

Beiträge zur Geologie der Schweiz - Geotechnische Serie - Hydrologie

Lieferung 1

Herausgegeben von der Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft
gemeinsam mit der Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich

DIE GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE DES KANTONS ZÜRICH

Mit einer Karte (1:100 000) der öffentlichen Grundwasserströme und Grundwasserbecken des Kantons
Zürich, sowie 43 Textfiguren und 106 Tafeln

I. GEOLOGISCH-HYDROLOGISCHER TEIL

von

Dr. J. HUG

II. VERWALTUNGSTECHNISCHER TEIL

von

dipl. Ing. A. BEILICK

Vorsteher der Wasserrechtsabteilung der Direktion der
öffentlichen Bauten des Kantons Zürich

1934

Kommissionsverlag Kümmerly & Frey, Bern
Druck A.-G. Gebr. Leemann & Co., Zürich



Grundwasseraufstoß bei der Straßenbrücke Wila-Turbenthal im Töbftal.

Vorwort der Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.

Mit dem Werke „Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich“ von Dr. J. Hug und Dipl. Ing. A. Beilick beginnt die Geotechnische Kommission die hydrologische Serie ihrer Publikationen. Die praktische Bedeutung der behandelten Fragen geht aus der Gesetzgebung hervor. Bereits vor 15 Jahren wurde von der Wasserrechtsabteilung der Baudirektion des Kantons Zürich mit Dr. J. Hug als geologischem Mitarbeiter eine Grundwasserkarte in Angriff genommen. Ihre Veröffentlichung in verkleinertem Maßstabe, entsprechend dem gegenwärtigen Stand der Kenntnisse, war aus geologischen und verwaltungstechnischen Gründen wünschenswert. Die Baudirektion des Kantons Zürich brachte diesbezüglichen Anregungen größtes Verständnis entgegen. Es wurde vereinbart, daß Herr Dr. J. Hug einen geologisch-hydrologischen Teil, der Vorsteher der Wasserrechtsabteilung der Baudirektion, Herr Dipl. Ing. A. Beilick, einen verwaltungstechnischen Teil verfassen sollten, als Begleittext der Karte und als selbständiges Werk über die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich. In höchst entgegenkommender Weise hat die Regierung des Kantons die hierfür notwendigen Mittel bewilligt. Die Geotechnische Kommission verdankt ihr und den Verfassern, im besondern dem unermüdlich tätigen Leiter der Wasserrechtsabteilung, diese Arbeit aufs wärmste. Sie ist überzeugt, daß die Publikation von Karte und Text eine Notwendigkeit war. Das Werk wird mithelfen, daß auch den Grundwasser- und Quellenverhältnissen anderer Kantone größere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Für den Inhalt im Einzelnen sind die Autoren allein verantwortlich.

Zürich, im August 1934.

Für die Geotechnische Kommission
der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft;

Der Präsident: **Paul Niggli.**

Der Aktuar: **F. de Quervain.**

Vorwort

der Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich.

Am 27. Januar 1928 regte die Geotechnische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Zürich bei der Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich die Verarbeitung des bei letzterer vorhandenen Materials über die Grundwasservorkommen im Kanton Zürich zu einer wissenschaftlichen Arbeit an. Der Baudirektion war diese Anregung willkommen, um die Feststellungen und Erfahrungen, die der Kanton Zürich seit einer langen Reihe von Jahren auf diesem bisher fast durchwegs wenig beachteten, aber immer wichtiger werdenden Gebiet gesammelt hat, der Allgemeinheit zugänglich zu machen und so zur Erschließung von neuen „Quellen“ für die Versorgung der in allen Ländern wachsenden Bevölkerung mit ausreichendem und zuträglichem Wasser beizutragen.

In der Folge kam ein Übereinkommen zu Stande, nach welchem das Werk von der Geotechnischen Kommission gemeinsam mit der Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich herausgegeben werde. Dementsprechend ermöglichte letztere dem Mitarbeiter der Geotechnischen Kommission, Dr. Hug, welcher bereits als geologischer Mitarbeiter bei der Feststellung der Grundwasservorkommen und der Erstellung der Grundwasserkarte des Kantons mitgewirkt hatte, das vorhandene amtliche Material zu benützen. Die Ausarbeitung des Werkes erfolgte derart, daß Dr. Hug den geologisch-hydrologischen Teil, der Vorsteher der Wasserrechtsabteilung der Baudirektion, Ingenieur Beilick, den verwaltungstechnischen Teil zur Bearbeitung übernahm. Die Ausarbeitung von Tabellen, die Herstellung der Zeichnungen etc. erfolgte durch die Baudirektion. Den Autoren ist dabei in ihren Ansichtsäußerungen völlige Freiheit gelassen worden. Diese dürfen für die Baudirektion, obgleich sie am Werk beteiligt ist, nicht bindend sein.

Ich verdanke dem Präsidenten der Geotechnischen Kommission, Herrn Prof. Dr. Niggli, sowie den beiden genannten Herren ihre Bemühungen um das Zustandekommen des Werkes bestens. Ich hege die Hoffnung, alle mit dem Werk verbundene Arbeit gereiche weiten Kreisen der Menschheit zum Nutzen.

Zürich, den 10. September 1934.

Der Baudirektor des Kantons Zürich:
Maurer.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort der Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft	V
Vorwort der Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich	VII
Verzeichnis der Textfiguren und Tafeln	XVII

I. Geologisch-Hydrologischer Teil.

I. Begriffsbestimmungen	3
a) Grundwasser	3
b) Grundwasserstrom	4
c) Grundwasserbecken	4
d) Grundwasserträger	4
e) Überwasserzone, Unterwasserzone, Grundwasserspiegel	5
f) Die Schwankungszone	5
g) Quell- und Grundwasser	6
h) Gedeckte Grundwassergebiete mit artesisch gespanntem Wasser	6
II. Grundwasserverhältnisse der hoch gelegenen Schotterplateaus	7
1. Besondere Kennzeichen des Types	7
2. Topographische Gestaltung der Deckenschotterreste im nördlichen Teil des Kantons	7
3. Das Irchelplateau	8
a) Allgemeine geologische Orientierung	8
b) Verteilung der Quellen auf die Mergelhorizonte	9
c) Anhaltspunkte über die chemische Zusammensetzung des Wassers	10
4. Das Quellgebiet des Kohlfirst	10
a) Geologische Orientierung	10
b) Verteilung der Quellen	11
c) Berechnung des Versickerungsfaktors am Kohlfirst	11
5. Hinweis auf die andern hochgelegenen Grundwassergebiete	12
III. Der Grundwasserstrom im Urstromtal des Rheins	13
1. Allgemeine Orientierung über die Urstromtäler des Rheines und des untern Glattales	13
2. Oberstes Teilstück des Rheingrundwasserstromes (Diebenhofen bis Rheinfall)	15
a) Wichtigste Bohrresultate	15
b) Abweichungen des Grundwasserstromes vom Flußlauf	16
c) Abweichung des Grundwasserstromes vom Rheinlauf bei Neuhausen	17
d) Längenprofil des Grundwasser- und Rheinspiegels	18
e) Infiltration von Flußwasser	18
f) Zusammenfassung der Grundwassererscheinungen im Gebiete Rheinfall-Schaffhausen	20
3. Umgebung von Rheinau	21
a) Geologische Orientierung	21
b) Ursachen der starken Abweichungen zwischen Grundwasserstrom und heutigem Flußlauf	22
c) Grundwasseraufstöße bei Rheinau	23
d) Grundwasserfassung für die Anstalt- und Dorfwasserversorgung Rheinau	23
e) Große Aufstöße oberhalb Ellikon a. Rh.	24
f) Einzugsgebiet des Grundwasserstromes bei Rheinau-Ellikon	24
g) Seitenarm des Grundwasserstromes aus dem Thurtal	25

	Seite
4. Untersuchungen auf der Strecke Ellikon-Flaacherfeld	26
a) Filterbrunnen der Wasserversorgung Ellikon	26
b) Anhaltspunkte über die Breite des Grundwasserstromes bei Ellikon	26
c) Schwankungen des Grundwasserspiegels	26
5. Untersuchungen über Beziehungen zwischen Rhein und Grundwasserstrom unterhalb der Thurmündung (Flaacherfeld)	27
a) Lage der einzelnen Beobachtungspunkte	27
b) Spiegelablesungen	28
c) Erhebungen bei Niederwasserstand	28
d) Gefällsverhältnisse und Härte bei Hochwasserstand	29
e) Allgemeine Schlußfolgerungen	30
6. Verlauf des Grundwasserstromes zwischen Thurmündung und Eglisau	30
a) Epigenetisches Tal Rüdlingen-Eglisau	30
b) Grundwasseraufstoß und Fassung unterhalb Eglisau	30
c) Beziehung zwischen Grundwasserfassung und Rhein	31
d) Vorflut des Grundwasserstromes durch das Rafzerfeld	32
e) Tiefenlage des Grundwasserspiegels und Einfluß auf die Besiedelung des Gebietes	32
7. Strecke Eglisau-Kaiserstuhl	33
a) Allgemeines	33
b) Anhaltspunkte über den Verlauf des Grundwasserstromes	33
c) Grundwassermündung bei Herdern	34
d) Mündung des Glattgrundwasserstromes	34
e) Unterstes Teilstück des Rheingrundwasserstromes	35
IV. Der Grundwasserstrom des untern Glattales	35
A. Allgemeine Orientierung	35
B. Hydrologische Anhaltspunkte bei Glattfelden	35
1. Querprofil durch den Grundwasserstrom	35
2. Grundwasserfassung der Gemeinde Glattfelden	36
3. Aufstöße westlich von Glattfelden (Hungerbrümmeli)	37
4. Abweichung zwischen Grundwasserstrom und Glattal	37
5. Doppelmündung der Glatt	37
C. Strecke Station Glattfelden bis Oberglatt mit den zugehörigen Fassungen	38
1. Fassung der Glashütte Bülach	38
2. Fassung der Gemeinde Bülach	39
3. Wasserfassung Höri	40
4. Fassung der Gemeinde Niederglatt	41
V. Die Grundwasserbecken des mittleren und oberen Glattales	42
A. Allgemeine Orientierung	42
B. Schottergebiet von Rümlang	43
1. Verbreitung des Wasser führenden Schotters	43
2. Wichtigste Überlaufquellen	43
3. Kirchbrunnen von Rümlang	44
4. Grundwasserfassungen von Rümlang und Oberglatt	45
C. Grundwasserbecken von Seebach	46
1. Allgemeine Orientierung	46
2. Hydrologische Anhaltspunkte	48
3. Resultat der Sondierung	48
4. Ergebnisse der Fassung	49
5. Qualität des Wassers	50
D. Schottergebiet von Wallisellen-Opfikon-Dietlikon	51
1. Anhaltspunkte über die Verbreitung des Wasser führenden Schotters	51
2. Hydrologische Orientierung	51
3. Wichtigste zugehörige Quellengruppen	52

	Seite
E. Erschließung durch Grundwasserfassungen	54
F. Grundwasserbecken Volketswil-Wangen-Brüttisellen	56
1. Anhaltspunkte in Bezug auf Verbreitung des Schotters	56
2. Aufstöße bei Volketswil	57
3. Aufstöße unter den Reben südöstlich von Wangen	58
4. Quellgruppe oberhalb der Kirche Wangen mit zugehörigem Hungerbrunnen	58
5. Neuere Messungen der Aufstöße von Wangen	58
6. Querprofil bei Brüttisellen-Baltenswil	59
7. Überfallsquellen bei Brüttisellen	60
8. Erträge der Quellengruppen	60
9. Aufstöße zwischen Baltenswil und Bassersdorf	61
10. Grundwasserbohrung nördlich Baltenswil	62
VI. Die Grundwasserbecken des obern Glattales	62
A. Verhältnisse auf der Strecke Volketswil-Gutenswil-Aatal	62
B. Wichtigste Anhaltspunkte über die Verbreitung des Wasser führenden Schotters	63
1. Der Einschnitt des Aatales zwischen Uster und Wetzikon	63
2. Abgrenzung des Grundwasserbeckens bei Ottikon-Gofrau	64
3. Weitere Anhaltspunkte über die Abgrenzung des Grundwasserbeckens gegen Südwesten	64
C. Grundwasseraufstöße und Wasserfassungen	65
1. Fassungen bei Nossikon-Sulzbach	66
2. Fassung Bertschikon	66
3. Fassung bei Grüt-Gofrau (Artesischer Brunnen)	66
4. Aufstöße bei Ober-Ottikon	69
5. Bohrungen östlich Ober-Ottikon	69
6. Fassungen am Fuchsbühl bei Bubikon	70
7. Fassungen im Aatal	71
VII. Die Grundwasserbecken der Halbinsel Au und bei Wädenswil	72
1. Gebiet der Halbinsel Au	72
a) Geologische Orientierung	72
b) Verbreitung des Schotters außerhalb der Halbinsel	73
c) Alte Wasserfassungen im Gebiete der Halbinsel	75
d) Neue Fassung bei der Station Au	75
e) Die neue Fassung im Zürichsee	76
2. Das Grundwassergebiet von Mühlenen-Richterswil	77
a) Alte Quellenfassungen	77
b) Neue Fassung beim Pumpwerk	77
c) Seenhüttenfassung im oberen Grundwasserhorizont	78
d) Einzugsgebiet der Fassungen von Mühlenen	78
VIII. Der Grundwasserstrom des Sihl und Limmattales	79
1. Einleitung	79
2. Allgemeine Orientierung über die Schotter der letzten Eiszeit	79
3. Grundwasserstrom im Sihltal	81
a) Verhältnisse im oberen Sihltal	81
b) Profil bei Gontenbach	82
c) Fassungen und Aufstöße bei Adliswil	83
d) Grundwasseraufstöße im Unterwasserkanal im Sood	85
e) Fassung bei der Manegg	85
f) Aufschlüsse bei der Höcklerbrücke	86
g) Fassungen im Gebiete von Brunau-Gießhübel	87
4. Übergangszone vom Sihl- zum Limmattal	87
a) Der Grundwasserfall beim Sihlhölzli an der Einmündung des Sihl- tales in den Limmat-Talboden	87
b) Das Bohrprofil beim Sihlhölzli	88
c) Härteverhältnisse am Übergang vom Sihl- zum Limmattal	89

	Seite
5. Grundwassergebiet innerhalb der Endmoräne beim Paradeplatz	90
6. Der Limmatgrundwasserstrom im Gebiet der Stadtkreise 4 und 5	91
a) Allgemeine Orientierung	91
b) Profile aus den mittleren Partien des Talbodens	92
c) Charakteristische Profile für die Randpartien des Talbodens	93
d) Querprofil an der Stadtgrenze	94
e) Ausnützung des Grundwasserstromes im Gebiet der Stadt Zürich	96
f) Die Härteverhältnisse des Limmatgrundwasserstromes	96
g) Spezielle Untersuchungen beim Hardhof für die städtische Grundwasserfassung	98
7. Anhaltspunkte über den Limmatgrundwasserstrom in der Gegend von Altstetten-Schliefen	98
a) Wichtigste Bohrerresultate	98
b) Härteverhältnisse des Grundwasserstromes	99
c) Ausnützung des Grundwasserstromes	99
d) Grundwasserförderung in der Baugrube der Kläranlage „Werdhölzli“	99
8. Die Grundwasserverhältnisse bei Dietikon	100
a) Störung der Wasserführung durch die Endmoräne von Schliefen	100
b) Profil unterhalb von Dietikon	101
c) Bohrungen der Wasserversorgung Dietikon	101
d) Härteverhältnisse bei Dietikon	102
9. Spiegelhöhen und Spiegelschwankungen des Limmatgrundwasserstromes	102
a) Schwankungskurven von Grundwasserfassungen	103
b) Spiegelverhältnisse des Grundwassers bei Dietikon	103
c) Spiegelbeobachtungen unterhalb der Reppischmündung (Beispiel für ein Grundwasser-Schwankungs-Profil)	104
IX. Kleinere seitliche Grundwassergebiete des Zürichsee-Limmattales	105
1. Grundwasserstrom des Urdorfertales	105
a) Bohrung in der sog. Badwies	106
b) Die Bohrung der Wasserversorgung Nieder-Urdorf	107
2. Mühlebachgrundwasserstrom bei Schliefen	107
3. Der Grundwasserstrom im Heuried-Zürich	108
4. Der Grundwasserstrom von Heslibach-Küsnacht	110
5. Grundwassergebiet von Wetzwil-Herrliberg	110
6. Grundwasserstrom am Fledermausstein im Küsnachtertobel	111
7. Kleine Grundwassergebiete bei Hirtel	112
X. Die Grundwasserströme des Bezirkes Affoltern	112
1. Grundwasserstrom des Reppischtals	113
a) Fassung bei der Fabrik Wegmann, Birmensdorf	114
b) Fassungen bei Landikon	114
c) Das kleine Grundwassergebiet nördlich Landikon	114
2. Grundwassergebiet von Bonstetten	114
3. Der Talboden des Jonentalchens	115
a) Fassung der Gemeinde Mettmenstetten bei Heferswil-Rifferswil	115
b) Bohrung bei Affoltern a. A.	116
4. Fassung beim Mettenholz (1 km westlich Station Affoltern)	116
5. Talboden von Üerzlikon-Rossau	116
6. Kächbrunnen, Weißenbach, zwischen Rossau und Mettmenstetten	117
XI. Die Grundwasserführung in den jüngeren Schottern des Glattales	118
1. Allgemeine Orientierung über die letzte Eiszeit des Glattales	118
2. Verbreitung der Schotter des Killwangerstadiums im untern Glattal	118
3. Grundwasser in den verschwemmten Moränen bei Stadel	119
4. Grundwassergebiet von Niederhasli	119

	Seite
5. Schotterterrassen von Bassersdorf-Kloten	120
a) Talboden von Bassersdorf	120
b) Schotterfeld der Endmoräne von Kloten	121
c) Brumbach und Goldenes Tor	121
6. Grundwassergebiete in den jüngeren Schottern des oberen Glattales	122
A. Allgemeine Orientierung	122
B. Kurze Übersicht über die einzelnen Gebiete	123
7. Lokale Grundwassergebiete im obersten Glattal	125
XII. Grundwasserführung in den Nebentälern des Glattales	126
1. Furttal	126
a) Geologische Erwägungen	126
b) Wasserfassung bei Regensdorf	127
c) Fassungen im Moränengebiet am Katzensee	127
d) Fassungen im Feld bei Affoltern bei Zürich	128
e) Untersuchungen über den Wirkungsradius des Filterbrunnens bei Unter-Affoltern	129
2. Der Talboden des Surbtalles bei Niederweningen	130
3. Talboden von Lindau-Nürensdorf	130
XIII. Der Grundwasserstrom des Töbtales und der Nebentäler	131
1. Allgemeine Orientierung	131
a) Oberste Teilstrecke oberhalb von Steg	131
b) Der Anfang des eigentlichen Töbgrundwasserstromes bei Steg-Fischenthal	132
c) Grundwasserfassung bei der Station Steg	132
d) Strecke Steg-Wila	132
e) Grundwasseraufstoß bei Wila	133
f) Der Talboden von Seelmatten-Neubrunn	134
g) Strecke Turbenthal-Zell	135
h) Fassungen von Rikon und Deltenried-Weißlingen	136
i) Gebiet Kollbrunn-Sennhof	137
k) Strecke Sennhof-Töb	137
l) Das Ende des Grundwasserstromes bei Töb	138
m) Das untere Töbthal	138
n) Anhaltspunkte über die Grundwassermenge des Töbtales	139
XIV. Die Grundwasserströme der Seitentäler des Töbgebietes	140
1. Weibertal bei Neuburg-Wülflingen	140
2. Hettlingen-Ohringen-Neftenbach	141
3. Der Grundwasserstrom des Eulachtales	142
a) Allgemeine Orientierung	142
b) Der Talboden von Rätterschen-Elgg	143
c) Talboden von Wiesendangen-Oberwinterthur	143
d) Der Talboden von Winterthur-Wülflingen	144
4. Das Kempttal	145
a) Geologische Orientierung	145
b) Das innere Grundwassergebiet bei Pfäffikon	146
c) Das mittlere Grundwassergebiet	147
d) Die Grundwasseraufstöße bei Fehraltorf	148
e) Unteres Kempttal	149
f) Kleines Grundwassergebiet von Rikon-Effretikon	149
XV. Die kleinen Grundwasserströme des Plateaus zwischen Kempttal und Töbthal	150
1. Allgemeine Orientierung	150
2. Tälchen Bettswil-Hinterburg	150
3. Das Bussenthal	151
4. Tälchen von Hasel	151

