ca. 660/650 m ü.NN als wenig verfestigt oder unverfestigt aus. Er ist weitgehend würmmoränen und -schotterbedeckte und bereichsweise durch geringmächtige Feinsedimenten (?Moräne) vom deutlich stärker verfestigten darunter liegenden Schotter-Nagelfluh-Komplex getrennt. Die NN-Höhe des Liegend-Komplexes entspricht ungefähr der Oberfläche von Mindel-Deckenschottern am Ammersee-Beckenrand (s.u.). Der Hangen-Schotter über der Trennschicht könnte demnach auch riß- oder würmeiszeitliches Alter haben.

Es erscheint plausibel, daß günzeiszeitliche Deckenschotter wie von A. PENCK (1909, S. 115, 184) angenommen weitflächig über einem damals noch flacheren Tertiärrelief im nördlichen Alpenvorland abgelagert wurden. Die heute isoliert stehenden Vorkommen hätten dann ursprünglich einen mehr oder weniger geschlossenen Sedimentkörper gebildet und ihre Hochlage könnte mit einer fortschreitenden Hebung des westlichen Alpenvorlandes seit ihrer Ablagerung erklärt werden (ROTHPLETZ 1917, S.140). Vielleicht lagerten sich die Deckenschotter der Günzeiszeit aber auch vornehmlich in flachen Rinnen und Tälern an der Tertiäroberfläche ab (u.a. SCHAEFER 1951). Im Laufe der Zeit fand dann eine Reliefumkehr statt, indem die zuerst nicht von Deckenschottern verhüllten höher gelegenen Gebiete, in denen wahrscheinlich die Tertiäroberfläche mit erosionsanfälligen Mergeln und Sanden offen lag, vorrangig abgetragen wurden.

Mindeleiszeitlicher Komplex

An den Zungenbeckenränder bzw. in mehreren dort mündenden Gräben reicht die Oberfläche des dort als mindeleiszeitlich eingestuften Schotter-Nagelfluh-Komplexes (Kap. A.3.3.2) bis ca. 660 m ü.NN (Ammerseebecken) bzw. 645 m ü.NN (Würmseebecken). Am Ammersee-Ostufer kommen verfestigte Mindel-Deckenschotter auf einer Linie zwischen Pähl und Herrsching über der Tertiäroberfläche oberhalb ca. 620-630 m ü.NN fast ununterbrochen mit Mächtigkeiten von ca. 20 bis 30 Metern vor (Kap. BI.9). Am Würmsee-Westufer treten sie generell nicht so geschlossen und so mächtig in Erscheinung, sondern hauptsächlich in zum See hin abfallenden Tertiärrinnen auf (z.B. Pfaffenberg-, Pöckinger- oder Maisinger Rinne, Kap. BI.1-3). An der Pilsenseerinnen-Südostflanke liegt ihre Basis im Silbertal (Süden) bei 620 m ü.NN und im Mühlbach bei Oberalting (Norden) bei 585 m ü.NN. Im Gebiet zwischen Ammersee-Ostufer, Pilsenseerinnen und Wörthsee treten keine Deckenschotter auf (KUNZ 1992, S. 28 ff).

Da die Deckenschotter-Untergrenze meistens mit der Tertiär-Oberfläche zusammenfällt, muß das verdeckte Tertiärrelief mindeleiszeitlich oder älter sein.

Die Ausbreitung der jüngeren Deckenschotter ist im Gebiet zwischen Ammer- und Würmsee wie bereits von A. PENCK (1909, S 115, 184) vermutet flächenhaft über der Tertiäroberfläche erfolgt, nur wenige Tertiärhöhen wie der Bereich um das Berndorfer Buchet im Süden des Andechser Höhenrückens blieben unbedeckt. Dabei scheint die Vorstellung zuzutreffen, daß die unterschiedliche Basishöhe der Deckenschotter in erster Linie auf dem Tertiärrelief beruht und nicht auf verschiedenen glazialen Serien (ROPPELT 1988, S.20 ff).

Generell sind zur Mindeleiszeit im Gegensatz zu den folgenden Eiszeiten, besonders aber im Vergleich mit der Würmeiszeit, auf dem Andechser Höhenrücken deutlich größere Schottermengen akkumuliert worden (s.o.). Das muß wie im Iller-Wertach-Gletschergebiet dazu geführt haben, daß das

Entwässerungssystem der Mindelzeit stark angehoben wurde (ROPPELT 1988, S. 19). Dabei wurde die Sedimentfracht wahrscheinlich zuerst in Rinnen transportiert und abgelagert, mit zunehmender Aufschotterung dann auch über die meisten Tertiärhöhen hinweg. Günzeiszeitlich Ablagerungen (s.o.) haben damals schon so hoch gelegen, daß sie nicht bedeckt werden konnten. Ob allerdings die mindelzeitlichen Deckenschotter des Andechser Höhenrückens auch großflächig mit den Münchener Deckenschottern in Verbindung stehen (A. PENCK 1901/1909, Bd. 1, S. 181 ff) läßt sich nach den vorliegenden Ergebnissen und nicht beantworten.

Im südwestlichen Bereich des Andechser Höhenrückens sind in den Schotter-Nagelfluh-Komplex drei, rechnet man den vermutlich jüngeren (?rißeiszeitlich) Hangend-Komplex nicht hinzu, bis zwei großflächigere feinkörnige Zwischenlagen (?Moränen) eingeschaltet (Kap. BI.1), was ein Hinweis auf eine mehrphasige Entwicklung der Mindelzeit sein kann. Im Bereich solcher wasserhemmenden Trennschichten, können in den wasserleitenden Grobsedimenten mehrere Grundwasserstockwerke auftreten (Kap. BII.3), die dann u.U. unter Endmoränen (-Wällen) hindurch leiten. Schottergefüllte "Tertiärrinnen" bilden dann bevorzugte Grundwasserwege in das Wieling-Maisinger Becken (z.B. Ascheringer Rinne), oder aus dem Wieling-Maisinger Becken zum Würmsee (z.B. Pfaffenbergrinne und Maisinger Rinne). Nach Norden kommt eher ein breitflächiger Grundwasserstrom unter den Endmoränen zur westlichen Münchener Schotterebene in Frage.

Abweichende Korngrößenverteilungen, Sortierungsgrade, Klassierungen und Einregelung der Gerölle in verschiedenen Aufschlüssen bestätigen daß der Sedimenttransport zumindest im Süden des Untersuchungsgebietes ungefähr von Südwesten nach Nordosten und dort nicht in unmittelbarer Eisrandnähe erfolgte. So ist im ca. 3 Kilometer langen S-N-Tal des Kienbaches zwischen Andechs und Herrsching keine wesentliche Änderungen der Fazies in horizontaler und vertikaler Richtung festzustellen. Die Gerölle sind häufig eingeregelt und sortiert geschichtet, wobei in die dicht verbackene Nagelfluh stellenweise Sandlinsen eingeschaltet sind (vgl. MÄRZ 1975). Dagegen fehlen in der Pähler Schlucht ca. 6 Kilometer südlich davon solche Sandlinsen offensichtlich, auch abgeplattete und eingeregelt Gerölle sind dort seltener. Statt dessen fallen Geröllagen mit einem hohen Anteil sandiger Matrix auf, die sich scharf von den sandfreien Lagen abgrenzen. Die Klassierung der Schichten ist am Ostende der Schlucht etwas besser als an ihrem westlichen Ausgang (vgl. BRAML 1986). Etwa 6 km östlich davon, im Kalkgraben am Würmsee-Westufer, ist die Sortierung dagegen wesentlich deutlicher. Dort wechseln wenige Zentimeter bis einen Meter mächtige Fein- und Grobkieslagen mit Dezimeter bis einem Meter mächtigen Kalkbänken manchmal über die gesamte, mehrere 10-er Meter reichende Aufschlußbreite (vgl. CONRADI 1986; BRAML 1986). Generell noch besser ist die Schichtung in den überwiegend gut gerundeten Schottern und Nagelfluhen der Maisinger Schlucht. Wechselnde Lagen unterschiedlicher Mächtigkeit und Ausdehnung sind dort meist nach Korngrößen sortiert. Dazu treten aber auch Sandlinsen und bis zu faustgroße Gerölle auf (vgl. HEPP 1985).

Der gesamte altpleistozäne (?günz- und mindelzeitlich) Schotter-Nagelfluh-Komplex des Andechser Höhenrückens liegt nahezu lückenlos dem Tertiär auf. Nur an wenigen Stellen wird er von vermutlich älterer Moräne unterlagert oder ist vollständig erodiert (z.B. an den Zungenbeckenrändern oder im Zentrum des Wieling-Maisinger Beckens). Seine Oberfläche weist heute aufgrund späterer Zertalung ein Relief auf, das vermutlich in seinen Hauptformen dem der Tertiär- und Geländeoberfläche entspricht.

2.1.2 Jüngere Schotter und Nagelfluhen (Riß, Würm, Holozän)

Rißzeitlicher Komplex

Es gibt zwischen Ammer- und Würmsee südlich der würmeiszeitlichen Endmoränenwälle (Abb. B55) keine nennenswerten und zweifelsfreien Aufschlüsse oder Bohrbefunde mit rißzeitlichen Ablagerungen. Zu vermuten ist, daß ein bis zu 30 m mächtiger Schotter-Komplex über den Mindel-Deckenschottern des westlichen Andechser Höhenrückens rißzeitlich entstanden ist (s.o.). Unklar bleibt aufgrund widersprüchlicher Bohrangaben und geoelektrischer Meßsergebnisse sowohl der Verfestigungsgrad dieser Schotter als auch seine Fortsetzung nach Norden bis zu den rißzeitlichen Schottern und Moränen zwischen Mamhofen und Gilching. Es wird angenommen daß die dort einst großen rißzeitlichen Schotterfelder, wie sie beiderseits des Würmtales, vielleicht auch an der Quartärbasis der Würmtalrinne (Kap. BI.6), großflächiger erhalten geblieben sind (JERZ 1987a; KOEHNE 1910/1911; s. Kartenverzeichnis), dort weitgehend ausgeräumt sind (JERZ 1987a, S. 39)..

Würmeiszeitlicher und holozäner Komplex

Innerhalb der Endmoränenwälle gibt es gut abgrenzbare (spät-)würmeiszeitliche Schottergebiete (potentielle Grundwasserleiter), wie die Wieling-Traubinger und Rothenfelder Schotterflur, die Schotterfüllung im Mühlbachtal bei Herrsching sowie geringmächtige Schotter in meist seenahen eisrandparallelen Schmelzwasserrinnen (Abb. B55). Sie haben meist keine direkte Verbindung zu den Schotterinnen und -fluren nördlich der Jungmoränenwälle (Münchener Schotterebene, Würmtal) und lagern häufig an schotterreiche Moränenarealen oder ältere Schotter-Nagelfluh-Komplexen, wodurch hydraulische Verbindungen zu benachbarten Grundwasservorkommen auftreten können (z.B. im Mühlbachtal bei Herrsching, s. Kap. BI.9).

Hydrogeologisch oft ebenfalls bedeutend sind die meist gut abgrenzbaren holozänen Schwemmfächer an den Ufern und Verlandungszonen von Ammer-, Würm- und Pilsensee, wie die Schwemmfächer des Kienbaches und Mühlbaches (Herrsching), des Burgleitenbaches (Pähl), des Maisinger Baches (Starnberg), des Starzenbaches (Possenhofen) oder des Höllgrabens (Seefeld). Grundwasservorkommen in diesen Schwemmfächern werden oft aus den randlichen Hochgebieten gespeist. Einige kleinere, für die Grundwassererschließung unbedeutende Schwemmfächer befinden sich auch auf dem Andechser Höhenrücken an der Westflanke des Wieling-Maisinger Beckens, wie der des Ascheringer Baches (Aschering).

Schwerer abzugrenzen sind dagegen lokale, kiesig-sandige Moränenpartien, wie sie grundwasserführend beispielsweise südlich Traubing und südwestlich von Aschering oder in den Wallmoränen um die Rothenfelder- und Perchtinger Schotterflur vorkommen, wo Schmelzwässer den Feinkornanteil mehr oder weniger befreit haben.

Die Basis würmeiszeitlicher Schotter südlich der Endmoränengebiete besteht überwiegend aus bindiger, feinkornreicher und damit wasserstauender Moräne oder Seetonen, welche in weiten Gebieten von älteren Schottern und Nagelfluhen unterlagert werden. Hydraulische Verbindungen zwischen beiden Schotter-Stockwerken aufgrund gebietsweise fehlender, auskeilender oder perforierter stauender Trennschichten, führen häufig zur Vermischung unterschiedlich belasteter Grundwässer (Kap. BI.1, BI.4, BI.8, BI.9), wobei in der Regel das geringer belastete tiefere Grundwasser betroffen ist (Kap. BII.3.2).

Die Ausbildung dieser Schotter differiert stark:

So nimmt beispielsweise in den gut geschichteten Wieling-Traubinger Schottern der Feinkornanteil zu den Rändern hin zu, was mit geringerer Wasserdurchlässigkeit einher geht. Die gut, oft schräg, im cm-bis m-Bereich geschichtet und klassierten "Blumbergschotter", die einen wechselnden Sandanteilen aufweisen und mit über 20 m Mächtigkeit in einer Kiesgrube am Ammersee-Ostufer bei Aidenried unter Würmgrundmoräne ausstreichen, sind in weiten Bereichen zu Nagelfluh verbacken und kristallin-führend. Die ebenfalls kristallinreichen "Wartawailer Schotter", die parallel und nahe zum heutigen Ammerseeufer abgelagert wurden, sind dagegen unverfestigt (vgl. LANDAUER 1989). Die im Süden moränenüberfahrenen und -bedeckten "Ramseeschotter" im Mühlbachtal bei Herrsching sind nur in Partien zu Nagelfluh verfestigt, wobei diese Verfestigung, wie auch die "Blumbergschotter" deutlich geringer ist als bei altpleistozäne Nagelfluhen (s.o.). Schotter der Rothenfelder Schotterflur und in der Umgebung des benachbarten Eßsees sind im Bereich der Eisstillstandslagen „Spornritt“ (Abb. B56) um das Gut Rothenfeld moränenüberfahren und -bedeckt. In Folge des Eisdruckes sind die gut geschichteten, sandigen Schotter stellenweise gestaucht (vgl. CONRADI 1986).

Sowohl im Mühlbachtal (Ramseeschotter) als auch um Rothenfeld gibt es aufgrund der teilweisen Moränenüberdeckungen Gebiete mit deutlich unterschiedlicher Versickerungsfähigkeit, was sich sowohl auf die Grundwasserneubildung, als auch auf den Schadstoffeintrag in das Grundwasser ungleich auswirkt.

Im *Übergangsbereich vom Jungmoränengebiet zur westlichen Münchener Schotterebene* führen mehrere Schotterrinnen, die häufig in kiesigen Würmmoränenwällen wurzeln, nach Norden. Die Mächtigkeit dieser Schotter ist gegenüber den Schotterfeldern der o.g. südlichen Gebiete besonders in den nördlichen Rinnenabschnitten zwar deutlich größer, doch beruht dies darauf, daß hier jüngere Schotter oft ohne nennenswerte Trennschichten von Deckenschottern unterlagert werden, wodurch de facto nur ein Schotterkörper bzw. ein Aquifer existiert. Im Raum Tiefenbrunn vereinen sich die meisten dieser Rinnen zu einer breiteren Schotterflur die bis Gilching immer breiter wird und mit den Rißschottern an ihrem Ostrand mehr oder weniger in hydraulischer Verbindung steht. Die *Schotter der Würmtalrinne* östlich dieser Rißschotter sind im Süden (Königswiesen, Kap. BI.6) nach Bohrangaben besonders im obersten Abschnitt deutlich feinkornreicher, nach Norden (Kreuzlinger Forst, Kap. BI.7) nimmt ihr Feinkornanteil ab. Es ist danach anzunehmen, daß ihre Wasserdurchlässigkeit nach dorthin zunimmt.

Wegen der meist geringen Flurabstände und weitestgehend fehlenden Bedeckung mit mächtigeren wasserhemmenden Schichten, sind die Grundwasservorkommen aller genannten oberflächennahen Aquifere nur schwer schützbar. Die Grundwasserneubildung ist hier gegenüber den meisten benachbarten Moränengebieten deutlich größer.

2.1.3 Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte) von Schottern und Schottermoräne

Die in die Tabelle B14 zusammengestellten Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Wert) aus unterschiedlichen Grundwasserleitern zwischen Ammer- und Würmsee stammen aus Gutachten der in Tabelle B1 angeführten Ingenieur-Büros. Danach treten die niedrigsten k_f -Werte in kleineren, meist feinkornreichen, eng begrenzten und oberflächennahen Schotterkörpern in Moränenarealen auf (bis $7,4 \cdot 10^{-5}$ m/s). Ihre Grundwasserergiebigkeit ist deshalb gering. Die Werte für die oberflächennahen Schotter der

Wieling-Traubinger Schotterflur liegen je nach der Meßstellenlage im Rinnenquerschnitt zwischen $1,2 \cdot 10^{-3}$ und $7,8 \cdot 10^{-4}$ m/s, wobei die niedrigsten Werte an den randlichen, moränennächsten Meßstellen, die höchsten im Rinnenzentrum ermittelt wurden. Dieser Befund deckt sich auch mit der unterschiedlichen Sedimentausbildung (s.o.) und unterschiedlichen Grundwasserstandsschwankungen (Kap. BI.1.3).

Für tiefere, meist ältere Grundwasserleiter (Deckenschotter) sind k_f -Werte zwischen rd. 10^{-3} und 10^{-5} m/s kennzeichnend, wobei regional deutliche Unterschiede vorkommen. Im Südosten (Pfaffenbergrinne), westlich von Tutzing und bei Kerschlach, betragen sie 2,1 bis $5,5 \cdot 10^{-4}$ m/s, bei Starnberg 0,25 bis $2,8 \cdot 10^{-3}$ m/s. Dies würde sich mit der Annahme decken, daß die Wasserdurchlässigkeit in Deckenschottern von Süden nach Norden zunehmen sollte (Kap. AI.3.4). Etwas abweichend dazu liegen die Werte bei Aschering nur zwischen 3,0 bis $7,7 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Die in Tabelle B14 angeführten k_f -Werten von Schottern des Andechser Höhenrückens sind solchen bekannter Werte aus kiesigen Aquiferen des Voralpenlandes ähnlich (Kap. AI, Tab. A2).

Tab. B14: Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Wert) von Schottern des Andechser Höhenrückens

Bohrung/Brunnen	k_f -Wert m/s	Aquifer
Traubing VB	$3,2 \cdot 10^{-4}$ bis $7,4 \cdot 10^{-5}$	kiesige, oberflächennahe Moräne
Aschering VB	$6,0 \cdot 10^{-4}$	kiesige, oberflächennahe Moräne
Rößlberg	$1,0 \cdot 10^{-4}$ bis $1,0 \cdot 10^{-5}$	kiesige, oberflächennahe Moräne
Wieling Br.F/P	$1,2 \cdot 10^{-3}$ bis $7,8 \cdot 10^{-4}$	oberflächennahe Spätwürmschotter
Kerschlach VB2-4	$2,1 \cdot 10^{-4}$ bis $5,5 \cdot 10^{-4}$	Deckenschotter
Pfaffenberg VB1-3	$2,3 \cdot 10^{-4}$ bis $4,5 \cdot 10^{-4}$	Deckenschotter/?jüngere Schotterfüllung
Aschering VB	$3,0 \cdot 10^{-5}$ bis $7,7 \cdot 10^{-5}$	Deckenschotter
Andechs Br.IV	$1,5 \cdot 10^{-3}$ bis $6,4 \cdot 10^{-3}$	Deckenschotter
Gut Rothenfeld	$1,0 \cdot 10^{-3}$ bis $3,0 \cdot 10^{-3}$	Deckenschotter
Maisinger Schlucht Br. IV-VII	$0,3 \cdot 10^{-3}$ bis $2,8 \cdot 10^{-3}$	Deckenschotter/?jüngere Schotterfüllung

2.2 Feinsedimenthorizonte - Potentielle Grundwasserstauer

Bedeutung und Besonderheiten der Tertiäroberfläche, dem wichtigsten Grundwasserstauer im Untersuchungsgebiet, wurde bereits in den Kapiteln BI.1-9 und BII.1 hervorgehoben. Im folgenden werden potentielle Grundwasserstauer beschrieben (Seetone, feinkornreiche Grund- und Wallmoränen), die, nachweislich oder vermutet, weitflächig verbreitet sind und damit ebenso als wichtige Grundwasserstauer in Frage kommen. Dabei wird zwischen oberflächennahen Bildungen (Abb. B55), über den in den meisten Fällen keine größeren Grundwasserstockwerke auftreten, die jedoch maßgeblich Oberflächenabfluß, Grundwasserneubildung sowie den Schadstoffeintrag beeinflussen, und tieferen Grundwasserstauern unter meist mächtigeren Aquiferen (s.o.) unterschieden. Eine Vergleich von NN-Höhen häufig auftretender Feinsedimentlagen mit solchen bekannter Seetonobergrenzen, unter Berücksichtigung geographischer Positionen, soll dazu genetische Zusammenhänge aufzeigen.

Großflächige, oft auch mächtige Seetone gibt es v.a. im Ammer-, Würmsee- und Wolfratshausener Becken, in der Pilsenseerinne und im Wieling-Maisinger Becken:

Für den Ammersee führen in den letzten Jahren mehrere Autoren (FUSCHLBERGER 1988, WOLF 1989, LANDAUER 1989, GROTTENTHALER 1980, KUNZ 1992, 1998, SCHNEIDER 1992, KLEINMANN 1992, JERZ 1993b) Belege an, daß spät-würmglaziale Seespiegel nicht wie von früheren Autoren (WEISS 1820, ROTHPLETZ 1917, GAMS & NORDHAGEN 1923, FEULNER 1955, FELDMANN 1990) vermutet, im gesamten Seebecken zeitweise zwischen 570 und 600 m ü.NN gelegen haben, sondern infolge der würmzeitlichen Seeüberlaufhöhe bei Grafrath nirgendwo über 565 m ü.NN standen. Bei dennoch darüber liegenden Seewasserständen soll es sich um kleinere Eisrandstauseen gehandelt haben, die zuerst nördlich der Eisfront des Ammerseegletschers, später infolge des Eiszerfalls auch südlich größerer Toteismassen auftraten. Durch den weiteren Eisrückgang und die Eintiefung am nördlichen Abfluß wurde die Seefläche zwar immer größer, doch sank der Spiegel letztendlich bis auf das heutige Niveau um 534 m ü.NN.

Der nördliche Verlandungsbereich des Würmsees ist unterhalb ca. 600 m ü.NN größtenteils mit geringmächtigen, spätwürmzeitlichen Seesedimenten und wesentlich mächtigeren spätrißzeitlichen Seetonen aufgefüllt (JERZ 1987a, s. Kartenverzeichnis). Im südlichen Verlandungsbereich sind in einigen Bohrungen (*MOBIL OIL*) von 590-600 m ü.NN bis zur Tertiäroberfläche Seetone unbekanntes Alters erbohrt.

An den Rändern des Wolfratshausener Beckens erhaltene Reste spätglazialer Seesedimente der Mindel-, Riß- und Würmeiszeit zeigen Seespiegelstände um 600 m ü.NN an. Zumindest spätriß- und würmeiszeitlich bestand südlich des Tischberg-Gebietes und über das Osterseengebiet Verbindung zum Würmseebecken (JERZ 1969, S.60 ff).

Die genannten Seetone in den Gletscherzungebecken sind für die meisten Grundwasservorkommen des Untersuchungsgebietes ohne Bedeutung. Lediglich im Bereich der Pilsenseerinne und des nördlichen Würmsee-Verlandungsgebietes haben sie geringen Einfluß auf die angrenzenden Grundwasserregime.

2.2.1 Oberflächennahe Feinsedimente (feinkornreiche Riß- und Würmmoräne, Beckensedimente)

Im Gebiet zwischen Ammer- und Würmsee dominieren an der Geländeoberfläche, abgesehen von den o.g. Schotterarealen, schluffig-kiesige bis kiesig-schluffige Würmmoränen. Ihre gegenüber den Schottergebieten überwiegend geringe Wasserdurchlässigkeit wirkt einer hohen Grundwasserneubildung entgegen, bewirkt jedoch einen stärkeren Oberflächenabfluß und bietet besonders bei größerer Mächtigkeit auch einen besseren Grundwasserschutz (Abb. B55). Die regionalen Unterschiede in ihrer Kornverteilung entsprechen etwa der in Abbildung A11 gezeigten Verbreitung von Kornverteilungstypen würmzeitlicher Moränen des Isar-Loisachgletschers.

Die Moor- und Verlandungsgebiete des Andechser Höhenrückens um Machtlfing oder dem Deixlfurter- und Maisinger See sowie des Ammer- und Würmsees, werden weitestgehend von Seetonen/ Stillwasserbildungen/ feinkornreicher Grundmoräne unterlagert. Dabei handelt es sich hauptsächlich um würmzeitliche oder frühholozäne Bildungen.

Die Ausbildung der oberflächennahen Schichten im Untersuchungsgebiet erlaubt eine Zonierung in drei Landschaftstypen mit unterschiedlichen Voraussetzungen für die Grundwasserneubildung.

Es sind dies:

- S Die südlichen Jungmoränengebiete (Würm) innerhalb der ältesten (äußeren) würmeiszeitlichen Endmoränenwälle mit überwiegend Grund- und Wallmoränenarealen und wenigen, meist kleinen und isolierten Schotterfeldern;
- S Der nördliche Jung- und Altmoränengürtel (Riß und Würm) mit einigen darin wurzelnden Schotterrinnen (Übergangsbereich zur Münchener Schotterebene);
- S Die Wurzelzone der westlichen Münchener Schotterebene mit einigen Rißmoränenzügen und dem Würmtal.

2.2.2 Tiefere Feinsedimentschichten (\pm steinfreie Grundmoräne, Stillwasserbildungen)

Tieferliegende Feinsedimentschichten treten im Untersuchungsgebiet nur an wenigen, meist seebeckennahen Stellen aus. Häufiger sind solche Lagen aber in Bohrungen und seismischen Messungen nachgewiesen, wobei aufgrund der meist unzureichenden Bohraufzeichnungen (Tab. B2) selten Klarheit darüber geschaffen werden kann, ob es sich z.B. um Grundmoräne oder Stillwasserbildungen handelt. Auch ist in den meisten Fällen eine weiträumige, ungestörte Niveaubeständigkeit solcher Schichten unwahrscheinlich, da vielfältige glaziofluviale Prozesse, wie sie besonders an der Nahtstelle von Ammer- und Würmseegletscher wirksamen waren, einen heterogenen Schichtenbau erzeugten, wodurch vermutlich auch größere Lücken bzw. hydraulische Fenster in den stauenden Schichten entstanden sind.

Haupt-Stauhorizonte - "Niveaus"

"Wieling-Maisinger Niveau":

Feinsedimentschichten mit Oberflächen zwischen 620-650/660 m ü.NN treten nach Norden bis ungefähr auf die Linie Spornritt - Perchting - Söcking auf, also bis an den Südrand des nördlichen Wallmoränengürtels, im Süden bis an den Kerschbacher Forst (Berndorfer Buchet). Nach Westen reichen sie zumindest bis nahe an die größten Tertiärhöhen des westlichen Andechser Höhenrückens und keilen dort wahrscheinlich aus. Im Wieling-Maisinger Becken selbst ist dieser Horizont wahrscheinlich zweigeteilt (Kap. BI.1). Der Anteil über ca. 630 m ü.NN ist dort nach schußseismischen Messungen deutlich geringer verdichtet (spät-würmeiszeitlicher Seeton) als der tiefere, der vermutlich eisüberfahren ist. Im südöstlichen Andechser Höhenrücken zwischen Oberzeismering und Kalvarienberg (südlich Pöcking), scheint die höhere Schicht nicht unter den \pm seeuferparallelen Wallmoränen durchzuziehen, während die tiefere sowohl nach Westen in den Raum um Machtlfing, als auch über die östliche Begrenzung des Wieling-Maisinger Beckens hinausreicht. Am Südrand des Andechser Höhenrückens gibt es zwischen Ilkahöhe und Hirschberg ebenfalls Feinsedimente um 660 m ü.NN (Abb. B.I.8).

"Deixlfurter-Kerschbacher Niveau":

Östlich des Deixlfurter Sees, des Langen Weihers und von Oberzeismering stehen in kleinen Gräben direkt am Rand zum Würmsee-Zungenbecken bei ca. 695 m ü.NN Seetone. Um den Deixlfurter und Eglsee wurden sie zahlreichen Bohrstocksondierungen in dieser NN-Höhe angetroffen. Insgesamt ist dieser Horizont ungefähr niveaugleich mit den Verlandungsbereichen dieser Seen. Auch im oberen Gröbengraben (südlich Obertraubing) sind mindestens drei Meter mächtige Seetone mit einer Oberfläche um 700 m ü.NN auf einer Strecke von ca. 150 Metern aufgeschlossen. Bei Kerschbach treten Seetone mit OK um 690 m ü.NN auf. Weitere \pm niveaugleiche Feinsedimente sind an der Würmsee-Westseite im "Feldafinger Hoch", im "Maisinger Hoch" OK 695 m ü.NN, an den Rändern der "Pfaf-fen-bergrinne" mit Obergrenzen um 690, 680 m ü.NN (Abb. B3) und im Bereich des westlichen Andechser Höhenrückens bis westlich Andechs (Abb. B7) wenig unter 700 m ü.NN erbohrt. Westlich Machtlfing sind in Entwässerungsgräben oberflächennahe tonig-schluffige Sedimente um ca. 700 m ü.NN aufgeschlossen, die wahrscheinlich auch in den umliegenden niveaugleichen anmoorigen Gebieten verbreitet sind.

"Würmsee Niveau":

Am westlichen Würmsee-Zungenbeckenrand zeigen mehrere Bohrprofile (Abb. B13, B14, B18) bei Tutzing, Feldafing, Possenhofen und Starnberg Feinsedimentlagen um 590-615 m ü.NN. Im Nordabschnitt des westlichen Andechser Höhenrückens existiert bis an den Rand der Pilsenseerinne eine stark variierenden Stauer Oberfläche um 610 m ü.NN. Bei Herrsching am Mühlbachtal-Ausgang, im Feldgraben nördlich Aidenried ("Blaue Wand" ?Tertiär) und bei Pähl (?Tertiär) sind Feinsedimentlagen mit Oberflächen um 585 m ü.NN bekannt.

"Ammersee-Pilsensee Niveau":

Am östlichen Ammersee-Zungenbeckenrand zwischen Herrsching und Pähl sind nach Bohrungen für die Ringkanalisation, Stillwassersedimente um 530 m ü.NN verbreitet. Ein \pm niveaugleicher Horizont wird in Herrsching von ca. 9 Meter mächtigen Schwemmkegel-Schottern des Kienbachs überdeckt. Im Untergrund der Pilsenseerinne und im nördlich angrenzenden Höhenrücken zwischen Pilsen- und Wörthsee dominiert ein Stauhorizont um 560 m ü.NN, eben solche kommen an der östlichen Pilsenseesenke bei Seefeld, Oberalting und Widdersberg sowie bei Tiefenbrunn vor. Diese könnten Absätze eines zeitweise auch deutlich höheren Ammersees(-teil) bzw. Pilsensees sein.

Nördlich Starnberg wurden in einer Bohrung an der Hanfelder Straße (2) drei Feinsedimente um 605 m ü.NN ("*Würmsee Niveau*"), um 630 m ü.NN ("*Wieling-Maisinger Niveau*") und um 660 m ü.NN erbohrt ("*Rothenfeld-Perchtinger Niveau*"). Im westlichen Andechser Höhenrücken gibt es zwischen dem Berndorfer Buchet und dem Gebiet bei Rothenfeld insgesamt drei bedeutendere quartäre Stauhorizonte: Einer nahe der Geländeoberfläche um 680-705 m ü.NN ("*Deixlfurter-Kerschbacher Niveau*"), ein weiterer um 660 m ü.NN ("*Rothenfeld-Perchtinger Niveau*") und ein kleinflächigerer im Raum Machtlfing um 640 m ü.NN ("*Wieling-Maisinger Niveau*").

Die tatsächliche hydrogeologische Bedeutung bzw. wasserstauende Wirkung dieser Feinsediment-Horizonte ist anhand der oft nur punktuellen Befunde nicht mit ausreichender Sicherheit festzustellen. Es ist jedoch damit zu rechnen, daß sich über den o.g. "*Niveaus*" auch in Gebieten, in den bisher noch keine Grundwasservorkommen bekannt sind, je nach Horizontbeständigkeit dieser Stausedimente und der Durchlässigkeit der darüber liegenden Grobsedimente, prinzipiell Grundwasser vorkommt.

3 Grundwasserverhältnisse

3.1 Grundwasservorkommen - Grundwasserspiegel - Grundwasserstockwerke

3.1.1 Allgemeiner Überblick

Die Tertiäroberfläche bildet im gesamten Untersuchungsgebiet den Hauptgrundwasserstauer der tiefsten quartären Grundwasservorkommen (Kap. BII.1). Darüber sind im Quartär des Andechser Höhenrückens gebietsweise auch weitreichende Feinsedimenthorizonte eingeschaltet, die tatsächliche und potentielle Aquicluden darstellen. Eine mehrmalige Aufeinanderfolge undurchlässiger und potentiell wasserführender Ablagerungen tritt, mehr oder weniger horizontbeständig, beispielsweise in den tieferen Schichten des südlichen Andechser Höhenrückens um Machtlfing auf (Kap. BII.2, Abb. B57). In den oberflächennahen, würmzeitlichen und holozänen Schichten variieren die hydrogeologischen Verhältnisse in Abhängigkeit ihrer petrographischen Zusammensetzung und räumlichen Verteilung der Sedimente oft erheblich, so daß die Voraussetzungen zur Bildung größerer Grundwasservorkommen, abgesehen von wenigen Grundwasservorkommen in größeren Schotterfeldern, gering ist (Kap. BII.2). Nach Norden in Richtung Münchener Schotterebene treten insgesamt vermehrt durchlässigere Quartärsedimente auf, weshalb dort generell mit ergiebigeren Grundwasservorkommen gerechnet werden kann. Alle, auch seeneah genutzten Grundwasservorkommen werden nicht durch Infiltrationen des Ammer- oder Würmsees beeinflusst. Dagegen infiltriert Oberflächenwasser kleinerer Seen zwischen Ammer- und Würmsee (z.B. Maisinger und Deixlfurter See) nachweislich in ungefähr niveau-gleiches Grundwasser bzw. umgekehrt. Ebenso gibt es hydraulische Kontakte zwischen Bach- und Grundwässern (z.B. Wielinger Bach, Kalkgraben, Maisinger Bach, Würm, Mühlbach, u.a.). Diese, in Kapitel BI genauer beschriebenen Bereiche sind bei der Bewertung von Gefährdungspotentialen besonders zu beachten.

3.1.2 Grundwasservorkommen - Grundwasserübersichtskarte

Die Grundwassergleichen-Übersichtskarte (Abb. B58) umfaßt ca. 80 km² des "Fünfseenlandes". Sie beruht überwiegend auf den in Kapitel BI gezeigten und erläuterten Detailkarten. Die Grundwasserspiegelmessungen dazu sind nur in Teilgebieten zeitgleich erfolgt (s. Anh. 1), doch entsprechen ihre Höhen in den meisten Fällen ungefähr dem Mittelwasserstand, so daß hier eine durchschnittliche Grundwassersituation wiedergegeben wird.

In Bereichen, wie den ufernahen Randgebieten von Ammer- und Würmsee, wo wegen der Lückenhaftigkeit von Beobachtungspegeln und Grundwassermessungen oft keine verlässliche Interpolation zwischen Grundwasserkoten möglich war, resultieren einige Grundwasserhöhen und der daraus entwickelte Stockwerkbau auf zusätzliche Korrelation mit Quell- bzw. Bachwasseraustritten, Seespiegelständen oder, wie in Bereichen des westlichen Andechser Höhenrückens, auch auf Korrelation mit potentiellen Grundwasserstauern oder -Leitern (Kap. BII.2.2.2).