	Seite
5. Talboden bei Hiltnan	152
6. Das Tälchen von Gündisau	153
7. Talboden Russikon-Madetswil	153
8. Kleinere Grundwassergebiete	154
XVI. Kleinere Grundwassergebiete im nördlichen Kantonsteil	154
1. Einleitung	154
2. Umgebung von Henggart	154
3. Der Talboden von Volken-Dorf	155
4. Grundwassergebiete auf der linken Seite der Thur bei Andelfingen	155
5. Plateau Ossingen-Klein-Andelfingen-Marthalen	157
a) Grundwasserfassung der Gemeinde Ossingen	157
b) Seenplatte von Klein-Andelfingen-Oerlingen	157
6. Grundwassergebiet bei der Station Marthalen	158
7. Gebiete von Dachsen-Uhwiesen	159
8. Der Grundwasserstrom des Stammheimertales	159

II. Verwaltungstechnischer Teil.

Das Zürcherische Grundwasserrecht	163
A. Die wirtschaftliche Bedeutung des Grundwassers	163
B. Die Entstehung des Grundwasserrechtsgesetzes	171
C. Das Grundwasserrechtsgesetz	173
D. Die Vollziehungsverordnung	183
E. Verleihungsverfahren im Allgemeinen	190
1. Gesuchstellung	190
2. Vorläufige Prüfung des Gesuches	190
3. Veröffentlichung des Gesuches	191
4. Einspracheverhandlungen	192
5. Kostentragung des Verleihungsverfahrens	193
6. Einsprachen von Wasserrechtseinhabern an oberirdischen Gewässern	194
7. Gerichtliche Erledigung der Einsprachen	196
8. Entscheid über Erteilung der Verleihung	197
F. Verleihungsverfahren bei „alten Anlagen“	198
a) Künstliche Hebung des Grundwassers	199
b) Grundwasserableitung mit natürlichem Gefälle	200
c) Künstliche Wasseranreicherung einer Fassung	201
G. Grundwasserrechtsgesetz und Bundesrecht	202
H. Die Wasserrechtsverleihung	205
I. Umfassende Beschreibung der Berechtigung	206
II. Allgemeine Konzessionsbedingungen	208
III. Spezielle Bedingungen	216
IV. Erteilung des Expropriationsrechtes	216
V. Dauer der Verleihung, Rückkauf und Heimfall der Wasserwerksanlagen	217
VI. Baufristen, Werkausbau	222
VII. Verleihungs- und Benützungsgebühren	223
VIII. Grundbucheintragung	223
IX. Festsetzung der Höhen- und anderer Maße bei Grundwasserkraftanlagen	223
I. Grundbuchliche Behandlung der Grundwasserrechtsverleihungen	224
a) Art der Eintragung ins Grundbuch	224
b) Anmerkung des Heimfallrechtes auf den Betriebsgrundstücken	228
K. Löschung des Wasserrechtes	229
L. Das Wasserrechtsverzeichnis (Wasserrechtskataster)	230

	Seite
M. Der Grundwasserwirtschaftsplan	234
N. Feststellung der öffentlichen Grundwasserströme und Grundwasserbecken und die Erfassung derselben	245
I. Feststellung der Grundgewässer	245
a) Nach Erdkunde	245
b) Nach Wasserkunde	247
1. Grundwasseraustritte	247
α Nachweis durch Temperaturmessung	247
β Nachweis durch Wassermengenmessung	248
γ Nachweis durch chem. Prüfung des Wassers	256
2. Versickerung aus Oberflächengewässern	256
3. Trockentäler	257
II. Wahl der Fassungsstelle	257
a) Eignung des Wassers	257
b) Hebung und Fortleitung des Wassers	258
c) Menge des Wassers	260
d) Erfolge und Mißerfolge	260

Anhang:

O. Beispiele erstellter Fassungsanlagen und extreme Grundwasserstände	265
P. Beispiele von Grundwasserrechtsverleihungen	271
I. Wasserrechtsverleihungen für Anlagen, die bei Inkrafttreten des Grundwasserrechtsgesetzes bereits zu Recht bestanden haben	271
1. Wasserrechtsverleihung für eine Gemeinde	271
2. Wasserrechtsverleihung an Privatfirma zu verschiedenen Gebrauchszwecken	271
3. Ausstellung einer Wasserrechtsverleihung in Verbindung mit Bewilligung eines Umbaus der Anlage	272
a) Veröffentlichung des Vorhabens der Ausstellung der Verleihung	272
b) Ausstellung der Wasserrechtsverleihung	272
4. Wasserrechtsverleihung für Grundwasserentnahme vermittelt Hand- und Maschinenbetrieb	273
5. Wasserrechtsverleihung mit Bewilligung zur Rückgabe des Abwassers in ein öffentliches Gewässer	273
6. Wasserrechtsverleihung mit Fassungs- und Pumpanlage im Keller eines Gebäudes	274
7. Wasserrechtsverleihung mit Bewilligung zur Wasserabgabe an Dritte	275
8. Wasserrechtsverleihung für Grundwasserkraftanlage	277
II. Wasserrechtsverleihungen für eine Anlage, die bei Inkrafttreten des Grundwasserrechtsgesetzes bereits zu Recht bestanden hat, in Verbindung mit Wasserrechtsverleihung für eine Neuanlage, sowie Bewilligung des Umbaus der Grundwasserfassung und Bewilligung gemeinsamer Benützung von Anlageteilen durch zwei Beliehene	279
1. Wasserrechtsverleihungen	279
2. Inkraftsetzung der Statuten über gemeinsame Benützung der Anlage	281
III. Wasserrechtsverleihungen für Anlagen mit Erweiterung des Rechtes auf Wasserentnahme	282
1. Wasserrechtsverleihung für eine Anlage mit Grundwasserquellfassung, die vor Inkrafttreten des Grundwasserrechtsgesetzes bereits bestanden hat und durch eine Tieffassungsanlage soden erweitert wird	282
2. Wasserrechtsverleihung für die Erweiterung einer bereits konzidierten Anlage unter Aufhebung der früheren Verleihung	283

	Seite
IV. Wasserrechtsverleihungen für Neuanlagen	284
1. Wasserrechtsverleihung für die Neuanlage einer Gemeinde mit Erteilung des Expropriationsrechtes gegenüber bestimmten, bestehenden Anlagen	284
2. Wasserrechtsverleihung für eine Neuanlage zweier Gemeinden, welche gemeinsame Anlageteile benützen	286
3. Wasserrechtsverleihung für eine Neuanlage, die im Innern eines Gebäudes erstellt worden ist	289
4. Wasserrechtsverleihung für eine Neuanlage einer Genossenschaft mit Sonderbestimmungen über Dauer, Rückkauf und Heimfall	291
a) Öffentl. Bekanntmachung des Wasserrechtsgesuches mit prov. Baubewilligung	291
b) Wasserrechtsverleihung	292
c) Inkrafttreten der Bestimmungen über Behandlung wie ein Gemeinwesen	294
d) Festsetzung der Rückkaufsumme und Anmerkung des Heimfalles	294
5. Wasserrechtsverleihung für Neuanlage mit Bewilligung zur Versenkung des Abwassers in den Grundwasserstrom	295
V. Einschränkung eines Wasserrechtes im Wasserbezug	295
1. Wasserrechtsverleihung	295
2. Einschränkung des Rechtes	297
VI. Löschung eines Wasserrechtes	297
1. Verleihungsurkunde	297
2. Zeugnis des Grundbuchamtes Wiedikon-Zürich über Eintragung der Verleihung ins Grundbuch	298
3. Löschung des Wasserrechtes auf Grund des Unterganges der Anlage und Verzichtes	298
4. Zeugnis des Grundbuchamtes Wiedikon-Zürich über die Löschung der Verleihung im Grundbuch	298
VII. Wasserpolizeiliche Bewilligung	299
1. Wasserpolizeiliche Bewilligung anlässlich einer Verleihung durch den Regierungsrat	299
2. Wasserpolizeiliche Bewilligung, erteilt durch die Baudirektion	300
Q. Die Zürcherischen Gesetze und Verordnungen, die öffentliche Grundwasserströme und Grundwasserbecken betreffen	301
1. Gesetz betr. Ergänzung zu § 137 des Einführungsgesetzes zum Schweizer. Zivilgesetzbuch (v. 2. Februar 1919)	301
2. Verordnung über die Benutzung von Grundwasserströmen und Grundwasserbecken (v. 27. Oktober 1919)	301
3. Einführungsgesetz zum Schweizer. Zivilgesetzbuch (v. 2. April 1911). B. Öffentliche Sachen	302
4. Gesetz betr. die Korrektion, den Unterhalt und die Benützung der Gewässer (Wasserbaugesetz) (v. 15. Dezember 1901)	303
III. Benützung der Gewässer	303
IV. Polizeiliche Vorschriften	308
V. Vollziehungs- und Strafbestimmungen	310
5. Verordnung über die Behandlung von Gesuchen betr. die Erstellung von Wasserwerken, Bewässerungs- und Landanlagen, sowie andern Wasserbauten (v. 4. November 1902)	311
6. Verordnung über das Wasserrechtsverzeichnis (v. 28. November 1929)	314
7. Verordnung des Obergerichtes gestützt auf § 273 des Einführungsgesetzes zum Z. G. B. vom 2. April 1911 betreffend die grundbuchliche Behandlung von Wasserrechtsverleihungen (v. 19. Dezember 1922)	316
Ortsverzeichnis zum geologisch-hydrologischen Teil	318
Sachverzeichnis zum verwaltungstechnischen Teil	323

Verzeichnis der Textfiguren und Tafeln.

Titelbild: Grundwasseranstoß bei der Straßenbrücke Wila-Turbental im Töftal.

I. Geologisch-Hydrologischer Teil.

	Seite
1. Schematischer Querschnitt durch ein Grundwassergebiet	4
2. Längsschnitt durch ein Grundwassergebiet	6
3. Querschnitt durch ein gedecktes Grundwassergebiet	6
4. Quellenbildungen auf den Mergelhorizonten des Irchels	9
5. Querschnitt durch den Grundwasserstrom eines Urstromtales	14
6. Filterbrunnen der Gemeinde Feuerthalen	bei 14
7. Filterbrunnen der Kant. Pfllegeanstalt Rheinau	" 14
8. Linkes Ufer des Grundwasserstromes bei Flurlingen-Neuhausen	" 14
9. Längenprofil Schaffhausen-Neuhausen	18
10. Querprofil bei Neu-Rheinau	21
11. Querprofil südlich Rheinau durch den Stadtgraben	22
12. Grundwasseraufstöße am linken Rheinufer oberhalb Ellikon	" 14
13. Querprofil durch das linke Rheinufer unterhalb Ellikon	" 26
14. Situation zu den Wasserstandsbeobachtungen bei Ellikon	" 26
15. Situation der Grundwasserbeobachtungen im Flaacherfeld	" 28
16. Flaacherfeld. Wasserspiegel-Beobachtungen im Profil km 0,64	" 28
17. Chemische Wasseruntersuchung, Terrainprofil und Grundwasserstände beim Flaacherfeld	" 28
18. Profil durch die Grundwasserfassung der Gemeinde Eglisau	31
19. Schematisches Längenprofil durch das untere Glattal	36
20. Querprofil durch das Glattal bei Hochfelden-Bülach	38
21. Profil der Grundwasserbohrung bei Höri	40
22. Schematischer Querschnitt durch das Grundwasserbecken bei Rümlang	44
23. Der Kirchbrunnen in Rümlang	" 44
24. Querprofil durch das Grundwasserbecken von Seebach	47
25. Querprofil durch die Grundwasserbecken des mittleren Glattales	50
26. Kiesgrube am Holberg bei Kloten	" 44
27. Querprofil durch den Rand des Grundwasserbeckens bei Dietlikon	" 54
28. Grundwasserbecken Wallisellen. Grundwasserstände	" 54
29. Profile aus dem Grundwasserbecken Wallisellen-Dietlikon	" 54
30. Weiher mit Grundwasseraufstößen im Osten von Wangen	" 54
31. Weiher mit Grundwasseraufstößen oberhalb der Kirche Wangen	" 54
32. Detailprofil bei Brüttsellen-Baltenswil	59
33. Schematisches Querprofil bei Bertschikon-Aatal	63
34. Profile der Bohrungen von Sulzbach und Fuchsbühl	" 66
35. Schematisches Querprofil bei Grüt-Goßau	67
36. Der artesischer Brunnen von Grüt-Goßau, Sondierbohrung	" 68
37. Verschiedene Bohrerresultate aus dem oberen Glattal	" 68
38. Verbreitung des Grundwasserbeckens der Halbinsel Au	73
39. Grundwasserfassung im Schotter der Halbinsel Au	74
39a. Sichtbarer Aufbau des Filterbrunnens der Gemeinde Wädenswil	" 74
40. Schematischer Längsschnitt durch eine Endmoräne mit anschließendem Schotter	80

	Seite
41. Querprofil des Sihltales bei der Station Gontenbach	82
42. Schematischer Querschnitt bei Sood-Adliswil	84
43. Querprofil durch das Sihltal bei der Höcklerbrücke Zürich	86
44. Längenprofil des Sihlgrundwasserstromes zwischen Brunau und Sihlhölzli	88
45. Profil Pelikanstraße-Bürkliplatz, Zürich 1	90
46. Bohrprofile aus dem Grundwassergebiet des Limmattales	92
47. Querprofil durch das Grundwassergebiet beim S.B.B.-Viadukt in Zürich 5	93
48. Querprofil durch den Limmat-Grundwasserstrom beim Hardhof	95
49. Lageplan zu den Beobachtungsstellen im Limmattal	bei 98
49a, b, c, d, e, f, g, h, i, Grundwasserstände im Limmattal	" 98
50. Geologisches Profil unterhalb Dietikon	" 102
51. Kurven der Grundwasserstände beim Kraftwerk Dietikon	" 104
52. Beobachtung von Grundwasserspiegeln unterhalb der Reppischmündung	" 104
53. Bohrprofile in eiszeitlichen Abflußrinnen westlich des Albis	113
54a. Grundwasseraufstoß im Brunnengebiet westlich von Kloten	" 122
54b. Das goldene Tor bei Kloten	" 122
55. Bohrprofile im Grundwasserstrom Hegnau-Stiegenhof-Dübendorf	124
56. Bohrung südlich von Hegnau	" 126
57. Bohrung im Mühleholz in Uster	" 126
58. Bohrprofile im Tale von Affoltern Zürich-Regensdorf	" 128
59. Darstellung von Pumpversuchen in der Wasserfassung Affoltern-Zürich	" 128
60. Bohrprofil des Filterbrunnens bei der Station Niederweningen	130
61. Längenprofil durch das Töbital	" 132
62. Spiegelbeobachtungen im Töbital	" 132
63. Geologische Querprofile zwischen Sennhof und Töb	" 138
64. Querprofil durch den Talboden von Neftenbach	" 142
65. Längenprofil durch das Eulachtal Elgg-Wülflingen	144
66. Grundwasserspiegel in der großen Kiesgrube bei Wülflingen	" 146
67. Lageplan zu den Beobachtungsstellen in Winterthur	" 146
67a, b, c, Grundwasserstände in Winterthur	" 146
68. Bohrprofile bei Pfäffikon	" 146
69. Grundwasseraufstoß bei Wila	" 146
70. Bohrprofile aus dem nördlichen Kantonsteil	" 154
71. Alte Brunnenstube im Ursprung südlich von Andelfingen	" 156
72. Der Beefsee bei Andelfingen	" 156
73. Profil durch das Stammheimertal bei Oberstammheim	160

II. Verwaltungstechnischer Teil.

1. Grundwasseraustritte am Ende des Embracher Grundwasserstromes	bei 162
2. Fassungsanlage des Gätzibrunnens in Töb	" 164
3. Wasserfassung der Zivilgemeinde Brüttisellen bei der Semerei	" 164
4. Grundwasserquellfassung und Pumpwerk von Unter-Ohringen	" 164
5. Fortschritt des Ausbaues der vom Staate unterstützten Wasserversorgungsanlagen	" 166
6. Mühle Neerach. Grundwasserkraftanlage	" 166
7. Grundwasserkraftanlage in Wangen	" 166
8. Entsumpfungspumpwerk beim „Fahr“ Dietikon	" 170
9. Das Werrikerried. Vegetationsbild	" 170
10a. Teufelskirche. Quelle	" 170
10b. Teufelskirche. Tufftreppe	" 170
11. Darstellung zur Definition von Grundwasserstrom und -Becken	176
12. Erfassung des Grundwassers durch Quell- oder Grundwasserfassung	180
13. Grundwasserfassung in Grabenform	" 182

	Seite
14. Grundwassersee in einer Kiesgrube in Wülflingen	} bei 182
Vereister Grundwasserspiegel in einer Kiesgrube in Zürich	
15. Grundwasserförderung aus Baugruben im Werdhölzli bei Zürich	" 182
16. Pumpenhaus der Gemeinde Hörli	" 190
17.—21. Grundwasserabsenkung durch Pumpen	" 192
22a. Goldenes Tor bei Kloten	" 194
22b. Sandvulkane im Quellbecken des Goldenen Tores	" 194
23. Grundwasseraufstöße am Ufer des Rheines	" 194
24. Bett der Töb ober- und unterhalb Steg	" 194
25. Bett der Töb ober- und unterhalb Rikon	" 194
26. Absenkungsbilder des Wasserspiegels benachbarter Brunnen	" 200
27. Längenprofil des Mühlebaches Schlieren	" 200
28. Wassermengenkurven des Mühlebaches Schlieren und der dortigen Wasserfassung	" 200
29. Quellenmessungen am Kohlfirst von Flurlingen und Benken	" 200
30. Einfluß des Klarenbaches in Uster auf die Grundwasserfassung in der Bündl in N'Uster	201
31. Lageplan der Wasserversorgungsanlage Rüti	" 218
32. Grundwasserpumpwerk der Gemeinde Wallisellen und Dietikon	" 220
33. Grundwasserfassung der Gemeinde Zollikon in Zimikon	" 222
34. Maschinelle Anlage des Pumpwerkes der Gemeinde Zollikon in Zimikon	" 222
35. Öffentliche Grundwassergebiete	" 234
36. Einteilung des Kantonsgebietes nach Erwerbszweigen	" 238
37. Profil durch das Kiesdelta der Jona bei Rüti	" 246
38a und b. Niederschlagshöhen Januar/Juni 1934 etc.	" 246
39. Lageplan der Meßstellen am Töbelibach	248
40. Lageplan der Meßstellen der Reppisch	249
41. Lageplan der Meßstellen am Heischerbach	251
42. Lageplan der Meßstellen am Brandbach Mesikon	253
43. Lageplan der Meßstellen am Weißenbach	254
44. Lageplan der Meßstellen am Tambel Wetzwil	255
45a. Das ausgetrocknete Bett des Steinenbaches	" 256
45b. Trockental bei Baltenswil	" 256
46. Lageplan des Freiensteinergrundwasserstromes	259
47. Stollenfassung am Gipfel des Stammheimerberges	" 268
48. Fassungsstollen am Fuße des Stammheimerberges	" 268
49. Burriquelle Töbital	" 268
50. Alte oberflächliche Grundwasserfassung	" 270
51. Grundwasseraufstoß im Ursprung Andelfingen	" 270
52. Beispiel einer ältern Sickerfassung in der Talsohle	" 270
53. Wasserfassung in einem hochgelegenen Grundwasserstrom	" 270
54.—56. Beispiele von Brunnenfassungen	" 270
57. Grundwasserfassung der Gelatinefabrik Winterthur	" 270
58. Grundwasserpumpanlage im Fassungschacht der Gelatinefabrik Winterthur	" 270
59. Grundwasserbohrung Niederweningen und Rheinau	" 270
60. Grundwasserbohrungen bei Rikon und oberhalb Töb	" 270
61a, b, c. Höchste und tiefste Grundwasserstände im Limmattal und bei Winterthur	" 270
61d und e. Situationspläne zu 61 a—c	" 270

Karte der öffentlichen Grundwasserströme und Grundwasserbecken des Kantons Zürich. 1 : 100 000.