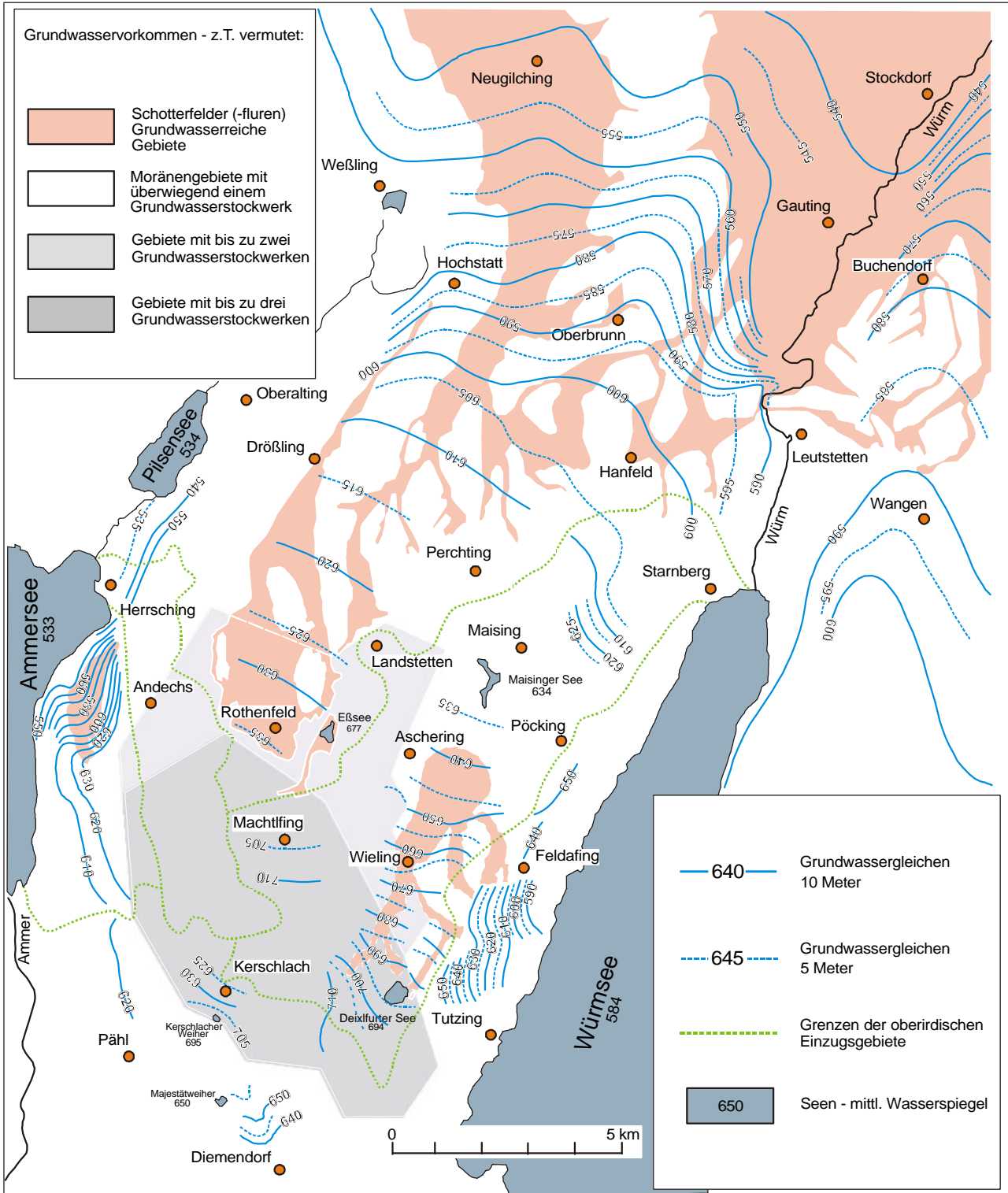


Abb. B58: Grundwassergleichen-Übersichtskarte

Autorennachweis:

WROBEL 1982: Gebiet östlich des Würmsee und der Würm

Um einzugsgebietsübergreifende Grundwasservorkommen hervorzuheben, wurden auch die wichtigsten oberirdischen Grenzen der Bilanzgebiete (Abb. B61) in die Karte eingezeichnet, dazu die bedeutendsten oberflächennahen Schotterfelder, schottergefüllten Schmelzwasserrinnen.

Gebiete mit mehreren, z.T. vermuteten Grundwasserstockwerken sind flächig markiert.

Anhand der hydrogeologischen Karte Blatt 8033 Tutzing (Abb. B55) sowie älterer geologischer Karten nördlich davon (s. Kartenverzeichnis) wurden bereits in Kapitel BI.2 die oberflächennahen Schichten im Untersuchungsgebiet in drei Landschaftstypen mit unterschiedlichen Voraussetzungen für die Grundwasserneubildung gegliedert. Diese Gliederung wird auch zur räumlichen Differenzierung der Grundwassersituation beibehalten.

Grundwasser in den südlichen Jungmoränengebieten

Tiefere Grundwasservorkommen (Deckenschotter):

Südlich der Endmoränenwälle kommt Grundwasser von wasserwirtschaftlicher Bedeutung hauptsächlich in den meist tieferliegenden mindeleiszeitlichen Deckenschottern vor, wo es sich fast ausnahmslos an der Tertiäroberfläche staut.

Das größte bekannte zusammenhängende Grundwasservorkommen in den Deckenschottern des Andechser Höhenrückens erstreckt sich vom Gebiet zwischen Andechs und Rothenfeld bis unter den nördlichen Jungmoränengürtel. Mit annähernd konstantem Anstieg nach Süden konstruiert reicht es wahrscheinlich bis in den Raum westlich von Machtlfing, wo es bei etwa 660 m ü.NN gut mit der NN-Höhe eines dort verbreitet auftretenden Stauhizontes im quartären Schotter-Nagelfluh-Komplex korrespondiert (Kap. BI.1, BI.4, Abb. B5, B6, B7). Auf ein solches größeres Grundwasservorkommen im Süden des westlichen Andechser Höhenrückens weist auch das artesisch gespannte Grundwasser der Ascheringer Rinne, dessen Druckwasserspiegel in den Brunnen am Westrand der Wieling-Traubinger Schotterflur mit ca. 660 m ü.NN bestimmt wurde. Es fließt von Südwesten kommend unter den Hangend-Aquifer des Wieling-Maisinger Beckens. Vermutlich werden auch Quellen um 645-655 m ü.NN an der Nordwestflanke des Wieling-Maisinger Beckens (Jägersbrunn, Wildbrunn) daraus gespeist (Kap. BI.1). Im Raum Rothenfeld liegt der Grundwasserspiegel um 630 m ü.NN. Entsprechend der Hauptabdachung der Tertiäroberfläche (Abb. B53) ist er dort generell mit ungefähr 3 ‰ nach Nordnordosten geneigt und setzt sich nach Norden weiter bis unter die westliche Münchener Schotterebene fort (s.u.). Grundwasser oberflächennaher Vorkommen sickern in diesem Gebiet (z.B. um 690 m ü.NN, s.u.) auf ihrem Weg nach Norden wohl infolge auskeilender Stauschichten bis in dieses tiefere Vorkommen zur Tertiäroberfläche durch.

Am Ammersee-Ostufer entspringen zwischen dem Mühlfeld bei Herrsching und der Pähler Schlucht zahlreiche Bach- bzw. Quellaustritte um 610-620 m ü.NN aus beckenrandlichen, jüngeren Schottern und schotterreichen Moränenpartien. Sie speisen sich anteilig aus den östlich davon verbreiteten Deckenschottern. Ebenso tritt an der Mühlbachtal-Ostflanke im Bereich des Schwellmooses Deckenschotterwasser bei 630 m ü.NN aus bzw. infiltriert in jüngere Schotter des Mühlbach-Tales. Östlich von Herrsching und an der Pilsenseeostflanke austretende Quellen speisen sich aus dem o.g., im Bereich der Dröblinger Rinne abfließenden großen Grundwasservorkommen des Andechser Höhenrückens (Kap. BI.9).

Am Würmsee-Westufer bei Tutzing/Garatshausen im Bereich zwischen Pfaffenbergrinne und Possenhofen (Kap. BI.2) sowie in der näheren Umgebung der Maisinger Schlucht bei Starnberg (Kap. BI.3) fließt Deckenschotterwasser von ca. 630 m ü.NN nach Osten zum Würmsee. Teilweise tritt es um 600 m ü.NN

ufernah über den dort oberflächennahen Tertiärmergeln aus oder es fließt in schottergefüllten Rinnen, deren Sohlen stellenweise bis unter den Würmseespiegel reichen (z.B. Maisinger Rinne ca.30 m u.Seesp.), unterseeisch in den Würmsee.

Um Kerschlach, am Südende des Andechser Höhenrückens, existiert um 630 m ü.NN ein tieferes Grundwasservorkommen, daß wahrscheinlich im Bereich der Pähler-Kerschlachener Rinne (Abb. B47) nach Nordosten zum südlichen Wieling-Maisinger Becken fließt.

Es ist insgesamt festzuhalten, daß v.a. die tieferen Schichten des südlichen Andechser Höhenrückens, der gegenüber den nördlicheren Gebieten meist mehrere Grundwasserstockwerke aufweist, vergleichsweise grundwasserarm sind. Ursache hierfür sind die stärker verdichteten bzw. verfestigten, geringerdurchlässigen (?älteren) Deckenschottern, die zudem von meist schlecht wasserleitenden Schichten bedeckt sind (Kap. BII.2). In Bereichen auskeilender Aquicluden und Aquifere, wie dies besonders an den Rändern des Andechser Höhenrückens und im Übergangsbereich zur Münchener Schotterebene der Fall ist, tauchen hangende Grundwasserstockwerke häufig in tiefere bzw. tiefergelegene ab.

Oberflächennahe Grundwasservorkommen:

Bedeutende Grundwasservorkommen sind öfter in oberflächennahen jungquartären Vorstoß- oder Abschmelzschottern (z.B. Rothenfelder- und Wieling-Traubinger Schotterflur) zu finden, seltener in kiesreicher Moräne. Für die meisten dieser Vorkommen bilden schlecht durchlässige Quartärschichten (Grundmoräne, Seeton) die Sohlschicht und nicht, wie in einigen Fällen bisher irrtümlich angenommen, die Tertiäroberfläche (Kap. BI. 1, BI. 8). Weil die Moränenwällen des Andechser Höhenrückens zwischen diesen Schottern generell reich an Feinkorn sind, kann angenommen werden, daß diese in der Mehrzahl auch als Grundwasserscheiden fungieren, ober- und unterirdische Einzugsgebiete sich dann annähernd decken. Dies gilt eingeschränkt für Bereiche, wo besonders viel Schmelzwasser auftrat und dadurch erhebliche Feinkornanteile aus den Moränen fortgespült wurden, so daß hydraulische Verbindungen zu angrenzenden Niederschlagsgebieten auftreten, wie an der Naht zwischen den Loben von Ammer- und Würmseegletscher (z.B. zwischen Spornritt und Rothenfeld).

Das obere Grundwasservorkommen im Wieling-Maisinger Becken ist im wesentlichen durch die Verbreitung der spät-würmeiszeitlichen Abschmelzschotter begrenzt, wird aber partiell von kleineren Grundwasservorkommen in randlichen kiesigen Moränenpartien gespeist, die nicht mit Deckenschotterwässern des Andechser Höhenrückens in Verbindung stehen. Eines davon ist ein lokales Grundwasservorkommen südwestlich von Ascherling unmittelbar am Rand der Wieling-Traubinger Schotterflur, das auch den Ascheringer Quellen und dem Ascheringer Bach zufließt und unterstromig der Tutzing/Feldafinger Brunnen in das Grundwasservorkommen des Wieling-Maisinger Beckens übertritt. Ein weiteres gibt es in der Umgebung von Traubing. Nördlich und östlich des Maisinger Sees kommuniziert das Grundwasser der Wieling-Traubinger Schotterflur mit dem Deckenschotterwasser im Umfeld der Maisinger Schlucht (Kap. BI.3).

Oberflächennahe Grundwasservorkommen im Raum Machtlfing-Eßsee-Rothenfeld liegen von Süden nach Norden ungefähr zwischen 700-675 m ü.NN über Seetonen und Grundmoräne. Es ist nicht bekannt, inwieweit es sich dabei um großräumig zusammenhängende Vorkommen handelt. Nördlich von Rothenfeld keilen ihre Sohlschichten offensichtlich weitgehend aus, wodurch das Grundwasser in den tieferen Aquifer (s.o.) übertreten kann.

Das obere Grundwasserstockwerk bei Kerschlach (bei 700 m ü.NN) steht an unbekannt Stellen mit dem tieferen Deckenschotterwasser in Kontakt und tritt, in südliche Richtungen abfließend, z.T. in den Kerschbacher Weiher und die Quellbäche des Burgleiten-Baches (Pähler Schlucht) über. Wahrscheinlich existiert über kiesigen Moränenpartien auch ein Zusammenhang mit dem Grundwasser nordwestlich von Diemendorf zwischen Kinschbach und Majestätweiher, von wo es über den Kinschbach zur Ammer geleitet wird (Kap. BI. 8).

In der jüngeren Schotterfüllung des südlichen Mühlbachtals fließt Grundwasser um 600 m ü.NN generell nach Norden und tritt überwiegend im Bereich westlich "Mühlfeld" seeufernah aus. Anteile strömen wahrscheinlich unter der westlichen Seitenmoräne zum Ammersee-Ostufer. Aus Osten erhält es Zufluß aus den Deckenschottern des Andechser Höhenrückens (s.o.).

Weitere nennenswerte Grundwasservorkommen sind aus einigen spät- bis postglazialen Schwemmfächern am Ammerseeufer bekannt (z.B. Kienbach/Herrsching; Weißen Bach/Vorderfischen; Burgleiten-Bach/Pähl). Auch diese Vorkommen werden teilweise aus den Deckenschottern des Andechser Höhenrückens gespeist.

Die Grundwasser-Flurabstände differieren in den genannten Gebieten wegen der großen Reliefunterschiede stark und damit auch die Schutzfunktion der grundwasserüberdeckenden Schichten.

Grundwasser im nördlichen Jung- und Altmoränengürtel (Würm und Riß) - Übergangsbereich zur Münchener Schotterebene

Der nördliche Würm- und Rißmoränengürtel des Andechser Höhenrückens (Übergangsbereich) wird von trockenen, spätwürm- oder postglazialen Schmelzwasserrinnen durchquert, die sich nach Norden zunehmend bündeln und zur westlichen Münchener Schotterebene überleiten. Es gibt keine bedeutenden, an diese Rinnen gebunden Grundwasservorkommen.

Grund hierfür ist, daß diese jüngeren und meist gut durchlässigen Schotter in weiten Gebieten direkt von älteren Schottern (?Deckenschotter) unterlagert werden, so daß sich Grundwasser großflächig erst in diesem tieferen Hauptaquifer über der Tertiäroberfläche stauen kann. Von dort fließt es generell nach Nordnordosten, in den Randgebieten auch zur Pilsensee- und Würmtalrinne ab. Lediglich Hochlagen, Kuppen und Riedel der Tertiäroberfläche oder seltene Altmoränenreste unmittelbar über der Tertiäroberfläche, die besonders im Bereich der Endmoränenwälle auftreten, können einen zusammenhängenden Grundwasserspiegel verhindern. Damit bestätigt sich die in Kapitel A geäußerte Vermutung, daß in diesem Gebiet Grundwasser u.U. unter dem Endmoränengürtel hindurchleitet, wodurch oberirdische Einzugsgebiete für diese Vorkommen weitgehend unwirksam werden. Dennoch bewirken Wasserscheiden an der Tertiäroberfläche im Bereich der nördlichen Jungmoränenwälle, die mit den oberirdischen Wasserscheiden mehr oder weniger wirksamen zusammenzufallen (Abb. B53) und das Bilanzgebiet nach Norden begrenzen, daß zumindest Anteile des Grundwassers vom Andechser Höhenrücken die Münchener Schotterebene nur auf dem Umweg über das Würmtal erreichen oder über die Dröblinger Rinne zur Pilsenseerinne und von dort z.T. zum Ammersee abfließen.

Das Grundwassergefälle erhöht sich an der ungefähr WNW-ESE verlaufenden Front zwischen der westlichen Münchener Schotterebene und den äußersten Jungmoränen, wobei die Fließrichtung nördlich davon nach NNO wechselt. Als Ursache dafür kommt das ähnlich veränderte Gefälle der Grundwassersohlschicht (Tertiär) in Frage (Abb. B53).

Auch im Gebiet der nördlichen Jung- und Altmoränengürtel variieren die Flurabstände wegen der großen Reliefunterschiede stark. Die Grundwasser-Schutzfunktion ist im Bereich der Moränenwälle, besonders aber im Bereich der z.T. lößlehmbedeckten rißeiszeitlichen Moränen besser, als im Bereich der dazwischen liegenden Schmelzwasser-Schotterrinnen.

Grundwasser in der Wurzelzone der westlichen Münchener Schotterebene und dem Würmtal

Nördlich der Würm-Endmoränenwälle, in der Wurzelzone der westlichen Münchener Schotterebene, existiert ein nach Norden zunehmend mächtigeres und weitgehend geschlossenes Grundwasservorkommen mit, entsprechend der Stauer Oberfläche (Tertiär; Abb. B53), generellem Nord-Gefälle. Dieses Vorkommen reicht bis unter den Jungmoränengürtel und in Teilbereichen bis weit in das Jungmoränengebiet südlich davon und leitet höchstwahrscheinlich einen beträchtlichen Anteil des Grundwassers von dort ohne Umwege in die Münchener Schotterebene. Dabei treten im Bereich des Süd-Nord gerichteten Rißmoränengürtels, der an eine Tertiärhochlage zwischen Frohnloh und Oberbrunn gebunden ist (Abb. B53), deutlich geringere Grundwassermächtigkeiten auf.

Das Nord- bis Nordnordost gerichtete Gefälle der mittleren Grundwasser-Höhenkoten an der Würm-mündung in die Amper (hier nicht abgebildet; s. SALAMEH 1974) mit ca. 2,5 ‰ nimmt nach Süden allmählich und knicklos zu: im Mittel 4‰ zwischen Aubing und Kreuzlinger Forst, 7‰ zwischen diesem und der W-O verlaufenden Front des Jungmoränengürtels. Westlich des Trockentales von Frieding-Dröbling, es fällt mit einer Talrinne im Relief der Tertiäroberfläche (Abb. B53) zusammen, wendet sich der Grundwasserstrom im Bereich der Seitenmoränen offensichtlich nach Nordwesten in die Pilsenseesenke, die ebenfalls von einer Tertiärrinne vorgezeichnet ist (Abb. B53), von wo er sich aufgrund des Gefälles der Sohlschicht (Tertiär) aus der Umgebung von Hochstadt in entgegengesetzte Richtung zum Pilsensee und Ammersee richtet.

Das Würmtal trennt die westliche Münchener Schotterebene mit seinem nahezu geschlossenen Grundwasservorkommen von dem der Buchendorfer Hochfläche im Osten und bildet die Vorflut für das wahrscheinlich aus beiden Gebieten randlich abfließende Grundwasser. Grundwasserzufluß aus dem nördlichen Würmseeverlandungsgebiet unter den Endmoränen bei Mühlthal ist nicht nachzuweisen aber auch nicht auszuschließen. Über die "Hanfelder Rinne" (Abb. B33) strömt Grundwasser zu den Mühlthalquellen und nach den Quellaustritten in die Würm. Ein nicht austretender Anteil Quellwasser sickert einem darunter liegenden Aquifer zu und speist ebenfalls in dieses Vorkommen ein. Der Grundwasserspiegel nahe der Würmtalrinnenachse ist ähnlich flach geneigt wie die Sohle dieser Tertiärrinne (Abb. B36). Bis in den Raum Stockdorf verschwindet der Einfluß der Würmtalrinne kontinuierlich.

Mit zunehmender Grundwassermächtigkeit von Süden nach Norden und einer gegenüber der Geländeoberfläche geringer geneigten Stauer Oberfläche (Tertiär) verringert sich auch der Grundwasserflurabstand und die Schutzfunktion der grundwasserüberdeckenden Schichten nimmt ab. In gleichem Sinn nähern sich Quartär- und Tertiärgrundwasserspiegel (vgl. Abb. A17), so daß sich ungefähr auf der Linie Neugilching-Stockdorf beide Grundwasserstockwerke bei ungefähr 540 m ü.NN vereinen und deshalb dort ein Mischwasser vorliegen müßte.

3.1.3 Grundwasserstandsganglinien - Variabilität der Grundwasserstände

Die in Abbildung B59 dargestellten acht Grundwasserstandsganglinien sowie ein Quellschüttungsverlauf stammen aus unterschiedlichen Meßintervallen und sind von Süden (unten) nach Norden (oben) angeordnet. Aus (Gewinnungs-)Gebieten mit mehreren eng benachbarten Meßstellen und nur gering differierenden Grundwasserständen wurden jeweils nur Werte einer Meßstelle aufgetragen. Um gemeinsame vertikale, klimaabhängige- oder -unabhängige Grundwasserbewegungen erkennen zu können, sind den Ganglinien Monats- und Jahresniederschlagsmittel der Station Attenkam gegenübergestellt. Die Werte dieser Station weichen nicht wesentlich von denen anderer Stationen im Untersuchungsgebiet ab (vgl. hierzu Kap. BII 4.1, Abb. B62, B63, B64).

Die Ganglinien G bis I repräsentieren Grundwasservorkommen innerhalb der Jungmoränenwälle, die Ganglinien A bis D solche in der Wurzelzone der westlichen Münchener Schotterebene und des Würmtales. Die Ganglinien E und F sind Beispiele für Grundwasserstände aus dem Übergangsbereich zwischen beiden Gebieten.

Der Niederschlagsverlauf ist generell auch in den Grundwasserstandskurven zu erkennen, doch treten in einigen Bereichen unterschiedlich lange zeitliche Verzögerung auf.

In den Kurven A und B, die den Grundwassergang der Würmtalrinne und seiner Randgebiete (Kurve B) charakterisieren, wird dieser Trend durch starke Schwankungen im Meter-Bereich überlagert, wie sie häufig in rinnenförmigen, seitlich mehr oder weniger begrenzten Grundwasservorkommen ohne mächtige wasserhemmende Deckschichten auftreten (größere Amplituden). Infolge von Starkniederschlägen kann dort eine relativ rasche Versickerung mit kurzfristigem Grundwasserauf- und abbau erfolgen. Im Bereich Königswiesen (Kurve B) ist zudem besonders bei Extremniederschlägen mit Infiltrationen von Würmwasser zu rechnen, wie dies offensichtlich im August/September 1993 (N-Maximum im Juli) oder 1995 (hier nicht gezeigter Grundwasserstand bei 551/552 m ü.NN) der Fall war (Kap. BI.5, BI.6). Besonders in den Kurven A, B und F, angedeutet auch in den Kurven C-E, fallen zwischen 1986-1988 Doppel- bzw Dreifach-Maxima, in den Kurven A bis E Doppel-Maxima zwischen 1993-1994 auf. Dazwischen liegen ungefähr 4 Jahre mit schwächeren positiven Amplituden.

Insgesamt bilden die Grundwasservorkommen der Gebiete A-E ein weitgehend zusammenhängendes System, das in seinem östlichen Randbereich, dem Würmtal, deutlicher und spontaner auf Niederschläge bzw. Infiltrationswässer reagiert. Für die etwas südlicher gelegenen Würmtalquellen (Kurve F) ist dies nicht belegt da dort der Beobachtungszeitraum zu kurz war und die Amplitude in l/s angegeben ist.

Im Gegensatz zu den Beispielen A-F variiert der Grundwassergang südlich der Endmoränengürtel im Gewinnungsgebiet der Maisinger Schlucht (Kurve G und H) und dem im Wieling-Maisinger Becken (Kurve I) über die Jahre wesentlich geringer.

In der Maisinger Schlucht stellt sich in der westlichen Brunnengruppe (Kurve G) ein "Level" um 609,5 m ü.NN ein, in der östlichen Brunnengruppe (Kurve H) ein "Level" um 601,5 m ü.NN. Markante Maxima darüber treten kaum auf, die meisten Variationen sind niederschlagsbedingte Reaktionen. Auffallend sind dagegen Minima in Kurve G in den Jahren 1987 und 1991 (ca. 605 m ü.NN), in Kurve H in den Jahren 1992 und 1993 (ca. 597,5 m ü.NN). Während diese Minima in Kurve G wahrscheinlich auf Meßungenauigkeiten z.B. infolge von Restabsenkungen oder auf Änderungen der Fließrichtung, wie sie in Kapitel BI.3 für das Brunnenumfeld beschrieben werden, zurückzuführen sind, scheinen sie in Kurve H von den Niederschlägen abhängig zu sein. Ungefähr zeitgleich treten auch in der Kurve G sowie in der Kurve I (Wieling-Maisinger Becken) kleinere Grundwasserspiegelaussenkungen auf.

Die o.g. "Levels" der Kurven G und H zeigen wohl eine Dominanz des Deckenschotterwassers an, die von raschen Grundwasserschwankungen im Meter-Bereich überlagert werden. Diese Schwankungen sind offensichtlich recht eng an die saisonalen Niederschläge gebunden und damit auch an den Einfluß des angekoppelten, oberflächennahen Grundwasservorkommens im Wieling-Maisinger Becken, u.U. auch an Infiltrationen aus dem Maisinger Bach.

Für das Wieling-Maisinger Becken zeigt die Kurve I nur geringe, meist niederschlagsabhängige Schwankungen im Dezimeter-Bereich mit deutlicheren Minima in den Jahren 1992 und 1993 (1994), wie sie besonders auffällig auch in der westlichen Brunnengruppe in der Maisinger Schlucht auftreten, mit etwa dreimonatiger Verzögerung auch in den nördlichen Gebieten (Kurven A bis E).

Die o.g. Verzögerungen zwischen Niederschlagsereignissen und Grundwasserspiegelschwankungen können aus den unterschiedlichen Flurabständen, Deckschichtenausbildungen und Einzugsgebietsgrößen sowie den dadurch bewirkten unterschiedlichen Sickerzeiten resultieren, aber auch aus Schneeakkumulation und -schmelze oder der sich jahreszeitlich verändernden Vegetationsdecke.

Synchrone Grundwasserspiegelschwankungen, wie sie in den meisten Ganglinien festzustellen sind und überwiegend auf einer ähnlichen jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung bzw. auf einer ähnlichen Grundwasserneubildung beruhen, sind allerdings kein sicherer Beleg für ein gemeinsames Grundwasserstockwerk zwischen den Meßstellen, da manche Schwankungen, besonders wenn sie über große Gebiete mit unterschiedlichen Untergrundeigenschaften annähernd zeitgleich erfolgen, möglicherweise auch durch extreme Luftdruckänderungen verursacht werden (BGLA 1982, S. 20).

In Bereichen wie der Maisinger Schlucht oder dem Würmtal überlagern sich wahrscheinlich verschiedene derartige Effekte aneinander gekoppelter Grundwasserstockwerke, wobei sie sich mehr oder weniger aufheben oder verstärken können. Solche Situationen treten auch dort auf, wo Grundwasser verschiedener Stockwerke aufgrund auskeilender Stauschichten ständig oder zeitweise zusammenfließt und, wie dies z.B. im Bereich nördlich von Rothenfeld festgestellt wurde, dadurch abnorme Grundwasserspiegelschwankungen und Konzentrationsänderungen bestimmter Wasserinhaltsstoffe verursacht (Kap. BI.4).

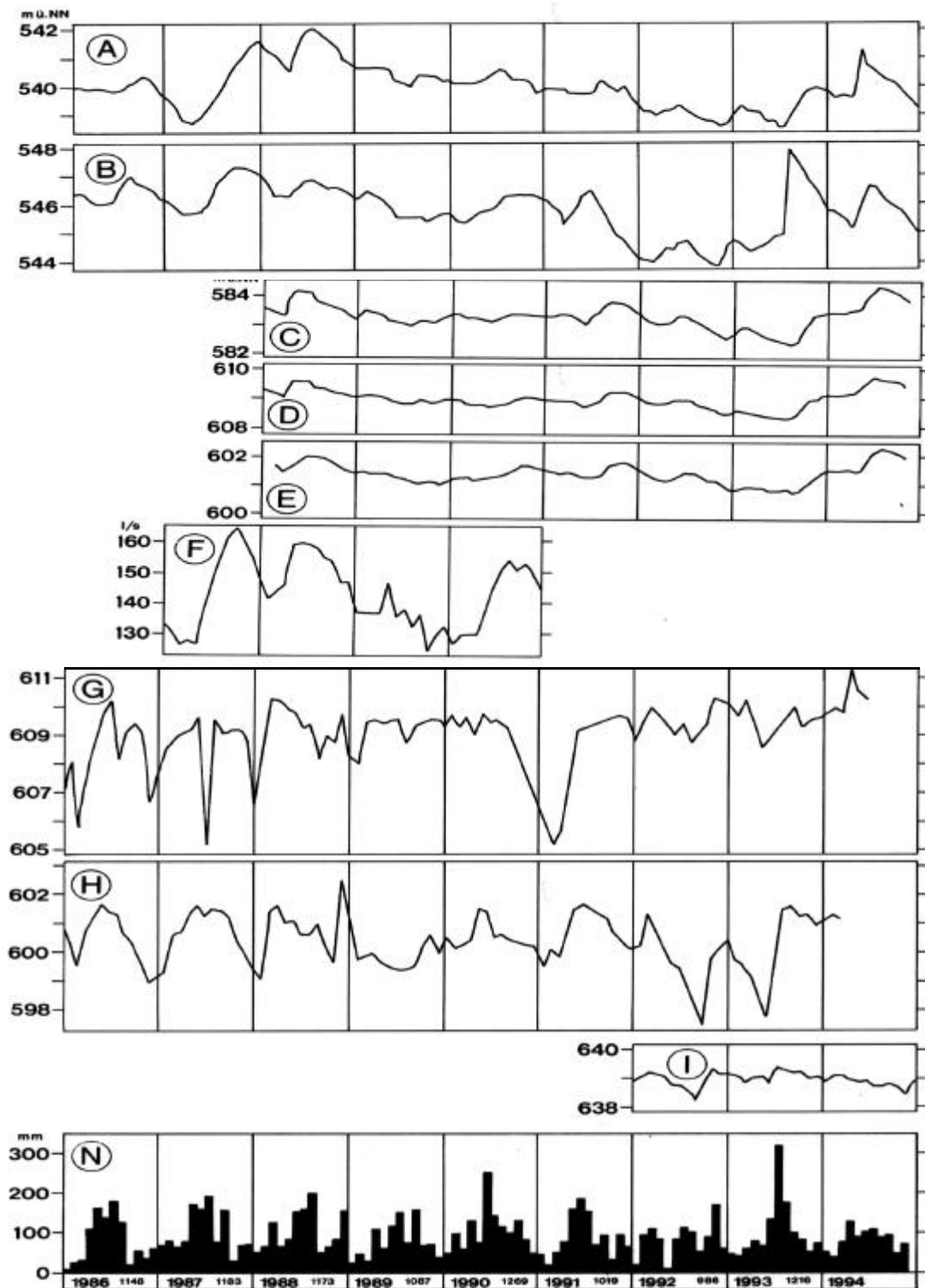


Abb. B59: Ausgewählte Grundwasserstandsganglinien (m ü.NN) und Quellschüttungen (l/s).- Niederschlagshöhen (Station Attenkam in mm) - 1986-1994

A:	Brunnen 7 Kreuzlinger Forst	1986-1994 (Kap. BI.7.3)
B:	Brunnen 1 Königswieser Forst	1986-1994 (Kap. BI.6.3)
C:	Amtlicher Grundwasser-Pegel Hochstadt	1988-1994 (Kap. BI.4.3)
D:	Amtlicher Grundwasser-Pegel Unering	1988-1994 (Kap. BI.4.3)
E:	Brunnen I Mamhofen	1988-1994 (Kap. BI.4.3)
F:	Mühlthalquellen (Fischzucht-, Bahn- und Iglquelle)	1987-1989 (Kap. BI.5.3)
G:	Brunnen IV Maisinger Schlucht (westliche Brunnengruppe)	1986-1994 (Kap. BI.3.3)
H:	Brunnen I Maisinger Schlucht (östliche Brunnengruppe)	1986-1993 (Kap. BI.3.3)
I:	Brunnen I Wieling-Maisinger Becken	1992-1994 (Kap. BI.1.3)
N:	Niederschlags-Monatsmittelwerte an der Station Attenkam	1986-1994

3.2 Beschaffenheit des Grundwassers - Grundwassergefährdung

In den Fallstudien (Kap. BI) wurde gezeigt, daß anhand wasserchemischer und -physikalischer Analysen, wie die der Nitrat- und O₂-Konzentration, der elektrischen Leitfähigkeit oder der Tritium- und ¹⁸O-Gehalte, hydraulische Zusammenhänge oft besser verständlich werden, als allein nach geologischen Erkundungen. Für das gesamte Untersuchungsgebiet ergibt sich aus der Zusammenschau dieser Analysen, daß der Chemismus aller untersuchten Grundwässer typisch ist für quartäre, vorwiegend karbonatische Grundwasserleiter im nördlichen Alpenvorland (vgl. Kap. AI.3.3, Tab. 3a/b). Es handelt sich hierbei um sogenannte Kalkschotterwässer (Typ: Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Wasser), die im Kalk-Kohlensäuregleichgewicht stehen, schwach alkalisch sind und in der Regel einen Gehalt an freiem Sauerstoff von ca. 7,5 mg/l bis zur Sauerstoffsättigung aufweisen. In einigen Fällen treten reduzierte, eisen- und manganhaltige Wässer auf, die oft im Kontakt zu Moorgebieten stehen.

Abhängig von der Durchlässigkeit und Mächtigkeit der Deckschichten, den Einzugsgebietsgrößen sowie der Nutzung, wurden mehr oder weniger hohe Konzentrationen überwiegend anthropogen eingetragener Inhaltsstoffe (z.B. Nitrat, Chlorid, Sulfat, Mikrobiologische Belastung, PSM, FCKW, u.a.) im Grundwasser festgestellt.

So waren hohe Nitratkonzentrationen und mikrobiologische Belastungen im Grundwasser der Tutzinger/Feldafing-Pöckinger Brunnen im Wieling-Maisinger Becken anlaß zu zeitweisen Förderbeschränkungen und zur Erkundung neuer Grundwasservorkommen im Bereich der Pfaffenbergrinne und bei Aschering (Kap. BI.1). Nitratbelastungen und bakteriologische Verunreinigungen in den Brunnen der Maisinger Schlucht veranlaßten die Stadt Starnberg zur Errichtung der Gewinnungsanlagen bei Mamhofen und Hochstadt (Kap. BI.4). Bakterielle Verunreinigung und erhöhte Nitratkonzentrationen an den Mühlthalquellen (Kap. BI.5) hatten die zeitweise Stilllegung einer Förderanlage und eine damit verbundene Überlastung der Förderanlagen im Königswieser- und Kreuzlinger Forst zur Folge (Kap. BI.6 und 7). In den Königswieser Brunnen traten dadurch förderungsbedingte erhöhte Nitratgehalte auf sowie mikrobielle Belastungen durch infiltriertes Würmwasser (Kap. BI.6). Einige Brunnen der Gewinnungsanlage im Kreuzlinger Forst enthielten neben anderem zu hohe PSM-Konzentrationen (Kap. BI.7). Im alten Flachbrunnen bei Kerschlach bereiteten ebenfalls zu hohe Nitrat- und PSM-Konzentrationen Probleme (Kap. BI.8). Mit ähnlichen Mißständen mußte sich auch die Gemeinde Herrsching auseinandersetzen (Kap. BI.9).

Regionale Variationen solcher Grundwasserbelastungen werden in Abbildung B60 exemplarisch anhand der Nitratkonzentrationen aufgezeigt da andere Parameter bei weitem nicht überall und so zahlreich gemessen werden. Daneben sind einige Isotopenalter angeführt. Die Analysenergebnisse dazu stammen hauptsächlich aus Gutachten der in Tabelle B1 genannten Ingenieurbüros, vom Landesamtes für Wasserwirtschaft (BLFW), von Wasserzweckverbänden sowie von den o.g. betroffenen Gemeinden. Da diese Werte keine Stichtagsanalysen über größere Gebiete bzw. auch keine Analysen einheitlicher Meß-Zeitintervalle darstellen, sind regional nur gering abweichende Konzentrationen kein verlässlicher Hinweis auf unterschiedliche Einzugsgebiete der Wässer oder auf unterschiedliche Nutzungen bzw. Belastungsquellen in diesen Gebieten. In der Säulendarstellung werden deshalb große Klassenbreiten von 10 mg/l verwendet und damit nur wesentliche Konzentrationsunterschiede hervorgehoben. Die gesamte Säulenhöhe kennzeichnet die höchste an der jeweiligen Meßstelle gemessene Nitratkonzentration, der gesamte farbige Bereich die Bandbreite der insgesamt gemessenen Konzentrationen. Einzelne Farbfelder markieren Konzentrationsbereiche mit mindestens einem Meßwert. Zusätzliche Angaben, wie Meßintervalle bzw. -zeitpunkte an den einzelnen Meßstellen sind meist in den Fallstudien (Kap. BI) zu finden.

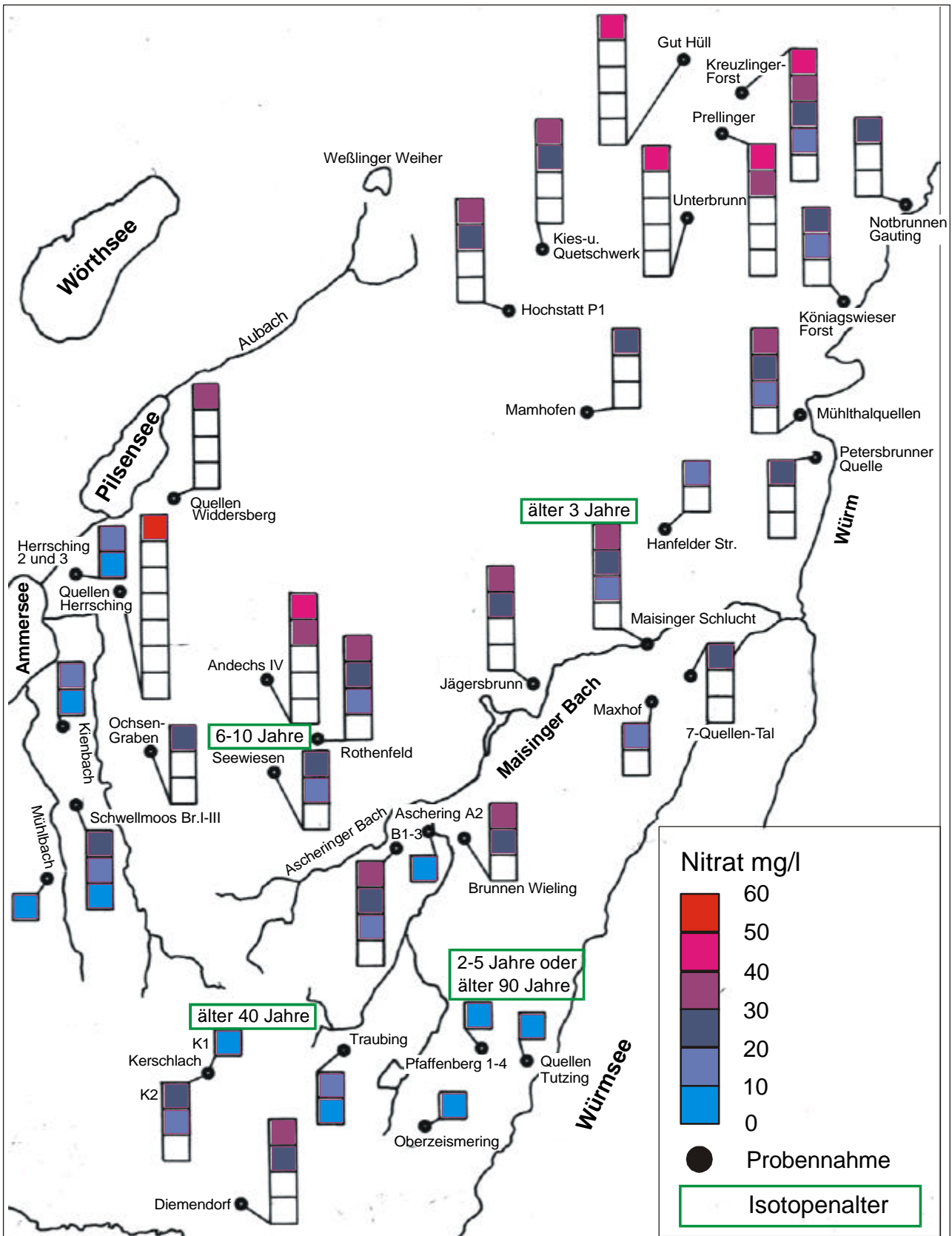


Abb. B60: Nitratkonzentrationen und Isotopenalter von Grundwässern und einigen Oberflächengewässern zwischen Ammersee, Pilsensee, Würmsee und Würmtal

Insgesamt wird hervorgehoben, daß der Richtwert für Nitrat von 25 mg/l häufig deutlich überschritten, der Grenzwert von 50 mg/l in einigen Fällen nur knapp unterschritten wird, woraus nahezu im gesamten "Fünfseenland" akuter Handlungsbedarf hinsichtlich Grundwasserschutz und -sanierung abzuleiten ist.

Dabei treten auf dem Andechser Höhenrücken südlich der Endmoränengürtel die höchsten Nitratkonzentrationen v.a. in oberflächennahen Grundwasservorkommen auf, wie in der Wieling-Traubinger Schotterflur (22,5-35,6 mg/l) oder in kleineren lokalen Grundwasservorkommen, wie jenem westlich von Aschering (12,5-34,8 mg/l). In den tieferliegenden Deckenschotterwässern sind die Werte dagegen deutlich niedriger. Ursache hierfür sind im wesentlichen die im Süden insgesamt mächtigere Grundwasserüberdeckung und ihre gegenüber den nördlichen Gebieten geringere Wasserdurchlässigkeit. Im Übergangsbereich zur westlichen Münchener Schotterebene und in ihrer Wurzelzone sind trotz größerer Flurabstände die Nitratkonzentrationen generell noch etwas höher als in den oberflächennahen Grundwasservorkommen der südlichen Gebieten. Als Quelle der Nitratbelastungen kommt hier zuerst die intensive landwirtschaftliche Nutzung in Betracht. Begünstigt wird der größere Nitratreintrag durch gut durchlässige, grundwasserüberdeckende Quartärschichten.

Isotopenuntersuchungen an Grundwässern über der Tertiäroberfläche ergeben im Süden (Kerschlach, Tutzing) Verweilzeiten zwischen 40, vermutlich sogar über 90 Jahre, im Raum Rothenfeld und um Maising nur zwischen ca. 3 und 10 Jahre.

Hydraulische Zusammenhänge definiert nach der Nitratkonzentration im Grundwasser:

Am Würmseeufer treten bei Tutzing/Garatshausen an der Grenze Tertiär/Quartär Quellwässer aus. Weiter nach Westen ist dieses Grundwasservorkommen auch aus einigen Pegelbohrungen im Bereich der Pfaffenbergrinne bekannt. Es ist an allen Meßstellen nur gering nitratbelastet (3,4-7,8 mg/l), jedoch differieren die Sauerstoffkonzentrationen deutlich, so daß angenommen werden kann, daß es aus unterschiedlichen Einzugsgebieten gespeist wird. Im Südwesten vermehrt aus oberflächennahen Grundwasservorkommen in der Umgebung des Deixlfurter Sees, im Nordwesten wahrscheinlich durch älteres Grundwasser eines vermutlich tieferen Grundwasserstockwerk (Kap. BI.2). Ein hydraulischer Zusammenhang mit Deckenschotterwasser westlich des Wieling-Maisinger Beckens ist nicht festzustellen. Im Westen des Wieling-Maisinger Beckens lassen sich drei Grundwasserstockwerke mit unterschiedlichem Chemismus unterscheiden (Kap. BI.1). Ein tieferes, artesisch gespanntes, deutlich sauerstoffreduziertes und nahezu nitratfreies Grundwasservorkommen aus den Deckenschottern des westlichen Andechser Höhenrückens (Ascheringer Rinne), ein oberflächennahes Grundwasservorkommen in den jüngeren Schottern des Wieling-Maisinger-Beckens (Wieling-Traubinger Schotterflur) sowie ein kleineres, oberflächennahes Grundwasservorkommen in kiesiger Moräne am Beckenrand westlich von Aschering. Das tiefe Deckenschotterwasser hat keine erkennbare Verbindung zu den beiden anderen Stockwerken. Dagegen infiltriert Wasser des kleinen randlichen Vorkommens in das Grundwasser der Wieling-Traubinger Schotter. Nördlich des Maisinger Sees tritt das vereinte, stark nitratbelastete oberflächennahe Grundwasser in den See und in einige Drainraben über. Fallbach und Maisinger Bach leiten einen erheblichen Anteil davon als Bachwasser ab, wobei ein Teil davon wahrscheinlich in das Grundwasservorkommen der Deckenschotter im Umfeld der Maisinger Schlucht infiltriert. Daraus resultieren die gegenüber anderen Deckenschotterwässern in der Umgebung des Wieling-Maisinger Beckens (z.B. in der Pfaffenberg- und Ascheringer Rinne) überdurchschnittlich hohen

Nitratwerte an einigen Brunnen in der Maisinger Schlucht (Kap. BI.3). Im benachbarten Maxhof-Gebiet und im Umfeld des "7-Quellen-Tales" weist das Grundwasser ebenfalls deutlich erhöhte Nitratkonzentrationen auf. Auch hier sind ähnliche hydraulische Verbindungen zu vermuten.

Bei Kerschlach (Kap. BI.8), um Rothenfeld (Kap. BI.4) und im Mühlbach-Tal südlich von Herrsching (Kap. BI.9), sind aus dem Grundwasserchemismus jeweils zwei getrennte Stockwerke abzuleiten, die zumindest zeitweise miteinander in Verbindung treten können. So ist das tiefere Grundwasser (Deckenschotter) im Nahbereich des Gutes Rothenfeld deutlich geringer nitratbelastet als das ca. zwei Kilometer nördlich davon erbohrte Wasser im Rothenfelder Forst, wo vermehrt stärker belastetes Grundwasser aus dem hangenden Grundwasserstockwerk zuläuft. Bei Kerschlach ist das tiefere, kaum kontaminierte Grundwasserstockwerk (Deckenschotter) ebenfalls nicht ausreichend gegen das hangende, stärker belastete Grundwasser isoliert. Im Mühlbach-Tal bei Herrsching mischt sich geringer nitratbelastetes Grundwasser aus den Deckenschottern des Andechs-Machtlfinger Hochgebietes mit höher belastetem Grundwasser der randlich angelagerten jüngeren Talschotter..

An den Mühlthalquellen tritt Wasser anteilig in die Würm und in das Grundwasser des Würmtales über (Kap. BI.5). Südlich von Gauting infiltriert Würmwasser temporär in dieses Grundwasservorkommen und beeinflusst die Wasserqualität in den Brunnen bei Königswiesen (Kap. BI.6). Aus den randlichen Hochgebieten des Würmtales, zwischen Hanfeld, Oberbrunn und Frohnloh im Westen sowie der Umgebung von Buchendorf im Osten, fließt Grundwasser ebenfalls in die Würmtalrinne. Weiter nach Norden leitet zumindest ein Teil des Grundwasserstromes der Würmtalrinne bis in die Umgebung der Gewinnungsanlagen im Kreuzlinger Forst, wobei vermutlich Schadstoffe aus dem Raum Gauting bis dorthin mitgeführt werden. Im Bereich dieser Gewinnungsanlage fließt zudem schadstoffbelastetes Grundwasser aus dem westlichen Hochgebiet um Frohnloh-Penttenried zu.

Ähnlich wie die hier diskutierten Nitratkonzentrationen reichern sich auch andere Schadstoffe im Grundwasser an und breiten sich, auch über oberirdische Einzugsgebietsgrenzen hinaus und in benachbarte oder tiefere Grundwasservorkommen aus. In diesem Zusammenhang sind als besonders problematisches Beispiel vermutete Schadstoffe in aufgelassenen Kiesgruben im Süden der Wieling-Traubinger Schotterflur anzuführen (im ungünstigsten Fall Rüstungs- und Pharmaabfälle).

Generell bedeutet dies, daß Nutzungseinschränkungen und -kontrollen sowie Sanierungsmaßnahmen veranlaßt werden müssen, die auch über den Rahmen der aus den Ergebnissen der Fallstudien (Kap. BI) ersichtlichen Maßnahmen hinausgehen. Dies trifft besonders auf die tieferen, oft einzugsgebietsübergreifenden, meist noch gering belasteten Grundwasservorkommen zu, die aber häufig an hangende, oberflächennahe, stärker belastete Grundwasservorkommen angekoppelten sind.

4 Hydrologie - Wasserhaushaltsbilanz

In den vorangegangenen Kapiteln wurden schon Gründe genannt, die vermuten lassen, daß Grundwasser ständig oder zeitweise von einem oberirdischen Einzugsgebiet (F_N) in ein anderes übertritt. Zu unterscheiden gilt nun einerseits der Grundwasseranteil, der unmittelbar nach Verlassen des Jungmoränengebietes (Bilanzgebiet, Abb. B61) ohne Umwege in die Münchener Schotterebene gelangt, von zwei vermuteten Teilströmen, wovon einer nach Westen in Richtung Pilsenseerinne und weiter zum Ammersee abzweigt, ein anderer im Osten zur Würmtalrinne und von dort in die Münchener Schotterebene führt, andererseits Grundwasserübertritte innerhalb des Bilanzgebietes wie z.B. zwischen dem Wieling-Maisinger Becken (Kap. BI.1) und dem westlichen Würmsee-Ufergebiet (Kap. BI. 2) oder zwischen dem nordwestlichen Andechser Höhenrücken (Kap. BI. 4) und dem Mühlbach-Tal bzw. der Pilsenseerinne (Kap. BI.9).

Für eine Prognose der Grundwasservorräte ist von Interesse, inwieweit die Grundwasserneubildung auf langjährige und jahreszeitliche Schwankungen der Niederschlagsmenge reagiert.

Diesen Fragen wird mit Hilfe von Wasserhaushaltsbilanzen und Abflußanalysen nachgegangen.

Die dazu ausgewählten Bachgebiete, ihre Gebietsgrößen und oberirdischen Wasserscheiden, sind in Abbildung B61 dargestellt. Darauf markiert sind auch Stationen des Deutschen Wetterdienstes (*DWD*), welche Klima- und Wasserhaushaltsparameter wie Niederschlag (*N*), Abfluß (*A*), Verdunstung (*V*), sowie Lufttemperatur und -druck aufzeichnen, automatische Schreibpegel des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (*BLFW*), die regelmäßig Grund- und Bachwasserstände registrieren sowie die Positionen eigener Abflußmessungen.

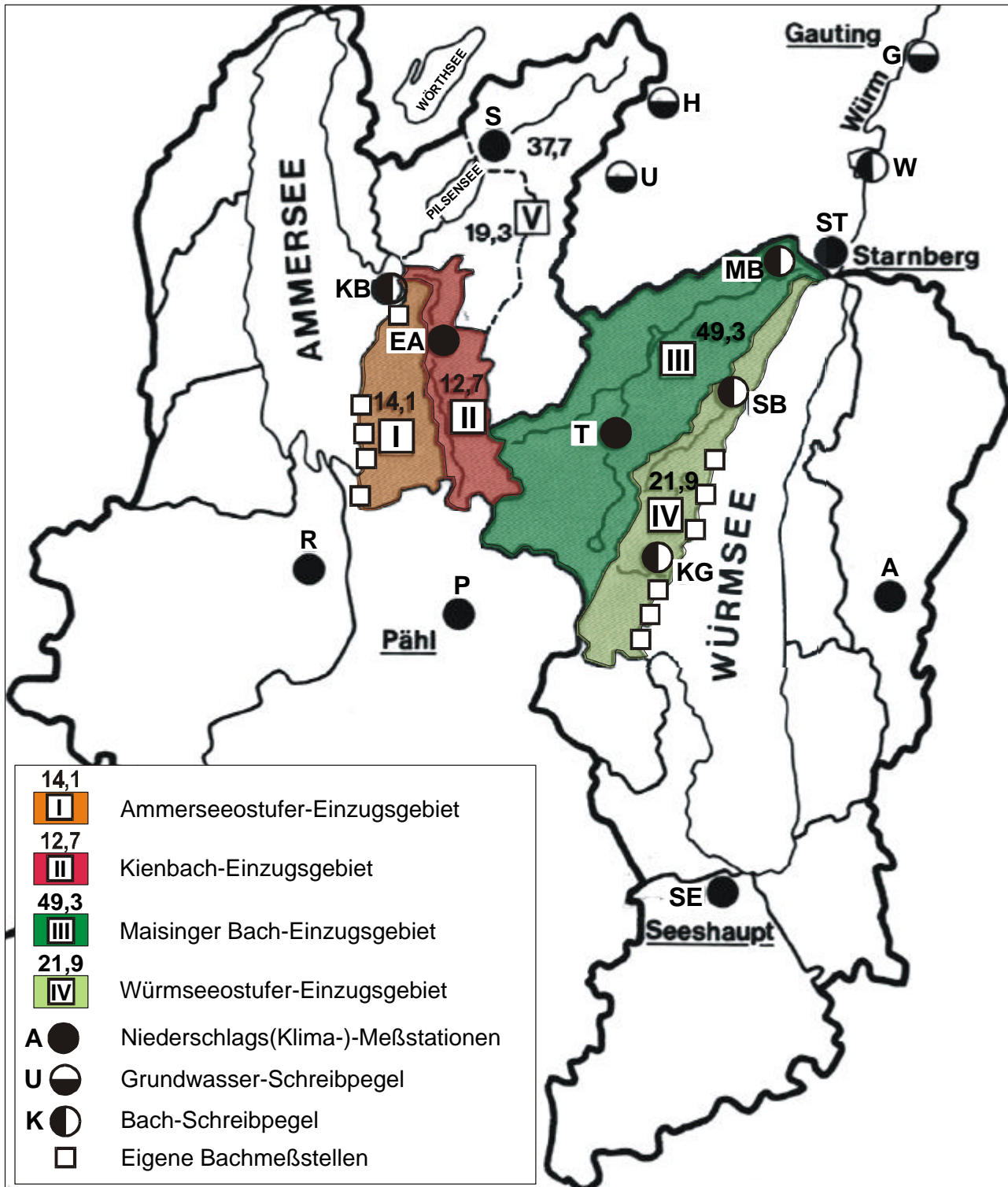


Abb. B61: Übersicht der oberirdischen Einzugsgebiete (BLFW 1978), Klima(Niederschlags-) stationen (DWD), automatischen Schreibpegel (BLFW), eigenen Bachmeßstellen

Oberirdische Einzugsgebiete: I =Ammerseeostufer, II=Kienbach, III=Maisinger Bach, IV=Würmseeostufer mit Gebietsgrößen km²;
Niederschlags-(Klima-) stationen: S=Seefeld-Hechendorf, ST=Starnberg, EA=Erling-Andechs, T=Traubing/Tutzing, R=Raisting, P=Pähl-Vorderfischen, A=Attenkam, SE=Seeshaupt;
Schreibpegel Grundwasser: H=Hochstadt,U=Unering,G=Gauting;
Schreibpegel Oberflächengewässer: MB= Maisinger Bach (Georgenbach),KB=Kienbach, SB=Starzenbach,KG=Kalkgraben;
Eigene Bachmeßstellen (s. Tab. B15);

Weil nach den o.g. Vermutungen in einigen Gebieten F_{GW} ungleich F_N , der Abfluß A also nicht einfach aus N-V (Niederschlag minus Verdunstung) errechnet werden kann, beschränken sich die folgenden Wasserhaushaltsberechnungen auf Gebiete, in denen Bach-Abflußmessungen in ausreichender Zahl und Dichte zur Verfügung standen bzw. durch eigene sinnvoll ergänzt werden konnten (Abb. B61; Tab. 15).

Die Wasserhaushaltsberechnungen basieren auf der allgemeinen Bilanzformel:

$$N = ET + A$$

N = Niederschlag
 ET = Verdunstung
 A = Abfluß

Alle drei Größen werden in mm/a, m³/s bzw. m³/a angegeben

Die daraus resultierenden Bilanzwerte sind in Tabelle B16 zusammengestellt.

Jahres- und Monatsmittelwerte der Niederschlagshöhen stammen von den Stationen Attenkam, Traubing, Starnberg, Andechs und Pähl (Vorderfischen), Tagesmittelwerte von den Stationen Traubing und Andechs. Jahres- Monats- und Dekadenmittel der Lufttemperatur (T_{14} und Tagesmittel), der relativen Luftfeuchte und des Dampfdrucks (um 14 Uhr) beziehen sich immer auf die Klimameßstationen Attenkam und Pähl-Vorderfischen, wobei Pähl-Vorderfischen erst ab 1988 existiert. In den meisten Fällen wurden Werte jener Stationen herangezogen, die sich in der zum jeweiligen Einzugsgebiet günstigsten geographischen Lage befinden (Abb. B61).

Da dem Autor zu Beginn dieser Arbeit Abflußmessungen der Hauptbäche nur für dem Zeitraum von 1979(80) bis 1991 zur Verfügung standen (Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft), beschränkt sich auch die Berechnung der übrigen Größen auf dieses Intervall (=mittelfristiger Zeitraum).

4.1 Niederschlag (N)

Für Einzelberechnungen aus Tages- bzw. Dekadenwerten innerhalb des ausgewählten mittelfristigen Zeitraums (1979/80-1991) wurde das hydrologische Jahr 1989 herausgegriffen (Nov. 1988 bis Okt. 1989), da sich in diesem Jahr die Niederschlagssummen der meisten Meßstationen weniger als in anderen Jahren vom Mittel aller Stationen (1104 mm) unterscheiden und diesem Jahr mehrere Jahre mit normaler Niederschlagssumme vorausgingen (1985-1988). Es konnten deshalb für 1989 auch durchschnittliche Grundwasserstände angenommen werden.

Weitere Parameter für Verdunstungsberechnungen (Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit um 14 Uhr: T_{14} , F_{14}) werden langjährig nur an der östlich des Bilanzgebietes gelegenen Station Attenkam ermittelt. Dort waren die Niederschläge 1989 jedoch ähnlich hoch wie an den übrigen Stationen (Abb. B62, B63, B64), so daß diese Werte ohne Korrektur in die Berechnungen für das Jahr 1989 übernommen werden konnten.

In den Teil-Bilanzgebieten (Abb. B61) variieren die zur Bilanzierung verwendeten Niederschlagshöhen zwischen 971 mm (Station Pähl-Vorderfischen 1989) und 1147 (Station Traubing/Tutzing 1989). Für das gesamte Bilanzgebiet errechnet sich daraus für den mittelfristigen Zeitraum ein Jahresmittelniederschlag von rd. 107 Mio. m³, für das Jahr 1989 rd. 109 Mio. m³, wovon auf das Teilgebiet Würmsee-West (IV) im Mittel rd. 80 Mio. m³, auf das Gebiet Ammersee-Ost (I) rd. 27 Mio. m³ entfallen. 1989 waren es in diesen beiden Teilgebieten rd. 82 Mio. m³ bzw. 27 Mio. m³. Im Gebiet Ammersee-Ost fallen ca. 10% weniger Niederschläge pro Flächeneinheit als im Gebiet Würmsee-West.

Die Jahresniederschläge zeigen im mittelfristigen Meßzeitraum (1979-1991) an 5 Stationen im Untersuchungsgebiet ein annähernd paralleles Kurvenbündel (Abb. B62). Die Werte der westlichen Stationen liegen im Mittel rd. 4% (Andechs) bzw. rd. 10% (Pähl-Vorderfischen) unter dem Mittelwerte aller Stationen, während an der östlich gelegenen Station (Attenkam) der Wert rd. 8 % darüber liegt.

Langjährige monatliche Niederschlagsmittel der Reihen 1951-1988, bzw. 1931-1960 (Abb. B63) zeigen im Jahresgang ein sinusförmiges Kurvenbündel, mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen im Sommerhalbjahr und geringeren Niederschlägen im Winterhalbjahr. Auch Monatsmittelwerte des Jahres 1989 (Abb. B64) weisen diesen Trend auf, wobei saisonale Schwankungen nicht geglättet sind.

Entsprechend der Variabilität der Niederschläge sind u.U. auch regionale und saisonale Abweichungen bei der Grundwasserneubildung zu erwarten.

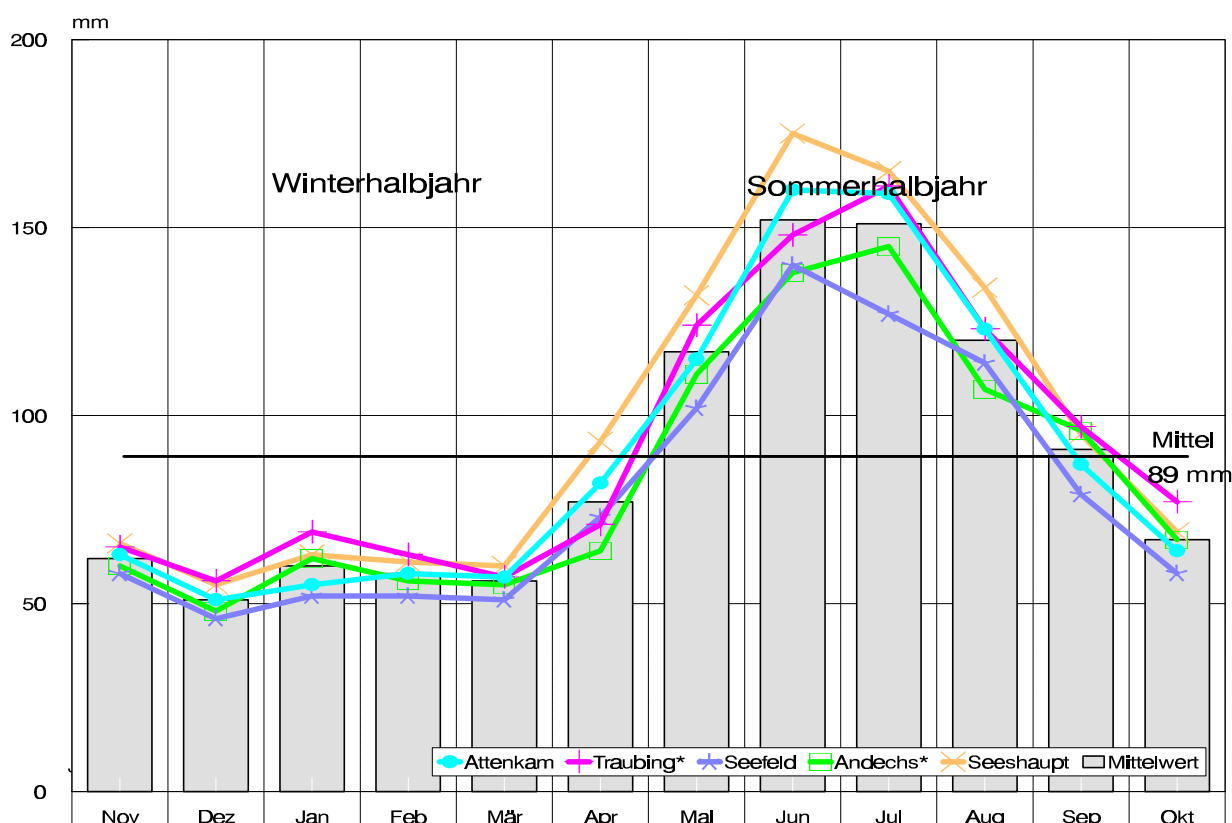


Abb. B62: Jahresniederschläge an verschiedenen Meßstationen (1979-1991)

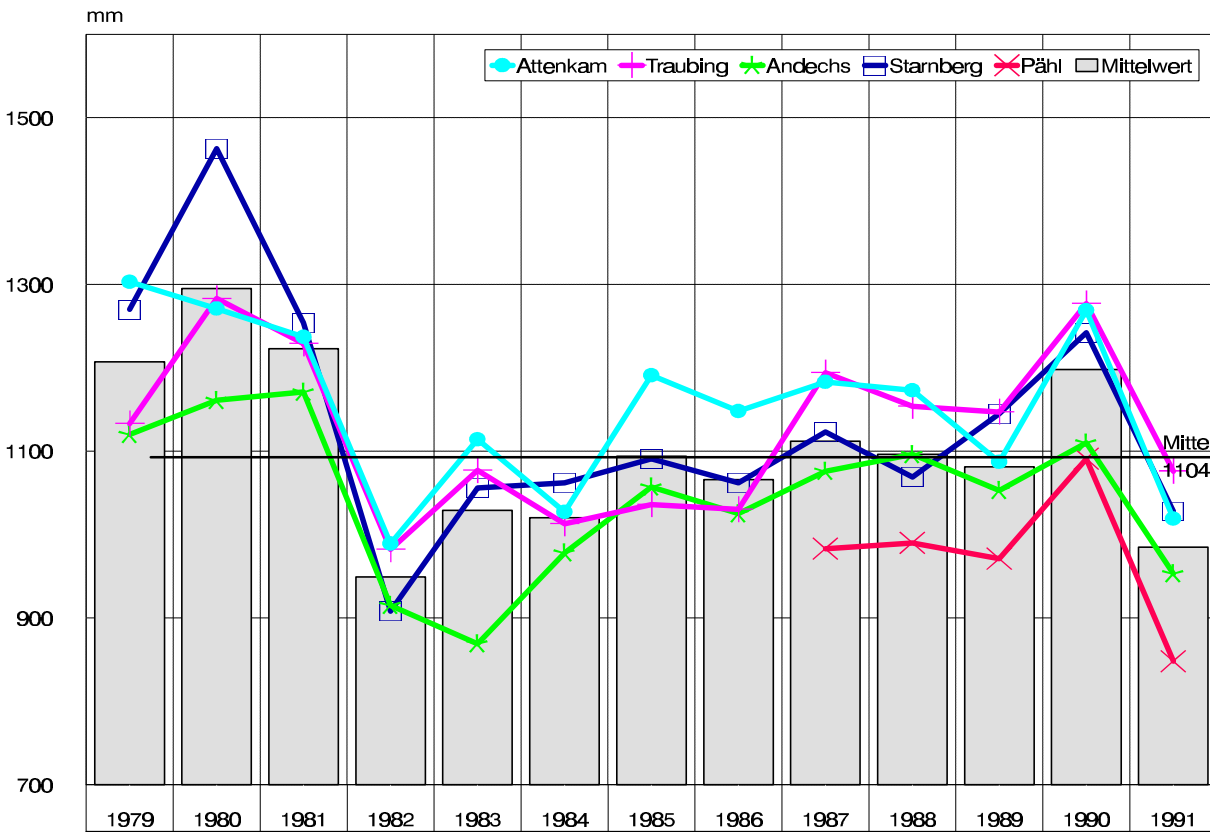


Abb. B63: Langjährige Monatsniederschlagsmittel an verschiedenen Meßstationen (1951-1988/1931-1960*)

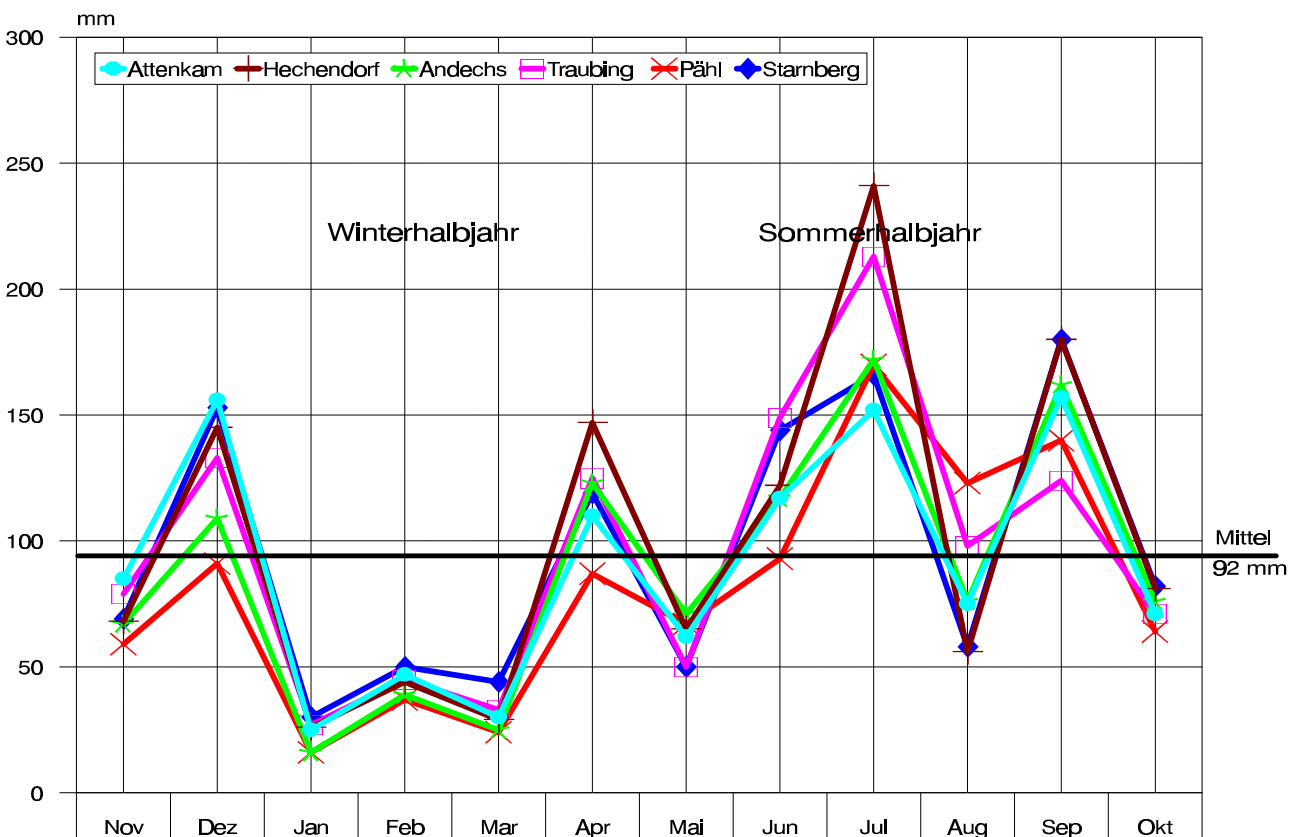


Abb. B64: Monatsniederschlagsmittel im hydrologischen Jahr 1989 an verschiedenen Meßstationen

4.2 Verdunstung (V, ET)

4.2.1 Auswahl der Meßgrößen und Berechnungsverfahren

Verdunstungsberechnungen verschiedener Autoren in unveröffentlichten hydrogeologischen Gutachten in Teilen des Untersuchungsgebietes streuen zwischen ca. 450 und 650 mm, Werte aus Isolinienkarten liegen zwischen 550 bis 600 mm (Abb. A13). Um eventuell genauere Zahlen zu erhalten, wurden zuerst vergleichende Berechnungen mit verschiedenen Formeln (MATTHESS 1983, S.297 ff) durchgeführt. In die folgenden Bilanzrechnungen eingegangen sind die nach HAUDE (1952, 1958) und nach TURC (1954; in: MATTHESS 1983, S.300).

Berechnungen nach HAUDE erbringen für kürzere Zeiten die bessere Auflösung und berücksichtigen die Tatsache, daß der Hauptanteil der Verdunstung in den wärmeren Frühhmittagsstunden erfolgt (Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit um 14 Uhr: T_{14} , F_{14}). In die Formel nach HAUDE wurden für das hydrologische Jahr 1989 T_{14} - und F_{14} - Dekadensummen, für den 13(12)-Jahreszeitraum Monatsmittelwerte, beide berechnet aus Tagesmitteln eingesetzt. Die Verdunstungshöhen nach TURC wurden aus Jahrestemperaturmitteln und Jahresniederschlagshöhen berechnet (Formeln im Anh.5).