I.
Geologisch-Hydrologischer Teil

Von Dr. J. HUG

I. Begriffsbestimmungen.

Um bei unsern Ausführungen sich kurz ausdrücken zu können, sehen wir uns veranlaßt, diejenigen technischen und wissenschaftlichen Begriffe kurz zu kennzeichnen, die in unserer Darstellung immer wieder vorkommen.

a) Grundwasser.

Im Folgenden seien die Definitionen aus neueren Werken der Grundwasserkunde erwähnt:

K. Keilhack (Grundwasser- und Quellenkunde, 2. Aufl., 1917, Seite 64). „Wir verstehen unter Grundwasser im Gegensatz zum Oberflächenwasser alles unter der Erdoberfläche befindliche, auf natürlichem Wege dorthin gelangte Wasser.“ Er schließt damit dasjenige Wasser aus, welches durch künstliche Eingriffe, als Infiltration von Flüssen, Bewässerungen usw. in den Boden gekommen ist.

Von der Unmöglichkeit ausgehend, die künstliche Komponente der Grundwasserspeisung von der natürlichen abzutrennen, hatte ich im Jahre 1918 unter „Grundwasser“ alles „unter der Erdoberfläche vorkommende Wasser“ verstanden¹⁾.

E. Prinz (Handbuch der Hydrologie, Seite 4/5) faßt den Begriff etwas enger.

1. „Das Grundwasser ist jenes unterirdische Wasser, welches sich in den Trümmergesteinen der Erdkruste, die zu Haufwerken von ausgesprochen gesetzmäßiger Durchlässigkeit gelagert sind, sammelt und nach den Gesetzen der Filtration fortbewegt.“

Im Gegensatz dazu definiert er:

„Unterirdische Wasserläufe führen im Gegensatz dazu jenes Wasser, welches in den Spalten, Höhlen, Klüften und sonstigen unterirdischen Gerinnen des festen Gebirges nach den Gesetzen, die für die Bewegung des Wassers in Gerinnen im allgemeinen Geltung haben.“

2. *W. Koehne* (Grundwasserkunde 1928) kommt Seite 13 zu folgender Begriffsbestimmung: „Grundwasser heißt das die Gesteinshohlräume voll ausfüllende, unter Einwirkung eines Gefälles ins Fließen gekommene unterirdische Wasser; der Grundwasserspiegel wird durch den in den Bohrlöchern sich einstellenden Wasserstand gekennzeichnet.“

Die vorstehende Präzisierung des Begriffes Grundwasser kann ohne weiteres auch auf unser Gebiet angewendet werden. Immerhin glaube ich mit Rücksicht

¹⁾ *Hug, J.* Grundwasservorkommnisse der Schweiz. Bd. III der Annalen der schweiz. Landeshydrographie. 1918, Seite 7. (Später immer als „Grundwasservorkommnisse“ zitiert.)

auf zwei besondere Erscheinungsformen des Grundwassers bei uns hinweisen zu müssen, die ich seinerzeit schon als Mitglied der Kommission zur Vorberatung des zürcherischen Grundwassergesetzes aneinander gehalten hatte, nämlich *Grundwasserstrom* und *Grundwasserbecken*.

b) Grundwasserstrom.

Wir verstehen darunter Grundwasservorkommen von größerer Ausdehnung besonders in den Kiesen, welche alte ausgefüllte Flußläufe erfüllen. In diesem Falle kommt das Grundwasser, dem Gefälle der früheren Flußsohle folgend, in fließende Bewegung. Der Grundwasserstrom unterscheidet sich vom offenen Strom außer durch den unterirdischen Verlauf durch viel geringere Strömungsgeschwindigkeit und in der Regel auch durch einen viel größeren Querschnitt.

Wenn *W. Kohne* als weiteres Unterscheidungsmerkmal vom Flusse auch die „viel geringere Länge des Laufes“ anführt, so kann dies für unsere Verhältnisse

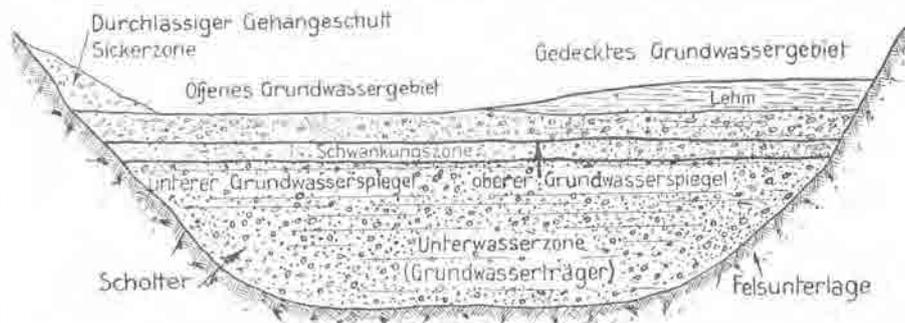


Abb. 1. Schematischer Querschnitt durch ein Grundwassergebiet.

Erklärung der Bezeichnungen: Unterwasserzone (Grundwasserträger), Grundwasserspiegel, Schwankungszone.

nicht unbedingt stichhaltig sein. Ich denke dabei besonders an den Grundwasserstrom des Rheintales, der sich von Dießenhofen über die Schweizergrenze bis über Straßburg hinaus verfolgen läßt.

c) Grundwasserbecken.

Wird ein Grundwassergebiet rings herum nahezu auf gleicher Höhe von undurchlässigem Material eingeschlossen, so entsteht eine einem Reservoir ähnliche Ansammlung von Grundwasser mit flächenartiger Ausdehnung; wir haben diese Erscheinung als Grundwasserbecken bezeichnet, die hauptsächlich im mittleren Glattal zu typischer Entwicklung kommen und dort die günstigste Möglichkeit der Wasserbeschaffung darstellt.

d) Grundwasserträger.

Den Gesteinskörper, welcher das Grundwasser in seinen Hohlräumen enthält, bezeichnen wir als *Grundwasserträger*. Bei uns sind es in der Regel die Kiese der Schmelzwasserströme, die *fluvioglazialen Schotter der Eiszeiten*, die sich zur Grundwasserbildung im großen Stil als geeignet erwiesen haben. Sie verdanken

ihre Porosität dem Umstand, daß sie in verhältnismäßig starker Strömung zur Ablagerung gekommen sind, wobei die feinen Tonpartikel ausgeschlämmt wurden. Das *Porenvolumen* unserer Schotter wird zu etwa 20–35 % angegeben. Die Abgrenzung der öffentlichen unterirdischen Gewässer wird in erster Linie durch die Verbreitung der eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Schotter bestimmt.

Die Begriffe

e) Überwasserzone, Unterwasserzone, Grundwasserspiegel,

im Sinne von *W. Kochne*, lassen sich am besten an dem nebenstehenden schematischen Schnitt durch ein Grundwassergebiet ableiten.

Das unserem durchlässigen Gesteinskörper zufließende Wasser versickert rasch in den Poren. Neben den Niederschlägen kommt noch Wasser von undurchlässigen Hängen hinzu, das am Fuße versickert, oder direkt aus Klüften des angrenzenden Gesteines aufgenommen wird. Das Sickerwasser sinkt so tief ein, bis es durch die undurchlässigen Unterlagen aufgehalten wird. Der Grundwasserträger füllt sich dabei so hoch mit Wasser auf, bis ein Abfluß möglich ist. Es entsteht so ein *Grundwasserspiegel* als obere Abgrenzung der Wasseransammlung.

Den über dem Grundwasserspiegel liegenden Teil des Profils nennt *Kochne* die *Überwasserzone*. Obwohl das Wasser nach der vorstehenden Überlegung die *Überwasser-* oder *Sickerzone* passieren muß, kann es darin zufolge des Mangels an einer Stauung nicht gefaßt werden. Diese Zone ist also unproduktiv (siehe Abb. 1).

Die Mächtigkeit der Überwasserzone, resp. die *Tiefenlage des Grundwasserspiegels* weicht wegen der außerordentlichen Mannigfaltigkeit der die Wasser- verhältnisse bestimmenden geologischen Verhältnisse innerhalb unseres Untersuchungsgebietes sehr stark ab. Die äußersten Extreme sind Null bis einige Zentimeter, d. h. der Grundwasserspiegel erreicht die Erdoberfläche, oder gegen 100 Meter (Nordecke des Kantons bei Feuerthalen).

Unmittelbar über dem Grundwasserspiegel kommt noch der sog. *Kapillarraum*. Wir verstehen darunter die mehr oder weniger feuchte Zone, ohne aber bis zur Sättigung mit Wasser gefüllt zu sein. Auch diese Zone ist natürlich zur Wassergewinnung unproduktiv, spielt aber für die Ernährung der Pflanzen eine gewisse Rolle. Wir werden auf diesen Faktor nicht mehr besonders eintreten.

Wichtiger für die praktische Grundwasserkunde ist aber

f) Die Schwankungszone.

Jeder Grundwasserspiegel muß einer gewissen Schwankung unterworfen sein. Es wird dies in erster Linie durch die zeitlich unregelmäßige Verteilung der Niederschläge verursacht. Auch die sog. *Vorflutverhältnisse* können dabei bis zu einem gewissen Grade im Spiele sein. Wir verstehen darunter z. B. den Einfluß des Sinkens und Steigens eines Flusses oder Sees auf das einmündende Grundwasser.

Auch in Bezug auf die Dimensionierung der Schwankungszone zeigen die einzelnen Gebiete bei uns sehr große Abweichungen. Es sind uns Stellen bekannt,

wo der Grundwasserspiegel nur wenige Zentimeter schwankt, daneben kommen aber auch Amplituden von über 15 Meter vor.

Das Problem der Grundwasserspiegelschwankungen ist ein Kapitel für sich, das durch eine Reihe von Faktoren bestimmt wird.

g) Quell- und Grundwasser.

Vielfach ist es in unserem Sprachgebrauch üblich, zwischen Quell- und Grundwasser einen Unterschied zu machen. Dieser Ansicht geht aber meines Erachtens jede Berechtigung ab.

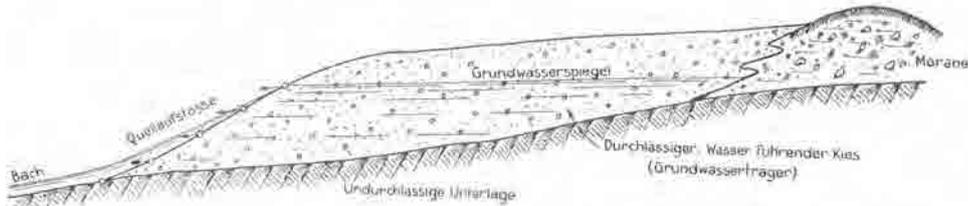


Abb. 2. Längsschnitt durch ein Grundwassergebiet.

(Erklärung der Beziehungen zwischen Grundwasser, Quellzone und Quellbach.)

Die *Quelle* bedeutet die Stelle, wo das Grundwasser austritt, indem der Grundwasserspiegel aus irgend einem Grunde, z. B. zufolge von Übersättigung des Grundwasserträgers, Verengung der Mächtigkeit oder der Route desselben oder Stauung durch eine undurchlässige Vorlagerung über die Erdoberfläche kommen muß.

Irgend eine stoffliche Differenzierung zwischen Quell- und Grundwasser kann also nicht zu Recht bestehen.

h) Gedeckte Grundwassergebiete mit artesisch gespanntem Wasser.

In einigen Tälern des Kantons sind die wasser führenden Schotter noch mit einer mächtigen Decke von undurchlässigem Material nach oben abgeschlossen.

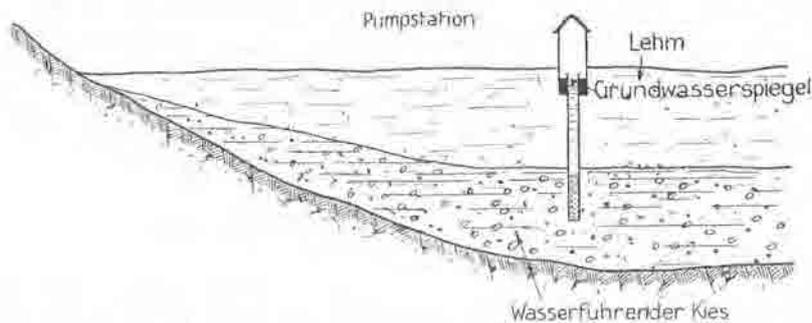


Abb. 3. Schematischer Querschnitt durch ein gedecktes Grundwassergebiet mit artesischem Auftrieb.

(Durchlässiger, wasserführender Schotter, zugedeckt durch eine undurchlässige Lehmschicht.)

Es können dies lehmige Grundmoränen, postglaziale Anschwemmungen oder Seebodenlehme sein. Wenn der Lehmabschluß bis über den normalen Grundwasserspiegel reicht, so muß das Wasser gespannt sein, so daß es beim Durch-

schneiden der Decke bis zum normalen Stande artesisch aufsteigt. Wir werden einer Reihe von artesischen Grundwassertypen begegnen.

II. Grundwasserverhältnisse der hoch gelegenen Schotterplateaus.

1. Besondere Kennzeichen des Types.

Wir gedenken in diesem Kapitel diejenigen Grundwasservorkommen kurz zu charakterisieren, die sich in den *hochgelegenen Schotterplateaus* bilden, die vorwiegend zu den älteren Eiszeiten gehören. Die Lagerungsverhältnisse sind dadurch gekennzeichnet, daß die *Kontaktflächen zwischen Schotter und undurchlässiger Unterlage über den Taleinschnitten* liegen.

Bei derartigen Lagerungsverhältnissen muß das im Schotter gesammelte Grundwasser in der Regel als *Schichtquellen* zu Tage treten, wie dies in jedem Lehrbuch für Geologie dargestellt wird.

Solche Schichtquellen sind über das ganze Gebiet des Kantons verteilt. Es würde den Rahmen dieser Arbeit weit übersteigen, allen diesen Schichtquellen des Kantons nachzugehen. Dazu kommt, daß die meisten schon vor Jahrzehnten gefaßt worden sind. Für die Wasserversorgung der Ortschaften wurden aus nahe liegenden Gründen alle diese hochgelegenen Quellen zuerst herangezogen, zu einer Zeit, als noch keine Verteilung von elektrischer Kraft zur Hebung der tiefgelegenen Wasservorkommen zur Verfügung stand. Wir können auf eine genaue Darstellung aller dieser Quellen füglich schon deshalb verzichten, weil sie fast vollständig ausgenützt sind, also für Erweiterungen der Wasserversorgungen ohne Bedeutung sind.

Außer Betracht fallen ferner die sogenannten Felsquellen, die im ganzen Bereich des Kantons in den Molassefelschichten zu Tage treten, besonders auf den Kontaktflächen zwischen miozäner Nagelfluh und Mergel, oder Sandstein und Mergel. Bei der geringen Durchlässigkeit des Grundwasserträgers heftet sich die Wasserführung hauptsächlich an die kleinen Verwitterungsrisse, es bedingt dies in der Regel große Schwankungen des Ertrages mit geringen Minimalerträgen.

Von den in unserer Karte angeführten hochgelegenen Grundwassergebieten nehmen wir zwei Beispiele aus dem nördlichen Kantonsteil heraus, die genau bekannt geworden sind.

2. Topographische Gestaltung der Deckenschotterreste im nördl. Teil des Kantons.

Die meisten Bodenerhebungen des nördlichen Kantonsteiles sind dadurch gekennzeichnet, daß ihre Kulmination in der Regel nicht aus einem Grat oder Gipfel, sondern aus einer ausgeebneten Fläche besteht, die in ihrem Aussehen ganz an einen Talboden erinnert. Das Plateau fällt meistens rings herum in einem Steilhang von mehreren zehn Metern ab, sodaß oft ein burgenähnliches Aussehen zu Stande kommt. Wir sehen derartige Landschaftsformen besonders typisch auf der Westseite des Irchels, am Rheinsberg und Hilten-Laubberg bei Eglisau, auf der Südseite des Emperg bei Weiach und am Stadlerberg ausgeprägt.

Die geschilderte Landschaftsform rührt daher, daß die oberste, einige zehn Meter mächtige Schicht aus einem teilweise zu Nagelfluh verkitteten Schotter, dem sogenannten *Deckenschotter* besteht. Die Verkittung kommt durch Kalkhäute zu Stande, welche die einzelnen Gerölle verbinden. Oft sind einzelne Schichten oder Partien von der Verfestigung weniger betroffen, sie fallen daher heraus, sodaß Nischen und Höhlen entstehen, die ein ruinenhaftes Aussehen der Felswände zur Folge haben. Zufolge des lückenhaften Aussehens wird der Deckenschotter auch als „löcherige“ Nagelfluh bezeichnet.

Stellenweise kommen im Schotter Einlagerungen von Moränen mit gekitteten Geschieben vor, besonders schön an der Schöffliisdorfer Egg. Auch am Stammheimerberg sind analoge, schlammige Einlagerungen bekannt. Der *Deckenschotter* bestimmt sich damit als *fluvio-glazialer Kies* der Eiszeiten. Beim Schotterfetzen am Ütliberg und Albis beobachten wir sogar ein direktes Verkeilen von Moränen mit Schotter.

Unsere Deckenschotterreste gruppieren sich in zwei verschiedene Stufen, einem oberen, oder älteren Deckenschotter, entsprechend der ersten (Günz) Eiszeit, und einem unteren oder jüngeren Schotter, als Produkt der zweiten (Mindel) Vergletscherung. In Bezug auf weitere Einzelheiten verweisen wir auf die Arbeit von R. Frei²⁾.

Als erstes zur älteren Eiszeit gehörendes Beispiel nennen wir

3. Das Irchelplateau³⁾ 4).

a) Allgemeine geologische Orientierung.