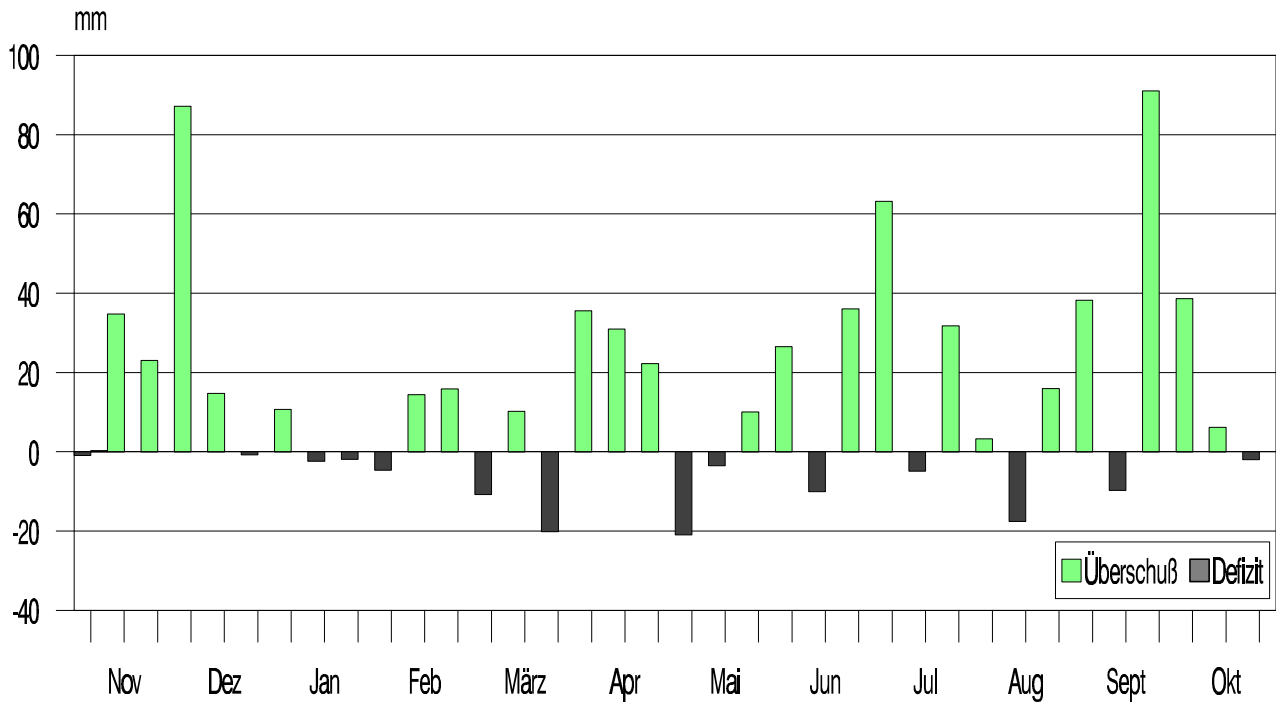
BAUMANN (1994, S. 32) berechnete ET_{pot} nach HAUDE aus Monatsmittelwerten für die Jahre 1983-1992 aus klimatischen Faktoren der Klimastation Augsburg-Mühlhausen ohne Höhenkorrekturfaktor. Daraus resultieren jährliche Verdunstungshöhen zwischen 474-648 mm oder 57- 92%, im 10-Jahresmittel 77% Verdunstungsanteil am Niederschlag (für das hydrologische Jahr 1989 wurden rd. 552 mm oder rd. 73% Verdunstungsanteil ermittelt). Der mittlere Abflußanteil liegt demnach im Gebiet um die Meßstation bei 167 mm, bzw. 23% des Niederschlages.

Nach DAMMANN (1965, S. 321), EINSELE et al. (1969, S. 35) und anderen Autoren, sind gemäß der HAUDE-Formel berechnete Abflußwerte für gebirgige Bilanzgebiete um 2-3 % höher als gemessene Werte. Et_{pot} nimmt demnach mit zunehmender Höhe ab. Ursache dafür sei, daß sich mit Abnahme von Lufttemperatur und Dampfdruck in größeren Höhen auch das Sättigungsdefizit verringert und deshalb der Faktor "e" in der Formel immer kleinere Werte annimmt. Zur Korrektur wird eine Interpolationsformel vorgeschlagen (F. MÜLLER 1973, S. 140), die auch in dieser Arbeit verwendet wird. Entsprechende Höhenkorrekturen werden vom Deutschen Wetterdienst nicht durchgeführt (PLÖTHNER 1979, S. 47).

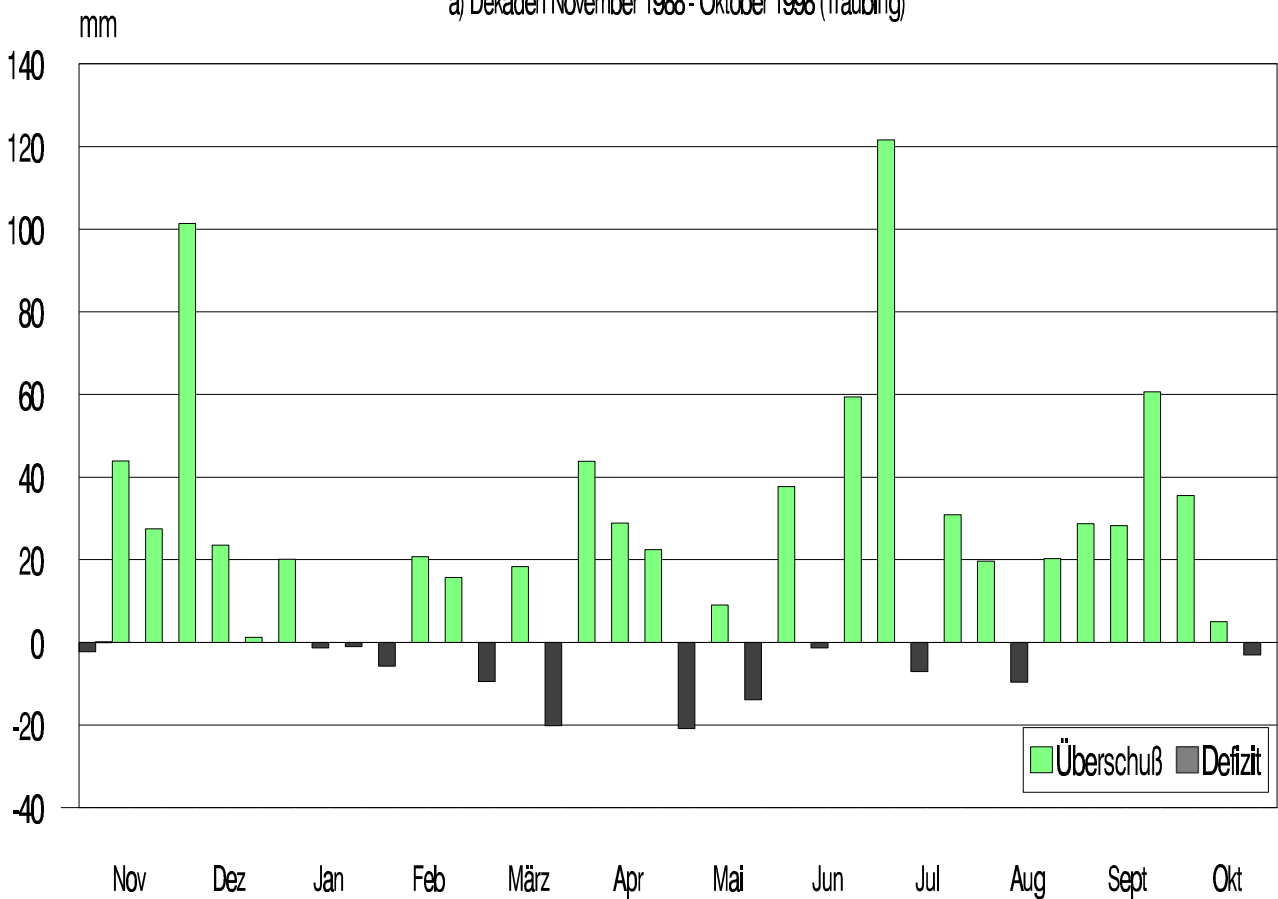
LANDAUER (1989, S. 88) berechnete ET_{pot} nach HAUDE aus Dekadenmittelwerten für Juni 1987 bis Mai 1988 nach klimatischen Faktoren der Klimastation Attenkam und Pähl-Vorderfischen mit Höhenkorrekturfaktor. Daraus resultieren für das Gebiet um die Meßstationen Verdunstungshöhen von 416 mm (Attenkam) und 449 mm (Pähl-V.) oder 36 bzw. 46% Verdunstungsanteil am Niederschlag.

4.2.2 Wasserüberschuß und -defizit - Überprüfung der nach HAUDE berechneten ET_{pot}

Bei den Berechnungen nach HAUDE (ET_{pot}) wird davon ausgegangen, daß immer genügend Wasser für die Verdunstung zur Verfügung steht. Da dies nicht immer und überall der Fall ist ($ET_{pot} > ET_{akt}$), können aus der Differenz von Niederschlagshöhe und Et_{pot} Wasserüberschuß und -defizit in einem Gebiet überprüft werden.



a) Dekaden November 1988 - Oktober 1998 (Traubing)



b) Dekaden November 1988 - Oktober 1999 (Andechs)

Abb. B65: Dekadensummen des Wasserüberschusses und -defizits ermittelt aus der Differenz der Niederschlagshöhen der Stationen Traubing (a), bzw. Andechs (b) und der potentiellen Evapotranspiration nach HAUDE.

In Abbildung B65 ist dies graphisch für die Teilbilanz-Gebiete Würmsee-West (a=Stationen Traubing) und Ammersee-Ost (b=Station Andechs) durchgeführt worden. Die Darstellung verdeutlicht, daß in zwölf bzw. vierzehn Dekaden des Jahres 1989, besonders aber in den Monaten März, Mai und August Wasserdefizite auftreten. Eine kleinere Trockenperiode über drei Dekaden zeichnet sich im Januar und Anfang Februar ab. In den Monaten Januar-Februar, März und Mai gab es mehrere Dekaden mit $ET_{pot} > N$, in denen ET_{akt} also möglicherweise kleiner als ET_{pot} war. Da aber jedesmal längere Feuchtzeiten vorangingen, kann angenommen werden, daß Boden und Pflanzen genügend Wasser gespeichert hatten, um das Defizit auszugleichen, ET_{pot} für dieses Gebiet also angenähert gleich ET_{akt} gesetzt werden darf. Als grobe Faustregel folgt, daß im Sommerhalbjahr von den im gleichen Zeitraum fallenden Niederschlägen etwas mehr als die Hälfte, im Winterhalbjahr aber nur ungefähr ein Viertel verdunstet. Trotzdem ist aber der für den Abfluß $A=N-V$ verbleibende Rest im Sommerhalbjahr größer als im Winterhalbjahr, weil in diesem durchschnittlich nur ein Drittel der Jahresniederschlagssumme fällt (Abb. B63, B64). Zu einem ähnlichen Resultat kam LANDAUER (1989, Abb.18a) für den Zeitraum Juni 1987 bis März 1988 im Bereich der Station Pähl-Vorderfischen (s.o.). Es wird deshalb angenommen, daß für diese Gebiete auch im mittelfristigen Durchschnitt Et_{pot} angenähert gleich ET_{akt} ist, so daß für mehrjährige Berechnungen auch die einfache Formel nach TURC eingesetzt werden kann.

4.2.3 Vergleich der nach HAUDE und TURC errechneten Verdunstungshöhen

Es wurde zuerst vorausgesetzt, daß unabhängig vom Berechnungsverfahren kleinere Berechnungsintervalle allgemein zu genaueren Werten führen. Es bestätigte sich dann auch, daß Berechnungen aus Dekaden-Intervallen nach HAUDE für 1989 niedrigere Verdunstungshöhen als aus Monatsmitteln und diese wiederum niedrigere Werte als aus Jahresmitteln ergeben. Da aber die Jahreswerte aus Dekaden-Intervallen nach HAUDE nahe an dem nach TURC aus dem Jahresmittel bestimmten Wert liegen, wurde unterstellt, daß sich auch in den meisten Jahren der Reihe 1979/80-1991 die Werte beider Berechnungsverfahren einander annähern, so daß zumindest für den mittelfristigen Bilanzzeitraum das weniger aufwendige Verfahren nach TURC angewendet werden durfte.

Für das Teilgebiet Würmsee-West (Station Attenkam) errechnet sich nach HAUDE (1989) eine Verdunstungshöhe von 465 mm, für das Teilgebiet Ammersee-Ost (Station Pähl-V.) von 504 mm. Für das gesamte Bilanzgebiet resultieren daraus sowohl im mittelfristigen Zeitraum, als auch für 1989 eine jährliche Verdunstungsmenge von rd. 46 Mio. m^3 (ca. 43 bzw. 42 % des Jahresniederschlages). Davon verdunsten im Teilgebiet Würmsee-West mittelfristig rd. 34 Mio. m^3 (ca. 42% N) und im Gebiet Ammersee-Ost rd. 12 Mio. m^3 (ca. 46% N). 1989 waren es rd. 33 Mio. m^3 (ca. 40% N) bzw. 13 Mio. m^3 (ca. 50% N). Der Verdunstungsanteil am Niederschlag ist somit im Gebiet Ammersee-Ost um ca.10 % (mittelfristig) bis 25% (1989) größer als im Gebiet Würmsee-West.

Vergleichswerte von LANDAUER (1989) für Juni 1987 bis Mai 1988 sind im Würmsee-Gebiet mit ca. 36% etwas niedriger, im Ammersee-Gebiet mit ca. 46% Verdunstungsanteil am Niederschlag ähnlich.

4.3 Abfluß (A)

4.3.1 Gesamtabfluß

Nach N-V beträgt der Gesamtabfluß (ober- und unterirdischer Anteil) im Bilanzgebiet im Jahresmittel rd. 61 Mio. m³, 1989 rd. 63 Mio. m³. Auf das Teilgebiet Würmsee-West entfallen davon im Mittel rd. 46 Mio. m³, 1989 rd. 49 Mio. m³. Im Teilgebiet Ammersee-Ost sind es rd. 15 Mio. m³, bzw. rd. 14 Mio. m³ jährlich (Tab. B16). Es muß aber unterschieden werden zwischen dem oberirdischen Abflußanteil A_o (genauer: dem unmittelbar in Gewässern unter freiem Himmel abfließenden Anteil) und dem unterirdischen, das Grundwasser speisenden Anteil A_u. Der letztere ist für die Frage nach Grundwasserübertritten besonders relevant. Er wird auch als Grundwasserneubildungsrate (GWN) bezeichnet, einerlei ob er beim Verlassen des untersuchten Gebietes noch als Grundwasser oder als wieder zutage getretenes Oberflächenwasser abfließt.

4.3.2 Oberflächenabfluß - Hydrographisches Netz

Die Fließgewässer auf dem Andechser Höhenrücken (Abb. B66) sind bei weitem nicht gleichmäßig verteilt. So gibt es an den Zungenbeckenrändern, also in Gebieten mit stärkerem Relief und vermehrt geringer durchlässigen, oberflächennahen Schichten (Abb. B55, B66) und in den angrenzenden anmoorigen Hochgebieten wesentlich mehr Bäche, als im Norden und in den wenigen Schotterflächen zwischen Ammer- und Würmsee. Für die meisten dieser Bäche bilden Ammer- und Würmsee den Hauptvorfluter. Insgesamt gibt es im Jungmoränengebiet zwischen Ammer- und Würmsee und in der nördlich anschließenden Münchener Schotterebene keine bedeutenden Fließgewässer. Der Maisinger Bach bei Starnberg (Georgenbach), der wasserreichste Bach zwischen den großen Seen, führt ca. 0,5 m³/s Wasser, zahlreiche kleinere Bäche deutlich geringere Mengen. Die Würm bei Starnberg (Pegel Leutstetten) leitet ca. 4,6 m³/s ab.

Voraussetzung für eine Trennung von ober- und unterirdischem Abflußanteil eines Einzugs- bzw. Bilanzgebietes ist, daß zuerst der Hauptteil des Oberflächenabflusses zuverlässig gemessen wird. Dies war nur für die Einzugsgebiete von Maisinger Bach, Kienbach, Starzenbach und Kalkgraben gewährleistet, wo mittels automatischer Schreiber der Bachwasserdurchfluß ständig aufgezeichnet wird (Abb. B61).

Die Gegenüberstellung monatlich gemittelter Abflußspenden (l/s.km²) am Maisinger Bach, Starzenbach, Kalkgraben und Kienbach mit Niederschlagshöhen der Stationen Traubing im hydrologischen Jahr 1989 (Abb. B67) zeigt, daß sich Niederschlags- und Abflußhöhen insgesamt im Winter besser als im Sommer annähern, weil im Sommer ein größerer Teil des Niederschlags durch Pflanzenwachstum und Verdunstung dem Abfluß entzogen wird, im Winter ein geringerer Anteil der Niederschläge im zeitweise gefrorenen Boden versickert. Besonders betrifft dies den Starzenbach und Kalkgraben.

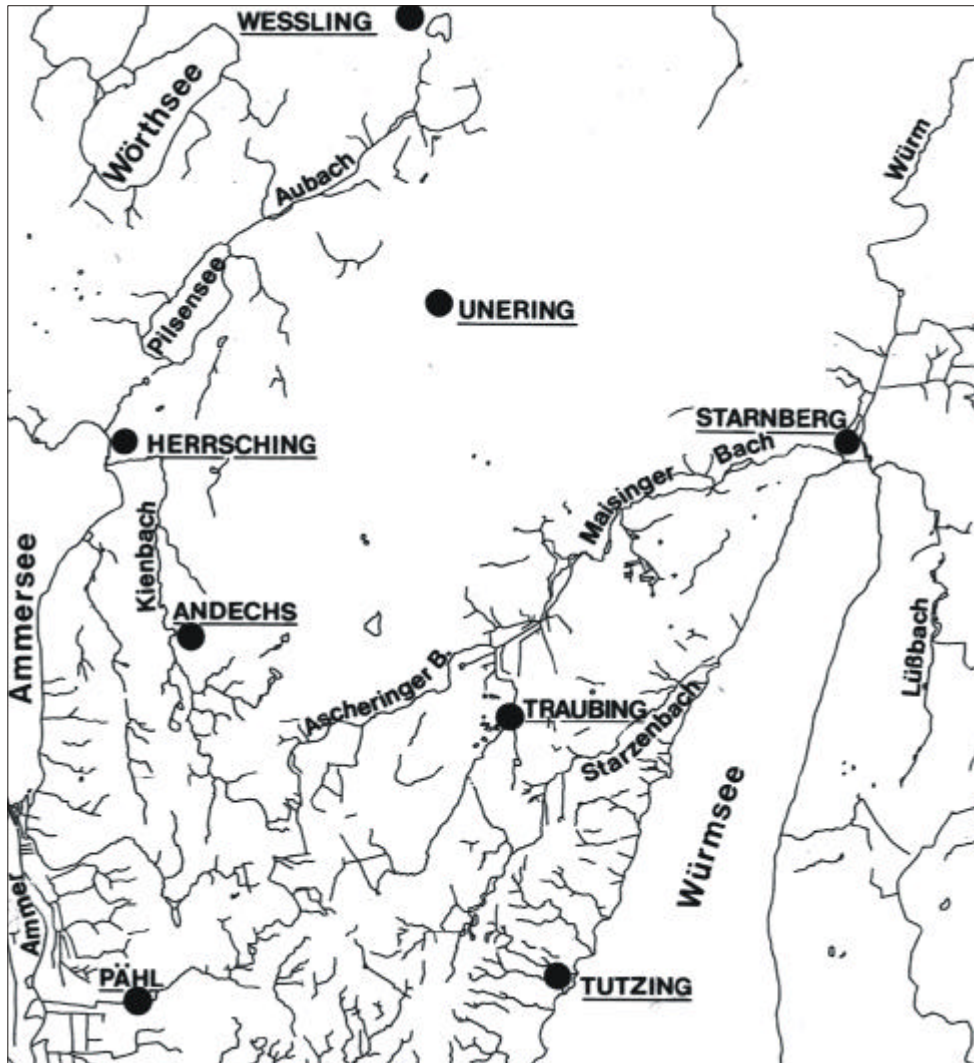


Abb. B66: Das hydrographische Netz zwischen Ammersee-Pilsensee und Würmsee-Würmtal

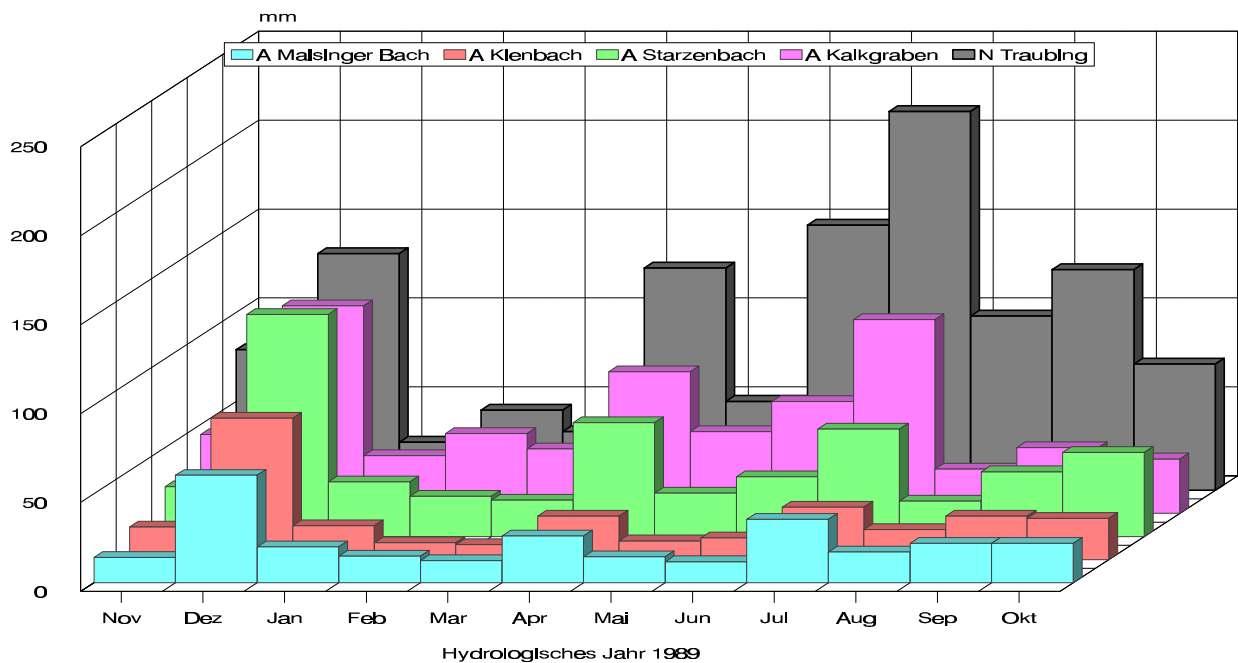


Abb. B67: Monatliche Abflußpenden ($l/s \cdot km^2$) am Malsinger Bach, Kienbach, Starzenbach und Kalkgraben sowie Niederschlagshöhen (mm) an der Station Traubing im hydrologischen Jahr 1989

An 11 kleineren Bächen wurden von August 1991 bis Juli 1992, außer im Januar, einmal monatlich eigene Abflußmessungen (Drehflügel- und Gefäßmessungen) durchgeführt (Tab. B15, Abb. B61). Die Fehlerbreite dieser unregelmäßig durchgeführten Messungen war besonders in Hochwasserzeiten und in den Trockenmonaten der Jahre 1991/92 nicht abschätzbar. Da der Meßzeitraum insgesamt niederschlagsarm war, wurden die Werte proportional zu den höheren Niederschlägen des Jahres 1989 umgerechnet. Dazu wurden für das Gebiet am Würmsee-Westufer Niederschlagshöhen der Station Traubing, für das am Ammersee-Ostufer solche der Station Andechs herangezogen.

Tab. B15: Abflußhöhen (MQ) nach Drehflügel- und Gefäßmessungen an kleineren Bächen von August 1991 bis Juli 1992 (Positionen der Bachmeßstellen s. Abb. B61)

Ammersee-Ostufer	l/s	m ³ /s	Würmsee-Westufer	l/s	m ³ /s
Weißer Bach	38	0,038	Bach S` Tutzing	12	0,012
Koller Graben	8	0,008	Bareisl Graben	17	0,017
Feldgraben	6	0,006	Martels Graben	24	0,024
Trattgraben	4	0,004	Bach N` Kalkgraben	18	0,018
Mühlbach	46	0,046	Bach s' Kaserne.Feld.	12	0,012
			Eichgraben	16	0,016
Rest (inclusiv südlicher Andechser Höhenrücken) geschätzt				53	0,053
Gesamt	102	0,102		152	0,152
Umrechnungsfaktor	1,3			1,2	
Korrigierte Werte	133	0,133		182	0,182

4.3.3 Bestimmung des A_u -Anteils (MQ_G) im Oberflächenwasser (MQ)

Von den quantitativen und qualitativen Verfahren zur Bestimmung des A_u -Anteils wurden, weil Daten bzw. Voraussetzungen für andere Verfahren nicht ausreichten, zwei Verfahren ausgewählt, die Grundwasserneubildung aus den Niedrigwasserabflüssen der Oberflächengewässer bestimmen.

- A_u -Linien-Verfahren nach NATERMANN (1951, 1958)
- 6-MoMNQ-Verfahren nach KILLE (1970)

Für diese Verfahren wird unterstellt, daß in Trockenwetterzeiten, die man, je nach Gebietsgröße, Geländere relief, Bodendurchlässigkeit und Jahreszeit, 2 bis 5 Tage nach Ende einer Regenperiode beginnen läßt, der Gesamtabfluß eines Baches aus dem Grundwasser gespeist wird (soweit nicht Schneeschmelze, geöffnete Wehre o.dgl. hinzukommen). Weiter sollte gewährleistet sein, daß die gemessenen Bäche die Vorflut für den Hauptteil des Grundwassers des Einzugsgebietes bilden. Dies setzt voraus, daß das Gelände genügend Höhenunterschied aufweist und keine Grundwasserstockwerke existieren, die tiefer als die Pegelmeßstelle liegen. Auch darf kein Grundwasserzustrom aus benachbarten Einzugsgebieten stattfinden. Da aber das Bilanzgebiet Höhenunterschiede von rd. 150 bis 200 m

bis zu den Pegelmeßstellen aufweist und die Meßstellen fast höhengleich mit den Seespiegeln von Ammer- und Würmsee, die als Hauptvorfluter für die gemessenen Bäche fungieren, liegen, sind diese Voraussetzungen erfüllt, so daß der im folgenden berechnete Trockenwetterabfluß auf die Dauer etwa der langfristigen Grundwasserneubildungsrate im Einzugsgebiet dieses Baches entsprechen sollte. Ist der Trockenwetterabfluß größer als die Grundwasserneubildung (aus $N-V-A_0$), so findet offensichtlich Grundwasserzuström aus benachbarten Einzugsgebieten statt, ist er geringer, muß Grundwasser an den Pegeln vorbeifließen.

Nach dem verbesserten A_u -L-Verfahren (NATERMANN 1958) wird zuerst am Beispiel eines ausgewählten Hochwasser- bzw. Starkregenereignisses vom 8.-11. Juli 1989 zwischen zwei Trockenwetterperioden die Abflußcharakteristik mehrerer Bäche ermittelt (Abb. B68).

Abbildung B68 zeigt 20-tägige Abflußganglinien von vier Bächen (a=Maisinger Bach, b=Starzenbach, c=Kalkgraben, d=Kienbach).

Dem Starkregenereignis (8.-11. Juli 1989) ging eine 4-tägige Trockenperiode voraus. An allen Pegeln wurde am 7. Juli, also jeweils 1 Tag vor Wiedereinsetzen der Niederschläge ein Abflußminimum (A_{\min}) gemessen. Die Phasenverschiebung zwischen Niederschlags- und Abflußgang verdeutlicht die "Reaktionszeit" zwischen Niederschlags- und Abflußereignis. Dabei muß berücksichtigt werden, daß A_u aus unterschiedlichen Grundwasservorkommen mit voneinander abweichenden Grundwasserfließzeiten gespeist werden kann. Dies könnte sich besonders im oberen Teil der Rezessionskurve abzeichnen

Die Niederschläge am 8. Juli (ca. 50% von N_{\max}) sind für den ersten, geringen Anstieg des Abflusses verantwortlich und haben hauptsächlich das Bodenwasserdefizit aufgefüllt. Erst die überdurchschnittlich starken Niederschläge am 10. Juli (N_{\max}) führen dann unmittelbar zu einem steilen, in allen Beispielen etwa 1-tägigen Abflußanstieg (Phasenverschiebung ca. 1 Tag) bis A_{\max} (11. Juli). Auf den 11. Juli, an dem noch geringe Niederschläge gefallen sind, folgt bis mindestens 18. Juli erneut eine Trockenwetterperiode ($N < 5\text{mm/Tag}$).

Am Starzenbach und Kalkgraben (Abb. B68c/d) fällt die Ganglinie ebenso steil und rasch wieder ab wie sie angestiegen war, wobei nach ca. 1 Tag der Fußpunkt der Kurve (= Beginn des Trockenwetterabflusses=TWA) erreicht wird (Starzenbach ca. $1/3$, Kalkgraben ca. $1/6$ A_{\max}). Ein ähnlich niedriges Abflußniveau wie vor dem Starkregen (A_{\min}) stellt sich in beiden Fällen wieder nach ungefähr 4 Tagen ein. Die Abflußkurven sind typisch für ein ausgeprägtes Oberflächenrelief (Seeuferbereich), wasserhemmende Deckschichten (v.a. Moräne) und/oder ein kleines Einzugsgebiet (F_N Starzenbach $4,7\text{ km}^2$, F_N Kalkgraben $1,4\text{ km}^2$).

Dagegen verläuft die absteigende Ganglinie von Maisinger Bach und Kienbach (Abb. B68a/b) etwas flacher und differenzierter. Der TWA beginnt am Maisinger Bach erst nach ca. 3 Tagen, das Niveau des vorangegangenen A_{\min} stellt sich erst nach ca. 11 Tagen ein. Am Pegel Kienbach beginnt der TWA nach ca. 2 Tagen, A_{\min} wird nach ca. 6 Tagen erreicht (beide TWA ca. $1/3$ A_{\max}). Gründe hierfür sind das in weiten Gebieten flache Gelände mit größerer Verbreitung durchlässiger Deckschichten (Wieling-Maisinger Becken), wasserspeichernde Mooregebiete und/oder größere Einzugsgebiete (F_N Georgenbach $49,3\text{ km}^2$, F_N Kienbach $12,7\text{ km}^2$).

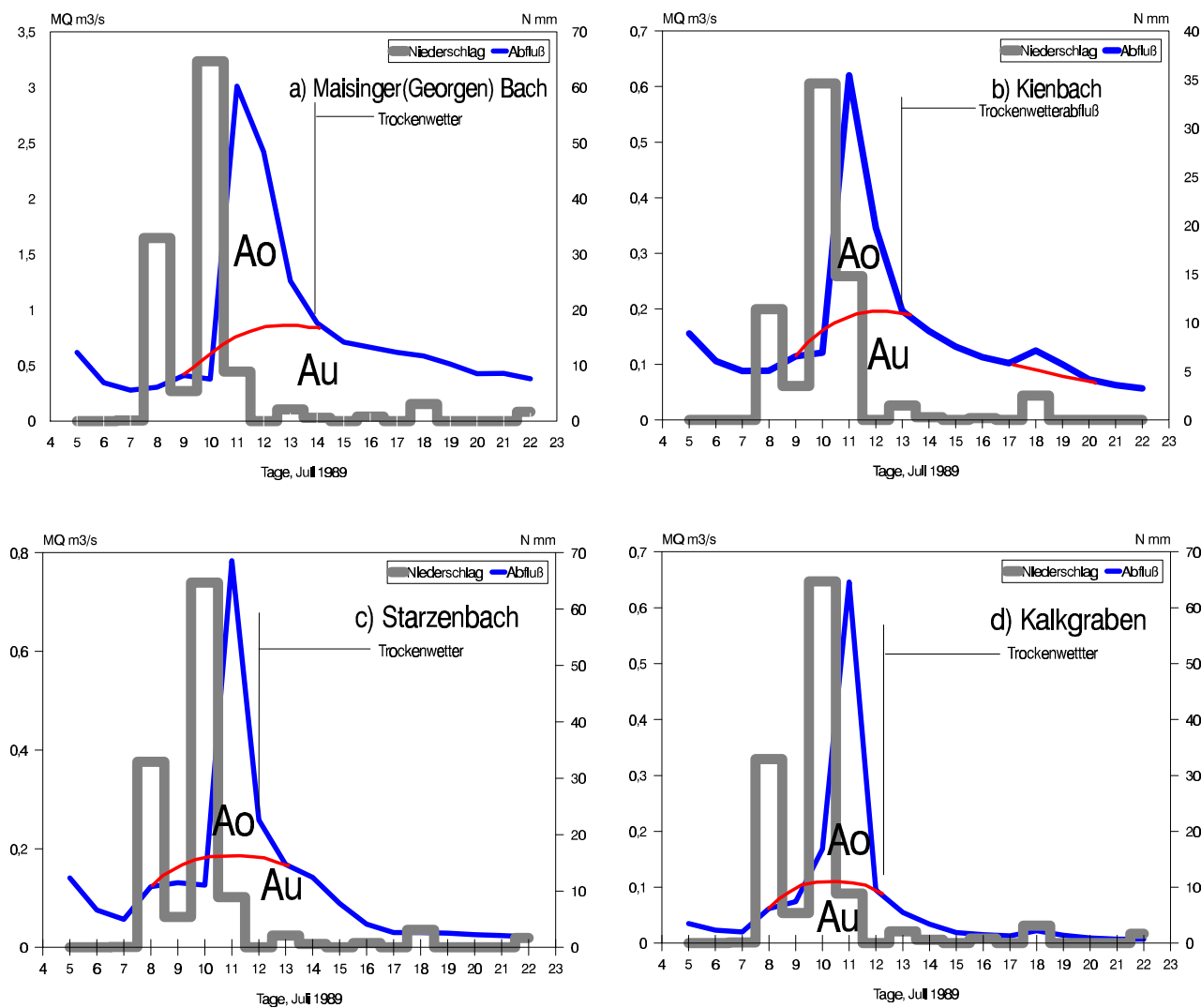


Abb. B68: A_u -Linien eines Hochwasserereignisses (8.-11. Juli 1989) dargestellt am Malsinger Bach (a), Kienbach (b), Starzenbach (c) und Kalkgraben (d)

Zur quantitativen Bestimmung des Grundwasseranteils im Bachwasser (A_u) wurde das 6-Monats-Verfahren (6-MoMNQ-Verfahren) nach Kille (1970) angewandt.

Ein analoges Verfahren nach WUNDT (1958) verwendet die kleinsten Tagesabflüsse aller 12 Monate eines Jahres. Man kommt damit im Beispiel Malsinger Bach auf $MNQ = 0.23 \text{ m}^3/\text{s}$ oder $148 \text{ mm}/\text{Jahr}$. Dieser Wert enthält noch einen erheblichen Anteil aus dem oberirdischen Abfluß.

Abbildung B69 zeigt Monatsmittel der jeweils kleinsten monatlichen Tagesabflüsse (MNQ) der Jahresreihe 1979/80-1991. Daraus wurden jeweils diejenigen sechs zusammenhängenden Monate ausgewählt, deren MNQ-Summe den kleinsten Mittelwert ergeben. Dieses mittlere Abflußminimum (MQ_G) wird bei KILLE als mittlerer Trockenwetterabfluß und wie bei NATERMANN als Äquivalent der mittleren Grundwasserneubildungsrate betrachtet (hier als Grundwasseranteil im Bachabfluß). Der niedrigste Wert der 6-MoMNQ-Abflüsse, der NQ_G -Wert, kann als Maß für Zeiten geringster Grundwasserneubildung angesehen werden.

"Da von 6 Monaten mit den geringsten Abflüssen ausgegangen wird, ist in den übrigen 6 Monaten MQ_G mit Sicherheit größer." (BLFW 1980, S. 4)

Im Gebiet Würmsee-West wurden die niedrigsten MQ_G -Werte (NQ_G) 1988/89 ermittelt, also in Jahren mit durchschnittlichen Niederschlägen. 1982 bis 1986 ging diesen Jahren eine relativ trockene Periode voran. Im Gebiet Ammersee-Ost verzeichnet das Jahr 1984 die niedrigsten MQ_G -Werte. Dort waren die Jahre 1982 bis 1984 trockener als im 13-jährigen Mittel (Abb. B62).

Es zeichnet sich ab, daß im Untersuchungsgebiet solche extremen Niedrigstwasserabflüsse sich erst nach mehrjährigen Trockenperioden einstellen. Dies geschieht offensichtlich in den beiden o.g. großen Teilgebieten nach unterschiedlich langen "Reaktionszeiten" - im Gebiet Würmsee-West nach ca. 4 Jahren, im Gebiet Ammersee-Ost nach ca. 1 Jahr. Solche, vom langjährigen Witterungsverlauf abhängigen Schwankungen der Grundwassermenge im Oberflächenabfluß, gehen wahrscheinlich mit Veränderungen des Grundwasservorrates einher.

MQ -, MQ_G -($=A_u$) und somit auch die daraus errechneten A_o -Werte ($=MQ - MQ_G$), liegen mittelfristig meist um 10-38% über den Werten des Bilanzjahres 1989 (Tab. B16), obwohl Niederschlag und Verdunstung 1989 durchschnittlich waren (s.o.).