Unsere Karte gibt die Verbreitung des Schotterplateaus am Irchel an. Eine Begehung des Berges erwirkt die Illusion, daß wir uns auf einem Talboden bewegen, nur am Rande belehrt uns der steile Absturz, daß nur noch ein kleiner Rest eines früher auf weite Strecken durchgehenden Schottergebietes vorliegt.

Auffallend ist ferner die Erscheinung, daß das Plateau trotz der exponierten Lage seine topographische Gestaltung sehr gut bewahren konnte. Bei der Durchlässigkeit des Schotters sinkt alles Wasser sofort in die Tiefe, ohne auf dem Plateau eine erodierende Wirkung ausüben zu können.

Die maximale Mächtigkeit des Schotters bestimmt sich am Irchel am „Hebelstein“ zu 57 Meter.

Wir verweisen auf Abb. 4. Die Unterlage des Schotters wird hier durch Mergel- und Sandsteinschichten gebildet.

Die letztern weisen in den obersten Partien noch einen gewissen Grad von Durchlässigkeit auf. Das Sickerwasser des Schotters wird daher auf dem Kontakt des Schotters und der Unterlage nur zu einem kleinen Teil aufgehalten. Zu ausgiebiger Quellenbildung kommt es erst auf dem obersten Mergelhorizont.

²⁾ R. Frei. Monographie des schweiz. Deckenschotters. Beitr. zur geologischen Karte der Schweiz. Neue Folge. Lief. 37, 1912.

³⁾ Hug, J. Geologie der nördlichen Teile des Kantons Zürich. Beitr. zur geolog. Karte der Schweiz. Neue Folge. Lief. 15, 1907, Seite 13.

⁴⁾ Beudel, L. Geologie und Hydrologie des Irchels. Diss. Zürich, 1923.

b) Verteilung der Quellen auf die Mergelhorizonte.

Auch durch den obersten Mergelhorizont wird aber nur ein Teil des Quell-ertrages zum Austritt gezwungen. Es rührt dies daher, weil die Molasseschichten stellenweise mit vertikalen Klüften durchsetzt sind, welche die Zirkulation des Wassers durch an sich undurchlässige Schichten zulassen. Stellenweise sehen wir ferner die obere Mergelhorizonte durch die aus Trümmern des Schotterhalde verhängt, das Wasser kann bei diesen Lagerungsverhältnissen einem tieferen Horizont zugeleitet werden, ohne sichtbar zu Tage zu kommen.

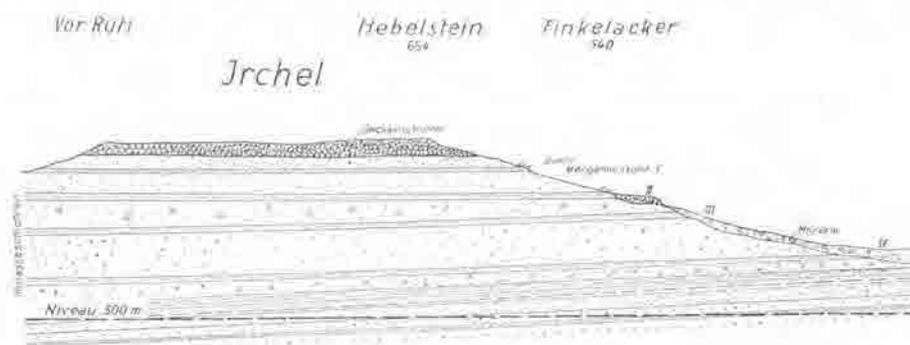


Abb. 4. Darstellung der Quellenbildungen auf den verschiedenen Mergelhorizonten des Irchels, nach L. Bendel.
(I—IV undurchlässige Mergelhorizonte in den Molasseschichten.)

L. Bendel^{b)} hat auf Grund einer Messung vom März 1922 die einzelnen Quellen des Irchels auf die einzelnen Mergelhorizonte wie folgt verteilt:

Ertrag aller am SW-Abhang	239 l/min.		
" " " NE-Abhang	639 l/min.		
Gesamtertrag	878 l/min.		
Davon entfallen auf:	SW-Hang	NE-Hang	Höhenlage
Mergelhorizont I (von oben gerechnet)	40 l/min.	12 l/min.	645 m
Mergelhorizont II	69 "	325 "	605 "
Mergelhorizont III	50 "	146 "	555 "
Mergelhorizont IV	80 "	156 "	515 "

Bendel hat das Verhältnis zwischen Ergiebigkeit der Quellen zum Niederschlag des zugehörigen Einzugsgebietes am Irchel zu 0,188 resp. 18,8% berechnet.

Dieser verhältnismäßig kleine Abflüßkoeffizient mag durch verschiedene Ursachen bestimmt sein. Ohne Zweifel muß die Genauigkeit solcher Berechnungen an der Schwierigkeit scheitern, in den sichtbaren Quellen den gesamten Quell-ertrag des Gebietes in einem so ausgedehnten Umkreis zu erfassen. Es fehlt besonders die Kontrolle darüber, welche Wassermenge in durchlässigen Schutt- vorlagerungen unsichtbar unterirdisch abfließt und sich so der Berechnung entzieht.

^{b)} Bendel, L. Geologie und Hydrologie des Irchels. Diss. Zürich. 1923, S. 28.

Andererseits mag auch die homogene Bewaldung des Schotterplateaus zur Herabsetzung des Quellabflußkoeffizienten beitragen.

c) Anhaltspunkte über die chemische Zusammensetzung des Wassers.

In Bezug auf die chemische Zusammensetzung des Wassers der einzelnen Quellen entnehmen wir der zitierten Arbeit von *L. Bendel* die folgenden Angaben über die Härte (Gesamthärte), sowie der Erträge in der Zeit vom August 1921 bis Juli 1922.

Quelle	Härte in franz. Graden		Ertrag in l/Min.	
	Max.	Min.	Max.	Min.
1. Strenge Brunnen	16,5	14,5	80	43
2. Buch	27,5	22,5	28	12
3. Berg	19,0	16,0	78	48
4. Teufen	38,0	35,0	32	26
5. Flaach	42,0	25,0	98	78
6. Freienstein	41,5	36,0	15	12
7. Gräslikon	29,0	16,0	50	38
8. Dättlikon	42,5	20,0	54	22

Aus der Gegenüberstellung der Zahlen ergeben sich eine Reihe interessanter hydrologischer Gesetze.

Am auffallendsten ist die geringe Härte der Quellengruppe 1; es scheint sich hier um eine Kluftquelle mit schnellem Durchfluß und damit kurzer Dauer der Lösungswirkung auf das berührte Erdreich zu handeln.

Auch die großen Unterschiede in der Härte bei Nr. 8 (Dättlikon) mit 20,0°—42,5° dürften mit großen Ertragsschwankungen zusammenhängen. Der Ertrag dürfte sich hier aus zwei Komponenten zusammensetzen, aus einem konstanten kalkreichen Zufluß aus den feinen Spältchen der Molasse und in einem nur bei höherem Wasserstande funktionierenden Zufluß von schnell durchfließendem und daher weichem Wasser.

4. Das Quellgebiet des Kohlfirst.

a) Geologische Orientierung.

Als weiteres Beispiel eines Grundwassergebietes innerhalb eines Deckenschotterrestes behandeln wir noch den Kohlfirst an der nördlichen Peripherie des Kantons. Die zu diesem Gebiete gehörenden Quellen haben vor den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts für die Versorgung der Gemeinden der weitem Umgebung des Kohlfirstes eine große Rolle gespielt. Das Plateau wird durch eine Kette Quellen umschlossen, welche die Ortschaften Marthalen, Benken, Uhwiesen, Flurlingen, Feuerthalen, Langwiesen und Dießenhofen sowie die Anstalt Rheinau während vieler Jahre mit genügend Trinkwasser versorgt haben. Wie hoch die Quellen eingeschätzt werden, erhellt am besten aus einer Episode aus dem Jahre 1881, als in einer dunklen Nacht die Sturmglocken in Marthalen und Benken die

waffenführende Mannschaft zum Kampfe wegen einer Quellengruppe am Kohlfirst mobilisierten.

Das Schotterplateau des Kohlfirstes liegt nahezu 150 m tiefer als die analoge Ablagerung am Irchel (555 m resp. 696 m). Sie wird deshalb zu der *jüngeren Decke* (Mindelzeit) gerechnet.

Der Plateaucharakter kommt beim Kohlfirst weniger zum Ausdruck als am Irchel, indem wegen der geringen Höhe spätere Gletscher ihre Moränen anlagern konnten.

Auch am Kohlfirst ist die Quellenbildung dadurch gekennzeichnet, daß sie sich zum kleinsten Teil an die Kontaktfläche zwischen Schotter und die liegende Molasse heftet; die besondere Eigenart der Molasseschichten macht sich hier in weitgehendem Maße geltend.

Als Grundwasserträger unter dem Schotter funktioniert im östlichen Teil des Plateaus eine fast aus reinem Quarze bestehende marine Sandablagerung (ca. 93 % SiO₂), welche als durchlässigste Molasseschichten des ganzen Kantons gelten können. Die auch durch ihren Reichtum an Fossilien bekannten Sande werden in großem Maßstab für verschiedene Zwecke ausgebeutet.

b) Verteilung der Quellen.

Unter den Quarzsanden kommen dann die Mergel der untern Süßwassermolasse, welche natürlich das Wasser anhalten und als Quellen ans Tageslicht bringen. Am Südhang des Kohlfirstes verhindert aber eine mächtige Bedeckung von Grundmoräne stellenweise den Austritt von Wasser. So z. B. bei Benken, wo die Quellen in einen Bacheinschnitt ausmünden.

Nach den vorstehenden Ausführungen versteht sich ohne weiteres, daß am Kohlfirst das öffentliche Gewässer noch über das eigentliche Schotterplateau hinaus gezogen werden mußte.

Nach dem Wasserrechtskataster sind am Kohlfirst auf dem Gebiete des Kantons Zürich hauptsächlich vier Fassungsgruppen ausgenützt, nämlich:

a) Benken-Marthalen (Schlucht)	225 l/min.
b) Flurlingen	280 „
c) Feuerthalen (2 Fassungen)	490 „
Zusammen	995 l/min.

c) Berechnung des Versickerungsfaktors am Kohlfirst.

E. Schaad hat in den Jahren 1920/1921 sämtliche Quellen des Kohlfirstplateaus, also auch die im Gebiete des Kantons Thurgau gelegenen, gemessen⁶⁾. Auf Grund seiner Messungen hat er zwei Werte berechnet. Die Zahlen I der nachstehenden Tabelle beziehen sich auf die eigentliche Deckenschotterfläche von 5,3 km² Fläche, mit den zugehörigen Quellen. Die Werte II betreffen die Fläche von 7,37 km², bei welcher auch die tiefer gelegenen Quellen einbezogen sind.

⁶⁾ E. Schaad. Quellenstudien. Bulletin des Vereins schweiz. Gas- und Wasserfachmänner. 1926

	Niederschlag mm	Abfluß l/min.	Versickerung	
			I	II
1920	620	2230	25,4%	35,1%
1921	603	1344	16,0%	21,9%

Die vorstehenden Zahlen aus der Arbeit von *E. Schaad* sind in verschiedener Hinsicht sehr interessant, besonders wenn wir die von *L. Bendel* am Irchel gefundenen Werte vergleichen (18,8%). Die Zahlen zeigen an sich das Fragezeichen, das sich an die Interpretation solcher Berechnungen heftet. Für die obere Zone ergibt sich also ein wesentlich geringerer Versickerungsfaktor als für die untere Zone.

Aber auch der für die untere Zone gefundene Wert wird nur relativ genommen werden können. Die sichtbaren und durch die Messungen erfassbaren Quellen werden wohl kaum alles tatsächlich vorhandene Sickerwasser umfassen können, da durch die den Hang umsäumende Schuttvorlagerung sich immer noch eine gewisse Komponente der Beobachtung entzieht. Trotz dieser unvermeidlichen Fehlerquellen bei solchen Berechnungen tragen derartige Untersuchungen in weitgehendem Maße zur Abklärung der hydrologischen Gesetze bei, besonders wenn man so sorgfältig zu Werke geht, wie dies *E. Schaad* und *L. Bendel* getan haben.

5. Hinweis auf die andern hochgelegenen Grundwassergebiete.

Außer den beiden beschriebenen Hochplateaus am Irchel und Kohlfirst verzeichnet unsere Karte noch zahlreiche weitere hoch gelegene Schotterflächen, die sich auch als Schichtquellen entwässern und zufolge der Ausdehnung ihres Einzugsgebietes nach dem Wortlaut des Gesetzes (300 Minutenliter mittlerem Ertrag) als öffentliche Gewässer erklärt werden müssen. Besonders verbreitet sind die *Deckenschotterflächen im anteren Glattal* vom Rheinsberg bei Eglisau bis zur Schöfflisdorfer Egg. Nähere Auskunft über diese Gebiete geben die folgenden Publikationen:

- a) Geologische Karte der Umgebung von Kaiserstuhl (*J. Hug*), Sp. K. Nr. 36.
- b) Geologische Karte der Lägernkette (*Fr. Mühlberg*), Sp. K. Nr. 25.
- c) *Frei, Roman*, Die schweiz. Deckenschotter. Beitr. z. Geol. d. Schweiz, Neue Folge, Lief. 37, 1912.

Etwas jünger sind die vielen *Schotterflächen* links und rechts des *mittleren und oberen Töftales*. Alle diese Vorkommnisse sind dargestellt in:

- a) Geologische Karte von Winterthur und Umgebung von *Jul. Weber*. Geologische Spezialkarte Nr. 107.
- b) Geologische Karte des oberen Töftales von *Armin Weber*. Heft 17/18 der Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Winterthur. 1928.

Einer weiteren Reihe von solchen *Schotterresten* begegnen wir auf der rechten Seite der Sihl bei *Hirzel-Hütten*. Die daraus abfließenden Schichtquellen sind in der Hauptsache für die Wasserversorgung der Stadt Zürich gefaßt worden. Die geologische Beschreibung dieser Gebiete kann dem Werke von *R. Frei* entnommen werden.

III. Der Grundwasserstrom im Urstromtal des Rheins.

1. Allgemeine Orientierung über die Urstromtäler des Rheines und des untern Glattales.

Den Reigen der Grundwasserströme im eigentlichen Sinne mögen die außerordentlich wasserreichen unterirdischen Gewässer des nördlichen Kantonsteils eröffnen, wo ich bereits vor dreißig Jahren mit meinen hydrologischen Untersuchungen den Anfang gemacht hatte.

Ich kann mich über die allgemeinen geologischen Verhältnisse, die hier die Grundwasserführungen bestimmen, ganz kurz fassen, indem ich bereits in früheren Publikationen genauere Einzelbeschreibungen veröffentlicht hatte⁷⁾. An den damals festgestellten hydrologischen Grundlagen muß eigentlich nichts geändert werden; wohl aber haben seither eine ganze Reihe von neuen Aufschlüssen und Detailuntersuchungen zur weiteren Abklärung wertvolle Anhaltspunkte geliefert. Als solche sind besonders zu nennen: Bohrungen für das Kraftwerkprojekt Rheinau, Grundwasserspiegelbeobachtungen bei Schaffhausen-Flurlingen, Erstellung von Grundwasserfassungen für die Gemeinden Feuerthalen, Rheinau, Ellikon, Eglisau.

Gestützt auf meine eingehenden geologischen Untersuchungen im nördlichen Teil des Kantons war ich seinerzeit zu der Überzeugung gekommen, daß die *Vertiefung unserer Haupttäler*, besonders des Rheintales, in den Zeitraum nach der zweiten Mindel-Eiszeit, also in die Mindel-Riß Interglazialzeit, eingestellt werden müßte⁸⁾. In diesem Zeitraume mit außerordentlich langer Dauer haben sich die Täler, ausgehend vom Niveau des unteren Deckenschotter, beim Rheine vom Plateau des Kohlfirst-Rheinsberg-Hiltensberg-Laubberg an, bis einige zehn Meter *unter die Sohle der heutigen Flüsse* eingeschnitten. Es gilt dies sowohl für den Rhein als auch die Glatt.

Seither sind jene Feststellungen durch ungezählte Tiefbohrungen auch in anderen Tälern bestätigt worden.

In diese tief eingeschnittenen Täler sind durch die darauf folgende Eiszeit und vielleicht zum Teil schon während der Interglazialzeit gewaltige Massen von Schottern abgelagert worden; die ursprüngliche Mächtigkeit derselben darf bis zu hundert Meter angenommen werden.

Abbildung 5 stellt einen Schnitt durch ein derartiges mit altem Schotter ausgefülltes Urstromtal (Glattal) dar. Eine Serie von Tiefbohrungen hat hier das ganze Querprofil erschlossen.

Das *hohe Alter des Schotter*s äußert sich durch einen gewissen Grad von *Verkittung*, die freilich in der Regel nicht so stark fortgeschritten ist, wie bei den im vorstehenden Kapitel beschriebenen, aber doch wesentlich weiter als bei den später zu beschreibenden Schottern der letzten Eiszeit und der Postglazialzeit. Wir

⁷⁾ Hug, J. Grundwasservorkommnisse der Schweiz. Annalen der schweiz. Landeshydrographie. Band III. 1918.

⁸⁾ Hug, J. Geologie der nördlichen Teile des Kantons Zürich. Beitr. zur geolog. Karte der Schweiz, Neue Folge, Lief. 15, 1907, Seite 49.

werden im folgenden noch mehrfach Gelegenheit haben, auf Fälle hinzuweisen, wo die Verkittung des Schotter der Erschließung des darin enthaltenen Grundwassers große Schwierigkeiten bereitet.

Von verschiedenen Autoren wird unser alter Schotter mit Recht auch als „Rinnenschotter“ bezeichnet, weil er die tiefen Rinnen des Mittellandes ausfüllt, so z. B. von *Alb. Heim* in der Geologie der Schweiz.

In Bezug auf Bildung der Grundwasserströme gibt die Abbildung 5 hinreichend Aufschluß. In dem durchlässigen Schotter sinkt das Sickerwasser, sei es Regenwasser oder durch Bäche zugeführtes Oberflächenwasser, bis auf die undurchlässige Sohle. Das gesammelte Grundwasser füllt den Schotter so hoch, bis ein Überlauf in das tiefste Vorflutniveau des Tales, in unserm Falle also den Fluß, möglich ist. Da die Sohle des Grundwassers als ehemaliges Flußbett ein gewisses

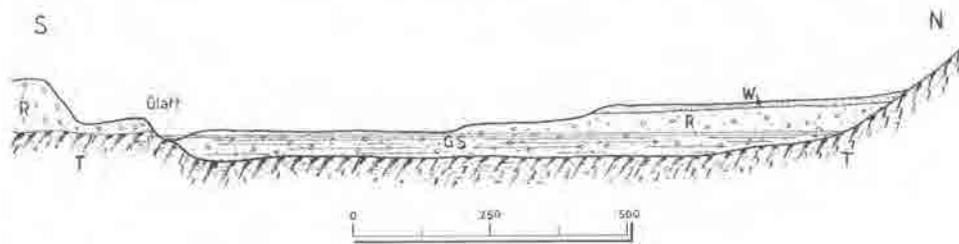


Abb. 5. Schematischer Querschnitt durch den Grundwasserstrom eines Urstromtales (Glattal bei Glattfelden).

T = Molasseschichten als undurchlässige Unterlage. W = jüngere Schotter.
R = älterer Schotter. GS = Grundwasserstrom.