Auffällig hoch, mit 805 mm am Starzenbach und 901 mm am Kalkgraben, sind die 13-jährigen MQ -Jahresmittel in den kleinen Niederschlagsgebieten am Würmsee-Westufer, wo die Werte sogar über dem aus N-V errechneten Wert (A_{ges}) von 665 mm liegen. Es fließt dort zumindest zeitweise mehr Oberflächenwasser ab, als rechnerisch zur Verfügung steht. D.h. die Abflußmengen sind für die angegebene Einzugsgebiete zu groß, es muß Grundwasser aus benachbarten Gebieten zufließen. Da beide Niederschlagsgebiete (4,7 bzw. 1,4 km²) recht gut abgrenzbar sind, muß der Zuwachs im Oberflächenwasser, der sich im 13-Jahresmittel im Kalkgraben-Gebiet auf rd. 330 000 m³/a (241 mm), im Starzenbach-Gebiet auf rd. 680 000 m³/a (145 mm) beläuft, v.a. aus dem Grundwasser des westlich angrenzenden Maisinger Bach-Gebietes stammen, oder wie im Starzenbach-Gebiet vermutet, teilweise über eine künstliche Bifurkation aus dem Deixlfurter Bach in den Starzenbach zufließen. Letzteres würde auch erklären, daß in der Abflußcharakteristik des Starzenbaches keine Anzeichen ungewöhnlicher, niederschlagsunabhängiger Zuflüsse aufscheinen (Abb. B16). Der Abfluß-Überschuß des Starzenbaches, der zumindest periodisch anteilig aus dem Gebiet um den Deixlfurter See stammt, muß dem Maisinger Bach-Gebiet zugeschlagen werden.

Weiter ist bekannt, daß die Schüttungsmenge zweier im Bereich zwischen Kalkgraben- und Starzenbach-Gebiet austretender Quellen bei Tutzing/Garatshausen weitgehend saisonunabhängig und mit jeweils rd. 0,013 m³/s (zusammen rd. 760 000 m³/a) ähnlich hoch ist, wie der MQ_G im Kalkgraben-Bach (0,012 m³/s). Das unterirdische Einzugsgebiet des Kalkgraben-Gebietes wäre demnach bei einer in ähnlichen Gebieten üblichen Grundwasserneubildungsrate von rd. 15 l/s * km² ungefähr 2 km² größer sein, als das bekannte Niederschlagsgebiet.

Im "Rest" des Würmseeufer-Gebietes (15,8 km²) ist der spezifische Abfluß mit 479 mm im 13-Jahresmittel bzw. 359 mm im Jahr 1989 niedriger als im Kalkgraben- und Starzenbachgebiet. Der Grundwasserzustrom aus dem westlich angrenzenden Einzugsgebiet des Maisinger Baches scheint hier wesentlich geringer zu sein.

Im Maisinger Bach-Gebiet, in den kleinen Seeufergebieten am Kalkgraben und Starzenbach sowie im östlichen Ammerseeufer-Gebiet verringerte sich 1989 der Grundwasseranteil im Oberflächenwasser gegenüber dem 13(12)-Jahresmittel weniger deutlich als im Kienbach-Gebiet und im restlichen Würmseeufer-Gebiet. Wahrscheinlich speisen in die tieferliegenden Gebiete benachbarte Grundwasservorkommen, wie solche aus dem hochgelegenen Kienbach-Gebiet, kontinuierlich ein. Dies führt nach längeren Trockenperioden zu einer deutlichen Abnahme des MQ_G im Hauptvorfluter des Liefergebietes (z.B. Kienbach), während sich in den Bächen der Zuflußgebieten (z.B. Ammerseeufer-Gebiet, Maisinger Bach-Gebiet) der MQ_G zuerst gar nicht oder nur unwesentlich verringert.

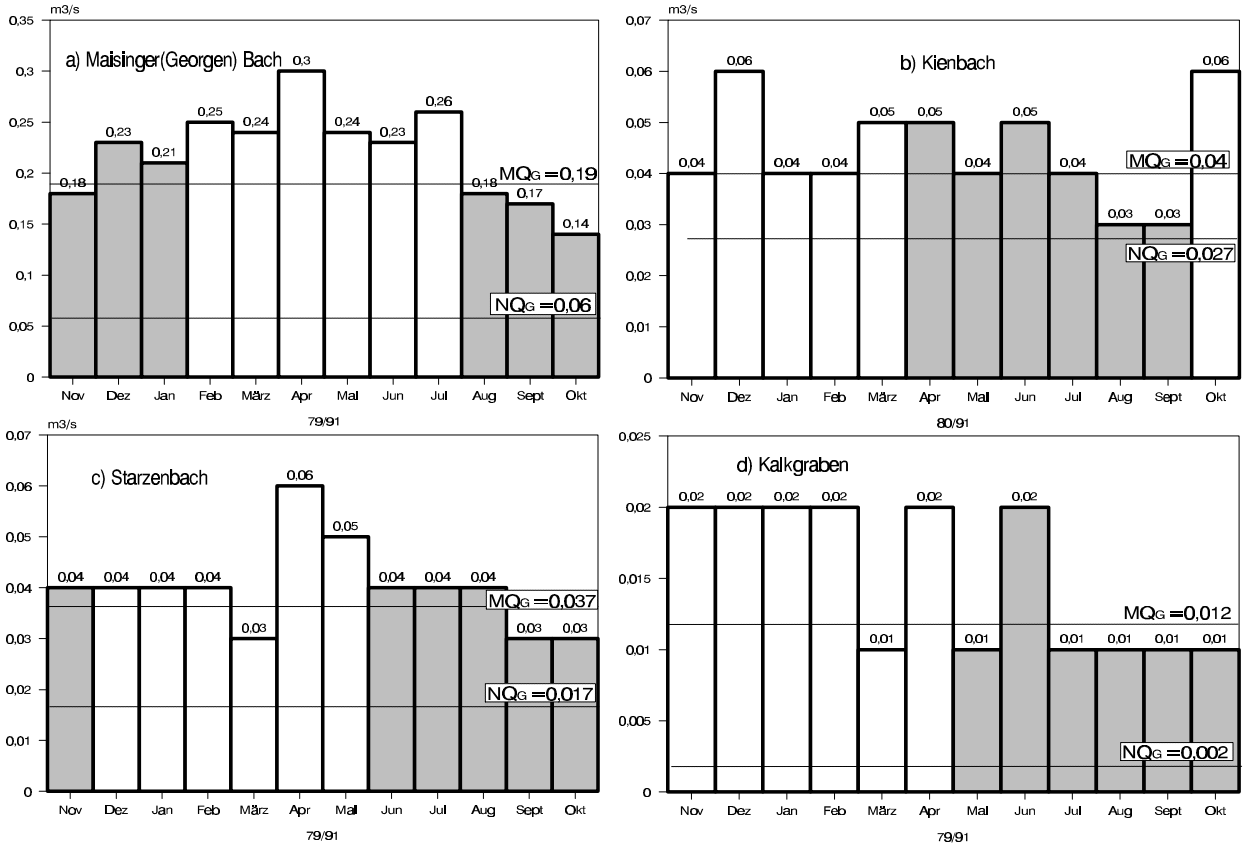


Abb. B69: Bildung des 6-MoMNQ aus den kleinsten monatlichen Abfluß-Tageswerten an Malsinger Bach (a), Kienbach (b), Starzenbach (c) und Kalkgraben (d) - Mittelwerte der Jahresreihen 1979(80)-1991 - MQ_G und NQ_G Mittelwerte

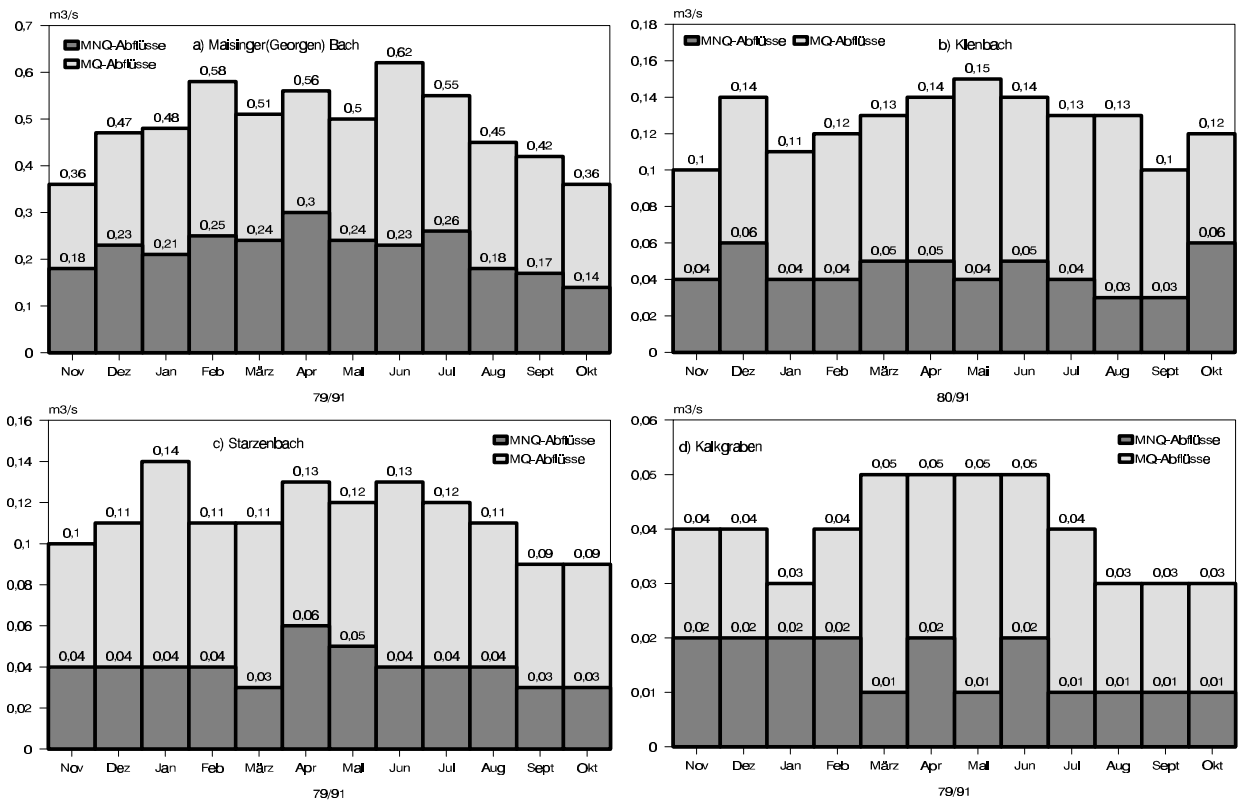


Abb. B70: Monats-MQ/MNQ-Abflüsse (Mittelwerte monatlicher Tagesabflüsse) am Malsinger Bach (a), Kienbach (b), Starzenbach (c) und Kalkgraben (d) - Jahresreihen 1979(80)-1991

In den höher gelegenen Niederschlagsgebieten des Maisinger- und Kienbach-Gebietes ist der Oberflächenabfluß (MQ) mit 313 mm im mittelfristigen Zeitraum und 273 bzw. 275 mm 1989 nahezu identisch und, verglichen mit den übrigen Gebieten, am niedrigsten. Dabei war der MQ_G -Anteil (A_U) 1989 im Kienbachgebiet rd. 27% niedriger, der A_O -Anteil entsprechend höher als im Maisinger Bach-Gebiet. Insgesamt spiegeln diese Werte das gegenüber den Seeufferrandgebieten geringere Relief, und v.a. im Wieling-Maisinger Becken, auch die bessere Durchlässigkeit der Deckschichten der Hochgebiete wieder. Es ist dort mit größerer Grundwasserneubildung zu rechnen.

4.3.4 Abflußcharakteristika (MNQ, MQ, N)

An den o.g. Bächen wurde für den Zeitraum 1979(80)-1991 jeweils die Abweichung vom Jahresmittelwert (%) des Grundwasserzuflusses ($6\text{-MoMNQ}=\text{MNQ}$), des Gesamtabflusses an den Pegeln (MQ) und der Niederschlagshöhe verglichen (Abb. B71). Normalerweise sollten in den meisten Jahren MNQ, MQ und N mehr oder weniger miteinander im Gleichklang stehen., wobei größere Amplituden-Abweichungen besondere klimatische Verhältnisse widerspiegeln. Positive Abweichungen der MNQ-Werte könnten einen Zuwachs, negative Abweichungen eine Verminderung des Wasservorrates bedeuten. Ein gegenläufiger Kurvenverlauf wäre ein Hinweis auf besondere hydraulische Verhältnisse.

Nach Abbildung B71 sind v.a. am Starzenbach (Abb. B71c), im Gegensatz zum Maisinger Bach und Kalkgraben (Abb. B71a/d), MQ- und MNQ der Jahre 1979/80-1991 eng an die Niederschläge gekoppelt. Das Grundwassereinzugsgebiet ist klein, die Speichergesteine liegen offensichtlich oberflächennah (Kap. BI.2), ein größerer Grundwasserzustrom aus benachbarten Einzugsgebieten ist unwahrscheinlich. Auch im jahreszeitlichen Gang (Monatsmittel der Jahresreihen 1979/80-1991, nicht abgebildet) sind Abfluß und Grundwasserzufluß am Starzenbach am engsten an die Niederschläge gekoppelt, während sie in den anderen Gebieten offenbar von kurzfristigen Niederschlagsereignissen geringer abhängig sind. Die MNQ-Werte am Maisinger Bach zeigen einen gleichmäßigen, sinusförmigen Verlauf mit einer vollen "Schwingung" von ca. 8 Jahren, z.T. entgegen den Größen N und MQ (Abb. B71a). Dies deutet auf langsame, von kurzzeitigen Einflüssen unabhängigen Veränderungen im Grundwasserhaushalt hin. Am Kienbach (Abb. B71b) folgen, wie schon am Starzenbach (Abb. B71c) alle drei Werte annähernd einem gemeinsamen Trend, wobei die MNQ-Kurve einen ähnlich markanten sinusförmigen Verlauf zeigt wie am Maisinger Bach, allerdings um ca. 4-5 Jahre "phasenverschoben". Auch hier überlagern langsame, von kurzzeitigen Einflüssen unabhängige Veränderungen die Grundwasserneubildung.

Die auffällige Gegenläufigkeit von MNQ/GWN im Maisinger Bach- und Kienbach Gebiet, die gesondert noch einmal in Abbildung B72 hervorgehoben ist, läßt eine wechselseitige Beeinflussung der Grundwasserstromrichtung beider Gebiete z.B. infolge extremer Grundwassersiegelschwankungen vermuten.

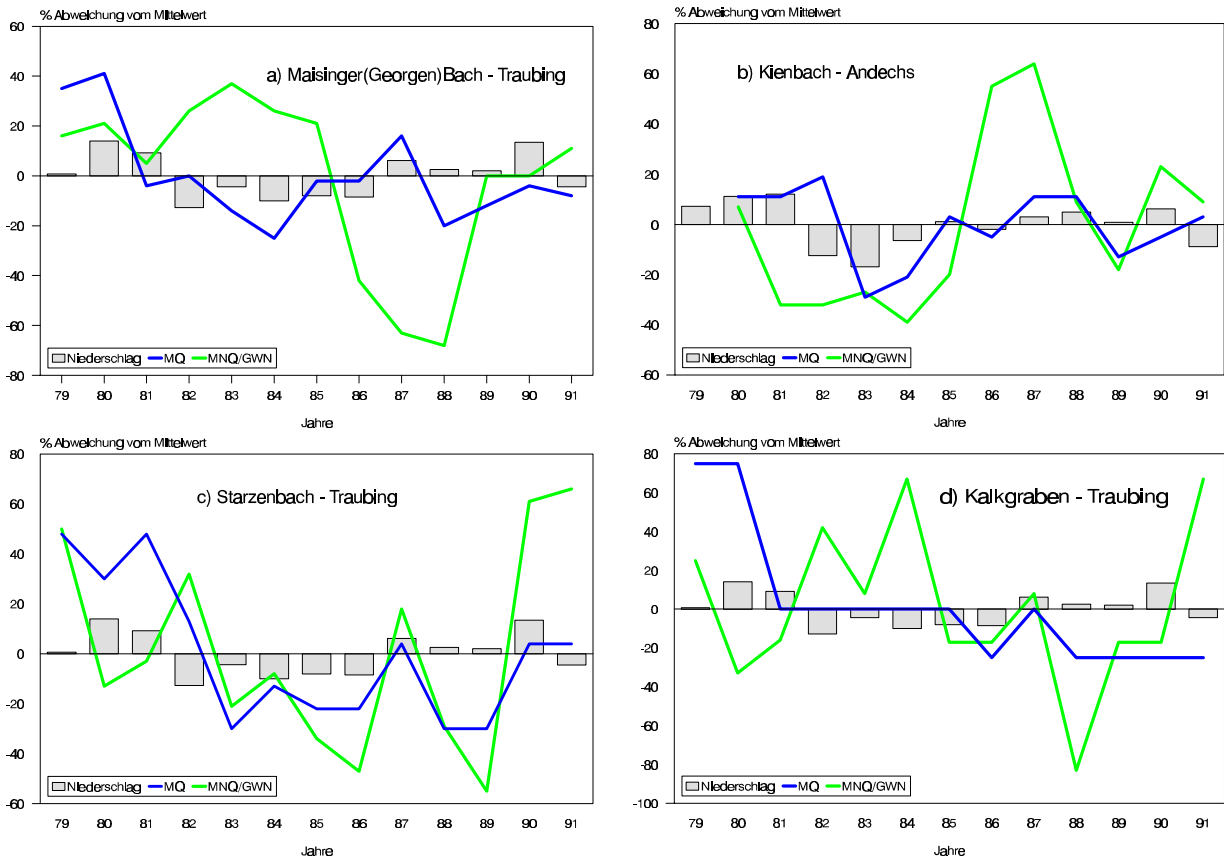


Abb. B71: N/MQ/MNQ Jahreswerte 1979/80-1991 - Abweichungen vom Mittelwert (%) am Maisinger (Georgen) Bach = a (N-Station Traubing), Kienbach = b (N-Station Andechs), Starzenbach = c (N-Station Traubing) und Kalkgraben = d (N-Station Traubing)

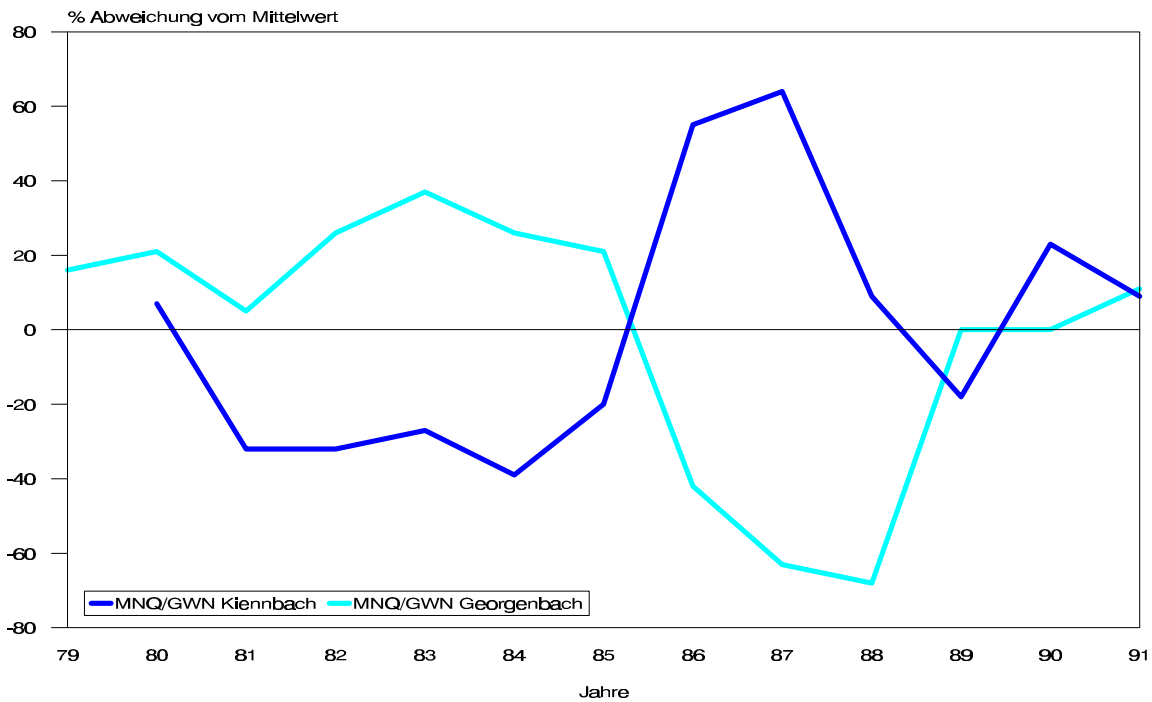


Abb. B72: MNQ-Jahreswerte 1979/80-1991 - Abweichungen vom Mittelwert (%) am Maisinger- und Kienbach

4.4. Grundwasserneubildung (GWN)

Mit den in den vorangegangenen Abschnitten erfaßten oder berechneten Wasserhaushaltsparametern läßt sich die Grundwasserneubildung für die (Teil-)Bilanzgebiete nach folgender Gleichung bestimmen:

$$\text{GWN} = \text{N} - \text{V} \text{ bzw. } \text{ET}_{\text{Turc/Haude}} - \text{A}_0$$

hierbei ist: $\text{A}_0 = \text{A}_{\text{ges}} (\text{MQ gemessen}) - \text{A}_U (\text{MQ}_G \text{ berechnet nach KILLE aus MQ})$

Danach beträgt die Grundwasserneubildung im gesamten Bilanzgebiet ($F_N = 98 \text{ km}^2$) im mittelfristigen Jahresdurchschnitt rd. $11,7 \text{ l/s*km}^2$ bzw. rd. $36 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$, im Jahr 1989 rd. $14,1 \text{ l/s*km}^2$ bzw. rd. $43 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$.

Im Würmsee-Gebiet liegt die Grundwasserneubildungsrate mit $12,5 \text{ l/s*km}^2$ ($28 \text{ Mio.m}^3/\text{a}$) im mittelfristigen Jahresdurchschnitt und $15,4 \text{ l/s*km}^2$ ($34 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$) im Jahr 1989 um 34 % bzw. 47 % höher als im Ammersee-Gebiet ($9,3 \text{ l/s*km}^2/\text{rd. } 8 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$, bzw. $10,5 \text{ l/s*km}^2/\text{rd. } 9 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$). Davon wird der Hauptanteil (rd. \mathbf{b}) von $14,7 \text{ l/s*km}^2$ ($22,8 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$) im mittelfristigen Durchschnitt und $17,1 \text{ l/s*km}^2$ ($26,5 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$) 1989 im $49,3 \text{ km}^2$ großen Maisinger Bach-Gebiet (Würmsee-West) gebildet. Im benachbarten, $12,7 \text{ km}^2$ großen Kienbach-Gebiet (Ammersee-Ost), sind es nur $11,9 \text{ l/s*km}^2$ ($4,8 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$), bzw. $11,6 \text{ l/s*km}^2$ ($4,6 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$). Am Würmsee-Westufer ($F_N=21,9 \text{ km}^2$) wurden mittelfristig $7,7 \text{ l/s*km}^2$ ($5,3 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$) und $11,7 \text{ l/s*km}^2$ ($7,1 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$) für das Jahr 1989 errechnet, am Ammersee-Ostufer ($F_N=14,1 \text{ km}^2$) $7,0$ ($3,1 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$), bzw. $9,6 \text{ l/s*km}^2$ ($4,3 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$).

In den Seeufergebieten liegt die Grundwasserneubildung wie erwartet deutlich niedriger als in den Hochgebieten. In den beiden kleinen Würmseeufer-Gebieten am Kalkgraben und Starzenbach lag sie 1989 744%! bzw. 140% über dem mittelfristigen Durchschnitt (vgl. MQ-Werte).

Im Maisinger Bach- und Kienbach-Gebiet nehmen die Schwankungen der Grundwasserneubildung, A_{ges} , MQ und A_0 (MQ-MNQ)-Werte von 1979(80) bis 1991, abgesehen von den Jahren 1982/1983 im Kienbach-Gebiet, ungefähr die gleiche Bandbreite ein, wobei der MNQ-Anteil an der Grundwasserneubildung im Maisinger Bach-Gebiet zwischen 1984 und 1989 ab-, im Kienbach-Gebiet dagegen zunimmt.

Höchst- und Tiefstwerte der Grundwasserneubildung fallen im 12/13-Jahrszeitraum in beiden Gebieten auf die gleichen Jahre (Minimum 1982 - Maximum 1980). Im Maisinger Bach-Gebiet liegen die Werte zwischen 353 mm und 639 mm, im Kienbach-Gebiet zwischen 163 mm und 466 mm.

Tab. B16: Klima- und Bilanzparameter für einen mittelfristigen Zeitraum (1979/80-1991) und für das hydrologische Jahr 1989

F _N km ²	N mm Station		V(ET) mm - %N Formel		A _{ges} (N-V) mm - %N		A mm - m ³ /s - Mio m ³ /a gerundet						GWN (N-V-A ₀) mm l/s*km ² Mio m ³ /a		GW-Ab/Zu(-) (N-V-MQ) mm Mio m ³ /a	
							MQ (gemessen)		MQ _G (n.Kille)		A ₀ (MQ-MQ _G)					
	79(80)/91	1989	79(80)/91	1989	79(80)/91	1989	79(80)/91	1989	79(80)/91	1989	79(80)/91	1989	79(80)/91	1989	79(80)/91	1989
Würmseesee-West																
Maisinger-Bach 49,3	1125 Traubing				654 58		313 0,49 15,5	275 0,43 13,6	122 0,19 6,0	122 0,19 6,0	191 0,30 9,5	153 0,24 7,6	463 14,7 22,8	538 17,1 26,5	341 16,8	416 20,5
Starzenbach (Seeufer) 4,7		1147 Traubing	471 42 TURC	456 40 HAUDE	660 58	691 60	805 0,12 3,8	537 0,08 2,5	255 0,038 1,2	114 0,017 0,5	550 0,04 2,6	423 0,063 2,0	110 3,5 0,5	268 8,5 1,3	-145 -0,7	154 0,7
Kalkgraben (Seeufer) 1,4	1131 Starnberg						901 0,04 1,3	676 0,03 0,9	270 0,012 0,4	225 0,01 0,3	631 0,028 0,9	451 0,02 0,6	29 0,9 0,04	240 7,6 0,3	-241 -0,3	15 0,02
Seeufer-Rest 15,8							479 0,24 7,6	359 0,18 5,7	120 0,06 1,9	80 0,04 1,3	359 0,18 5,7	279 0,14 4,4	301 9,5 4,8	412 13,1 6,5	181 2,9	332 5,2
Ammersee-Ost																
Kienbach 12,7	1045 Andechs	1053 Andechs	465 44	504 48	580 56	549 52	313 0,126 4,0	273 0,11 3,5	109 0,044 1,4	89 0,036 1,1	204 0,082 2,6	184 0,074 2,4	376 11,9 4,8	365 11,6 4,6	267 3,4	276 3,5
Ammersee- Ufer 14,1	977 Pähl	971 Pähl	465 48	504 52	512 52	483 52	425 0,19 6,0	291 0,13 4,1	134 0,06 1,9	112 0,05 1,6	291 0,13 4,1	179 0,08 2,5	221 7,0 3,1	304 9,6 4,3	87 1,2	192 2,7

4.5 Grundwasserfördermengen und Quellschüttungen

In Tabelle B16 sind gerundete Förder- und Schüttungsmengen (m³/a) der wichtigsten Brunnen und Quellen im Bilanzgebiet und aus den unmittelbar angrenzenden Gebieten, wo nach BI vermutet wird, daß der Hauptanteil aus dem Bilanzgebiet stammt, nach Angaben der Wasserversorger und Gemeinden zusammengestellt.

Daneben treten in den Uferbereichen beider Seen und an der südlichen Einzugsgebietsgrenze zwischen Pähl und Oberzeismering diffuse Wasseraustritte auf, die meist auch nach längeren Trockenzeiten nicht völlig versiegen, jedoch quantitativ nicht erfaßt werden konnten. Auch kleinere Privatbrunnen wurden nicht berücksichtigt.

Tab. B17: Jährliche Grundwasserfördermengen und Quellschüttungen der wichtigsten Trinkwasserversorgungsanlagen und Quellen im Bilanzgebiet und an seinen Grenzgebieten (in m³)

Brunnen/Quellen	Fördermenge/Schüttung m ³ /a	
Maisinger Bach-Gebiet (Würmsee-West):		
Brunnen I-III Tutzing (Wieling-Traubinger Schotter)	rd. 610 000	
Brunnen I-V Feldafing/Pöcking (Wieling-Traubinger Schotter)	rd. 520 000	
Gesamtentnahme aus den Wieling-Traubinger Schottern	rd. 1 130 000	
Brunnen III-VIII Starnberg (Maisinger Schlucht)	rd. 1 670 000	
Brunnen II Starnberg (Maisinger Schlucht)	rd. 130 000	
Gesamtentnahme aus der Maisinger Schlucht	rd. 1 800 000	
Brunnen Maxhof I+II Kaserne	rd. 15 000	
Quelle Jägersbrunn Perchting	rd. 25 000	
Quellen Aschering	rd. 30 000	
Gesamt:		rd. 3 000 000
Würmseeufer-Gebiet (Würmsee-West):		
Arco Quelle bei Tutzing	rd. 410 000	
Quellen bei Garatshausen	rd. 410 000	
Quellen "7-Quellen-Tal"	rd. 1 700 000	
Gesamt:		rd. 2 520 000
Kienbach-Gebiet (Ammersee-Ost):		
Brunnen II+III Herrsching (Grenzgebiet)	rd. 1 100 000	
Quellen Herrsching bis Kiental Ost	rd. 380 000	
Gesamt:		rd. 1 480 000
Ammerseeufer-Gebiet (Ammersee-Ost):		
Brunnen I-III Schwellmoos	rd. 470 000	
"Erlinger Quellen"	rd. 310 000	
Quelleaustritte zw. Wartawail und Mühlfeld	rd. 300 000	
Gesamt:		rd. 1 080 000
Nord (Grenzgebiet)		
Brunnen Andechs IV	rd. 950 000	
Brunnen Gut Rothenfeld und Seewiesen	rd. 30 000	
Gesamt:		rd. 980 000
Süd (Grenzgebiet)		
Brunnen Kerschlach	rd. 150 000	
Quellen Kerschlach	rd. 320 000	
Gesamt		rd. 470 000

Brunnenförderungen und Quellschüttungen summieren sich in den (Bilanz-) Gebieten Würmsee-West, Ammersee-Ost und daran angrenzenden Randgebieten auf jährlich rd. 9.5 Mio. m³. Davon werden rd. 6 Mio. m³ (rd. 60%) zur Trink- und Brauchwasserversorgung genutzt, der Rest fließt ungenutzt ab. Auf das Teilgebiet Würmsee-West entfallen rd. 5,5 Mio. m³ (ca.78%), auf das Teilgebiet Ammersee-Ost rd. 1,5 Mio. m³ (ca.22%), was etwa den Flächenanteilen beider Niederschlagsgebiete entspricht. Alle Grundwasserförder- und Schüttungsmengen sind in den Bilanzrechnungen Teil des berechneten Grundwasseranteils im Oberflächenwasser (MQ_G).

Rund ein Drittel des Trinkwassers wird aus oberflächennahen Grundwasserleitern gewonnen, die randlich mit "tieferen", bzw. mächtiger überdeckten Grundwasserleitern in Kontakt stehen können (vgl. z.B. Kap. BI.4, BI.9, BII.3).

4.6 Grundwasserabstrom - Grundwasserzustrom

Der nach dem 6-MoMNQ-Verfahren berechnete MQ_G-Wert (s. Abschnitt BII.4.3.3) sollte in einem geschlossenen hydraulischen System ein zuverlässiges Maß für die Grundwasserneubildung sein. Weicht nun dieser Wert von der aus N-V-A₀ berechneten Grundwasserneubildung (s.o.) erheblich ab, muß angenommen werden, daß Grundwasser am Pegel vorbei zu- oder abfließt. Dieser Grundwasseranteil, inclusive der von Wasserwerken entnommen Grundwassermenge, errechnet sich aus

$$N - V - A_{\text{gemessen}}(\text{MQ}).$$

Im Vergleich mit den MQ_G-Werten (Tab. B16), die ja im geeigneten Fall auch ein Maß für die Grundwasserneubildung sind, fällt auf, daß sie in allen Teilgebieten signifikant von diesen abweichen. Abgesehen vom Starzenbach- und Kalkgrabengebiet - hier sind im 13-jährigen Mittel die MQ_G-Werte größer - ist die Grundwasserneubildung berechnet aus N-V-A₀ immer größer als der MQ_G-Wert. Somit verläßt aus den meisten Gebieten ständig Grundwasser an den Pegeln vorbei das Bilanzgebiet. Im Starzenbach- und Kalkgrabengebiet muß zudem eine erhebliche Grundwassermenge (rd. 1 Mio. m³/a) aus dem benachbarten Maisinger Bach-Gebiet zufließen. Auch in den anderen Gebieten ist mit Grundwasserzufluß aus angrenzenden Gebieten zu rechnen, doch kann dieser Anteil, der in beiden Berechnungen enthalten ist (MQ_G und A₀=MQ-MQ_G), nicht differenziert werden.

Im gesamten Bilanzgebiet (Würmsee-West und Ammersee-Ost) betrug der Grundwasserabstrom über die Bilanzgrenzen, d.h. an den Pegeln vorbei, z.B. in den Ammer- und Würmsee, zur Münchener Schotterebene oder in die Würmtalrinne, ohne Abzug der in Tabelle B16 angegebenen Grundwasserfördermengen im Mittel der Jahre 1979(80)/91 ca. 23,3 Mio. m³/a. Im Jahr 1989 waren es ca. 32,6 Mio. m³/a, also rd. 40 % mehr, obwohl für dieses und das vorangegangene Jahr durchschnittliche Niederschlagsmengen aufgezeichnet wurden. Davon entfielen auf das Gebiet Würmsee-West im 13-Jahresmittel 263 mm oder 18,7 Mio. m³/a (rd. 23% von N), im Jahr 1989 371 mm oder 26,4 Mio. m³/a (rd. 32% von N). Aus dem Gebiet Ammersee-Ost flossen im 12-Jahresmittel 172 mm oder 4,6 Mio. m³/a (rd.17% von N), im Jahr 1989 231 mm oder 6,2 Mio. m³/a (rd.23% von N) über die Bilanzgrenze nach Norden oder unerkannt in den Ammersee ab. Für das Einzugsgebiet "Maisinger Bach" (Würmsee-West) belief sich dieser Abstrom im 13-Jahresmittel auf rd. 16,8 Mio. m³/a, 1989 auf rd. 20,5 Mio. m³/a, der nach Norden zur Münchener Schotterebene (Perchtinger Rinne), bzw. nach Osten zum

Seeufer-Gebiet (z.B. Pfaffenbergrinne, Pöckinger-, Maisinger Rinne) und von dort in den Würmsee erfolgt. Im Kienbachgebiet waren es im 13-Jahresmittel rd. 3,4 Mio. m³/a, bzw. rd. 3,5 Mio. m³/a 1989, die nach Norden Richtung Herrsching (Pilsenseerinne), zur Münchener Schotterebene (Drößlinger Rinne), bzw. nach Westen zum Seeufergebiet (Richtung Mühlbachtal) oder nach Osten dem Einzugsgebiet Würmsee-West zufließen.

Insgesamt kann der mittlere jährliche Grundwasserabfluß aus den beiden Hochgebieten (Maisinger- und Kienbach) zur Münchener Schotterebene ohne Berücksichtigung von Grundwasserentnahmen maximal ca. 20,2 Mio.m³ umfassen, wobei dieser Wert wahrscheinlich erheblich niedriger ist, da größere Grundwassermengen offensichtlich in die randlichen Seeufergebiete (v.a. Würmsee-Ufer) und von dort in die Seen abfließen (s.u.). Zieht man davon noch Entnahmemengen von rd. 3 Mio. m³/a im Maisinger Bach-Gebiet und rd. 1,5 Mio. m³/a im Kienbach-Gebiet ab (s.o.), so verbleiben im Jahresmittel noch rd. 15,7 Mio.m³, im Jahr 1989 noch rd. 19,5 Mio.m³, die das Bilanzgebiet nach Norden verlassen können. Aus dem Würmseeufer-Gebiet gelangte im 13-Jahresmittel ca. 1,9 Mio.m³/a, bzw. ca. 5,9 Mio.m³/a im Jahr 1989 an den Pegeln vorbei in den Würmsee, wobei allein der Zustrom aus dem Maisinger Bach-Gebiet in das Kalkgraben- und Starzenbach-Gebiet im Jahresmittel mindestens 1 Mio. m³ beträgt. Zum Ammersee waren es im Mittel rd. 1,2 Mio. m³/a, bzw. rd. 2,7 Mio. m³/a im Jahr 1989.

4.7 Zusammenfassung der hydrologischen Daten und Berechnungen

Niederschlag, Verdunstung und Gesamtabfluß (N-V) waren 1989 ähnlich hoch wie im mittelfristigen Zeitraum (12 bzw. 13 Jahre). Verdunstungshöhen berechnet aus Jahresmittelwerten nach TURC (V_{akt}) sind unter Berücksichtigung eines Höhenkorrekturfaktors vergleichbar mit den aus Dekadenwerten nach HAUDE (ET_{pot}). Bei mehrjährigen Verdunstungsberechnungen kann deshalb in größeren Gebieten die Unterscheidung zwischen tatsächlicher (vom Niederschlagsangebot bestimmter, bei TURC) und potentieller (nach dem Sättigungsdefizit der Luft theoretisch möglicher, bei HAUDE) Verdunstung im vollhumiden Voralpenklima wohl meist vernachlässigt werden, weil Trockenwetterzeiten nie sehr lange sind und Boden und Pflanzendecke stets Feuchtigkeitsreserven bereithalten. Setzt man deshalb $V_{akt} = V_{pot}$, so ist man auch bei wasserwirtschaftlichen Überlegungen stets auf der sichereren Seite. Das weniger aufwendige Verfahren nach TURC ist besonders in Gebieten vorzuziehen, für die keine Aufzeichnungen von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit vorliegen. Charakteristische Abflußganglinien nach dem verbesserten A_qL -Verfahren (NATERMANN 1951, 1958) spiegeln den Einfluß von Oberflächenrelief, Deckschichteneigenschaften und Einzugsgebietsgrößen auf das Abflußgeschehen der Bäche im Untersuchungsgebiet wieder. Mehrjährige MQ_G -Ganglinien verglichen mit MQ - und Niederschlagswerten geben Auskunft über Geländeeigenschaften und Grundwasserzufluß und -abfluß der Gebiete. So ist in den größeren Hochgebieten (Maisinger Bach- und Kienbach-Gebiet) der MQ_G meist weniger von monatlichen oder jährlichen Niederschlagsvariationen abhängig als in kleineren Ammer- und Würmseerandgebieten.

Grundwasserneubildung sowie Grundwasserabstrom und -zustrom lagen 1989 ca. 20 % bzw. 33 % über den Durchschnittswerten. Es ist deshalb sinnvoller mittel- und langfristige Bilanzierungen durchzuführen.

Die spezifische Grundwasserneubildung ist je nach Oberflächenrelief oder Deckschichtenausbildung sehr verschieden. So beträgt sie im anmoorigen Kienbach-Gebiet ca. 11-12 l/s*km², im benachbarten Maisinger Bach-Gebiet mit seiner ausgedehnten Schotterflur ca. 15-17 l/s*km² und in den meist moränenbedeckten Seeufergebieten ca. 7-11 l/s*km². Im gesamten Bilanzgebiet beläuft sie sich im Mittel auf rd. 36 m³/a, im Jahr 1989 auf rd. 43 m³/a. Geringste Grundwasserneubildung (NQ_G) trat im Gebiet Würmsee-West nach einer ca. 4 jähriger Trockenperiode in den Jahren 1988/1989 auf, im Gebiet Ammersee-Ost nach nur etwa einem Trockenjahr (1984).

Die Methode, mittels dem 6-MoMNQ-Verfahren nach KILLE (1970) anhand des Grundwasseranteils im Oberflächenwassers (MQ_G) die Grundwasserneubildung von Bachgebieten zu erfassen, ist in Jungmoränengebieten wie dem Untersuchungsgebiet nicht geeignet, da ober- und unterirdische Einzugsgebiete meist mehr oder weniger voneinander abweichen und somit Grundwasseranteile aus benachbarten Gebieten zu- oder in diese abfließen. Möglich ist aber, solche Abweichungen zu erkennen und diese Anteile grob zu quantifizieren. So zeigen Maisinger- und Kienbach gegenläufig ca. 4-jährige Perioden über- und unterdurchschnittliche Grundwasserzuflüsse. Ursache hierfür können Fließrichtungsänderungen oder/und Grundwasserspiegelschwankungen sein.

Der gesamte, an den Pegeln nicht registrierte Grundwasserab- und -zustrom zwischen den bilanzierten Einzugsgebieten (Abb. B61) beträgt mittelfristig rd. 23 Mio. m³/a, 1989 waren es sogar rd. 33 Mio. m³. Davon belief sich der Abstrom aus den Hochgebieten (Maisinger- und Kienbach-Einzugsgebiet), der auch maximal nach Norden zur Münchener Schotterebene stattgefunden haben kann, mittelfristig auf rd. 20 Mio. m³/a, 1989 auf rd. 24 m³/a. Wahrscheinlich ist dieser nach Norden abfließende Anteil jedoch wesentlich geringer, da größere Grundwassermengen zu den Seeufergebieten und dort teilweise in die Seen abströmen. So macht sich in einigen Seeuferbereichen außerordentlich hohe, über die dort rechnerisch mögliche Grundwasserneubildung weit hinausgehender Grundwasserzuflüsse aus den angrenzenden Hochgebieten bemerkbar (am Würmseeufer v.a. im Kalkgraben-Gebiet).

Nach BLASY (1974; s. Abb. A15) beträgt der direkte, aus den o.g. Hochgebieten stammende Grundwasserdurchfluß zur westlichen Münchener Schotterebene rd. nur 14 Mio. m³/a. Nimmt man den nach Osten in den Raum um das Leutstettener Moos abfließenden Anteil, der wahrscheinlich zu großen Teilen in das Würmtal nördlich der Endmoränen gelenkt wird (Kap. BI.5, BI6), von rd. 9,5 Mio. m³/a hinzu, liegt die Gesamtabflußmenge mit 23,5 Mio. m³/a in der Größenordnung der eigenen Berechnungen.

Der Anteil des Gesamtabflusses am Niederschlag beträgt ungefähr 57 %. Davon stehen rd. 60 % der Grundwasserneubildung zur Verfügung (rd. 36 Mio. m³/a). Gefördert werden davon rd. 6 Mio. m³/a, so daß noch rd. 30 Mio. m³/a Grundwasserreserve (theoretisch nutzbaren Wassermenge) verbleiben.

Auffallende Abweichungen zwischen den Bilanzwerten des mittelfristigen Zeitraumes und den des Jahres 1989 können beispielsweise daraus resultieren, daß zu gewissen Zeiten der Grundwasserspiegel in einigen Gebieten so niedrig war, daß nur eine reduzierte "Einspeisung" in die Bäche erfolgte. Insgesamt können Bilanzunstimmigkeiten auch darauf beruhen, daß z.B. die Fördermengen von Hausbrunnen, diffuse Wasseraustritte oder kleinerer Bachabflüsse nicht erfaßt worden sind. Eine weitere Fehlerquelle besteht darin, daß der Einfluß der Vegetation auf die Verdunstung nicht berücksichtigt wurde.

5. Grundwasserbedarfsprognose

In den vorangegangenen Kapiteln wurde bereits dargelegt, daß das Grundwasser im Untersuchungsgebiet insgesamt bereits stark durch anthropogene Einflüsse (Landwirtschaft, Verkehr, Müll, Altablagerungen usw.) belastet ist und kaum noch in einwandfreier Qualität zur Verfügung steht. Auch nähert sich die Auslastung der Gewinnungsanlagen infolge steigenden Wasserbedarfs vielerorts schon der genehmigten und technisch möglichen Förderhöchstmenge. Fördersteigerungen, Grundwasserneuerschließungen, Sanierungs- und Schutzmaßnahmen oder der Erhalt lokaler und regionaler Trinkwasserversorgungen werden zunehmend aufwendiger und teurer. In einigen Gebieten hat dies in den letzten Jahren schon zu erheblichen Fördereinschränkungen und damit verbundenen Engpässen bei der Trinkwasserversorgung geführt. Hauptursache hierfür ist, daß immer mehr Menschen aus den Ballungsräumen München und Augsburg, aber auch aus wachsenden regionalen Zentren wie Starnberg, Weilheim oder Landsberg urbanes Arbeiten mit attraktivem ländlichem Wohnen kombinieren oder zumindest in der Freizeit immer häufiger den Naturraum "Fünfseenland" nutzen. Begünstigt wird diese Entwicklung u.a. durch hohe Immobilienpreise in den Zentren, vermehrter günstige Baulandausweisung in den Regionen und einer ständig verbesserten Infrastruktur (z.B. Autobahn München-Lindau). Diese Entwicklung führt trotz sinkendem Pro-Kopfwasserverbrauch zu einem insgesamt steigendem Wasserbedarf. Durch die zunehmende Zersiedlung der Dörfer und "Auflockerung" des Grün- und Waldlandes, begleitet von einem rasant wachsenden Pendel-, Wochenend- und Lieferverkehr, verschärfen sich auch zunehmend die Schwierigkeiten beim Grundwasserschutz.

Die Probleme bei der Trinkwasserversorgung, wie sie einige Beispiele in Kapitel BI aufzeigen, konnten oft auch nach aufwendigen, meist regional eng begrenzten, hydrogeologischen Untersuchungen nur unzureichend geklärt werden. Maßnahmen zur Beseitigung dieser Probleme beschränkt(en) sich häufig auf die Erkundung und Erschließung tieferer, in den meisten Fällen bereits auf das tiefste, bis dahin noch gering belasteter quartärer Grundwasservorkommen. Damit wurden die Probleme nur in die nahe Zukunft verschoben und das noch verfügbare, weniger belastete Grundwasser weiter reduziert.

Wie gering der Spielraum zwischen dem in Zukunft erwarteten Wasserbedarf und dem im Untersuchungsgebiet tatsächlich verfügbaren Grundwasserdargebot ist, verdeutlicht die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Wasserhaushaltsbilanzen (Kap. BII.4, Tab. B16), Grundwasserverbrauchsmengen (Kap. BII.4, Tab. B17; Kap. BII.5, Abb. B73- B77) mit einer Prognose über den Trinkwasserverbrauch der Gemeinde Pöcking (WANIA 1988, s. Tab. B18). Diese Prognose dient als grober Richtwert der zu erwartenden Bedarfsentwicklung im Untersuchungsgebiet, wobei nicht übersehen wird, daß eine Übertragung auf den zukünftigen Bedarf des gesamten Untersuchungsgebietes problematisch ist.

WANIA prognostiziert den Spitzenbedarf für das Jahr 2008 unter Zuhilfenahme eines statistischen Verfahrens (Regressionsanalyse) in drei möglichen Umweltkonstellationen (Tab. B18, Szenarien I-III), die anhand der zu erwartenden demographischen und wirtschaftlichen Entwicklung sowie soziographischer Trends (z.B. Umweltbewußtsein) berechnet wurden.

Das mittlere Szenario (II) soll die wahrscheinlichste Konstellation darstellen und legt u.a. nur einen geringen Bevölkerungszuwachs (0,7%) zugrunde, während ein anderes Szenario (III) von einem stärkeren Bevölkerungswachstum (1,4%) ausgeht. Ein drittes Szenario setzt eine geringere Bevölkerungszahl als die des Jahres 1988 voraus und wird als äußerst unwahrscheinlich erachtet. Dabei ist zu berücksichtigen, daß beide zuerst genannten und im folgenden diskutierten Prognosen von keiner

wesentlich zunehmenden Industrialisierung im Versorgungsgebiet des Zweckverbandes Feldafing-Pöcking bis 2008 ausgehen, was wahrscheinlich für das hier betrachtete Gesamtgebiet nicht grundsätzlich zutrifft. Der nach diesen Vorgaben berechnete zukünftige Wasserbedarf der Gemeinde Pöcking für das Jahr 2008 (Tab. B18) ergibt nach WANIA (1988) für die beiden am wahrscheinlichsten Szenarien II und III eine drastische Steigerung des Wasserbedarfs gegenüber dem Mittel der Jahre 1975-1991 von rund 55 bzw. 97 %.

Tab. B18: Prognose des zukünftigen Wasserbedarfs der Gemeinde Pöcking für das Jahr 2008

Szenarien*	m ³ /Jahr*	Steigerung in % gegenüber 1983-1987
I	460 000	30
II	550 000	55
III	700 000	97

* WANIA (1988, S.62)

Um überprüfen zu können, ob diese Konstellation auch im Bilanz- und Untersuchungsgebiet Gültigkeit besitzen kann, werden den Jahres- (Abb. B73, für 1975-1991) und- Monatsverbrauchswerten (Abb. B77, für 1983-1987), die den Prognosen in Tabelle B18 zugrunde lagen, die Entwicklung der Fördermengen einiger wichtiger Gewinnungsanlagen im Untersuchungsgebiet gegenübergestellt (Abb. B74, B75, B76).

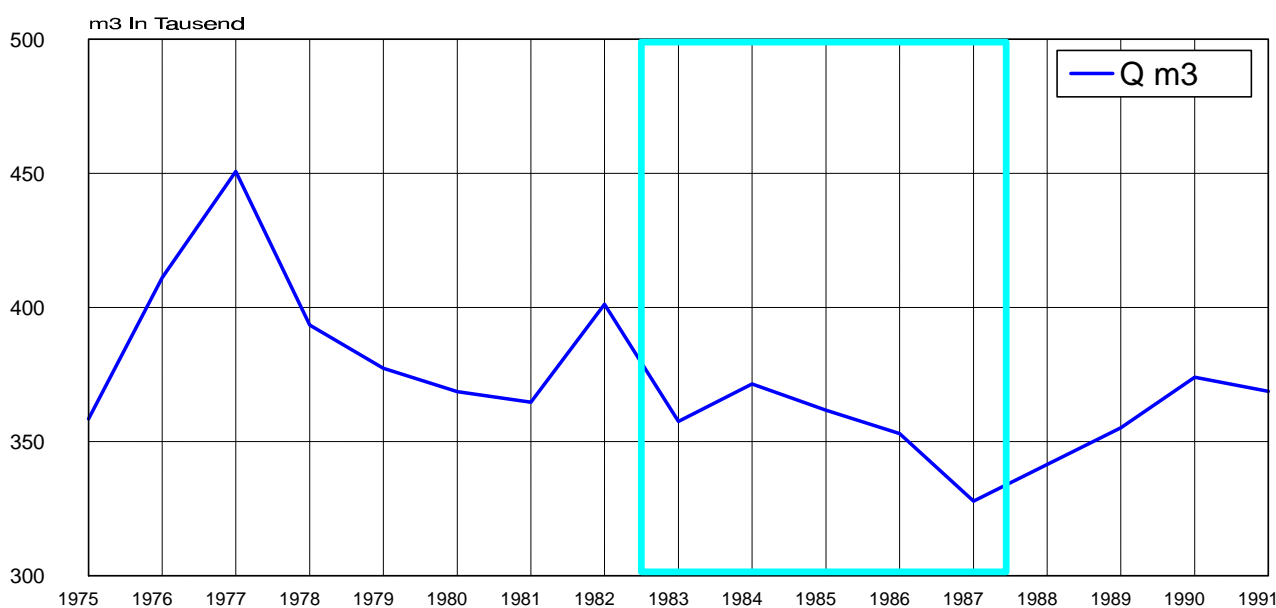


Abb. B73: Wasserverbrauch des Zweckverbandes Feldafing-Pöcking aus den Förderbrunnen I-V im Wieling-Maisinger Becken 1975-1991 (WANIA 1988, ZV Feldafing-Pöcking 1992)

Der Verbrauch stieg von 1975-1977 stark an und fiel dann bis 1987 ungefähr wieder auf den Ausgangswert. Bis 1991 ist dann ein erneuter aber moderaterer Anstieg verzeichnet. Da am Zulauf des Hochbehälters nur eine Entnahmeuhr angebracht war, geben diese Werte keine exakte Auskunft über die tatsächliche Förderung der Brunnen und damit über eventuelle Verluste zwischen den Brunnen und dem Hochbehälter. Die Summierung der durch Wasserzähler an den Hausanschlüssen gemessenen Verbrauchszahlen hat beispielsweise für das Jahr 1980 einen Verlust im Leitungsnetz von 18%, für das Jahr 1986 von 9% ergeben. Der durchschnittliche Wasserverbrauch der Jahre 1975-1977 beträgt rd. 400.000 m³, der des Prognosezeitraumes (WANIA 1988) rd. 355.000 m³.

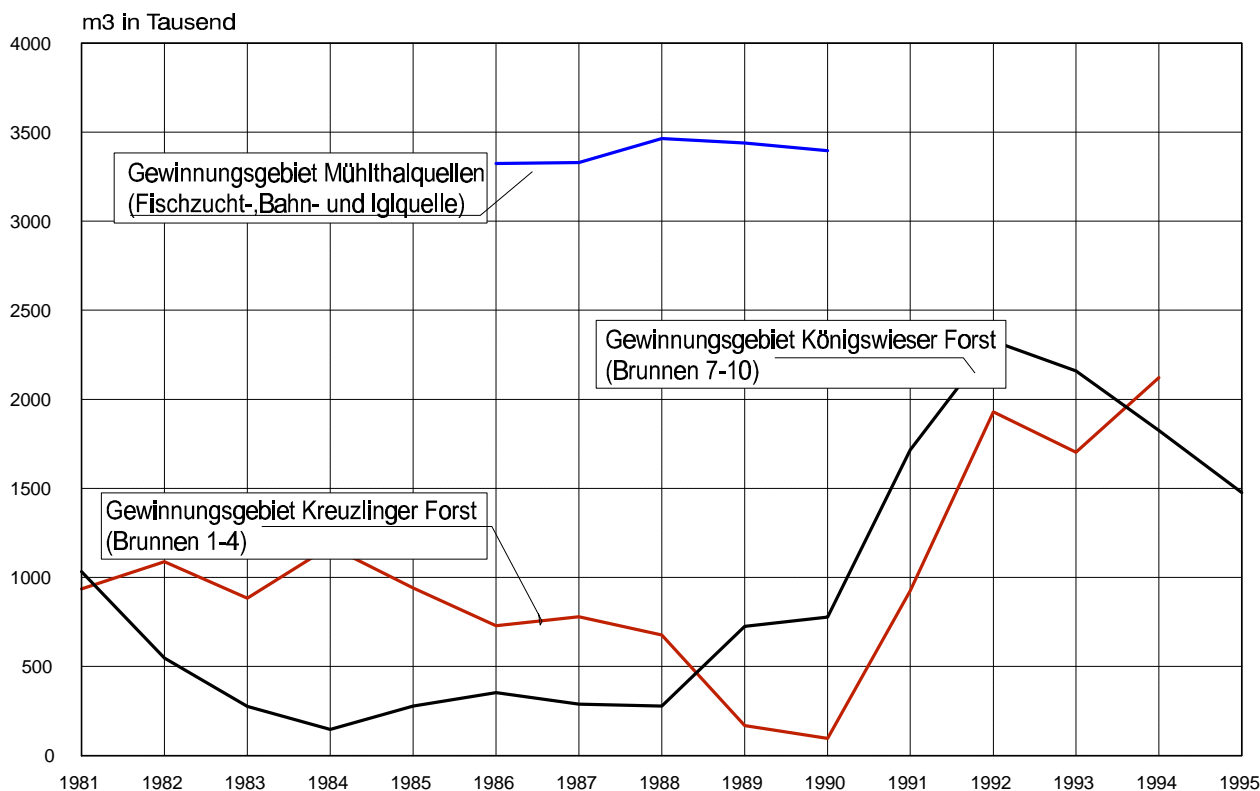


Abb. B74: Jährliche Fördermengen der Gewinnungsgebiete Mühlthalquellen, Königswieser Forst und Kreuzlinger Forst in den Jahren 1981-1995 (Würmtal-Zweckverband/WZV- s. Anh. 2-4)

Die Fischzuchtquelle wurde im Juli 1991, Bahn- und Iglquelle im Juni 1991 wegen mikrobieller Verunreinigungen außer Betrieb gesetzt. Die Quellen sind inzwischen wieder in Betrieb. Ihre durchschnittliche Schüttung betrug 142 l/s (rd. 4,5 Mio m³/a), ihre durchschnittliche Entnahme 107,5 l/s (= ca. 75 der mittleren Schüttung) bzw. rd. 3,4 Mio m³/a. Die maximal bewilligte Entnahme für die Mühlthalquellen beträgt maximal 140 l/s, was schon sehr nahe am 5-jährigen Mittel der Gesamtschüttung (142 l/s) liegt. Die jährlichen Gesamtfördermengen der Brunnen Königswiesen 1-4 lagen 1981 rd. 1 Mio m³, die der darauf folgenden Jahre 1982-1990 im Durchschnitt bei 0,4 Mio m³ und in den Jahren 1991-1994 bei rd. 2,1 Mio m³. Die maximal bewilligte Entnahme für die Brunnen im Königswieser Forst beträgt rd. 7,3 m³/a (230 l/s). Die jährlichen Gesamtfördermengen der Brunnen Kreuzlinger Forst 7-10 von 1981 lagen bis 1991 im Mittel bei rd. 0,75 Mio m³ und in den Jahren 1992-1994 bei rd. 1,9 Mio m³. Die maximal bewilligte Entnahme für die Brunnen im Kreuzlinger Forst beträgt 1,84 Mio m³/a (58 l/s Dauerförderung, max. 170 l/s). Die maximale bewilligte Entnahmemenge aus allen drei Gewinnungsgebieten beträgt 5 Mio m³/a, was einer Dauerförderung von 158 l/s entspricht.

In den Jahren 1986 bis 1990, in denen aus allen drei Gewinnungsgebieten ohne Einschränkungen gefördert werden konnte, betrug die Gesamtentnahme mit geringen Schwankungen rd. 4,4 m³/a und lag damit etwa 12 % unter der maximal bewilligten Entnahmemenge von 5 Mio m³/a. Die folgenden Jahre sind anhand der vorliegenden Zahlen nicht repräsentativ, da hier die stufenweise Wiederinbetriebnahme der Mühlthalquellen nicht angegeben werden kann. Ursache für die drastische Erhöhung der Fördermengen an den Brunnen der Gewinnungsgebiete Königswiesen und Kreuzlinger Forst in den Jahren 1991-1994 sind die o.g. zeitweisen Stilllegungen der Mühlthalquellen. Ein genereller Anstieg der Fördermengen, wie ihn WANIA (1988) für die Gemeinde Pöcking prognostizierte, ist im Zeitraum 1986-1990 für das Versorgungsgebiet des Würmtal-Zweckverbandes noch nicht festzustellen.

In allen Gewinnungsgebieten variieren die Fördermengen je nach Wasserverbrauch saisonal stark.

Die Entwicklung der Jahresentnahmen für das Versorgungsgebiet des Würmtal-Zweckverbandes (Abb.B74; Gewinnungsanlagen Mühlthalquellen, Königswiesen und Kreuzlinger Forst) zeigt zumindest im Zeitraum 1986-1990, die für das Gewinnungsgebiet Wieling Maisinger Becken (Abb.B75; Gewinnungsanlagen der Gemeinde Tutzing) im Zeitraum 1992-1994 noch keinen deutlichen Anstieg, wie er nach der erst 1988 von WANIA erstellten Bedarfsprognose bis 2008 prognostiziert wurde. Die "extremere" Szenarien I und III stellen deshalb eher unwahrscheinliche Konstellationen dar. Es ist somit eine Konstellation, wie sie das Szenario II vorzeichnet, als vernünftige Richtlinie der zukünftigen Bedarfsentwicklung zu betrachten.

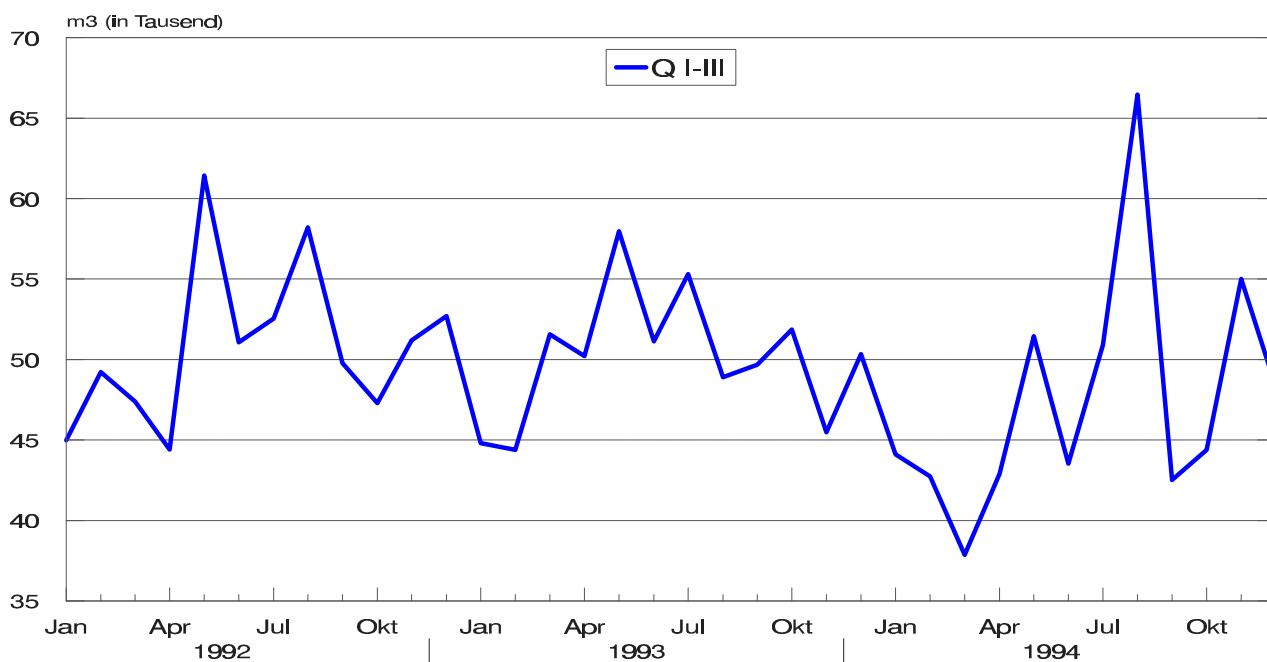


Abb. B75: Jährliche Fördermenge (Brunnen I-III Tutzing) im Gewinnungsgebiet Wiling-Maisinger Becken in den Jahren 1992-1994 (Quelle: Gemeinde Tutzing)

Die Gesamtentnahme beträgt im Jahresmittel rd. 610.000 m³ oder rd. 51.000 m³ monatlich. Überdurchschnittliche Förderungen erfolgten v.a. im Mai und August. Die Förderung sinkt tendenziell von 1992 bis 1994 geringfügig

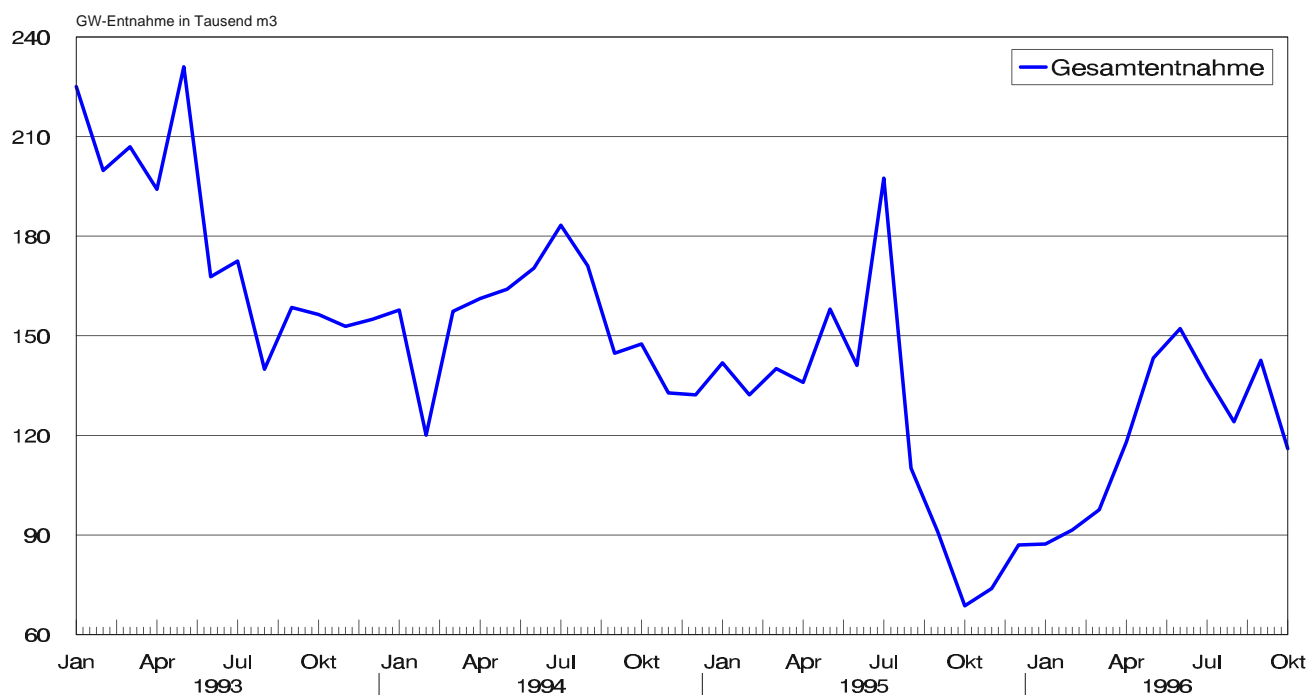


Abb. B76: Monatliche Fördermengen des Gewinnungsgebietes Königswieser Forst (Brunnen 1-4) für die Jahre 1993-1996 (Quelle: Würmtal-Zweckverband)

Infolge der Wiederaufnahme der Förderung an den Mühlthalquellen, nimmt die Gesamtförderung im Gewinnungsgebiet Königswieser Forst in den verbrauchsreichen Sommermonaten des Jahres 1993 nicht ähnlich markant zu, wie in den Monaten Juni-August der folgenden Jahre 1994-1996.

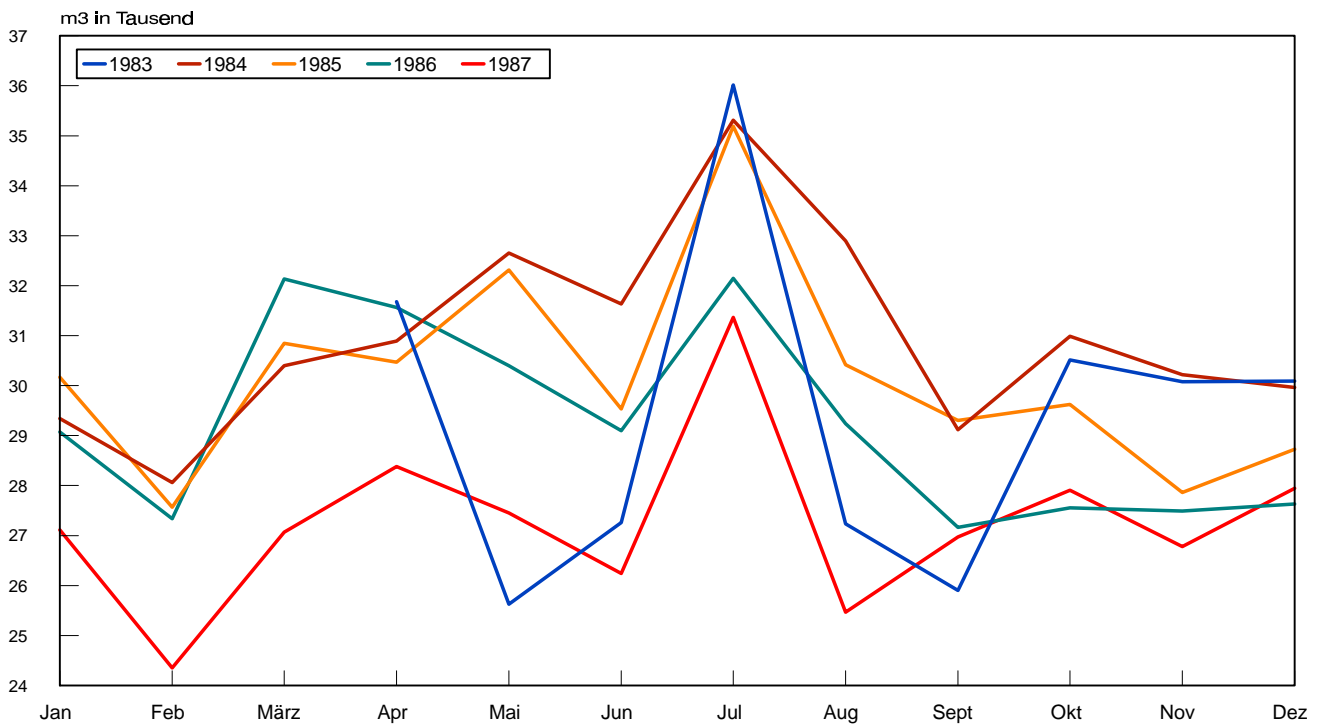


Abb.B77: Monatliche Verbrauchssummen des Wasserzweckverbandes Feldafing-Pöcking der Jahre 1983-1987 (Nach: WANIA 1988)

Der monatliche Verbrauch erreicht in den Sommermonaten (Maximum im Juli) fast das Doppelte des Monatsdurchschnitts

Gemäß den Wasserhaushaltsbilanzen in Kapitel BII.4 werden im Bilanzgebiet (Abb. B61) jährlich rd. 6 Mio. m³ Grundwasser gefördert, die zu rd. **a** aus stärker gefährdeten oberflächennahen Grundwasservorkommen und zu rd. **b** aus tieferen, meist besser geschützten Vorkommen stammen. Bezogen auf die Richtwerte der gemäßigten Prognosen (Szenario II, Tab. B18) nach WANIA (1988) ergeben sich im Bilanzgebiet bis zum Jahr 2008 Entnahmesteigerungen von rd. 55% auf rd. 9 Mio. m³/a, im ungünstigeren Fall (Szenario III, Tab. B18) sogar von rd. 97% auf rd. 12 Mio. m³/a. Die errechnete Grundwasserneubildung beträgt im gesamten Bilanzgebiet im Mittel rd. 36 Mio. m³/a. Nach Abzug der aktuellen Grundwasserentnahme verbleibt ein theoretisch verfügbarer Grundwasservorrat von rd. 30 Mio. m³/a. Bei einem nach WANIA prognostizierten höheren Bedarf bis zum Jahr 2008 verbliebe ein Vorrat von rd. 27 Mio. m³/a (Szenario II) bzw. 24 Mio. m³/a (Szenario III). Unter Berücksichtigung eines nicht nutzbaren Haftwasseranteils in kiesig sandigen Aquiferen und der Tatsache, daß ein Grundwasservorkommen je nach Durchlässigkeit des Aquifers dauerhaft kaum unter die Hälfte seiner Mächtigkeit abgesenkt werden darf, mag sich dieser theoretisch verfügbare Grundwasservorrat auf weniger als die Hälfte reduzieren. Berücksichtigt man darüber hinaus, daß diese Menge teilweise erheblich schadstoffbelastet ist (Kap. BII.3.3.2), nicht wirtschaftlich erschlossen werden kann und unter Umständen nicht schützenswürdig wäre, kann der nach WANIA prognostizierte Mehrverbrauch bis zum Jahr 2008 u.U. eventuell nicht problemlos gedeckt werden.

Zur Vermeidung von Versorgungsengpässen wäre ein weiter sinkender Pro-Kopfverbrauch notwendig. Dabei ist besonders an eine Nivellierung des sommerlichen Spitzenbedarfs zu denken. Auch würde eine gründliche Instandsetzung des Rohrleitungsnetzes wahrscheinlich einen erheblich geringeren Leitungsverlust bewirken.

Zusammenfassung des Inhalts

In der vorliegenden Arbeit werden, exemplarisch für ähnliche Eiszeitlandschaften im Alpenvorland, der geologisch-hydrogeologische Schichtenbau und die Grundwassersituation im Quartär des "Fünfseenlandes" (Oberbayern) zwischen Ammer- und Würmsee und der nördlich angrenzenden Wurzelzone der westlichen Münchener Schotterebene untersucht.

Die Arbeit erwuchs zu großen Teilen aus der praktischen Mitarbeit des Verfassers an Untersuchungen für Wassererschließungs- und Wasserschutzgutachten, welche die in Kapitel BI und in Tabelle B1 genannten ingenieurgeologischen Büros im Auftrag der Gemeinden Tutzing, Feldafing-Pöcking, Herrsching, Erling-Andechs, Starnberg und Planegg in den Jahren 1991 bis 1998 ausgeführt haben. Diese Untersuchungen konzentrierten sich auf wasserwirtschaftliche Fragen in den in Abschnitt BI genannten Gebietsausschnitten und stützten sich auf eigene und fremde Bohrprofilaufnahmen, Grundwasserstandsmessungen und Grundwasseranalysen sowie geoelektrische Erkundungen. Dazu hat der Verfasser in Archiven der im Quellenverzeichnis angeführten Firmen und Behörden zahlreiche unveröffentlichte Daten und Berichte recherchiert und ausgewertet.