Gefälle haben muß, fließt der Grundwasserstrom auf der Bahn des Urstromes unterirdisch weiter.

Den späteren eingehenderen Ausführungen vorgreifend, möchte ich schon einleitend auf zwei eigentümliche Erscheinungen der Urstromtal-Grundwasserströme hinweisen:

a) Wie ein Blick auf unsere Karte erkennen läßt, folgen die Grundwasserströme des Rhein- und Glattales an vielen Stellen nicht den heutigen Flußläufen, sie schlagen auf verschiedenen Strecken eine ganz abweichende Richtung ein.

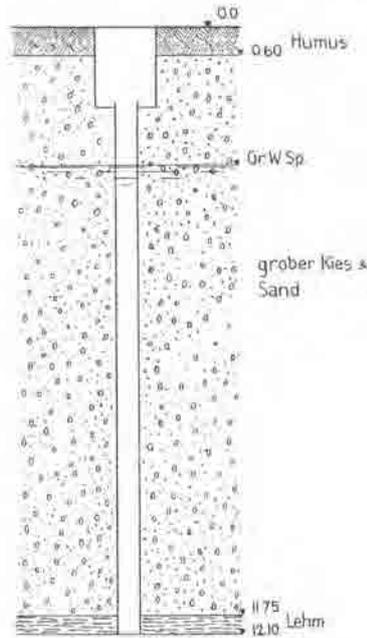
b) Die Anhaltspunkte über den Verlauf der Grundwasserströme sind stellenweise durch die einschneidenden Wirkungen der letzten Eiszeit in weitgehendem Maße verwischt worden. In dieser Periode sind die alten Wasser führenden Schotter durch verschiedene junge Ablagerungen überschüttet worden. Es sind dies die einzelnen Stufen der Niederterrassenschotter, die Endmoränen und ausgedehnten Grundmoränen, die stellenweise sogar wieder von Schottern überlagert sind. Diese komplizierten Verhältnisse werden besonders durch den schematischen Längsschnitt durch das Glattal sowie durch die Abb. 9 (Längenprofil durch das Rheintal von Schaffhausen bis Rheinfall, sowie das Querprofil durch das Rheintal bei Rheinau, Abb. 10) illustriert, wo die verschiedenen Typen der Überlagerung des alten Schotter der Reihe nach flußaufwärts sich ablösen.

Filterbrunnen d. Gem. Feuerthalen.



Abb. 6.

Filterbrunnen der Kant. Pflanzanstalt Rheinau



Profil durch Rhein & Filterbrunnen
der Kant. Pflanzanstalt Rheinau

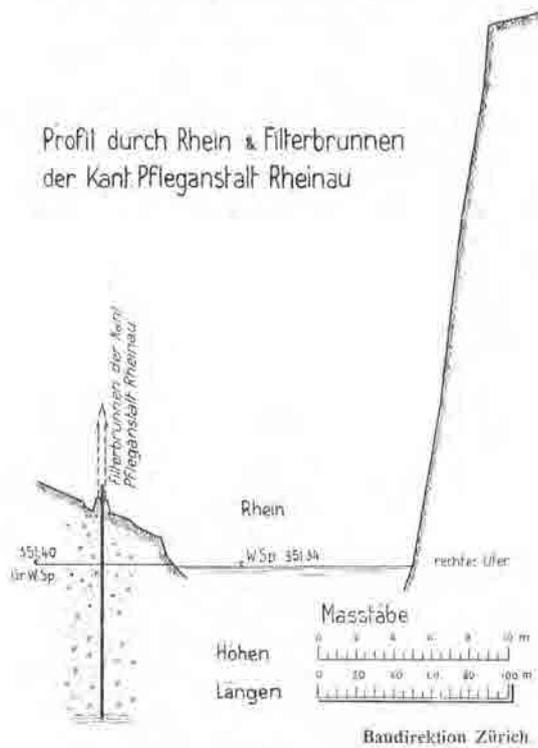


Abb. 7.



Phot. Dr. J. Hug.

Abb. 8. Linkes Ufer des Grundwasserstromes beim Übergang über den Rhein bei Flurlingen-Neuhausen, als sichtbare Schwelle aus Kalkstein im Flußbett.



Phot. Dr. J. Hug

Abb. 12. Grundwasseraufstöße am linken Rheinufer, ca. 1 km oberhalb Ellikon a. Rhein an der Kreuzungsstelle zwischen Grundwasser und Rhein.

2. Oberstes Teilstück des Rheingrundwasserstromes (Dießenhofen bis Rheinfall).

a) Wichtigste Bohrresultate.

In unserer Karte wurde der Grundwasserstrom der Vollständigkeit halber über die Kantonsgrenze hinaus bis nach Dießenhofen hinauf fortgesetzt, weil wir damit das obere Ende desselben erreichen.

In der *Gegend von Stein a. Rh.* haben verschiedene Tiefbohrungen im Talboden *nur Moränenfacies*, aber nirgends Wasser führenden Schotter erschlossen. Den ersten sichern Aufschluß von eigentlichem Rinnenschotter beobachtete ich in einer Kiesgrube nahe dem rechten Rheinufer 500 Meter unterhalb der Rheinbrücke Dießenhofen. Gestützt auf diese Beobachtung durfte ich es bei Anlaß der Begutachtung der Erweiterung der Wasserversorgung *Dießenhofen* wagen, eine Bohrung zur Erschließung des Rinnenschotters gegenüber dem erwähnten Aufschluß am linken Rheinufer ansetzen zu lassen. Unter einer Moränenbedeckung von 3 Meter Mächtigkeit wurde *bis zu einer Tiefe von -21,50 m* durchwegs der durchlässige *alte Schotter* erbohrt, wovon etwa -16 m unter dem Spiegel des Rheines. Die Sohle des Schotters war bei -21,50 m Tiefe noch nicht erreicht. Ertrag der Fassung über 2000 Minutenliter.

Auf meine Beratung hin hat auch die Gemeinde *Gailingen* am rechtsseitigen Rheinufer 600 m unterhalb der Rheinbrücke ihre Grundwasserfassung bohren lassen, die ebenfalls ganz im alten Schotter abgeteuft wurde. Bei -18 m Tiefe, d. h. 8 m unter dem Grundwasserspiegel, war die Sohle des Schotters noch nicht erreicht.

Außer den beiden genannten, die Wiege des Rheingrundwasserstromes markierenden Bohrungen seien für die Strecke bis zum Rheinfall noch die folgenden wichtigen Aufschlüsse genannt.

a) Brunnenbohrung der Gemeinde *Dörflingen* beim Laggut am rechten Rheinufer, 2,4 km unterhalb der Rheinbrücke Dießenhofen.

Bohrtiefe 17 m, davon 10 m im Grundwasser. Die Bohrung wurde auf einer Nagelfluhschicht eingestellt, die ohne Zweifel auch noch zum alten Schotter gehört. Die Sohle desselben war also bei -17 m noch nicht erreicht^{a)}.

b) Brunnenbohrungen der Stadt *Schaffhausen* an der Rheinhalde (rechtes Rheinufer oberhalb Schaffhausen).

Bohrtiefe 50 m, wobei die Molasse an Stelle des Schotters erreicht wurde (*J. Meister*, Seite 26).

c) Brunnenbohrung der Gemeinde *Feuerthalen*, am linken Rheinufer, (Abb. 6) unmittelbar oberhalb der Rheinbrücke.

Das Profil der Bohrung, welche in Abb. 6 dargestellt ist, reicht bis zu -28,3 m Tiefe. Die Einlagerungen von Nagelfluhen sind auch hier das Charakteristikum des alten Schotters. Die Gemeinde entnimmt beim Brunnen 500 Minutenliter.

d) Vier Sondierungen beim *Rheinsteg*, der von der Station Neuhausen S. B. B. nach *Flurlingen* führt, und zwar je eine an den beiden Ufern und zwei im Flusse

^{a)} *Meister, J.* Die Wasserversorgungen des Kantons Schaffhausen. Beilage zum Jahresbericht der Kantonsschule Schaffhausen pro 1926/27, Seite 46.

selbst. Bohrtiefe bis zu 12 m durchwegs im alten Schotter, wovon 5 m im Grundwasser. Die Sohle des Schotters wurde nicht erreicht.

e) *Brunnenbohrung der Schweiz-Verbandstoffabrik Neuhausen* am rechten Rheinufer beim Rheinsteg Station Neuhausen S. B. B. Bohrtiefe 27 m, wovon 25 m unter Rheinspiegel, resp. ca. 19 m unter dem Grundwasserspiegel, ohne damit auf die Sohle des Schotters zu kommen¹⁰⁾.

f) Zwei Brunnenbohrungen der Gemeinde *Neuhausen* am Rheinflallbecken. Bohrtiefe 17 m, wovon 16 m unter dem Rheinspiegel (unterhalb Rheinflall). Es soll eine Felsplatte von weißem Jurakalk angebohrt worden sein (*J. Hübscher*).

b) *Abweichungen des Grundwasserstromes vom Flußlauf.*

Aus unserer Grundwasserkarte ergeben sich zwei Abweichungen des Grundwasserstromes vom heutigen Flußlauf. Unterhalb des Aufschlusses c) (Feuerthalen) treten in Flußbette die bekannten Klippen aus Jurakalk zu Tage, welche die durch das Kraftwerk Schaffhausen ausgenützte Strömschnelle verursachen. Links schließt sich an die Kalkrippe bei der Bindfadenfabrik noch eine Zone aus Molassefels an¹¹⁾.

Wo mag nun das Verbindungsstück zwischen Feuerthalen und dem erbohrten Punkte bei Neuhausen-Flurlingen durchgehen? Ich hatte schon früher die geradlinige Verbindung von Feuerthalen südlich des linksrheinischen Felskopfes angenommen¹¹⁾, wie übrigens früher schon *J. Meister*.

Diese Auffassung wurde später besonders durch die tiefe Brunnenbohrung von Feuerthalen bestätigt (Abb. 6), welche links des Rheines den alten Schotter tief aufschließt. Dazu kommt weiter der erwähnte Aufschluß beim linksseitigen Widerlager des Rheinsteges bei Flurlingen.

Neuerdings hat nun *J. Hübscher* in der Karte zu *Alb. Heim*, Geologie des Rheinflalles, eine andere Auffassung vertreten. Er nimmt einen Umweg nach rechts um den Felskopf von Schaffhausen an, mit Ausbiegung etwa 500 m abseits des Rheines gegen Norden. Die Bohraufschlüsse, welche diese Hypothese stützen sollen, sind aber nach meinem Dafürhalten zu wenig tief, um eine so scharfe Ausbiegung eines großen Flußtales einwandfrei zu beweisen. Die tiefe Bohrung bei Feuerthalen spricht hier bestimmt für ein Übergreifen auf das linke Rheinufer bei Feuerthalen, für eine Ausbiegung nach rechts müßte das alte Tal von Feuerthalen direkt im rechten Winkel von der Südostrichtung fort gegen Norden abbiegen. Solche scharfe Kurven habe ich auf der ganzen Strecke von Dießenhofen bis Basel beim alten Rheintal nirgends feststellen können.

Als weiteres wichtiges Moment nenne ich die Beobachtungen im Rheinbett bei Flurlingen bei niedrigem Wasserstande. Ich verweise auf die photographische Aufnahme von Abb. 8, welche das linke Ufer des Wasser führenden Tales bei Flur-

¹⁰⁾ Tabelle *J. Hübscher* in: *Heim*, A. Geologie des Rheinflalles. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen. 1931, Seite 14.

¹¹⁾ Siehe meine geologische Karte des Rheinlaufes unterhalb Schaffhausen (Sp. K. Nr. 35) und *Hübscher*, J., Geologische Karte des Rheinflalles 1:10 000 in *Alb. Heim*, Geologie des Rheinflalles.

lingen darstellt. Beim Dorfe selbst, wo durch die erwähnten Bohrungen der Grundwasserstrom festgestellt ist, sehen wir den Spiegel des Rheines vollkommen ruhig, fast etwas gestaut. Von einer gut ausgeprägten Linie an schäumt das Wasser über die Kalkklippen, der Rhein kommt also aus dem Schotter seines alten Bettes außerhalb desselben in den Jurakalk.

Das so im Rheinbett auffällig dargestellte Stück des linken Ufers unseres Grundwassers quert den Fluß nahezu mit Ost-West-Richtung. Mit der Ausbiegung über Schaffhausen konnte diese Feststellung nicht direkt zusammengefügt werden.

Auf Grund dieser Erwägungen müssen wir also vorläufig an der Darstellung unserer Grundwasserkarte festhalten. Das Verbindungsstück zwischen Feuerthalen und Flurlingen geht also durch das Gebiet des Kantons Zürich und mußte deshalb als unser öffentliches unterirdisches Gewässer in den Kataster aufgenommen werden.

Diese Auffassung wurde auch dem Längenprofil von Abb. 9 zu Grunde gelegt. Die letzte Eiszeit hat also bei der Anhöhe nördlich der Bindfadenfabrik Feuerthalen eine mächtige Moräne auf die alten Schotter aufgesetzt.

c) Abweichung des Grundwasserstromes vom Rheinlauf bei Neuhausen.

Schon auf Seite 16 hatte ich darauf aufmerksam gemacht, daß unterhalb des Rheinsteiges Flurlingen der Rhein aus einem alten Tale in den Jurakalk übertritt; es beginnt also hier die zweite Flußverschiebung, die zweite epigenetische Strecke.

Erst beim Rheinfall vereinigt sich der heutige Fluß wieder mit dem Grundwasserstrom. Die Bohraufschlüsse bei Flurlingen (Seite 15) sowie die Brunnen der Verbandstofffabrik beim Rheinweg und der Gemeinde Neuhausen beim Rheinfallbecken sprechen für eine direkte Verbindung zwischen den beiden Punkten unter dem Dorfe Neuhausen. In unserem Längenprofil wird über dem alten Schotter eine Überlagerung von Grundmoräne, darüber noch jüngere Schotter einer Rückzugsphase der letzten Eiszeit angegeben.

Die geologischen Eintragungen des ganzen Längenprofils können natürlich nur den Charakter einer schematischen Darstellung haben.

Die *Einmündung des Grundwasserstromes beim Rheinfallbecken* äußert sich bei niederem Wasserstande durch Aufstöße, welche aus den Kiesbänken des Flußbettes zu Tage treten.

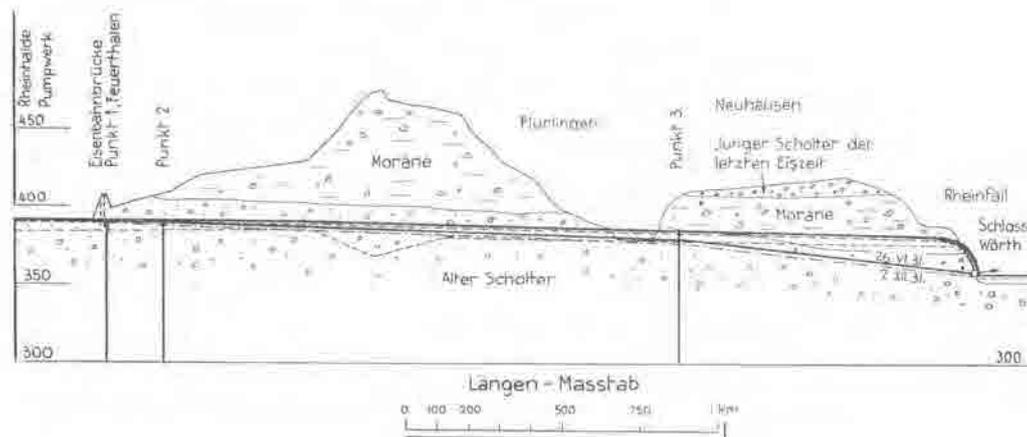
Der Vollständigkeit halber bemerken wir noch, daß die Einmündungsstelle des heutigen Rheines und das alte Tal beim Rheinfallbecken auch die Ursache für die Bildung des großen Gefällsbruches darstellt. Der Rhein stürzt hier einfach über seinen ehemaligen linken Uferhang. Unterhalb dieser Stelle konnte sich der Fluß im Molasseland einschneiden, die Kalkschwelle hat aber der Vertiefung energisch Widerstand geleistet. Genauere Angaben sind in der Literatur enthalten (*Hug I.*, Geologie der nördlichen Teile des Kantons Zürich, 1907, „*Alb. Heim*, Geologie des Rheinfalltes, 1921“).

d) *Längenprofil des Grundwasser- und Rheinspiegels.*

Das Längenprofil von Abb. 9 dient in erster Linie dazu, die eigenartigen Gefällsverhältnisse des Grundwasserspiegels und die Berechnungen desselben zum Rheinspiegel zu illustrieren.

Es wurden die Grundwasserstände je für hohen und einen niederen Wasserstand des Jahres 1931 eingetragen. Es stand dazu ein sehr weitschichtiges Beobachtungsmaterial zur Verfügung. Zum Vergleich sind auch die entsprechenden Flußwasserstände besonders herausgehoben worden.

An den Stellen, wo Fluß und Grundwasserstrom zusammenfallen, ist der Flußwasserspiegel ganz ausgezogen, bei den Teilstücken mit abweichendem Verlauf, den sog. epigenetischen Strecken, nur punktiert worden.



	Pumpwerk Rheinhalde		Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3		Pegel Nol
	Rhein	Gr. W.	Rhein	Gr. W.	Rhein	Gr. W.	Rhein	Gr. W.	
H.W. vom 26. Juni 31	391.19	391.11	391.02	390.61	391.02	390.26	384.52	379.86	358.18
N.W. vom 2. Dez. 31	389.70	389.95	389.63	389.48	389.63	389.28	382.82	377.06	356.33

Abb. 9. Längenprofil durch den Grundwasserstrom bei der Strecke Schaffhausen-Neuhausen. Einfluß des Gefällsbruches am Rheinfall auf dem Grundwasserstrom bei niederen (2. XI. 31) und bei höherem Wasserstände (26. VI. 31).

Die Darstellung läßt in geradezu imposanter Weise den Einfluß des Rheinfallbes, d. h. eines starken Gefällsbruches des Flusses auf den zum alten Tal gehörenden Grundwasserstrom erkennen.

Der Grundwasserstrom macht also den Gefällsbruch des Rheinfallbes nicht mit, sondern gleicht sein Gefälle vom Rheinfallbecken an auf eine Strecke von nicht weniger als 3 km bis gegen die Rheinhalde oberhalb Schaffhausen aus. Auf dieser Strecke steht der Grundwasserspiegel unter dem Spiegel des Rheines. Dieses Regime gilt sowohl für Hoch- als Niederwasserstände.

e) *Infiltration von Flußwasser.*

Unser Längenprofil muß die Frage aufdrängen, ob und wo sich bei diesen Niveauverhältnissen der Zutritt von Flußwasser zum Grundwasser vollzieht.

Schon *J. Meister* hatte auf die großen Temperaturschwankungen (zwischen 3 und 15°) und die geringe Karbonathärte des Grundwassers bei der Fassung der Wasserversorgung Neuhausen (siehe lit. f auf Seite 16) hingewiesen¹²⁾.

Meister hatte daraus den Schluß gezogen, daß Flußwasser zum Grundwasser infiltrierte und zwar wahrscheinlich auf den Strecken, wo der klüftige Malmkalk den Rhein mit dem Grundwasserlauf verbindet. Es wäre dies beim Moserdamm Schaffhausen und auf der Strecke von Flurlingen bis zum Rheinflall.

Zur Abklärung der Infiltrationsfrage hatte ich schon früher verschiedene Anhaltspunkte, besonders Härtebestimmungen an verschiedenen Punkten des Grundwasserstromes, gesammelt und publiziert (Grundwasservorkommnisse. 1918, Seite 57). In neuer Zeit konnten noch weitere Daten beigebracht werden.

Auf Grund der Härteverhältnisse des Wassers in Verbindung mit der Höhenlage der Wasserspiegel lassen sich die folgenden gesetzmäßigen Erscheinungen ableiten:

a) Die größte Karbonathärte weist die Grundwasserfassung an der Rheinhalde, also der oberste Punkt unseres Profiles, mit 27,5—30 franz. Graden gegenüber nur 7—13° beim Fluß auf. Von einer eigentlichen dauernd wirkenden Infiltration kann bei diesen großen Differenzen der chemischen Zusammensetzung des Wassers nicht die Rede sein.

Wenn wir die Niveauverhältnisse des Grundwassers für diese Stelle berücksichtigen, so erscheint ein weiterer Kommentar ganz überflüssig. Wenn der Grundwasserspiegel über dem Flußniveau steht, so fehlen natürlich die hydrologischen Vorbedingungen für die Infiltration.

b) Auf der Strecke von Punkt 1 bis 2 ändert sich nun die Härte außerordentlich stark. Sie sinkt von 30° auf 13° herunter und kommt der Härte des zu gleicher Zeit entnommenen Rheinwassers mit 12,2° ganz nahe. Auf der Strecke zwischen den beiden Punkten muß also eine sehr intensive Infiltration von Flußwasser sich vollzogen haben.

c) Bis zum dritten Punkt (unterhalb Rheinbrücke rechtes Ufer) bleibt sich die Härte fast gleich (13,2°) und nimmt dann bis zum Kreuzungspunkt bei Flurlingen wieder etwas zu (16°). Dieselbe Härte haben wir auch im Brunnen beim Rheinflallbecken (16—17°).

d) Diese Verhältnisse gelten für einen höheren Wasserstand. Bei niedrigem Wasserstand scheint sich die Infiltration etwas zu verschieben; die Härte hielt sich für Punkt 2 noch ziemlich hoch und der Sprung zum weichen Wasser kam erst zwischen Punkt 2 und 3.

e) Aus unsern Zahlen geht also mit aller Deutlichkeit hervor, daß die Infiltration nicht durch die Spalten des Malmkalkes sich vollzieht, sondern weiter oben, ganz außerhalb der Malmkalkzone. Der Zutritt von Flußwasser muß also durch ganz andere Faktoren verursacht werden. Die *Infiltration* erreicht ihre maximale Intensität in durchaus gesetzmäßiger Weise auf der Strecke, wo der

¹²⁾ *Meister, J.* Mitteilungen über Quellen und Grundwasserläufe im Kanton Schaffhausen. Beilage zum Jahresbericht der Kantonsschule Schaffhausen. 1906/07, Seite 44/45.

Grundwasserspiegel sein Regime ändert. Er verläßt hier die Zone mit Druckgefälle gegen den Fluß und taucht unter den Rheinspiegel.

An dieser Übergangsstelle kommen die Beziehungen zwischen Grundwasser und Fluß nicht zur Ruhe. Die Schwankungen des Rheinspiegels bringen es mit sich, daß das Druckgefälle hier bald vom Grundwasser zum Fluß, bald vom Fluß zum Grundwasser geht. Damit wird die Kolmatierung des Flußbettes sehr erschwert und so die Infiltration stark begünstigt.

f) Die allmähliche Zunahme der Härte des Grundwassers von der Infiltrationsstelle an abwärts berechtigt zu der Schlußfolgerung, daß der Zutritt von Flußwasser fast ganz aufhört. Dem infiltrierten Flußwasser ist Gelegenheit geboten, sich durch Anreicherung der Mineralbestandteile allmählich wieder dem Charakter des Grundwassers zu nähern.

g) Am auffallendsten kommt natürlich die Abdichtung des Rheinbettes an der Kreuzungsstelle vom Rhein und Grundwasserstrom bei Flurlingen zum Ausdruck. Ich erinnere mich noch lebhaft des originellen Bildes, welches an dieser Stelle der Arbeitsplatz für die Sondierungen zur Abklärung des Untergrundes für den Rheinsteg im Jahre 1910 bot:

Eine Bohrgarnitur ist auf zwei Pontons im Rheine montiert. In einem der Schiffe schöpft ein Arbeiter Wasser mit einer Gießkanne in das Bohrrohr. Das Wasserschöpfen war notwendig, um dem Kiese unter dem Flußbett des Rheines das Wasser zuzuleiten, welches für die Ventilbohrung unumgänglich notwendig ist. Erst von einer Tiefe von etwa 6 m ging die Arbeit ohne Wasserzufuhr von statten.

f) Zusammenfassung der Grundwassererscheinungen im Gebiete Rheinfall-Schaffhausen.

Die als Folge des natürlichen Gefällsbruches im Längenprofil des Rheines bei Neuhausen resultierenden Grundwasserverhältnisse sind so typisch, daß ich mich veranlaßt sehe, in einigen Sätzen die wichtigsten Schlußfolgerungen zusammenzustellen, handelt es sich doch hier um hydrologische Gesetze, die auch an andern geologischen analogen Stellen allgemein Gültigkeit haben müssen.

a) Das während der größten Interglazialzeit gebildete *tiefe Tal* wurde während der großen (dritten) Eiszeit *durch Schotter ausgefüllt*, auf die später noch *Moränen und Schotter der letzten Eiszeit* kamen, durch welche der *alte Flußlauf* vollkommen *verwischt* wurde. Beim Einschneiden des Rheines kam es zu zwei starken Abweichungen des heutigen Flußlaufes vom vordersten, den Grundwasserstrom führenden alten Tales.

b) Der Gefällsbruch des Rheinfalles und die auf dem gleichen Grunde entstandene Stromschnelle vom Moserdaum Schaffhausen beeinflusst den *Grundwasserspiegel* in der Weise, daß er *den Gefällsbruch* nicht mitmacht, sondern die *Stufe auf einer Strecke von 3 km*, d. h. bis zur Rheinhalde oberhalb Schaffhausen, *ausgleicht*. Auf dieser sog. „*Absenkungsstrecke*“ steht der Grundwasserspiegel dauernd unter dem Niveau des Flusses.

c) Die *Infiltration von Flußwasser zum Grundwasser* entwickelt sich besonders an der Stelle, wo der Grundwasserspiegel unter den Fluß untertaucht.

d) Auf den Strecken, wo das Grundwasser dauernd unter dem Flusse steht, kommt durch Kolmatierung ein *dichtes Flußbett* zu stande.

e) Es versteht sich ohne weiteres, daß die am Rheinfall abgeleiteten hydrologischen Gesetze auch für andere Gefällsbrüche der Flüsse allgemein Gültigkeit haben und zwar sowohl für natürliche Stromschnellen als auch für künstliche Staustrrecken. Die *Länge der Absenkungszone* richtet sich nach der Höhe des Gefällsbruches und der Durchlässigkeit des Schotfers.

3. Umgebung von Rheinau.

a) Geologische Orientierung.

Die Fortsetzung des bis zum Rheinfall verfolgten Grundwasserstromes gestaltet sich in der Umgebung von Rheinau deshalb besonders eigenartig, weil der Rhein hier seine abenteuerlichen Serpentinaen eingeschritten hat. Wie aus

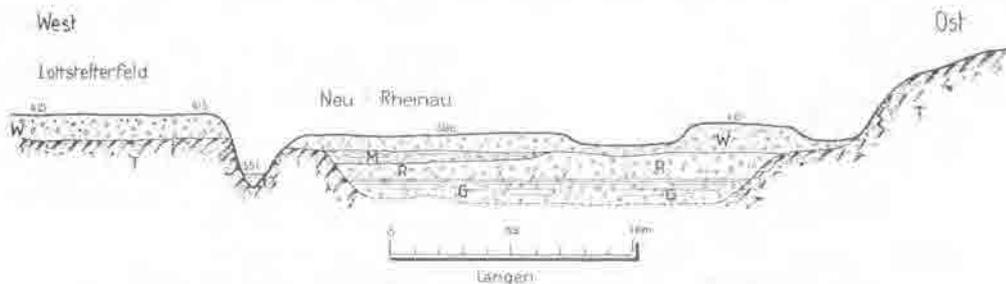


Abb. 10. Querprofil durch den Grundwasserstrom bei Neu-Rheinau.

T = undurchlässige Molasseschichten. R = ältere Schotter. W = jüngere Schotter.
M = Moräneneinlagerungen. G = Grundwasser.

unserm Querprofil von Abb. 10 hervorgeht, dominiert hier in der Landschaft eine Terrassenfläche in einem Niveau von etwa 395 m; in diese Ebene ist der Flußlauf eingeschritten. Dadurch wurden an den Uferhängen Aufschlüsse geschaffen, an welchen die Verbreitung des Wasser führenden Schotfers festgestellt werden konnte. Aus diesen Erhebungen hat sich ein Lauf ergeben, wie er in der Karte eingetragen ist. Besonders interessant ist die Gestaltung des rechten Ufers, welches die Halbinsel Schwaben durchschneidet, dann verläuft es durch die niedere Ebene von Rheinau, kreuzt den Rhein neuerdings auf der Westseite der Klosterinsel, durchschneidet den äußersten Zipfel der Halbinsel Schwaben und kreuzt auf den nächsten 1,5 km den Rhein noch zweimal. Westlich der als rechtsseitiges Ufer des Grundwasserstromes markierten Linie zeigen sich an den Uferhängen überall die Sandsteine und Mergel der unteren Süßwassermolasse; einige hundert Meter oberhalb der Rheinbrücke dürften die bei niederem Wasserstande sichtbar werdenden Felsklippen den obersten Schichten des Jura angehören.

Ein Detailquerprofil, Abb. 11, das etwa 400 m südlich der Klosterinsel und durch die äußerste Spitze der Halbinsel Schwaben gelegt ist, konnte auf Grund

einer Reihe von Bohrungen und Schächten konstruiert werden, welche zur Abklärung des projektierten Kraftwerkes Rheinau ausgeführt worden waren⁴³⁾. Die Darstellung ist dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Einschnitte des Rheines in Molassefels liegen, also epigenetisch sind. In der Halbinsel Schwaben konnte das rechtsseitige Ufer des alten, den Grundwasserstrom führenden Tales als landeinwärts einfallende Kontaktfläche zwischen Schotter und Molasse noch eine Strecke weit verfolgt werden.

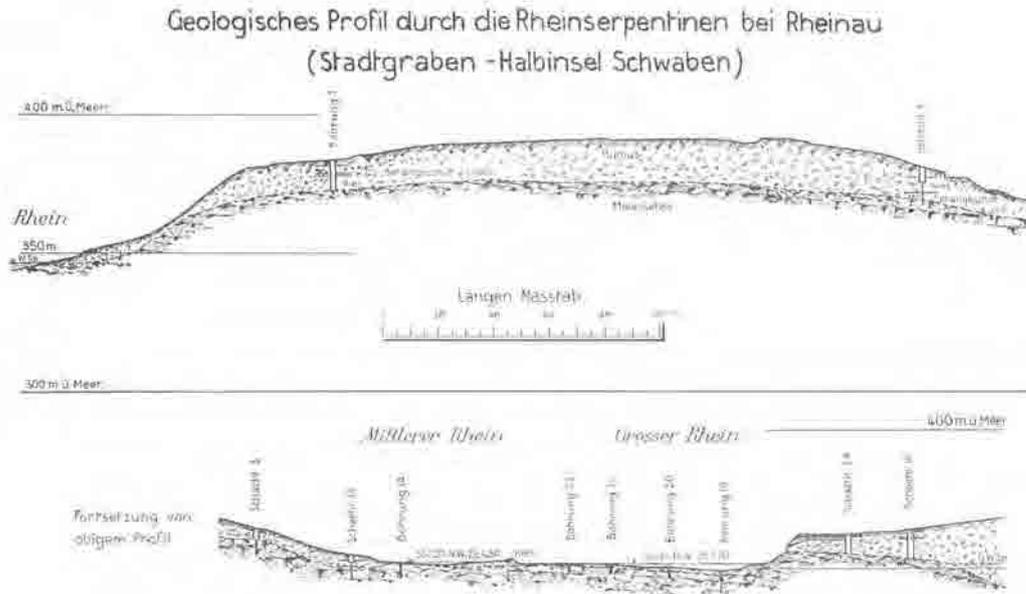


Abb. 11. Querprofil durch die Serpentine des Rheines unmittelbar südlich Rheinau durch den Stadtgraben bis zur Südspitze der Halbinsel Schwaben. Rechts unten, rechtes Ufer des Grundwasserstromes als geneigte Kontaktfläche Schotter-Molasse.

b) Ursachen der starken Abweichungen zwischen Grundwasserstrom und heutigem Flußlauf.

In Bezug auf die Ursachen, welche zu diesen starken Abweichungen zwischen heutigem Flußlauf und dem Urstromtal geführt haben, müssen wir uns mit einem kurzen Hinweis begnügen.

Ein Blick auf das schematische Profil (Abb. 10) zeigt uns deutlich, daß die Terrassenfläche von Neu-Rheinau nicht nur über die alten Schotter, sondern mit gleicher Bodengestaltung auch über die Molassegebiete westlich desselben weiter geht. Zur Zeit der Bildung dieser Terrasse am Ende der letzten Eiszeit konnte der Rhein also auf der ganzen Ebene seine Serpentine ziehen. Als dann mit Beginn der Postglazialzeit der Fluß sich in die Terrasse einschneidete, kann es uns

⁴³⁾ Projekt Dr. ing. J. Büchi und Ing. E. Affeltranger.

nicht wundern, wenn in diesem Stadium der Rhein seine Serpentine zufällig außerhalb der Ufer des vollkommen zur Unkenntlichkeit verborgenen alten Tales hinaus ausgebogen hatte. Der Einschnitt wurde so auf eine Linie fixiert, die stellenweise außerhalb des alten Tales mit seiner schlanken Linienführung verläuft.

c) Grundwasseraufstöße bei Rheinau.

Ein Blick auf die Karte muß uns unwillkürlich auf die eigenartigen Strömungsverhältnisse im Mittelstück der Serpentine bei der Klosterinsel aufmerksam machen. Der Rhein drängt hier gegen Nordwesten, während auf der gleichen Strecke der Grundwasserstrom gegen Süden gerichtet ist. In der Biegung unmittelbar nördlich der Insel muß dementsprechend der Spiegel des Grundwassers bei Rheinau am tiefsten angeschnitten werden. Hier beobachtete ich denn auch zeitweise bei niederem Wasserstande am rechten Rheinufer deutlich Grundwasseraufstöße, die auch in unserer Karte angedeutet sind. Das Hervorquellen des Wassers gestaltet sich aber hier weniger auffallend als bei der Einmündung am Rheinfallbecken; nur der aufmerksame Beobachter gewahrt hier das Rieseln aus den Kiesbänken. Deutlich ausgeprägt ist aber die Inkrustation der Gerölle des Flußbettes mit Tuff, wie wir dies als Folge der Kalkabsätze des an die Luft kommenden Grundwassers bei allen Einmündungsstellen beobachten können.

d) Grundwasserfassung für die Anstalt und Dorfwasserversorgung Rheinau.

Als es sich um die Versorgung der Anstalt und später auch der Gemeinde mit einer größeren Wassermenge handelte, mußte es nahe liegen, den großen Grundwasserstrom dafür heranzuziehen, was sich freilich bei der Abschnürung einzelner Teile des Grundwasserstromes durch die Serpentine des Rheines nicht so einfach gestaltete. Um eine möglichst große Tiefe des Grundwasserträgers auszunützen zu können, wählt man in der Regel einen Punkt möglichst nahe der Mitte des Tales. Auf der schweizerischen Seite des Rheines hätte ein Punkt bei Neu-Rheinau dieser Forderung entsprochen. Bei der Höhenlage der Terrasse auf Kote 395 m hätte die Erschließung des Grundwasserstromes nur durch einen 40 m tiefen Schacht erreicht werden können. Am linken Rheinufer fehlte bei der Steilheit der Uferhalde der Raum zur Anlage einer Fassung. Tiefere Punkte in der Mitte des Grundwasserstromes wären erst 1,5 km südlich bei der folgenden Kreuzung mit dem Rhein zur Verfügung gestanden.

Unter diesen Umständen kam das Hinübergreifen des Grundwasserstromes auf den nordöstlichen, nur wenige Meter über dem Rhein gelegenen Teil der Halbinsel Rheinau sehr zu statten. Die an dieser Stelle abgeteufte Grundwasserbohrung (siehe Karte) ergab bis zu einer Tiefe von $-11,75$ m, d. h. 8 m unter dem Mittelwasserstand des Grundwassers, gut durchlässige, Wasser führende Schotter (siehe Abb. 7, bei Seite 14). Unter $-11,75$ m wurde Lehm erschlossen, der bis zum Ende der Bohrung in einer Tiefe von $-12,10$ m (Kote 342,51) reichte. Ohne Zweifel haben wir hier die Sohle des Grundwasserstromes; der Lehm muß wohl als verwitterte Molassemergel aufgefaßt werden (Abb. 7). Es wäre aber meines Erachtens ganz irrig, die erbohrte Mächtigkeit des Grundwasserträgers als normale

oder maximale Tiefe aufzufassen. Man war eben durch die Situation genötigt, mit der Bohrung in der Randpartie des Grundwasserstromes zu bleiben. Die maximale Tiefe kann erst mehr gegen die Mitte des alten Tales erwartet werden. Gemeinde und Anstalt Rheinau entnehmen den Brunnen 1350 Minutenliter.

e) Große Aufstöße oberhalb Ellikon a. Rh.

In unserer Karte sind etwa 1–2 km oberhalb Ellikon a. Rh. eine Serie von Ringen eingetragen, welche eine ganze Kette von Grundwasseraufstößen andeuten sollen. Der Rhein durchschneidet hier nach seinem abenteuerlichen Serpentinelauf den Grundwasserstrom schief. Es kann uns daher nicht wundern, wenn das Grundwasser am linken Rheinufer aus den Kiesbänken gestoßen wird. In durchaus gesetzmäßiger Ausbildung sind am Rheinufer überall da Aufstöße zu erwarten, wo der Grundwasserstrom aus einer intakt gebliebenen Strecke mit epigenetisch verschobenem Flußlauf das Rheinbett kreuzt und damit den Grundwasserspiegel wieder tief anschneidet. Es muß unter diesen Umständen der über dem Spiegel des Flusses liegende Teil des Grundwassers abgestoßen werden (*Quellenbildung durch Profilreduktion des Grundwasserträgers*). Auf meinen zahlreichen Touren durch das Rheintal konnte ich auf der Strecke zwischen Schaffhausen und Basel an 15 Stellen Ausmündungen von Grundwasser von der geschilderten Entstehungsart beobachten, aber nirgends tritt die Erscheinung so imposant auf, wie an der Kreuzungsstelle oberhalb Ellikon a. Rh.

Die Aufstöße verteilen sich auf eine Strecke von etwa 1,5 km, in welchen die Uferzone überall nach Grundwasseraustritten aussieht. Die Stellen heben sich schon auf weite Sicht durch ihre dunkle Farbe, herrührend von feuchten Tuffinkrustationen an den Geröllen und Bewachsung mit Moos, von den sonst hellen Kiesbänken ab.