Abschnitt A referiert den bisherigen Erforschungsstand des Gebietes, soweit er für die Hydrogeologie relevant ist und aus Publikationen zu ermitteln war.

Abschnitt BI stellt hydrogeologische Spezialuntersuchungen aus neun Teilgebieten vor, die nach Abschnitt A für wichtig erachtet wurden oder sich aus den Aufträgen der Ingenieur-Büros ergaben. Ihre Ergebnisse werden jeweils in detaillierten Tertiäroberflächenkarten, hydrogeologischen Profilschnitten, Grundwassergleichenkarten und Gangliniendiagrammen veranschaulicht und erläutert.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Teilgebietsuntersuchungen sind folgende:

- Um Wieling-Aschering liegt die Tertiäroberfläche etwa 50 m tiefer als von CONRADI (1986) angegeben, woraus auch für die angrenzenden Gebiete ein völlig verändertes Tertiärrelief resultiert - im Zentrum mit einem langgestreckten Becken parallel zum Würmseeufer (Wieling-Maisinger Becken, Kap. BI.1). Mehrere schottergefüllte und potentiell grundwasserführende „Tertiärrinnen“ leiten in dieses Becken hinein oder aus diesem heraus nach Norden zur westlichen Münchener Schotterebene oder nach Osten zum Würmsee (Kap. BI.1 bis BI.4). Im Bereich des Schön-Berges bei Leutstetten wurden die bisher verzeichneten Tertiärhöhen (JERZ 1987a, BLASY 1974, WATEC 1994) korrigiert, wodurch ein wesentlich plausibleres Bild der Anstromverhältnisse zu den Mühlhalquellen (Kap. BI.5) und den Brunnen im Königswieser Forst (Kap. BI.6) entsteht.
 - Anhand hydrogeologischer Profilschnitte wird ersichtlich, daß die wasserstauenden Feinsedimente unter den oberflächennahen Schottern im Wieling-Maisinger Becken und bei Kerschlach entgegen bisherigen Annahmen nicht das Tertiär, sondern quartäre Bildungen sind (Kap. BI.1, BI.8), darunter befinden sich grundwasserführende Deckenschotter.
 - Es werden erstmals die Grundwasservorkommen im Wieling-Maisinger Becken (Kap. BI.1), um Tutzing/Garatshausen (Kap. BI.2), in der Maisinger Schlucht (Kap. BI.3), um Rothenfeld (Kap. BI.4), im Würmtal (Kap. BI.5 und BI.6), um Kerschlach (Kap. BI.8) sowie im Mühlbachtal bei Herrsching (Kap. BI.9) genauer abgegrenzt. In Korrelation mit Tertiäroberflächenkarten, Profilschnitten und wasserchemischen Analysen wird jeweils die Wahrscheinlichkeit zeitweiser oder ständiger Verbindungen zwischen mehreren Grundwasserstockwerken hervorgehoben.
 - Es wird im Einklang mit Grenzflächenkarten und Profilschnitten der Nachweis über Ursachen und Ausbreitungswege von Grundwasserverunreinigungen mit anthropogenen Schadstoffen erbracht. So lassen sich z.B. im Wieling-Maisinger Becken (Kap. BI.1) oder im Mühlbach-Tal bei Herrsching (Kap. BI.8) hydraulische Verbindungen zwischen unterschiedlich belasteten Grundwasservorkommen nachweisen. Auch besser geschützt geglaubte Vorkommen, wie das in der Maisinger Schlucht (Kap. BI.3) oder bei Rothenfeld (Kap. BI.4), sind infolge hydraulischer Verbindungen mit stärker kontaminierten Hangend-Grundwässern besonders gefährdet.
- Weitere Detailergebnisse stehen in den jeweiligen „Zusammenfassungen“ der Kapitel BI.1 bis BI.9.

In **Abschnitt BII** wird eine geologisch-hydrogeologische Synthese für das gesamte Arbeitsgebiet entwickelt, fußend auf einer Kombination der Spezialuntersuchungen des Abschnittes BI, den erwähnten Archiv-Recherchen und einer Wasserhaushaltsbilanz, die nach Darlegung der einschlägigen Niederschlags-, Verdunstungs- und Abflußdaten sowie der Methoden ihrer Berechnung, auch eine Prognose des zukünftigen Wasserbedarfs enthält. Die Ergebnisse dieser Synthese werden anhand großräumiger Darstellungen der Tertiär- und Grundwasseroberfläche, einer hydrogeologischen Übersichtskarte, weitreichender hydrogeologischer Profilschnitte sowie Vergleichen von Grundwasserstandsganglinien und von Nitratkonzentrationen im Grundwasser erläutert und interpretiert.

Die wichtigsten Ergebnisse dieses Abschnittes sind folgende:

- Großformen, aber auch viele kleinere Reliefelemente der Tertiäroberfläche, werden von der heutigen Geländeoberfläche vielerorts gut nachgezeichnet, wodurch aus dem heutigen Oberflächenrelief in groben Zügen auf das der verdeckten Tertiäroberfläche geschlossen werden kann. Andere, meist kleinere, schotter-, oft auch grundwassergefüllter Tertiärrinnen, die, wie die Pfaffenbergrinne bei Tutzing, in das Würmseebecken leiten oder wie die Perchtinger Rinne am Nordende des Wieling-Maisinger Beckens unter den Endmoränenwällen hindurch zur Münchener Schotterebene führen, sind an der Geländeoberfläche nicht zu erkennen. In wenigen Fällen, wie im Bereich der Pilsenseerinne, ist ihre Entstehung mit Brüchen der Molasse in Verbindung zu bringen.
- Es sind vier, in ihren Richtungen voneinander abweichende Rinnensysteme des Tertiärreliefs zu unterscheiden (Kap. BII.1.3; SSW-NNE, S-N, WSW-ENE bis W-E, SSE-NNW). Abgesehen von den meisten S-N Rinnen, für die ein jungpleistozänes Alter in Betracht kommt, sind die Mehrzahl der Rinnen von mindeleiszeitlichen Schottern verdeckt und deshalb älter. An die Wurzelzonen einiger Rinnen südlich der Würmendmoränen läßt sich eine ältere Eisrandlage knüpfen. Großräumig fallen drei etwas N-S gerichtete Rinnen auf, in die auch die Zungen von Ammer-, Würmsee- und Wolfratshauer Gletscher Platz nahmen. Es wird für möglich erachtet, daß diese Rinnen von Westen nach Osten nacheinander von einer "Ur-Loisach" mitgeprägt wurden. Für einen solchen Flußlauf durch das Würmseebecken, dem schon von KNAUER (1952, S. 16) und JERZ (1993b, S.111 ff) vermuteten ehemaligen Loisachlauf und seine Fortsetzung in das heutige Würmtal, liegen besonders gewichtige Anhaltspunkte vor (Kap. BI.5, BI.6).
- Die Tertiärsenke des Wieling-Maisinger Beckens stellt auf dem Andechser Höhenrücken ein besonders auffälliges potentielles Grundwassersammelbecken dar. Je nach Ausbildung der quartären Beckenfüllung, die wie im Mündungsbereich der Ascheringer Rinne (Kap. BI.1) von gut durchlässigen Ablagerungen (Deckenschotter) bestimmt wird ist zu erwarten, daß auch über andere Rinnen, wie Kerschbacher- und Machtlfinger Rinne, Grundwasser besonders aus dem westlichen Hochgebiet zufließt und nach Norden über die Tiefenbrunner- und Unterbrunner Rinne zur westlichen Münchener Schotterebene oder über die Pfaffenberg- und Pöckinger Rinne zum Würmsee sowie über die Maisinger und Hanfelder Rinne zum verlandeten Nordende des Sees und in das Würmtal gelangen kann. Wenn solche potentiell grundwasserführenden Rinnen nicht aus Bohrungen, Oberflächenaufschlüssen oder Geoelektrik bekannt oder nach der Geländeoberfläche zu vermuten sind, ist bei Grundwassererkundungen in diesen und geologisch ähnlichen Gebieten darauf zu achten, daß sie sich bevorzugt an den oben genannten Hauptrichtungen der Tertiäroberfläche orientieren, um eine größere "Trefferquote" zu erzielen.
- Zwischen Ammersee und Wieling-Maisinger Becken gibt es einen weitreichenden, annähernd horizontbeständigen quartären Schichtenbau in Form einer dreimaligen Abfolge von Feinsedimenten mit dazwischen liegenden Grobsedimenten. Bei geeigneter Grobsedimentausbildung ist hier auch in Gebieten, in den bisher kein Grundwasser bekannt ist, die Aussicht solches zu erschließen groß, während die meist wesentlich heterogeneren Ablagerungen an den Beckenrändern keine großflächigen Grundwasservorkommen aufweisen oder erwarten lassen.

- Insgesamt ist das Gebiet zwischen Ammer- und Würmsee nicht grundwasserarm, wobei die Grundwasserhöflichkeit zur Münchner Schotterebene zunimmt. Dabei sind in jüngeren, oberflächennahen Schmelzwasserschottern innerhalb der Endmoränengürtel meist isolierte, oft ergiebige Grundwasservorkommen zu finden, deren Einzugsgebiete in der Regel gut im Gelände abgrenzbar sind.
- Tiefer liegende mindeleiszeitliche Deckenschotter, sind weitgehend lückenlos über dem Tertiär des Andechser Höhenrückens verbreitet und nach Norden zunehmend weiträumiger grundwassererfüllt, wobei sie häufig unter jüngeren Ablagerungen hindurch reichen. Darüber liegen zumindest im westlichen Kerngebiet des Andechser Höhenrückens, meist unter geringmächtigen würmeiszeitlichen Sedimenten, bis zu 20 Meter mächtige schotterreiche Ablagerungen, die vermutlich rißeiszeitliches Alter haben. Rißeiszeitliche Bildungen sind hier bisher weitgehend unbekannt.
- Es erfolgt in Korrelation mit der Tertiäroberflächenkarte in Teilgebieten eine Abgrenzung unterirdischer Einzugsgebiete, die in mehreren Fällen, wie am westlichen Würmseebeckenrand (Kap. BI.1, BI.2, BI.3) nicht mit den oberirdischen bzw. bisher relevanten übereinstimmen.
- Das Wasser höherer Grundwasservorkommen tritt entweder an den Beckenrändern aus oder es vereint sich nach Norden infolge auseinandergehender Sohlschichten mit tieferem Grundwasser, wodurch gebietsweise stärker kontaminiertes, oberflächennahes Grund- oder auch Oberflächenwasser, rasch in tieferes, geringer belastetes zusickert, wie dies beispielsweise im Raum Rothenfeld, im Mühlbachtal bei Herrsching oder im Würmtal der Fall ist. Im Wieling-Maisinger Becken ist ein hydraulischer Zusammenhang zwischen dem Grundwasser in den oberflächennahen Schottern und dem Grundwasser in der Maisinger Schlucht nachgewiesen.
- Im Gebiet nördlich der Würmendmoränen bis zur Münchener Schotterebene gibt es nur noch ein größeres, zusammenhängendes Grundwasservorkommen, das generell nach NNE fließt und über der Tertiäroberfläche gestaut wird, während jüngere Schotterrinnen darüber, die bis weit in den Moränengürtel nach Süden reichen, keine nennenswerten, höheren Grundwasservorkommen enthalten. An seiner West- und Ostflanke werden Grundwasseranteile in die Pilsensee- bzw in die Würmtalrinne gelenkt, wobei ein kleinerer Teil davon im nach SSW gerichteten Abschnitt der Pilsenseerinne zum Ammerseebecken fließt, während der größte Teil sich wieder in der westlichen Münchener Schotterebene vereint.
- Rund **a** der derzeitigen Grundwasserfördermenge stammen aus stärker gefährdeten oberflächennahen Grundwasservorkommen in denen der Richtwert, manchmal sogar der Grenzwert für Nitratkonzentrationen bereits überschritten ist und die Konzentrationen anderer anthropogener Schadstoffe wie PSM oder FCKW in einigen Gebieten ebenfalls überhöht sind. Rund **b** der Fördermenge stammt aus den besser geschützten tieferen Vorkommen, die jedoch wie in der Maisinger Schlucht (Kap. BI.3), bei Rothenfeld (Kap. BI.4) oder bei Kerschlach (Kap. BI.8) durch Infiltrationen stärker belasteter Grund- und Oberflächenwässer bereits in ihrer Qualität beeinträchtigt sind.
- Im gesamten Bilanzgebiet werden jährlich durchschnittlich ca. 36 Millionen m³ Grundwasser neu gebildet, davon derzeit ca. 6 Millionen m³ für den menschlichen Gebrauch entnommen. Rechnet man mit WANIA (1988) mit einem etwa um die Hälfte höheren Bedarf bis zum Jahre 2008, so bleiben noch ca. 27 Millionen m³ jährlich theoretisch nutzbare Grundwasserreserve aus allen Grundwasserstockwerken zusammen, die aber aus technischen Gründen bei weiten nicht vollständig ausgeschöpft werden können und dürfen. Daraus, aus den vorgefundenen Schadstoffkonzentrationen und den anzunehmenden hydraulischen Verbindungen zwischen den Grundwasserstockwerken folgt die Notwendigkeit, diese Grundwasserreserve für den prognostizierten Mehrverbrauch sorgfältiger als bisher zu schützen und zu nutzen.

Die vorliegende Bestandsaufnahme, Analyse und Synthese kann als verbesserte Entscheidungsgrundlage für weitere, planvolle Grundwassernutzung im Arbeitsgebiet dienen. Die hierbei gewonnenen Erfahrungen werden auch in anderen Teilen des quartärbedeckten Alpenvorlandes von Nutzen sein.

Quellennachweis

Gutachterliche Quellen (Ingenieur-Büros - Behörden - Zweckverbänden - u.a.), die im Text „*kusiv*“ gekennzeichnet sind, werden im Anschluß an das Literaturverzeichnis angeführt.

Literaturverzeichnis

BADER, K. (1979): Exarationstiefen würmeiszeitlicher und älterer Gletscher in Südbayern. Eiszeitalter u. Gegenwart, 29: 49-61, 5 Abb.; Hannover.

BAUMANN, T. (1994): Hydrogeologische und hydrochemische Beurteilung der Bedeutung einer Hausmülldeponie als Schadstoffemittent. - Diss. Univ. München, 191 S., 69 Abb., 35 Tab.; München.

BGLA = BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1982): Hydrogeologische Untersuchungen für die wasserwirtschaftliche Rahmenplanung - Grundwasser in Moränengebieten. - 39 S., 21 Abb., 7 Beil.; München.

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1986): Standortkundliche Bodenkarten von Bayern 1:50 000, München-Augsburg und Umgebung. - 396 S., 15 Abb., 12 Tab., 1 Beih., 14 Karten; München.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR GEWÄSSERKUNDE (Hrsg.) (1988): Deutsches gewässerkundliches Jahrbuch. Donauebiet - Abflußjahr 1986. - München.

LFW = BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1978): Verzeichnis der Bach- und Flußgebiete in Bayern. - Teil 1 (Text), Teil 2 (Karten); München.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1980): Das natürliche Grundwasserdargebot in Bayern im Vergleich zu den Hauptkomponenten des Wasserkreislaufes. - Schriftenreihe Bayer. L.-Amt f. Wasserwirtschaft 13: 14 S., 4 Diagr., 1 Tab., 7 Karten; München.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1982): Zur Limnologie des Starnberger Sees. - Informationsberichte Bayer. L.-Amt f. Wasserwirtschaft 3/82: 284 S., 140 Abb., 12 Tab.; München.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1983): Untersuchung zum Grundwasserhaushalt der Oberen Süßwassermolasse durch Grundwasseraltersbestimmung. - 201 S., 49 Abb., 16 Tab.; München.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1985a): Grundwassergleichenkarte von Bayern 1:500 000. - Schriftenreihe Bayer. L.-Amt f. Wasserwirtschaft 20: 39 S., 1 Karte; München.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1985b): Trinkwasserschutzgebiete: Dienstbesprechung am 19. und 20. September 1985. - Informationsberichte Bayer. L.-Amt f. Wasserwirtschaft, 5/85: 224 S., 73 Abb., 3 Tab., Anhang; München.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1987): Die Grundwasserbildung in Bayern. Berechnet aus den Niedrigwasserabflüssen der oberirdischen Gewässer. - Informationsberichte Bayer. L.-Amt f. Wasserwirtschaft, 3/87: 86 S., 5 Abb., 48 Tab., 1 Karte.; München.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1990): Leitlinien für die Ermittlung der Einzugsgebiete von Grundwassererschließungen und für die Konzeption erste Sanierungsmaßnahmen bei Schadstoffbelastungen. - 27 S., 1 Abb.; München.

BLASY, L. (1974): Die Grundwasserverhältnisse in der Münchner Schotterebene westlich der Isar. - Diss. TU München, 103 S., 22. Abb.; 9 Tab.; München.

- BRAML, F. (1986):** Die Geologie des Gebietes zwischen Tutzing und Pähl im Bereich des Isarvorlandgletschers. - Unveröff. Dipl.-Arb. TU München, 78 S., 16 Abb. 3 Tab, 2 Beil, 1 Karte; München.
- BRUNNACKER, K. (1957):** Die Geschichte der Böden im jüngeren Pleistozän in Bayern. - Geol. Bavarica, **34**: 95 S. 11 Abb., 3 Taf.; München.
- CONRADI, W. (1986):** Geologische Kartierung und sedimentpetrographische Untersuchungen der Ablagerungen des Loisach-Isar-Vorlandgletschers im Gebiet zwischen Erling-Andechs, Feldafing und Tutzing. - Unveröff. Dipl.-Arb. TU München, 134 S.; München.
- DAMMANN, W. (1965):** Meteorologische Verdunstungsmessung, Näherungsformeln und die Verdunstung in Deutschland. - Wasserwirtschaft, **55**, 10; 315-321; Stuttgart.
- EBERS, E. (1957):** Vom großen Eiszeitalter. - Verständliche Wissenschaft, **66**: 138 S., 77 Abb.; Berlin-Göttingen-Heidelberg (Springer).
- EINSELE, G., BOZORGZAD-ARBAB, D., HEITTELE, H., KLOCK, M. & SAILER, K.-P. (1969):** Hydrogeologische Untersuchungen in der Bundsandsteinzone des südlichen Saarlandes. Allgemeiner Teil: Neubildung und Speicherung von Grundwasser. - Geol. Mitt., **9**: 1-74; Aachen.
- EGGER, R. (1983):** Untersuchungen zum Grundwasserhaushalt des Tiefenwassers der Oberen Süßwassermolasse durch Grundwasseralterbestimmung. - In: Untersuchung zum Grundwasserhaushalt der Oberen Süßwassermolasse durch Grundwasseraltersbestimmung. - 201 S., 49 Abb., 16 Tab.; München (Bayer. L.-Amt f. Wasserwirtschaft).
- FELDMANN, L. (1990):** Jungquartäre Gletscher- und Flußgeschichte im Bereich der Münchner Schotterebene. - Diss. Univ. Düsseldorf, 355 S., 82 Abb., 5 Beil; Düsseldorf.
- FEULNER, M (1955):** Terrassenuntersuchungen auf der Münchner Niederterrasse. - Unveröff. Diss. Univ. München, 127 S.; München.
- FRANK, H. (1979):** Glazial übertiefte Täler im Bereich des Isar-Loisach-Gletschers. - Eiszeitalter u. Gegenwart, **29**: 77-99, 8 Abb., 1 Tab., 2 Taf., Hannover.
- FUSCHLBERGER, E. (1988):** Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Gebiet um das Pilsensee/Aubachtal am Nordostufer des Ammersees. - Unveröff. Dipl.-Arb. TU München, 121 S., 22 Abb, 11 Tab, 2 Beil, 1 Karte; München.
- GAMS, B. & NORHAGEN, R. (1923):** Postglaziale Klimaänderungen und Erdkrustenbewegungen in Mitteleuropa. - Mitt. Geogr. Gesell. München **16**: 336 S.; München.
- GERMAN, R., LOHR, J., WITTMANN, D. & BROSE, P. (1967):** Die Höhenlage der Schichtgrenze Tertiär-Quartär im mittleren Oberschwaben. - Eiszeitalter u. Gegenwart, **18**: 104-109; Öhringen.
- GROTTENTHALER, W. (1980):** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 7833 Fürstfeldbruck. - 82 S., 10 Abb., 4 Tab., 6 Beil., 1 Karte; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- GROTTENTHALER, W. (1986):** In: Standortkundliche Bodenkarten von Bayern 1:50 000, München-Augsburg und Umgebung. - 396 S., 15 Abb., 12 Tab., 1 Beih., 14 Karten; München.
- GROTTENTHALER, W. (1989):** Lithofazielle Untersuchungen von Moränen und Schottern in der Typusregion des Würm. -
In: ROSE, J. & SCHLÜCKER, Ch. (eds.): Quarternary Type Sections: Imagination or reality?: 101-112; Rotterdam (Balkema).
- HANDKE, R. (1978):** Eiszeitalter. Die jüngsten Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. - Bd. **1**: 468 S., 221 Abb., 4 Karten; Thun (Ott).
- HABBE, K. A. (1988):** Zur Genese der Drumlins im süddeutschen Alpenvorland. Bildungsräume, Bildungszeiten, Bildungsbedingungen. - Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. **70**: 33-50, 2 Abb., 9 Fig.; Berlin-Stuttgart.
- HAUDE, W. (1952):** Verdunstungsmenge und Evaporationskraft des Klimas. - Bericht des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, **42**: 225-229;

- HAUDE, W. (1958):** Über die Verwendung verschiedener Klimafaktoren zur Berechnung potentieller Evaporation und Evapotranspiration. - Meteorol. Umschau **11**: S. 96;
- HEPP, W. (1986):** Geologie der Jung- und Altmoränenlandschaft bei Frieding - Hausen - Söcking. - Unveröff. Dipl.-Arb. TU München, 84 S., 19 Abb., 1 Karte; München.
- HERZ, M. (1992):** Seespiegelschwankungen im ausgehenden Würmhochglazial, Spätglazial und Holozän am Starnberger See - Geologische Kartierung des Gebietes zwischen Possenhofen, Feldafing und Roseninsel 1:5000. - Unveröff. Dipl.- Arb. TU München, 168 S.; München.
- HUNSDORFER, M. (1983):** Kartierung und quartärgeologische Untersuchungen der Ablagerungen des Iller- und Wertach-Vorlandgletschers im Raum Obergünzburg / Ostallgäu. - Unveröff. Dipl.-Arb. TU München, 140 S.; München.
- JERZ, H. (1969):** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 8134 Königsdorf. - 173 S., 19 Abb., 9 Tab., 2 Beil; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- JERZ, H. (1979):** Das Wolfratshausener Becken - Seine glaziale Anlage und Übertiefung.- Eiszeitalter u. Gegenwart, **29**: 63-69; Hannover.
- JERZ, H. (1987a):** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 7934 Starnberg Nord. - 128 S., 10 Abb., 9 Tab., 6 Beil, 1 Karte; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- JERZ, H. (1987b):** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 8034 Starnberg Süd. - 173 S., 14 Abb., 12 Tab., 5 Beil, 1 Karte; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- JERZ, H. (1993a):** Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 80?? Weilheim - 158 S., 14 Abb., 13 Tab., 5 Beil., 1 Karte; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- JERZ, H. (1993b):** Geologie von Bayern II. Das Eiszeitalter in Bayern. - 243 S., 74 Abb., 17 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).
- KILLE, K. (1970):** Das Verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. - Z. dt. Geol. Gesell., Sonderh. Hydrogeologie Hydrochemie: 89-95; Hannover.
- KLEINMANN, A. (1992):** Nachweis spät- und postglazialer Seespiegelschwankungen am Ammersee mittels pollenanalytischer und sedimentologischer Untersuchungen. - Diss. Techn. Univ. München:139 S.; München.
- KNAUER, J. (1929a):** Glazialgeologische Ergebnisse aus dem Isargletschergebiet. - Z. Geol. Gesell., **80**: 294-303; München-Berlin.
- KNAUER, J. (1929b):** Erläuterungen zum Blatt München-West (Nr.XXVII) der Geognostischen Karte von Bayern 1:100 000, Teilblatt Landsberg. - 48 S.; München (Geol. Landesunters. Bayer. Oberbergamt).
- KNAUER, J. (1931):** Erläuterungen zum Blatt München-West (Nr.XXVII) der Geognostischen Karte von Bayern 1:100 000, Teilblatt München-Starnberg. - 48 S.; München (Geol. Landesunters. Bayer. Oberbergamt).
- KNAUER, J. (1952):** Diluviale Talverschüttung und Epigenese im südlichen Bayern. - Geol. Bavarica, Nr. **11**, 32 S., 11 Abb.; München.
- KNOCH, K. (1952):** Klimaatlas von Bayern. - Herausgegeben vom Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes, 75 Blätter, 7 Diagramme; Bad Kissingen.
- KRAUS, E. (1964):** Ein erstes zusammenhängendes Pleistozän-Profil im Süden von München (Deißenhofener Forst-Isartal-Forstenrieder Park). - Eiszeitalter u. Gegenwart, **15**: 123-163; Öhringen.
- KUNZ, R. (1992):** Erläuterungen zur geologischen Karte des nördlichen Ammerseeumlands. Der Rückzug des würmeiszeitlichen Isar-Loisach-Gletschers im nördlichen Ammerseegebiet. - Unveröff. Dipl.- Arb. TU München, 143 S., 46 Abb., 5 Tab., 10 Anl.; München.

- KUNZ, R. (1998):** Erläuterungen zur geologischen Karte 1 : 25 000 Blatt 7832 Türkenfeld mit Anmerkungen zur Geologie und Landschaftsgeschichte im nördlichen Bereich des ehemaligen Loisachgletschers, Oberbayern. - Diss. TU München, 164 S., 36 Abb., 7 Tab., 2 Anl.; München.
- LANDAUER; B. (1989):** Geologische und hydrogeologische Untersuchungen am Ammersee zwischen Andechs-Erling und Pähl. - Unveröff. Dipl.- Arb. TU München, 125 S., 22 Abb., 13 Tab., 6 Anl.; München.
- LEMCKE, K. (1988):** Geologie von Bayern I. Das bayerische Alpenvorland vor der Eiszeit. - 175 S., 71 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Stuttgart (Schweizerbart).
- MÄRZ, S. (1975):** Geologie der Jungmoränenlandschaft bei Herrsching am Ammersee und Andechs. - Unveröff. Dipl.-Arb. TU München, 102 S., 17 Abb, 2 Beil, ! Karte; München.
- MATHESS, G. & UBELL, K. (1983):** Allgemeine Hydrogeologie - Grundwasserhaushalt - Lehrbuch der Hydrogeologie Band 1. - 438 S., 214 Abb., 75 Tab.; Berlin-Stuttgart (Borntraeger).
- MEYER, R. & SCHMIDT-KALER, H. (1997):** Auf den Spuren der Eiszeit südlich von München -westlicher Teil. - Wanderungen in die Erdgeschichte, 9: 126 S., 164 Abb.; München (Pfeil).
- MÜLLER, F. (1973):** Einführung in die Meteorologie, 1, Physik der Atmosphäre. - 222 S.; Mannheim (B.I.-Wissenschaftsverlag).
- NATTERMANN, E. (1951):** Die Linie des langfristigen Grundwassers (AuL) und die Trockenwetterabflußlinie (TWL). - Wasserwirtschaft 41: Sonderh.: 12-14; Bielefeld.
- NATTERMANN, E. (1958):** Der Wasserhaushalt im oberen Emsgebiet nach dem A_u -Linien-Verfahren. - 44 S.; Düsseldorf (Min. Ernähr. Landwirtsch. Forsten).
- PENCK, A. (1882):** Die Vergletscherung der Deutschen Alpen, ihre Ursache, periodische Wiederkehr und ihr Einfluß auf die Bodengestaltung. - 483 S., 16 Holzschnitte, 2 Karten, 2 Taf., Leipzig (Joh. A. Barth).
- PENCK, A. (1909):** Das System der Glazialbildungen. -In: PENCK, A. & BRÜCKNER, E. (1901/1909): Die Alpen im Eiszeitalter. - Buch 1: 23-392; Leipzig (Tauchnitz).
- PENCK, A. (1901):** Die Eiszeiten in den nördlichen Ostalpen. - In: PENCK, A. & BRÜCKNER, E. (1901/1909): Die Alpen im Eiszeitalter. - Buch 1: 23-392; Leipzig (Tauchnitz).
- PENCK, A. & BRÜCKNER, E. (1901/1909):** Die Alpen im Eiszeitalter. - 3 Bände, 1199 S. 156 Abb., 30 Taf., 19 Karten; Leipzig (Tauchnitz). S.o.
- PIEHLER, H. (1974):** Die Entwicklung der Nahtstelle von Lech-, Loisach- und Ammergletscher vom Hoch- bis Spätglazial der letzten Vereisung. - Münchner Geogr. Abh., 13: 1-105, 29 Abb., 14 Tab., 1 Karte; München.
- PLÖTHNER, D. (1979):** Hydrologie des Bundsandsteins im östlichen Rhön-Vorland (Sulz-Tal, N-Bayern) - Geologie, Hydrochemie, Wasserhaushalt, Aquifer-Kennziffern. - Berliner geowiss. Abh., (A), 16: 139 S., 50 Abb., 27 Tab., 8 Taf.; Berlin.
- REH, N. (1987):** Geologische Kartierung südlich von Gilching. - Unveröff. Dipl.-Arb. TU München, 33 S.; München.
- ROPPELT, T. (1988):** Die Geologie von Obergünzburg im Allgäu mit sedimentpetrographischen Untersuchungen der glazialen Ablagerungen. - Diss. Techn. Univ. München, 109 S., 13 Tab., 15 Abb.; München.
- ROTHPLETZ, A. (1917):** Die Osterseen und der Isar-Vorlandgletscher. Eine geologische Schilderung der Umgebung der Osterseen und ihre Beziehung zur Vorlandvergletscherung. - Mitt. Geogr. Gesell. München, 12: 99-314, 2 Karten, 2 Bilder, 31 Textfig.; München sowie: Landeskundliche Forschung, 24: München (Lindauer).
- SALAMEH, E. (1974):** Hydrogeologie und Hydrochemie des nordwestlichen Bereiches der Münchener Schotterebene und des angrenzenden Tertiärs zwischen Isar und Paar. - Unveröff. Diss. TU München: 112 S; München.

- SCHAEFER, I. (1951):** Über die Gliederung des Eiszeitalters. - Eiszeitalter u. Gegenwart, **4**: 56-63; Öhringen.
- SCHEUENPFLUG, L. (1977):** Zur Tal- und Flußgeschichte der Paar bei Ottmaring südöstlich Augsburg. - Jahresbericht des Heimatvereins für den Landkreis Augsburg; Augsburg.
- SCHEUENPFLUG, L. (1993):** Zur Erd- und Landschaftsgeschichte des Landkreises Augsburg. - In: Der Landkreis Augsburg, Bd. 1, Landschaft und Natur: 5-165; Augsburg.
- SCHIEMENZ, S. (1960):** Fazies und Paläogeographie der Subalpinen Molasse zwischen Bodensee und Isar. - Beih. Geol. Jb. **38**: 199 S., 6 Taf., 23 Abb., 17 Tab.; Hannover.
- SCHNEIDER, M. (1992):** Geologische Kartierung des Ammersee-Westufers zwischen Eching, Utting und Windach. Das Abflußgeschehen im nördlichen Ammerseelobus zur Zeit des ausgehenden Hochglazials. Zur Frage ehemaliger Seespiegelstände des Ammersees. - Unveröff. Dipl.-Arb. TU München, 135 S., 41 Abb., 2 Tab., 6 Anl.; München.
- SCHOLZ, H. & SCHOLZ, U. (1981):** Das Werden der Allgäuer Landschaft. Eine kleine Erdgeschichte des Allgäus. - 152 S., zahlr. Abb., 48 Taf.; Kempten (Verlag f. Heimatpflege).
- TRAUB, F. (1956):** Erläuterungen zur Hydrogeologischen Übersichtskarte 1:500 000, Blatt München. - Bundesanstalt für Landeskunde, Hydrogeologischer Arbeitskreis, 121 S., 6 Abb., 32 Tab., 1 Beil.; Remagen.
- VAN HUSEN, D. (1987):** Die Ostalpen zur Eiszeit. - 24 S., 23 Abb., 1 Karte; Wien (Geol. B. Anst.).
- WANIA, K.-M. (1988):** Beschreibung und Überprüfung der zentralen Wasserversorgungsanlage der Gemeinde Pöcking im Landkreis Starnberg. - Unveröff. Dipl.-Arb. FH München: 80 S., 14 Abb., 15 Tab.; München .
- WEISS, J. F. (1820):** Südbayerns Oberfläche nach ihrer äußeren Gestalt. - 312 S.; München (Leutner).
- WOHL, D. (1985):** Erläuterung zur geologischen Karte 1:25 000 im Gebiet Starnberg-Landstetten-Feldafing. - Unveröff. Dipl.-Arb. TU München, 31 S., 2 Abb., 1 Karte; München.
- WOLF, F. (1989):** Geologische Kartierung und Untersuchungen zur Entwicklung von glazialen und postglazialen Bachterrassen und Schwemmfächer im Gebiet zwischen Utting und Bierdorf. - Unveröff. Dipl.-Arbeit TU München, 138 S., 21 Abb., 3 Tab., 7 Anl.; München.
- WUNDT, W. (1958):** Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen. - Forsch. Deutsch. Landesk. **104**: 47-54; Remagen.

Ingenieurbüros - Behörden - Zweckverbänden

Dieses Verzeichnis führt die wichtigsten Ingenieur-Büros, Behörden und Zweckverbände an, aus deren Gutachten und Archiven Daten für die vorliegende Arbeit entnommen werden durften. Da es sich bei ingenieurgeologischen Begutachtungen meistens um über viele Jahr andauernde Bearbeitungen mit zahlreichen, der Öffentlichkeit in der Regel nicht zugänglichen Berichten handelt, werden diese Quellen ohne nähere Angaben, wenn möglich aber mit dem Jahr der Fertigstellung, nach den folgenden Abkürzungen zitiert. Die Quellen bzw. ihre Abkürzungen sind "kursiv" geschrieben.

AUFSCHLÄGER:	Tiefbohrungen - Brunnenbau - Spezialtiefbau - Simbach/Inn;
BGLA:	Bayerisches Geologisches Landesamt - München;
BGU:	Büro für Geotechnik und Umweltfragen - Dr. Schott & Partner - Starnberg Ingenieurgesellschaft für Angewandte Geologie und Hydrogeologie;
BLFW:	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft - München;
BLFWUG:	Bayerisches Landesamt für Wasserversorgung und Gewässerschutz - München;
BLVA:	Bayerisches Landesvermessungsamt - München;
Dr. Blasy - Dr. Busse GmbH:	Umweltlabor -Eching a. Ammersee;
Dr. BLASY+MADER:	GmbH -Hydrogeologie - Umwelttechnik - Wasserwirtschaft - Eching a. Ammersee;
DWD:	Deutscher Wetterdienst - München;
HAFEN:	Ing.-Büro U.Hafen - München;
IGU:	Institut für angewandte Isotopen-, Gas- und Umweltuntersuchungen - Wörthsee;
Ingenieurgruppe München eG:	Ingenieurgruppe München eG;
TUM:	Prof. Dr.-Ing. R. Jelinek;
IGWU	GmbH - Markt Schwaben;
KLING:	Ingenieurbüro für Bauwesen - Baugrundinstitut - Bohrtechnik - Krumbach;
LRASTA:	Landratsamt Starnberg;
MIFV:	Max-Planck-Institut für Verhaltensforschung - Seewiesen;
MOBIL OIL:	Fa. Mobil Oil - Celle;
TBU:	Ingenieurbüro - Aschering;
WATEC:	Ing. Ges. für Hydrogeologie und Hydrochemie mbH - Markt Schwaben;
WZV:	Würmtal-Zweckverband - Planegg;
ZV-Feldafing/Pöcking:	Zweckverband zur Wasserversorgung der Gemeinden Feldafing-Pöcking;
ZV-Starnberg:	Zweckverband für Abfallwirtschaft im Landkreis Starnberg;

Kartenverzeichnis

Geologische Übersichtskarten:

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (HrsG.) (1955): Geologische Übersichtskarte der Süddeutschen Molasse 1:300 000. - München.