Im untern Teile des Aufstoßgebietes brechen direkt Bäche von einigen Metern Breite aus den Kiesbänken; eine solche Stelle ist durch die Abb. 12 festgehalten. Wo das Ufergelände eine schwache Neigung hat, erreicht die Aufstoßzone eine Breite von bis zu 6 m, der Grundwasserspiegel stellt sich in den Kiesbänken etwa 20 cm über dem Flußspiegel ein. Auch die höchsten Partien des Flußbettes sind durch Tuffinkrustationen an den Geröllen gekennzeichnet; bei höherem Wasserstande des Rheines mußten sich eben die Aufstöße mehr landeinwärts verschieben. Bei Anlaß einer Besichtigung am 3. Januar 1933 mit Herrn *Beilick*, Vorsteher der Wasserrechtsabteilung, und Techniker *Naeff*, konnten wir etwa 60 cm über dem Rheinspiegel in einer Hochwasserschlammschicht armsdicke Löcher beobachten, welche bei höchstem Wasserstande durch das Grundwasser ausgespült worden sind.

Eine am 5. April 1909 entnommene Wasserprobe ergab eine Härte von 16–17 französischen Graden, bei 10,3° Celsius Temperatur. Das Wasser erwies sich auch ohne Fassung, einfach aus den Quellen entnommen, als bakteriologisch keimfrei.

f) Einzugsgebiet des Grundwasserstromes bei Rheinau-Ellikon.

Die Strecke Rheinau-Ellikon ist ein typisches Beispiel für die sehr große

Breitenentwicklung des Einzugsgebietes unseres Grundwasserstromes. Die verschieden hohen Terrassenflächen zwischen Neu-Rheinau und Ellikon bestehen in einer Breite von 2,5 km, d. h. vom Rheine bis zum Moränenhang von Radhof-Nieder-Marthalen, aus durchlässigem Schotter, die jeder oberflächlichen Entwässerung entbehren. Der größte Teil der Niederschläge kommt also direkt dem Grundwasser zu. Dasselbe gilt auch von allen Bächen, welche dieser Zone zufließen. Das Quellbächlein beim Radhof versickert unmittelbar beim Austritt aus dem Moränengebiet in der Schotterterrasse. Von Marthalen her mündet der Dorfbach ein, der ein Gebiet von etwa 23 km², d. h. das Gebiet der Dörfer Marthalen, Benken, Trüllikon, also einen großen Teil des Bezirkes Andelfingen entwässert.

Der Bach bildet bei Nieder-Marthalen einen bis zu 900 m langen Schuttkegel auf die Kiesterrasse hinaus und versickert schon in einer Entfernung von 1,6 km vom Rheine. Seit Jahrhunderten wird das Bachwasser zur Berieselung der Wiesen des Schuttkegels verwendet nach einer Kehrordnung, die für jede Parzelle als Wasserrechtsverteilung im Kaufbrief festgesetzt ist.

Durch diese Bachversickerung wird das Einzugsgebiet des Grundwasserstromes auf der linken Rheinseite bis zu einer Breite von 10 km, d. h. bis über Trüllikon ausgedehnt.

g) Seitenarm des Grundwasserstromes aus dem Thurtal.

Schon früher (Grundwasservorkommnisse der Schweiz, Seite 67) hatte ich auf einen eigenartigen Schotteraufschluß aufmerksam gemacht, der mit einem alten Thurtale in Verbindung stehen muß.

Im Jahre 1909 wurde beim Bahnwärterhaus 1 km südlich der Station Marthalen an der Linie Schaffhausen-Winterthur ein Brunnenschacht gegraben, und zwar mitten in einer Grundmoränenlandschaft¹⁴⁾. In einer Tiefe von -9 m wurde die lehmige Moräne durch einen teilweise verkitteten Schotter abgelöst, der genau mit dem Ausfüllungsmaterial des alten Rheintales übereinstimmte. In einer Tiefe von -50 m (Kote 360) wurde die Molassesohle angefahren. Der Grundwasserspiegel kam erst in einer Tiefe von -49,5 m, der Grundwasserträger war also nur 0,50 m mächtig. Im Schachte konnte deutlich beobachtet werden, daß die Felssohle sich gegen Süden senkte. Der Aufschluß gehört also offensichtlich dem rechtsseitigen Ufer eines Grundwasserstromes an.

Vom linken Ufer dieses Thurgrundwasserstromes fehlen genauere Anhaltspunkte. Am rechtsseitigen Hange der Thur zwischen Klein-Andelfingen und Alten sind zwar viele Aufschlüsse vorhanden, sie zeigen aber durchwegs die für das untere Thurtal charakteristische sandige Grundmoräne, aber keine Spur von altem Schotter; die Thur scheint also bereits links außerhalb des Grundwasserstromes zu verlaufen.

Der erwähnte Aufschluß ist also insofern interessant, als er auf das Vorhandensein eines Thurgrundwasserstromes hinweist, über dessen Breite und Ausdehnung

¹⁴⁾ Siehe meine geologische Karte der Drumlinlandschaft der Umgebung von Andelfingen (Sp. K. Nr. 34).

aus Mangel an Aufschlüssen weitere Anhaltspunkte fehlen. Auch die Einmündung in das Rheingebiet kann äußerlich nicht zum Ausdruck kommen, weil die Vereinigung der beiden Grundwasserströme durch eine mehr als 20 m mächtige Überdeckung mit Schotter in den Schleier des Geheimnisses gehüllt wird.

4. Untersuchungen auf der Strecke Ellikon-Flaacherfeld.

Unmittelbar oberhalb der Häuser von Ellikon a. Rh. verzeichnet unsere Karte eine Grundwasserfassung; es ist der

a) *Filterbrunnen der Wasserversorgung Ellikon.*

Der Grundwasserspiegel wurde in einer Tiefe von $-2,90$ m erschlossen, bei -10 m war noch keine Sohle des Wasser führenden Schotters erreicht (Kote 342,45 m). Unter einer Decke von Humus und lehmigem Kies wurde bis zu -10 m durchwegs ein lockerer, durchlässiger Kies erschlossen. Nagelfluheinlagerungen fehlen hier, wir sind eben im Bereiche einer jüngeren Rheinterrasse, bei deren Bildung der alte Schotter umgelagert wurde.

Das Pumpwerk ist für eine Entnahme von 150 Minutenliter ausgebaut, der Brunnen würde aber natürlich eine viel größere Beanspruchung gestatten.

b) *Anhaltspunkte über die Breite des Grundwasserstromes bei Ellikon.*

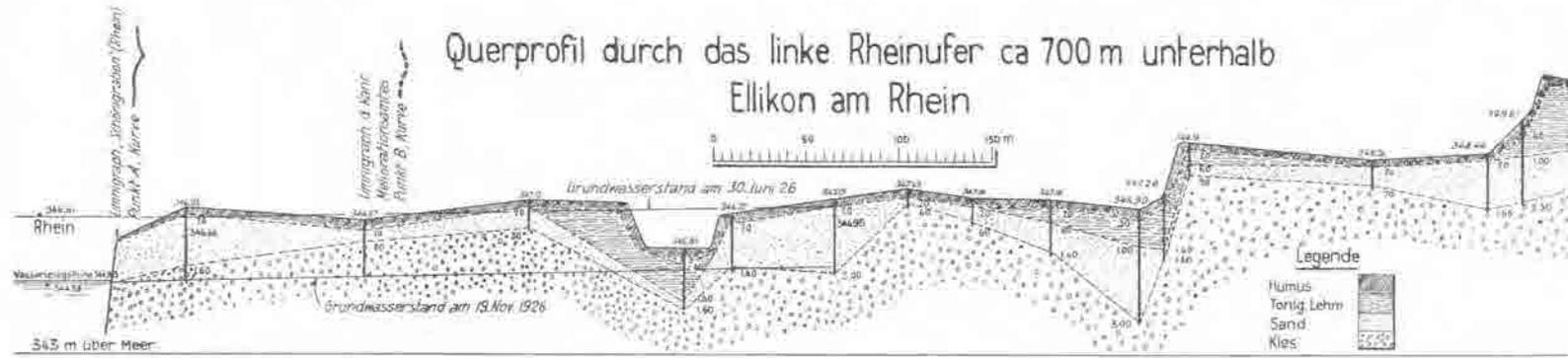
Anhaltspunkte über die Breitenausdehnung des Grundwasserstromes auf der linken Seite des Rheines geben uns zunächst die Resultate von einigen Bohrungen, die in dem Profil von Abb. 13 verwendet sind. Die Sondierungen wurden seinerzeit durch das kant. Meliorationsamt angeordnet. Unter Humus, Torf und Hochwasserschlamm der Altwasserläufe wurde auf der ganzen Breite des Profils überall der durchlässige Kies erschlossen.

Ebenso bietet uns die Kiesgrube am Hange 500 m nördlich der Thurbrücke einen willkommenen Anhaltspunkt. Unter einer jungen ca. 2 m mächtigen Schotter-schicht kommen zunächst ca. 11 m sandige Thurtalmoräne und darunter noch etwa 7 m des alten gelb angewitterten teilweise verkitteten Schotters, ohne daß die Sohle desselben erreicht wäre.

In diesen Zusammenhang gehören ohne Zweifel auch die Beobachtungen, welche beim Bau der neuen Thurbrücke auffielen: Beim Rammen der Pfähle für die Pfeiler kam man in einer Tiefe von $-3,5$ m unter dem Thurbett überall auf eine harte Schicht. Da Molassefels kaum in Frage kommen kann, muß es sich hier ohne Zweifel um den Schotter des alten Tales handeln, der in der Regel direkt am Kontakt mit der überlagernden Moräne die intensivste Verkittung feststellen läßt.

c) *Schwankungen des Grundwasserspiegels.*

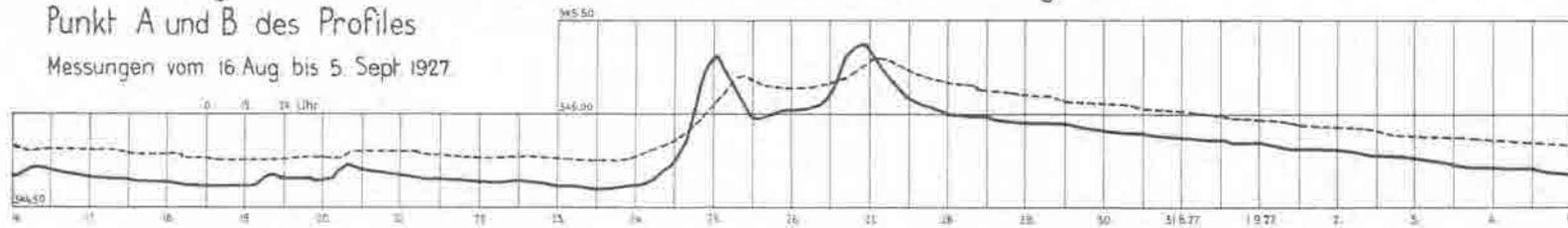
Im Jahre 1926 wurde durch das kant. Meliorationsamt in einer Entfernung von 120 m vom Fluß (siehe Situation Abb. 14 und Profil Abb. 13) zur Beobachtung der Schwankungen des Grundwasserspiegels ein Linnigraph aufgestellt; im gleichen Profil registriert ein anderer Linnigraph der N. O. K. die Wasserstände des Rheines.



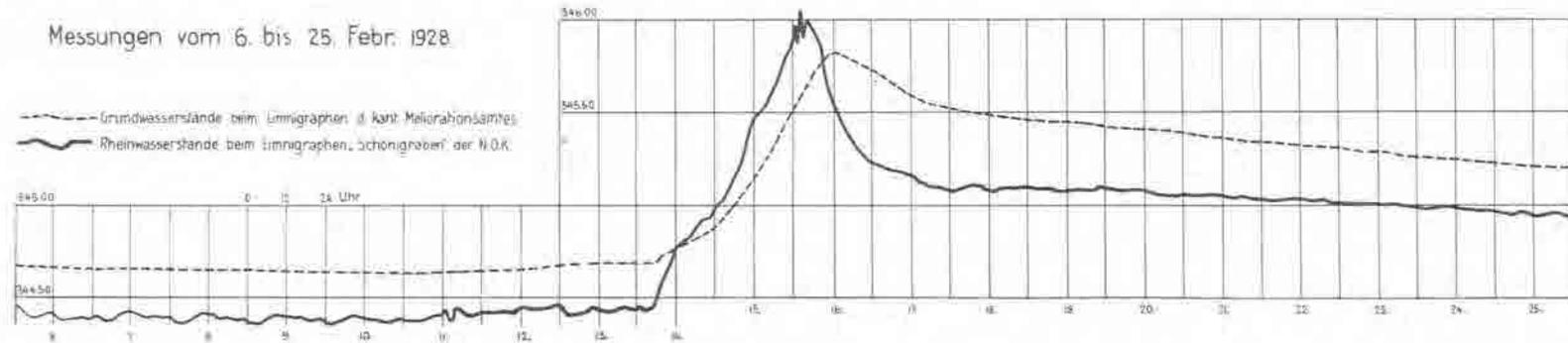
Schwankungen des Rheines und des benachbarten Grundwassergebietes

Punkt A und B des Profiles

Messungen vom 16. Aug bis 5. Sept 1927

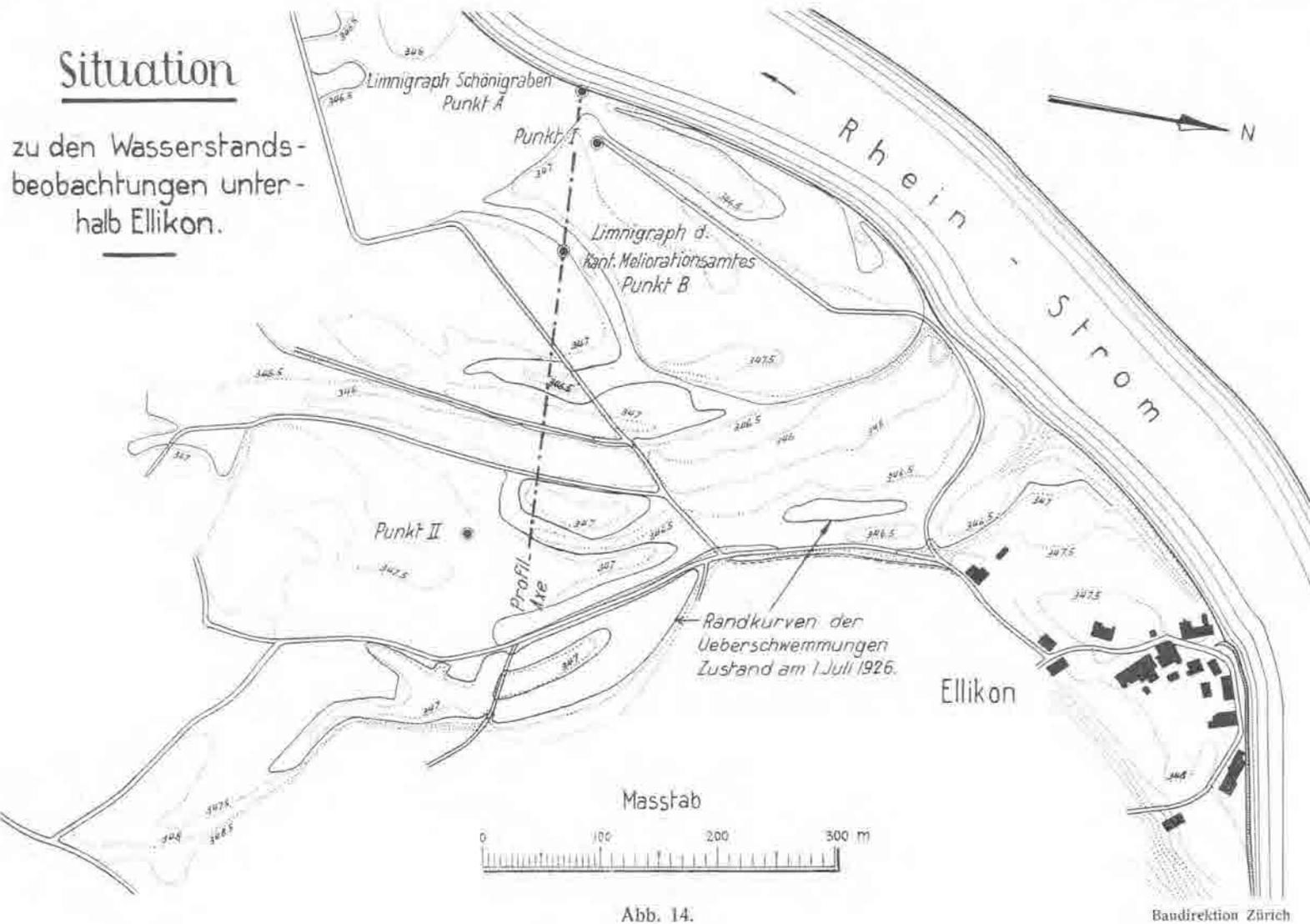


Messungen vom 6. bis 25. Febr. 1928



Baudirektion Zürich

Abb. 13.



Aus den Aufzeichnungen der beiden Limnigraphen, die uns vom kantonalen Meliorationsamt in verdankenswerter Weise zur Verfügung gestellt wurden, haben wir einige besonders interessante Episoden herausgegriffen und in Abb. 13 dargestellt.

Es lassen sich in Bezug auf die Beziehungen zwischen Grundwasser und Fluß die folgenden Gesetze ableiten:

a) in Zeiten mit *ruhigem Flußwasserstand* stellt sich der *Grundwasserspiegel über den Spiegel des Rheins ein*, mit einem Höhenunterschied von 15—40 cm.

b) Schwillt der Fluß rasch an, so muß zufolge der stauenden Wirkung auf das Grundwasser auch das letztere steigen, aber mit einer gewissen Verspätung. Die Verschiebung der Spitzen macht bis zu 12 Stunden aus.

c) Zuzufolge der Verschiebung der Maxima kommt es zum Schnitt der beiden Spiegel, indem der Rheinspiegel vorübergehend *über* das Grundwasser ansteigt.

d) Die *Hochwasseranschwellungen* sind beim *Grundwasser* in der Regel *weniger scharf* und *weniger hoch ausgeprägt als beim Rheine*, es macht sich beim Grundwasser eine gewisse Ausgleichung bemerkbar.

e) Im allgemeinen müssen die verhältnismäßig raschen Beeinflussungen des Grundwasserspiegels durch die Schwankungen des Flusses auffallen, das Wechselspiel der beiden Spiegel ist also hier intimer, lebhafter, als man bis jetzt annehmen konnte; sie sind nur denkbar bei verhältnismäßig großer Durchlässigkeit des die beiden Beobachtungspunkte verbindenden Grundwasserträgers.

f) Auf alle Fälle sind die in Abb. 13 dargestellten Beobachtungen ein typisches Beispiel für die Beziehungen zwischen Fluß und Grundwasser, der die Vorflut für das letztere bildet.

5. Untersuchungen über Beziehungen zwischen Rhein und Grundwasserstrom unterhalb der Thurmündung (Flaacherfeld).

Auf Grund der erwähnten Aufschlüsse an der Thurbrücke darf ohne weiteres angenommen werden, daß auch der unterste Teil des Thurtales noch zum Grundwasserstrom gehört, wie dies in unserer Karte angedeutet wird.