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (HrsG.) (1981): Geologische Karte von Bayern 1:500 000. - 3. Aufl. München.

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (HrsG.) (1995): Geologische Karte von Bayern 1:50 000. - Blatt Nr. L7934 München; München.

KOEHNE, W. & NIKLAS, H. (1910/1911): Geologische Karte des Königsreichs Bayern 1:25 000 - Blatt Gauting Nr. 712; München.

KNAUER, J. (1929/1931): Geognostische Karte von Bayern 1:100 000, mit Erläuterungen, Blatt München-West (Nr. XXVII). - Geol. Landesunters. Bayer. Oberbergamt; München.
- Teilblatt Landsberg, 1929
- Teilblatt München-Starnberg, 1931.

ROTHPLETZ, A. (1917): Geologische Karte des Osterseengebietes 1:25 000 mit Beschreibung; München.

SCHOLZ, H. & ZACHER, W. (1983): Geologische Übersichtskarte 1:200 000, CC 8726 Kempten (Allgäu). - Bundesanstalt f. Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.); Hannover.

Geologische Karten von Bayern 1:25 000 mit Erläuterungen (Bayerisches Geologisches Landesamt München)

JERZ, H. (1969):	Blatt Nr. 8134 Königsdorf
JERZ, H. (1987a):	Blatt Nr. 7934 Starnberg Nord
JERZ, H. (1987b):	Blatt Nr. 8034 Starnberg Süd
JERZ, H. (1993):	Blatt Nr. 8132 Weilheim

Geologische Detail- und Spezialkarten im Untersuchungsgebiet und in der näheren Umgebung: (Unveröffentlichte Diplom-Arbeiten der Technischen Universität München)

BRAML, F. (1986):	Zwischen Tutzing und Pähl.
CONRADI, W. (1986):	Zwischen Erling Andechs, Feldafing und Tutzing.
DIENEMANN, A. (1982):	Westlich von Seeshaupt.
EMSLANDER, B. (1987):	Raum Weßling.
FUSCHLBERGER, E. (1988):	Nordöstliches Ammerseeumland.
HEPP, W. (1986):	Bei Frieding-Hausen-Söcking.
HERZ, M. (1992):	Zwischen Tutzing und Possenhofen am Westufer des Würmsee.
KEMLE, S. (1989):	Um Dießen im südwestlichen Ammerseeumland.
KUNZ, R. (1992):	Zwischen Herrsching und Inning im nordöstlichen Ammerseeumland.
LANDAUER, B. (1989):	Zwischen Andechs-Erling und Pähl im östlichen Ammerseeumland.
MÄRZ, S. (1975):	Zwischen Herrsching und Andechs.
REH, N. (1987):	Südlich von Gilching.
SCHNEIDER, M. (1992):	Zwischen Utting und Eching im nordwestlichen Ammerseeumland.
WOHL, D. (1985):	Im Gebiet Starnberg-Leutstetten-Felfafing.
WOLF, F. (1989):	Im Gebiet zwischen Utting und Bierdorf im westlichen Ammerseeumland.

Tertiäroberflächenkarten im Untersuchungsgebiet und in der näheren Umgebung:

BLASY, L. (1974):	Westliche Münchener Schotterebene - Diss. Univ. München.
CONRAD, W. (1986):	Blatt 8033 Tutzing - unveröff. Dipl.- Arb. TU-München.
FUSCHELBERGER, E. (1988):	Blatt 7933 Weßling - unveröff. Dipl.- Arb. TU-München.
JERZ, H. (1993a):	Südliches Ammerseebecken (Bayer. Geol. L.-Amt).
KUNZ, R. (1992):	Zwischen Herrsching und Inning - unveröff. Dipl.- Arb. TU-München.
KUNZ, R. (1989):	Dissertation
WOLF, F. (1989):	Zwischen Bierdorf und Utting - unveröff. Dipl.-Arb. TU-München.
WROBEL, J.-P. (1982):	Zwischen Würmsee, Würm und Isar (Bayer. Geol. L.-Amt).
SCHNEIDER, M. (1992):	Zwischen Utting und Eching - unveröff. Dipl.-Arb. TU-München.

Bodenkundliche Karten: (Bayerisches Geologisches Landesamt München)

Standortkundliche Bodenkarte von Bayern 1:50 000, Blatt L 8132 Weilheim i.Obb., 1987.

Gewässeratlas von Bayern 1 : 200 000: (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 1976)

Blatt CC 8726 Kempten (Allgäu)

Blatt CC 8734 Rosenheim

Blatt CC 7926 Augsburg

Blatt CC 7934 München

Klimakundliche Karten 1 : 500 000:

Mittlere jährliche Niederschlagshöhen 1931-1960 - Bayerische Landesstelle f. Gewässerkunde 1971, München.

Mittlere jährliche Abflußhöhen 1931-1960 - Bayerische Landesstelle f. Gewässerkunde 1973, München.

Mittlere jährliche Verdunstungshöhen 1931-1960 - Bayerische Landesamt f. Gewässerkunde 1974, München.

Topographische Karten 1:25 000: (Bayerisches Landesvermessungsamt München)

Blatt 7933 Weßling, 1989

Blatt 8032 Dießen a. Ammersee, 1984

Blatt 8033 Tutzing, 1989

Blatt 8034 Starnberg Süd, 1985

Blatt 7934 Starnberg Nord, 1985

Blatt 8132 Weilheim i. OB, 1989

Blatt 7932 Utting a. Ammersee, 1988

Blatt 8133 Seeshaupt, 1982

Blatt 8134 Königsdorf, 1990

A n h a n g

Anh. 1: Kennwerte von Brunnen und Grundwassermeßstellen (Stichtagsmessung vom 15.02.1996) im Raum Hochstadt-Mamhofen (BGU 1996)

Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert	MPOK m ü.NN	RWSP m ü.NN
Brunnen V/Hochstadt	44 46 77	53 23 95	610,44	583,08
Brunnen VI/Hochstadt	44 46 89	53 23 92	610,20	582,98
P2/Hochstadt	44 47 13	53 23 45	609,48	583,18
P4/Hochstadt	44 46 52	53 23 54	615,07	585,15
Meßst.Hochstadt (16202)	44 46 48	53 24 22		583,03
Meßst.Unering (16232)	44 45 19	53 21 51		607,92
Brunnen Unering	44 44 45	53 21 45	644,80	609,98
Brunnen Tiefenbrunn	44 45 29	53 22 58	622,06	605,05
Brunnen Oberwies	44 47 77	53 24 75	600,12	576,66
Brunnen Oberbrunn	44 49 00	53 23 83	595,98	592,29
Brunnen Marterl	44 46 46	53 20 33	649,42	609,30
Brunnen I/Mamhofen	44 48 45	53 22 38	628,15	600,28
Brunnen II/Mamhofen	44 48 36	53 22 18	629,16	600,72
P3/8 Mamhofen	44 48 18	53 21 88	635,23	601,55
P4/9 Mamhofen	44 48 04	53 21 64	638,11	602,24
P5 Mamhofen-Ost	44 49 02	53 21 60	647,90	601,88
B1 Mannert	44 43 40	53 22 00	627,11	610,19
B7 Mannert			611,21	610,19
B8 Mannert			610,76	610,19
B9 Mannert			611,64	610,20
Brunnen Golfplatz	44 46 38	53 19 96		ca.611
KQ2	44 47 57	53 25 38	580,17	577,14
KR Meßstelle Kroll	44 47 04	53 25 45	599,98	577,78
Gewerbegeb. Neuhochst.	44 45 22	53 25 00		576,5 **
VB Hochstadt	44 46 81	53 24 18		ca.581

* Abgelesen vom Wasserwirtschaftsamt München

** Mittelwert aus 5 Meßstellen

Anh. 2: Jahresentnahmen und mittlere Jahresschüttungen an den Mühlthalquellen (WZV)
(FQ=Fischzuchtquelle, BQ=Bahnquelle, IQ=Iglquelle)

	Jahreseinnahme FQ+BQ+IQ (m ³) (l/s)		Schüttung Jahresmittel (l/s)
1990	3.394.993	107,7 (76%)	141,5
1989	3.438.826	109,0 (80%)	136,5
1988	3.464.956	109,9 (73%)	151,3
1987	3.329.466	105,6 (73%)	143,7
1986	3.324.737	105,4 (76%)	138,4
Mittel	3.390.956	107,5 (76%)	142,3

Anh. 3: Jährliche Fördermengen (m³) an den Brunnen 1 bis 4 im Königswieser Forst
(WATEC 1991, WZV 1994)

Jahr	Brunnen 1 ab 1991 1a	Brunnen 2	Brunnen 3	Brunnen 4	Gesamt
1981	59.917	632.413	292.247	47.492	1032.069
1982	8.677	262.814	226.679	49.170	547.340
1983	21.460	134.977	106.106	13.134	275.677
1984	9.114	83.567	53.323	1.642	147.646
1985	14.858	114.545	141.677	6.198	277.278
1986	5.368	59.496	213.780	56.469	353.113
1987	6.420	114.312	101.214	67.289	289.262
1988	14.206	34.957	148.687	80.804	278.654
1989	74.197	121.597	308.788	220.304	724.886
1990	43.633	127.837	214.299	319.178	776.947
1991	619.611	706.352	107.598	282.594	1716.155
1992	9.618	1217.319	10.950	1089.100	2326.987
1993	139.737	981.532	14.195	1024.663	2160.127
1994	323.200	614.302	32.860	854.990	1825.352

Anh. 4: Jährliche Fördermengen (m³) an den Brunnen 7-10 im Kreuzlinger Forst (WZV)

Jahr	Brunnen 7	Brunnen 8	Brunnen 9	Brunnen 10	Gesamt
1981	794 035	114 725	27 601		936 361
1982	821 353	208 071	58 697		1088 121
1983	718 996	124 742	40 383		884 121
1984	692 245	190 847	291 135		1174 227
1985	694 138	138 419	107 606		940 163
1986	519 109	10 980	107 148		729 395
1987	363 009	41 606	11 049	362 595	778 259
1988	466 575	12 515	12 619	148 852	676 559
1989	67 123	26 076	19 682	55 517	168 398
1990	14 429	54 465	19 880	8 197	96 971
1991	503 271	275 550	139 251	6 656	924 728
1992	995 870	670 063	234 358	29 539	1929 830
1993	748 487	702 831	220 181	30 495	1701 994
1994	1492 970	414 491	171 202	43 964	2122 627

Anh. 5: Koordinaten mit Tertiärhöhen von Bohrungen und Oberflächenaufschlüssen

Meßstelle	R-Wert	H-Wert	TOK
Brunnen V Hochstadt	444677	532395	567,5
Brunnen VI Hochstadt	444689	532392	567
GW-Meßstelle P1 Hochstadt	444684	532371	563,6
GW-Meßstelle P2 Hochstadt	444710	532369	562,5
GW-Meßstelle P3 Hochstadt	444678	532352	585,3
GW-Meßstelle P4 Hochstadt	444644	532350	? 570
Versuchsbohrung Hohstadt (VBH)	444681	532418	? 544
Brunnen Koidl (16202)	444648	532422	579
GW-Meßstelle Kies- u. Quetschwerk (KQ2)	444744	532510	563
Brunnen Tiefenbrunn	444529	532258	596
GW-Meßstelle Unering (16232)	444519	532151	604
Bohrung Hanfeld Nord (HN)	444702	532160	604
Brunnen Golfplatz	444638	531996	607
Brunnen Mamhofen I (MI)	444845	532238	589,5
Brunnen Mamhofen II (MII)	444836	532218	589,6
GW-Meßstelle Mamhofen 3 (M3)	444818	532188	594
GW-Meßstelle Mamhofen 4 (M4)	444804	532164	594
GW-Meßstelle Mamhofen Ost (MO)	444902	532134	596
Starnberg VB1 Hanfeld West	444812	532019	594
Brunnen Unering	444445	532145	609
AM 4	444476	531910	603
M -214- 1	444538	531771	612
M -214- 2	444504	531800	605
M -214- 3	444491	531841	622
M -214- 4	444481	531881	623
M -214- 5	444462	531918	613
M -214- 6	444441	531955	600
M -214- 7	444430	531995	610
M -214- 8	444404	532031	610
M -214- 9	444380	532062	611
M -214- 10	444367	532103	605
M -214- 11	444356	532143	603
M -214- 12	444343	532180	571
M -214- 13	444330	532220	553
M -210- 1	444949	532134	593
M -210- 2	444928	532101	594
M -210- 3	444902	532078	592
M -210- 4	444872	532052	592
M -210- 5	444855	532010	603
M -210- 6	444842	531995	599
M -210- 7	444822	531960	601
M -210- 8	444790	531942	597
M -210- 9	444779	531912	605
M -210- 10	444771	531886	603
M -210- 11	444769	531843	? 581
M -210- 12	444772	531804	599
M -210- 14	444757	531723	612
M1	445218	532371	544,5
M2	445233	532321	541,4
M5	444992	532168	593,5
M7	445148	532117	591,2
M8	445132	532212	590,9
M9	445161	532211	591,2

Meßstelle	R-Wert	H-Wert	TOK
A1 Mühlthal	445227	532223	588,7
A2 Mühlthal	445241	532233	583,4
VBIII Schönberg	445240	532108	574,5
Quelle Petersbrunn	445240	532103	574
Rieden 4	445084	532158	592,5
Rieden 5	445087	532144	592,5
Brunnen Hanfelder Straße	445029	531956	598
Holzschleife	445307	532335	540
Notbrunnen Gauting	445381	532566	535
Notbrunnen 6 Gauting	445336	532580	548,8
Krankenhaus Gauting	445152	532552	551
Luftwaffenbrunnen	445311	532458	539,7
M -213- 3	444335	531846	610
M -213- 4	444325	531883	613
M -213- 5	444305	531922	610
M -213- 6	444269	531982	601
M -213- 7	444233	532026	584
M -213- 8	444214	532061	610
M -213- 9	444197	532100	596
M -213- 10	444206	532149	586
M -213- 11	444212	532184	563
M -213- 12	444227	532228	576
M -213- 13	444256	532242	587
M -213- 14	444270	532295	536
M -213- 15	444297	532327	519
M -213- 16	444293	532380	541
M -213- 17	444264	532423	539
M -213- 18	444230	532471	549
M -213- 19	444227	532505	554
M -213- 20	444226	532539	542
M -213- 21	444226	532570	533
M -213- 22	444216	532613	539
M -213- 23	444201	532654	552
M -213- 24	444173	532704	521
M -213- 25	444156	532780	? 529
M -213- 26	444156	532837	? 540
M -213- 27	444158	532873	? 519
M -213- 28	444140	532912	533
M -217- 1	444343	532178	571
M -217- 2	444313	532172	563
M -217- 3	444270	532170	560
M -217- 4	444240	532172	547
M -217- 5	444214	532182	568
M -217- 6	444174	532168	556
M -217- 7	444139	532148	572
M -218- 2	444130	532116	585
M -218- 3	444114	532079	579
M -218- 4	444109	532036	575
M -218- 5	444100	531995	582
M -218- 6	444090	531961	578
M -218- 7	444080	531932	564
M -218- 8	444071	531900	610
M -218- 9	444064	531871	618

Meßstelle	R-Wert	H-Wert	TOK
M -216- 2	444366	532016	617
M -216- 3	444344	531993	618
M -216- 4	444313	531975	608
M -216- 5	444286	531947	609
M -216- 6	444249	531929	609
M -216- 7	444212	531913	613
M -216- 8	444180	531888	616
M -216- 9	444148	531859	616
M -216- 10	444107	531867	615
M -216- 12	444024	531875	602
M -216- 13	443980	531889	592
M -216- 14	443949	531869	577
M -215- 1	444290	531638	624
M -215- 2	444286	531680	635
M -215- 4	444262	531761	616
M -215- 5	444252	531803	612
M -215- 6	444243	531844	624
M -215- 7	444226	531883	610
M -215- 8			
M -111- 1	444134	531589	623
M -111- 2	444162	531588	636
M -111- 3	444183	531587	622
M -111- 4	444206	531605	617
M -111- 5	444216	531630	617
M -111- 6	444229	531665	599
M -111- 7	444248	531689	616
M -111- 8	444262	531710	599
M -111- 9	444279	531721	607
M -111- 10	444307	531723	617
M -111- 11	444335	531732	617
M -111- 12	444359	531744	616
M -111- 13	444383	531761	625
M -111- 14	444419	531778	627
M -111- 15	444448	531785	620
M -111- 16	444475	531796	610
M -111- 17	444504	531804	605
M -111- 18	444527	531829	611
M -111- 19	444543	531846	610
M -111- 20	444556	531867	612
M -111- 21	444559	531895	606
M -111- 22	444583	531923	607
M -111- 23	444607	531949	604,5
M -111- 24	444621	531976	603
M -111- 25	444633	532009	599
M -111- 26	444640	532031	603
M -111- 27	444648	532053	601
M -107- 2	443763	529665	529,5
M -107- 3	443774	529692	534
M -107- 4	443784	529722	539
M -107- 5	443795	529758	535
M -107- 6	443807	529792	? 525
M -107- 7	443809	529821	? 523
M -107- 8	443808	529850	579
M -107- 9	443808	529888	? 564
M -107- 10	443808	529925	539
Meßstelle	R-Wert	H-Wert	TOK

M -107- 12	443797	529990	573
M -107- 13	443780	530017	572
M -107- 14	443767	530049	558
M -107- 15	443756	530085	? 566
M -107- 16	443750	530105	526
M -107- 17	443743	530134	543
M -107- 18	443746	530157	528
M -107- 19	443750	530181	528
M -107- 20	443750	530213	517
M -107- 21	443749	530241	? 521
M -107- 22	443748	530280	515
M -107- 23	443746	530297	510
M -107- 24	443745	530327	525,5
M -107- 25	443748	530357	514,5
M -107- 26	443760	530387	526,5
M -107- 27	443770	530427	528,5
M -107- 28	443780	530461	506
M -107- 29	443787	530485	502
M -107- 30	443794	530509	511
M -107- 31	443801	530547	507
M -107- 32	443811	530580	? 535
M -107- 33	443818	530611	? 525
M -107- 34	443827	530645	? 525
M -107- 35	443836	530675	? 550
M -107- 36	443859	530692	? 528
M -107- 37	443878	530708	529
M -107- 38	443910	530733	562
M -107- 39	443930	530750	595
M -107- 40	443956	530770	641
M -107- 41	443986	530786	651
M -107- 42	444011	530802	633
M -107- 43	444037	530814	605
M -107- 44	444038	530838	620
M -107- 45	444039	530874	636
M -107- 46	444045	530900	621
M -107- 47	444056	530938	623
M -107- 49	444066	531000	643
M -107- 50	444064	531037	624
M -107- 51	444060	531061	630
M -107- 52	444070	531100	608
M -107- 53	444076	531136	? 619
M -107- 54	444082	531177	? 620
M -107- 55	444104	531209	627
M -107- 56	444112	531233	619
M -107- 57	444115	531260	622
M -107- 58	444117	531278	612
M -107- 59	444119	531316	627
M -107- 60	444122	531341	628
M -107- 61	444124	531368	628
M -107- 62	444126	531388	629
M -107- 63	444127	531413	623
M -107- 64	444120	531443	619
M -107- 65	444125	531473	620
M -107- 66	444128	531494	622
M -107- 01	444130	531518	618,5
M -107- 67	444130	531543	627
M -107- 68	444129	531574	626
M -107- 69	444134	531610	621
M -107- 70	444140	531644	624
M -107- 71	444139	531680	616
M -107- 72	444131	531716	611
M -107- 73	444130	531752	613
M -107- 74	444135	531788	622
M -107- 75	444138	531825	599
M -107- 76	444148	531866	607
M -211- 2	444655	531791	611
M -211- 3	444668	531751	606
M -211- 4	444672	531710	610
M -211- 5	444671	531674	607
M -211- 6	444670	531638	608

Meßstelle	R-Wert	H-Wert	TOK
M -211- 7	444670	531600	619
M -211- 8	444666	531566	622
M -211- 9	444678	531526	609
M -211- 10	444680	531476	607
M -211- 11	444684	531450	596
M -211- 12	444685	531414	599
M -211- 13	444673	531378	616
M -211- 14	444659	531329	635
M -211- 15	444625	531290	636,5
M -211- 16	444610	531234	622
M -211- 17	444600	531189	635
M -211- 18	444584	531148	? 605
M -211- 19	444562	531110	614
M -211- 20	444573	531070	609
M -211- 21	444550	531032	611
M -211- 22	444539	530997	? 580
M -211- 23	444516	530967	? 580
M -211- 24	444503	530940	? 580
M -211- 25	444495	530884	? 580
M -211- 26	444470	530864	645
M -211- 27	444440	530832	654
M -211- 28	444437	530795	646
M -211- 29	444426	530764	? 666
M -160- 1	444478	530784	629
M -160- 2	444446	530763	636
M -160- 3	444420	530745	639
M -160- 4	444382	530737	661
M -160- 5	444342	530726	644
M -160- 6	444300	530730	640
M -160- 7	444267	530728	608
M -160- 11	444186	530763	625
M -160- 12	444073	530789	628
M -160- 13	444034	530818	643
M10	445261	532856	526,3
M11	445268	532779	534,5
VB Frohnloh	445148	532795	555
Gut Hüll	444970	532865	545
M -153- 1	444427	530769	? 642
M -153- 2	444421	530742	? 636
M -153- 3	444409	530666	? 650
M -153- 4	444400	530626	? 612
M -153- 5	444384	530590	601
M -153- 6	444376	530512	? 558
M -153- 7	444376	530470	? 586
M -153- 8	444378	530428	? 616
M -153- 9	444380	530387	? 604
M -153- 10	444374	530341	607
M -153- 11	444387	530303	? 605
M -153- 12	444405	530265	595
M -153- 13	444430	530202	597
M -153- 14	444455	530170	617
M -153- 15	444473	530148	? 611
M -153- 16	444497	530115	607
M -153- 17	444504	530070	598
M -153- 18	444515	530030	596

Meßstelle	R-Wert	H-Wert	TOK
M -153- 19	444524	529993	601
M -153- 20	444533	529960	500
M -153- 21	444552	529878	591
M -153- 22	444554	529856	601
M -153- 23	444556	529815	602
M -161- 1	443724	530795	525
M -161- 2	443745	530765	? 507
M -161- 3	443762	530740	526
M -161- 4	443801	530706	533,5
M -161- 5	443836	530676	534
M -161- 6	443877	530642	555
M -161- 7	443903	530607	560
M -161- 8	443947	530583	565
M -161- 9	443979	530549	555
M -161- 10	443995	530516	560
M -161- 11	444029	530483	578
M -161- 12	444062	530454	588
M -161- 13	444093	530425	608
M -161- 14	444101	530398	600
M -161- 15	444132	530361	592
M -161- 16	444162	530329	588
M -161- 17	444190	530283	578
M -161- 18	444216	530253	620
M -161- 19	444240	530224	596
M -161- 20	444254	530198	594
M -161- 21	444255	530157	593,5
M -161- 22	444253	530122	590
M -161- 23	444268	530079	580
M -161- 24	444278	530038	? 590
M -161- 25	444290	530004	592
M -161- 26	444304	529970	595,5
M -161- 27	444337	529947	590
M -161- 29	444367	529874	568
M -161- 30	444355	529837	609
M -161- 31	444360	529808	616
M -161- 32	444368	529775	621
M -161- 33	444383	529730	598
M -161- 34	444398	529686	630
M -162- 1	444188	530743	655
M -162- 2	444180	530704	? 608.5
M -162- 3	444190	530663	630
M -162- 4	444182	530627	623,5
M -162- 5	444212	530585	615,5
M -162- 6	444228	530557	594
M -162- 7	444244	530522	605,5
M -162- 8	444260	530484	? 609
M -162- 9	444270	530454	606,5
M -162- 10	444278	530410	603
M -162- 11	444301	530372	603
M -162- 12	444329	530335	594,5
M -162- 13	444347	530290	610
M -163- 1	444452	530276	580
M -163- 2	444408	530267	587
M -163- 3	444368	530248	598
M -163- 4	444317	530237	601
M -163- 5	444276	530230	588

Meßstelle	R-Wert	H-Wert	TOK
M -163- 6	444239	530224	596
M -163- 7	444209	530216	607
M -163- 8	444164	530210	576
M -163- 9	444121	530183	614
M -163- 10	444090	530182	622
M -163- 11	444051	530167	622,5
M -163- 12	444019	530153	624,5
M -163- 13	443974	530137	601
M -163- 14	443930	530121	585
M -163- 15	443894	530108	591
M -163- 16	443868	530094	575
M -163- 17	443833	530079	573
M -163- 18	443790	530058	555
M -163- 19	443766	530046	? 530
M -164- 1	443762	530495	483
M -164- 3	443803	530432	525
M -164- 4	443870	530363	548
M -164- 5	443895	530335	577
M -164- 6	443836	530299	620
M -164- 7	443963	530278	615
M -164- 8	443991	530259	626
M -165- 15	444539	529960	596
M -165- 16	444505	529957	596
M -165- 17	444457	529955	619
M -165- 18	444416	529953	600
M -165- 19	444373	529951	581
M -165- 1	444336	529947	591
M -165- 2	444288	529939	614
M -165- 3	444250	529935	631
M -165- 4	444212	529930	624
M -165- 5	444168	529925	623
M -165- 6	444122	529940	622
M -165- 7	444088	529952	618
M -165- 8	444046	529965	597
M -165- 9	444014	529956	602
M -165- 10	443976	529963	605
M -165- 11	443932	529966	? 590
M -165- 12	443888	529963	575
M -165- 13	443843	529961	571
M -165- 14	443806	529962	561
M -166- 1	443994	530516	559
M -166- 2	443938	530468	564
M -166- 3	443991	530380	612
M -166- 4	444004	530334	623
M -166- 5	443999	530299	623
M -166- 6	443990	530258	625
M -166- 7	443996	530189	643
M -166- 8	443998	530153	616,5
M -166- 9	443994	530103	617
M -166- 10	444004	530058	620,5
M -166- 11	444023	530015	625
M -166- 12	444046	529966	597
M -166- 13	444060	529917	616
M -166- 14	444080	529876	607
M -166- 15	444093	529843	619

Meßstelle	R-Wert	H-Wert	TOK
M -167- 1	444260	530484	? 608
M -167- 2	444220	530483	608
M -167- 3	444189	530483	608
M -167- 4	444153	530484	577
M -167- 5	444117	530484	596
M -167- 6	444070	530484	583
M -167- 7	444028	530484	559,5
M -8- 1	444062	529628	610
M -8- 2/3	444091	529604	609
M -8- 4/5	444153	529622	611
M -8- 7	444200	529663	632
M -8- 8	444235	529669	628
M -8- 10	444298	529677	637
M -8- 11	444324	529680	643
M -8- 14/15	444401	529682	631
M -8- 16	444430	529678	636
M -8- 18	444476	529673	? 623
M -8- 19/20	444512	529670	? 623
M -8- 21/22	444576	529662	607
M -8- 24	444636	529647	584
M -8- 25	444663	529648	576
M -8- 26	444685	529641	? 565
M -8- 27/28	444727	529633	576
M -8- 29/30	444777	529610	570
M -9- 1	444106	529683	? 612
M -9- 2	444084	529686	618
M -9- 3	444067	529690	608
M -9- 4/5	444041	529702	610
M -9- 6/7	443984	529724	600
M -9- 8/9	443959	529730	590
M -9- 10/11	443899	529747	? 600
M -9- 12	443868	529748	?590
M -9- 13/14	443848	529748	?578
M -9- 15/16	443786	529748	? 578
M -9- 17	443756	529754	591
M -9- 18	443728	529756	? 570
M -9- 19	443705	529754	579
M -9- 20/21	443684	529758	580
M -9- 22/23	443628	529772	566
M -9- 24	443599	529768	548
A3 Aschering	444468	531393	589
AM 5	444753	531536	617
AM 6	444361	531642	608
AM 7	444905	531646	612
AM 8	444510	531245	602
AM 9	444318	530956	627
AM 10	444245	531250	615
Andechs I	443975	531561	630
BGLA 26 Feldafing	444732	531251	? 630
BGLA 31 Machtlfing	444240	531177	? 600
BGLA 32 Oberzeismering	444423	530747	? 640
P1 Pfaffenberg	444663	530958	607
P2 Pfaffenberg	444673	531002	601
P3 Pfaffenberg	444612	531053	612
P4 Pfaffenberg	444507	530946	? 571
BGLA 33 Starnberg VI	444920	531750	595

Meßstelle	R-Wert	H-Wert	TOK
BGLA 34 Starnberg V	444882	531735	583,5
BGLA 36 Maxhof HB II	444856	531666	611
BGLA 37 Maxhof HB I	444863	531654	611
BGLA 40 KVB	444204	530966	625
LFW 1 Andechs Eingegrabene Wiesen	444161	531698	627
LFW 32 Rothenfeld VB I	444200	531485	? 622
LFW 20 Herrsching	443873	531895	? 495
LFW 60 Starnberg	444827	531955	? 595
Feldafing Kaserne	444760	531120	? 573
Aufschluß Kalkgraben CW	444664	530895	600
Aufschluß Kalkgraben CW	444654	530920	605
Bohraufschluß Garatshausen CW	444688	530962	607
Bohraufschluß Garatshausen CW	444700	530973	604
Bohraufschluß Garatshausen CW	444705	531013	616
Bohraufschluß Garatshausen CW	444707	531023	615
Fischzuchtquelle	445230	532222	? 585
Bahnquelle	445218	532203	? 586
Iglquelle	445222	532185	? 584
Brunnen I Königswieser Forst	445295	532369	541,2
Brunnen II Königswieser Forst	445299	532392	538,6
Brunnen III Königswieser Forst	445294	532402	540,9
Brunnen IV Königswieser Forst	445294	532361	540
Brunnen V Königswieser Forst	445285	532360	541,2
Brunnen VI Königswieser Forst	445290	532419	539,8
Brunnen VII Kreuzlinger Forst	445288	532826	531,9
Brunnen VIII Kreuzlinger Forst	445297	532859	? 531,4
Brunnen IX Kreuzlinger Forst	445299	532863	? 531,4
Brunnen X Kreulinger Forst	445280	532840	? 531,4
Pegel 101 Kreuzlinger Forst	445342	532756	535,76
Pegel 102 Kreuzlinger Forst	445390	532816	539,14
Pegel 103 Kreuzlinger Forst	445264	532889	531,27
Pegel 104 Kreuzlinger Forst	445282	532690	533,45
Pegel 105 Kreuzlinger Forst	445212	532754	543,3
Diemendorf B1	444116	530665	628,2
Diemendorf B2	444151	530650	630,19
Diemendorf B3	444146	530675	626
Diemendorf B4	444133	530680	634,86
Diemendorf B5	444127	530709	632,25
Diemendorf B6	444110	530703	629,85
Rösselberg B7	443942	530559	570
Rösselberg B8	443936	530595	562
Rösselberg B9	443915	530617	567
Rösselberg B10	443910	530562	561
Gut Hartschimmel	443852	531141	620
Kerschlach TBK	444054	530919	619
Kerschlach K2	444063	530941	620
Kerschlach K3	444038	530931	626
Kerschclach K4	444049	530919	617
Aufschluß Pähler Schlucht	443967	530832	625
Aufschluß Pähler Schlucht	443925	530830	600
Aufschluß Weißer Bach (BL)	443860	531048	620
Aufschluß Weißer Bach	443832	531083	595
Aufschluß Weißer Bach	443770	531061	575
Aufschluß Eichhofgraben (BL)	443786	530930	560
Aufschluß Eichhofgraben	443726	530932	545
Aufschluß Feldgraben/Blaue Wand (BL)	443748	531250	587
Aufschluß Kienbach	443888	531542	630
Aufschluß Kienbach	443880	531725	590
Aufschluß Ochsengraben	443930	531617	620
VM1 Mühlbach-Tal	443733	531529	542
VM3 Mühlbach-Tal	443733	531516	533

Meßstelle	R-Wert	H-Wert	TOK
Pähl 1	443773	531095	? 590.4
Pähl 2	443720	531037	? 550
Pähl 3	443718	531011	? 548.7
Pähl 4	443719	531000	? 548.2
Pähl 5	443734	531020	? 558.7
Pähl 6	443740	530915	? 546.8
Pähl 7	443900	530859	? 624.8
Pähl 8	443887	530834	? 597.7
Pähl 9	443804	530750	? 550
Notbrunnen Buchendorf BR	445547	532426	582
Meßstelle 16249	445425	532553	533,9
Meßstelle M201	445281	532295	545,9
Meßstelle M202	445352	532409	538,78
M -202- 1	445305	532058	537
M -202- 2	445314	532027	538
M -202- 3	445316	531986	546
M -202- 4	445308	531961	559
M -202- 6	445350	531886	564
M -202- 7	445342	531861	578
M -202- 8	445344	531830	547
M -202- 9	445347	531794	595
M -202- 10	445344	531757	595
M -202- 11	445358	531725	578
M -202- 12	445344	531681	563
M -202- 14	445349	531625	542
M -201- 37	445517	532070	590
M -201- 36	445524	532040	570
M -201- 35	445511	532000	583
M -201- 34	445508	531954	591
M -201- 1	445502	531915	590
M -201- 2	445500	531904	583
M -201- 3	445494	531856	590
M -201- 4	445490	531828	594
M -201- 5	445486	531795	592
M -201- 6	445485	531757	592
M -201- 7	445488	531724	598
M -201- 8	445490	531692	600
M -201- 9	445485	531655	598
M -201- 10	445480	531661	614

Die Anfangsbezeichnungen „M-“, kennzeichnen Bohrungen (Bohrreihen) der Fa. *MOBIL OIL* Celle

Formel nach HAUDE

$$ET_{\text{pot}} = x * P_{14} \left(1 - \frac{F_{14}}{100}\right) \text{ mm/Tag}$$

x = monatliche Korrekturkonstanten:
(0,26; 0,26; 0,33; 0,39; 0,39; 0,37; 0,35; 0,33; 0,31; 0,26; 0,26; 0,26)

F_{14} = relative Luftfeuchte um 14 h (%)

P_{14} = Sättigungsdampfdruck der Luft um 14 h (mbar)

P_{14} wird errechnet aus:

$$P_{14} = 4,58 * 10^{\frac{7,45 * t}{235 + t}} * y \quad (\text{mbar})$$

t = Lufttemperatur um 14 h (EC)

y = Höhenkorrekturwert.

Die Formel gilt nur für einen Luftdruck von 1013 hpa (bezogen auf NN). Da der Sättigungsdampfdruck der Luft mit zunehmender Höhe abnimmt, muß er auf die Stationshöhe, bzw. die mittlere Gebietshöhe umgerechnet werden (Interpolationsformel nach MÜLLER 1973: S. 140).

e wird errechnet aus:

$$\frac{-h}{8} * \left(1 + \frac{h}{8}\right)$$

e = $e_o * 10$

e = Dampfdruck in Höhe h

e_o = Dampfdruck in Höhe h = 0

h = Höhe ü. NN (km)

Formel nach TURC

$$ET_{\text{akt}} = \frac{N}{0,9 + \% J_{(t)} \cdot \dot{t}} \quad (\text{mm/a})$$

$$\frac{N}{0,9 + \% J_{(t)} \cdot \dot{t}}$$

N = Jahresniederschlagshöhe (mm)

$J_{(t)}$ = $300 + 25 t + 0,05 t^3$

t = Jahresmittel der Temperatur (CE)

Einige Kenngrößen des Wasserhaushaltes:

F_N	km^2	=	Durch oberirdische Wasserscheiden begrenztes Einzugsgebiet Niederschlagsgebiet
F_{GW}	km^2	=	Durch unterirdische Wasserscheiden begrenztes Einzugsgebiet Grundwassereinzugsgebiet
N	mm/a	=	Niederschlag
A	mm/a	=	Abfluß
A_{ges}	mm/a	=	Abfluß/gesamt (aus N-V)
MQ_G	m^3/s	=	Mittlerer jährlicher aus dem Grundwasser stammender Gebietsabfluß (Grundwasserneubildungsabfluß) in einer Jahresreihen. (s. auch MNQ)
V	mm/a	=	Verdunstung
ET	mm/a	=	Evapotranspiration (=Verdunstung)
ET_{pot}	mm/a	=	potentielle Evapotranspiration
ET_{akt}	mm/a	=	aktuelle Evapotranspiration
MQ	m^3/s	=	Mittlerer Oberflächen(Bach-)abfluß
NTM	m^3/s	=	Niedrigstes Tagesabflußmittel
NQ_G	m^3	=	Niedrigster Wert von MQ_G in einer Jahresreihe
GWN	$\text{l/s} * \text{km}^2$ mm/a	=	Grundwasserneubildung