Von der linksseitigen Uferzone unmittelbar unterhalb der Thurmündung stehen uns wieder eine Serie von Grundwasserbeobachtungen zur Verfügung, für die ich seinerzeit das Programm aufgestellt hatte.

a) Lage der einzelnen Beobachtungspunkte.

Wie aus der Situation (Abb. 15) hervorgeht, zieht sich dem Rheine parallel in einer Entfernung von 70 m vom Ufer ein Entwässerungsgraben, dessen oberstes Teilstück als Zementrohrleitung ausgebaut ist. Wir sind nämlich hier an der Staugrenze des Kraftwerkes Eglisau. Längs des Rheines schützt ein Damm das dahinter gelegene ebene Feld vor Überflutung; die Entwässerung, resp. der sog. „Rhein-Hintergraben“ dient dazu, den Grundwasserspiegel auf einem bestimmten Niveau festzuhalten. Der Hintergraben wird mit andern Zuflüssen aus dem Flaacherfeld der Pumpstation bei der Rheinbrücke zugeleitet, die das Wasser in den Rhein fördert.

Aus den Erhebungen greifen wir die Beobachtungen in den Profilen km 0,64 und km 1,0 heraus. Auf beiden Beobachtungslinien wurde zunächst ein Pegel am Rheine erstellt, dann ein Beobachtungsschacht für das Grundwasser ganz nahe am Rheinufer, ein Pegel im Hintergraben und ein, resp. beim obern Profil zwei weitere Schächte weiter landeinwärts. Die Lage der einzelnen Punkte ergibt sich aus der Abb. 15.

b) Spiegelablesungen.

In Abb. 16 sind zunächst die Beobachtungen im obern Profile (km 0,64) für die Zeit vom 1. April bis 31. Juli enthalten. Innerhalb dieser Periode konnte neben niederen Wasserständen auch eine längere Zeit dauernde Hochwasseranschwellung beobachtet werden.

In weitem wurden in Abb. 17 einige Wasserstände (Hoch- und Niederwasser) in die Querprofile eingetragen, nämlich die Ablesungen 27. III. und 28. II. 1928 (Niederwasser), sowie 22. VI. und 31. VIII. 1928. Aus beiden Darstellungen zusammen läßt sich das allgemeine Regime der Spiegelschwankungen ableiten. Die Beobachtungen wurden hier zudem durch Härte-Bestimmungen des Wassers ergänzt.

In geologischer Hinsicht liegen ähnliche Verhältnisse vor, wie wir sie im Profil von Ellikon in Abb. 13 erwähnt haben. Oben kommt Hochwasserschutt, darunter der normale Kies. Etwas unbestimmt sind die Verhältnisse beim Schacht Nr. 5 neben dem Hintergraben. Allem Anschein nach wurde hier der eigentliche Kies nicht erschlossen. Im Bereich der Thurmündung schalten sich nämlich in die obere, angelagerten Schotterschichten nicht selten lehmig-sandige Einlagerungen ein, wir beobachten diese Erscheinung besonders deutlich am rechtsseitigen Uferhang des Rheines unmittelbar oberhalb der Einmündung der Thur.

c) Erhebungen bei Niederwasserstand.

Zur Zeit des Niederwasserstandes vom 27. III. und 28. II. 1928 kommt der Hintergraben im Profil km 0,64 überhaupt nicht zur Geltung, indem die Grabensohle über dem Grundwasserspiegel liegt. Unter diesen Umständen beobachten wir beim Grundwasserspiegel ein deutliches Gefälle gegen den Rhein, der die Vorflut für das Grundwasser bildet.

Diese Erscheinung macht sich durchaus gesetzmäßig bei der chemischen Zusammensetzung des Wassers bemerkbar, die in Abb. 17 oben in Form eines Querprofiles dargestellt ist. Alle Punkte des Grundwassers haben eine wesentlich größere Härte als der Fluß; die Zahlen geben die Karbonathärte in mgr. per Liter an. Eine Infiltration von Flußwasser würde sich in deutlicher Abnahme der Härte des Grundwassers gegen den Fluß hin äußern, herrührend von der Vermischung von weichem Flußwasser mit härterem Grundwasser. Anzeichen von Infiltration kommen in diesen Zahlen nicht zum Ausdruck. Das chemische Verhalten entspricht also durchaus den Gefällsverhältnissen.

Etwas eigentümlich muß uns das starke Anschwellen der Härte bei Schacht 5 neben dem Hintergraben anmuten. Die Unregelmäßigkeit dürfte durch eine Stagna-

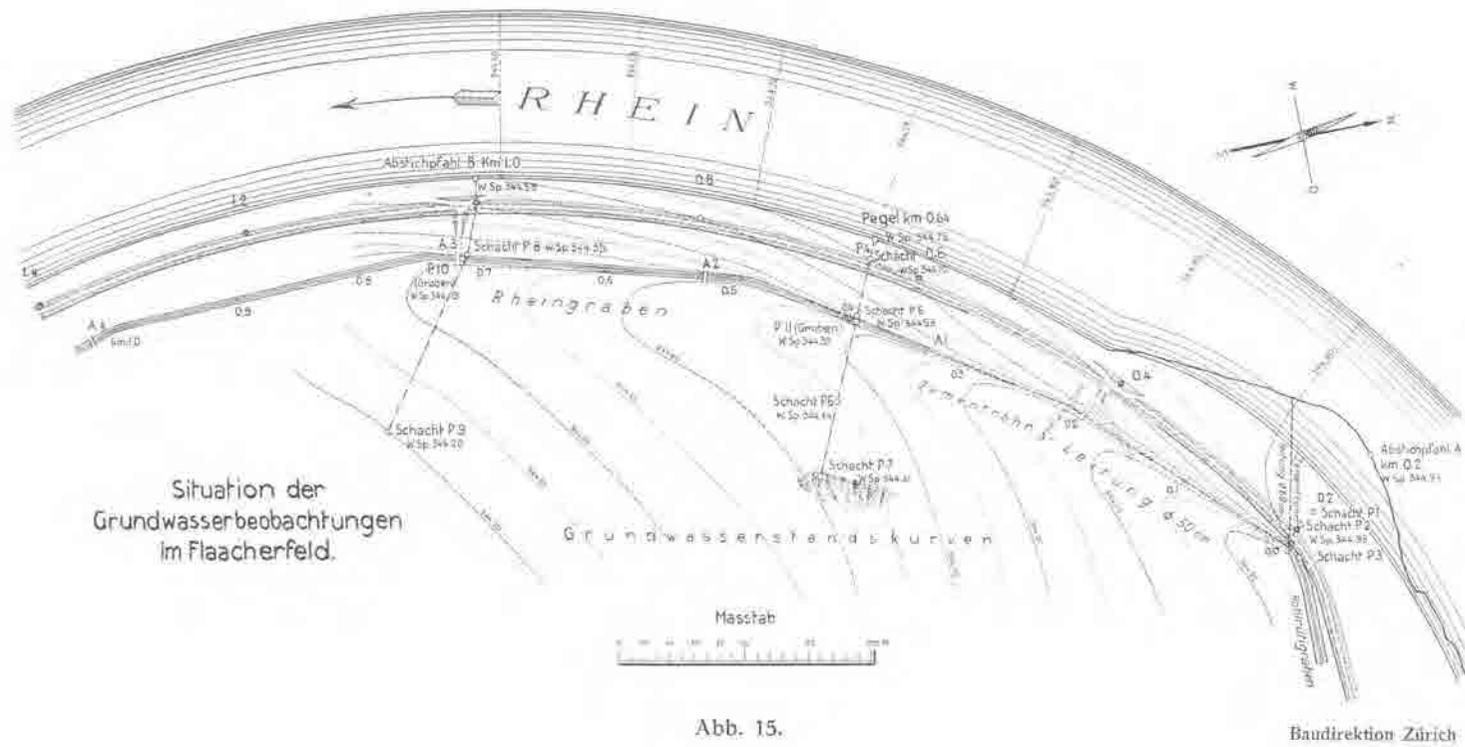


Abb. 15.

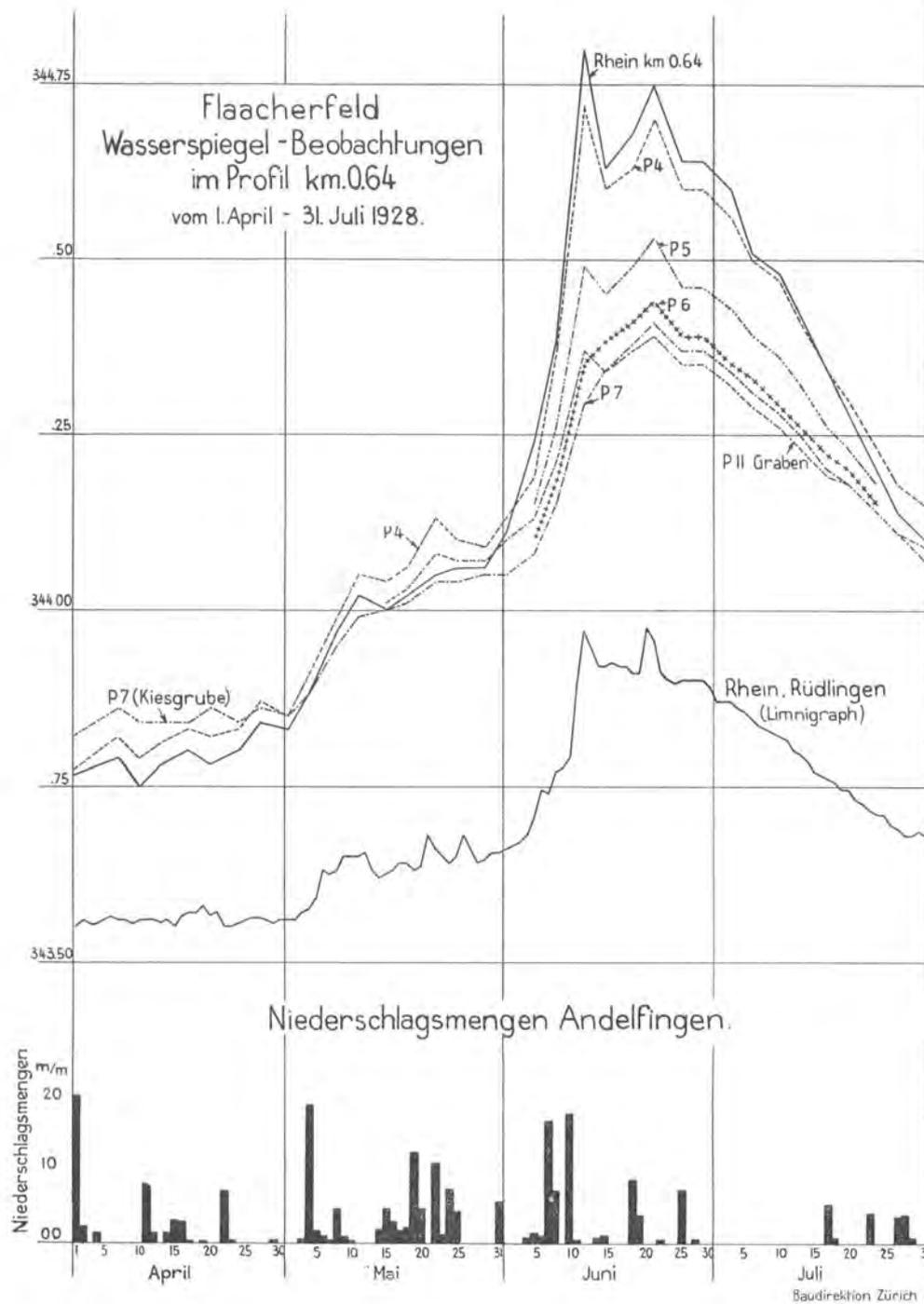


Abb. 16.

Chemische Wasseruntersuchung im Profil km. 0.64 Rhein. Flaacherfeld.

Ausgeführt durch den Kantonschemiker des Kantons Zürich

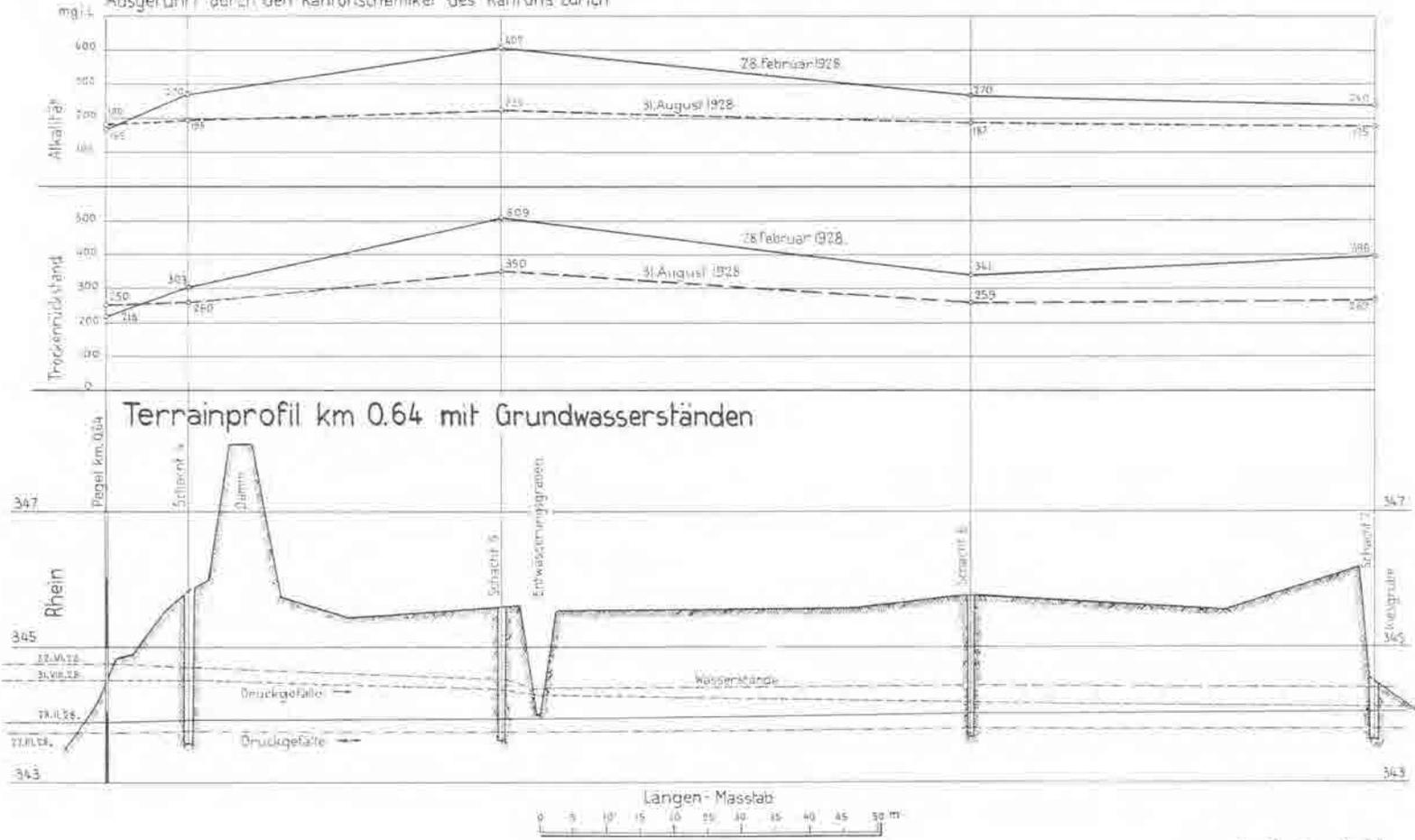


Abb. 17.

Baudirektion Zürich

fion des Grundwassers zufolge Herabsetzung der Durchlässigkeit des Grundwasserträgers an dieser Stelle durch sandig-lehmige Einlagerungen verursacht sein.

In Abb. 17 oben wurde neben der Härte des Wassers auch noch der Trockenrückstand aufgetragen, d. h. also die Summe der gesamten gelösten Bestandteile des Wassers in Milligramm per Liter. Es lassen sich aus diesen Zahlen dieselben Schlußfolgerungen ableiten, wie bei der Härte, nur machen sich die Unregelmäßigkeiten bei Punkt 5 noch stärker fühlbar.

d) *Gefällsverhältnisse und Härte bei Hochwasserstand.*

Ganz anders verhalten sich die Spiegel der einzelnen Beobachtungspunkte zur Zeit von Hochwasserständen.

Wir verweisen zunächst auf die Kurven von Abb. 16. Der Spiegel des Grundwassers in Schacht 4, also unmittelbar neben dem Rheine, steht bei niederm und mittlerem Wasserstande des Rheines bis Anfang Juni über dem Flußniveau. Steigt aber der Rhein noch höher über Kote 343,75 beim Linnigraph Rüdlingen, so kehrt sich das Verhältnis sofort um, es beginnt das *Druckgefälle vom Fluß gegen den Hintergraben*, resp. das Grundwasser und die damit zusammenhängenden Erscheinungen, nämlich: *Infiltration von Flußwasser*, erwiesen durch das Fallen der Härte des Grundwassers, sowie durch die Wassermenge des Hintergrabens bis zur Überlastung des Pumpwerkes.

Nach den Angaben der graphischen Darstellung von Abb. 16 sinkt Mitte Juli der Rhein beim Linnigraph Rüdlingen wieder unter Kote 343,75 m; damit ändert sich das Regime wieder, d. h. der Grundwasserspiegel des am Rheine gelegenen Schachtes 4 steht wieder über dem Rheine; dieser hat also seine Rolle als natürliche Vorflut des Grundwassers wieder aufgenommen.

Ein sehr anschauliches Bild der Infiltration bieten uns die bereits angedeuteten Härteverhältnisse des Grundwassers beim Hochwasserstande vom 31. VIII. 1928, besonders wenn wir die Werte mit den Zahlen vom 28. II. 1928, also beim Niederwasserstande, vergleichen. Alle Zahlen sinken beim Grundwasser im Sinne einer Annäherung an den Wert des Flußwassers. Es geht aber auch hier nicht ohne Unregelmäßigkeiten ab, im besondern muß auffallen, daß die geringste Härte mit nahezu vollständiger Übereinstimmung mit dem Flußwasser bei den landeinwärts gelegenen Schächten 6 und 7 registriert wurde.

Als Erklärung für diese sonderbare Erscheinung können zwei Faktoren in Erwägung gezogen werden. Am wahrscheinlichsten erscheint die Hypothese, daß die Infiltration an einer Stelle weiter flußaufwärts am intensivsten vor sich gehe, und dann das stark mit Flußwasser vermischte Grundwasser links abseits der schwerer durchlässigen Zone bei Schacht 5 abfließe.

Ich hatte in der Praxis mehrfach Gelegenheit, ein solches Spiel der Natur zu beobachten, so z. B. im Reußtal bei Mühlau und im obersten Aaretal bei Uttigen. An beiden Stellen floß das weiche Wasser von der Infiltrationszone aus abseits vom Flusse ab, von diesem durch ein Gebiet mit härterem Wasser getrennt. In beiden Fällen konnte durch Bohrungen festgestellt werden, daß im Bereich

der größeren Härte (Härteinseln) eine geringere Durchlässigkeit des Grundwasserträgers durch Sandeinlagerungen als Ursache in Betracht kam. Eine ähnliche Härteinsel zeigt übrigens auch die Härtekarte des Talbodens von Zürich im Gebiete des untern Industriequartiers.

In Bezug auf den Gehalt an Trockenrückstand gelten die Bemerkungen auf Seite 29.

e) Allgemeine Schlußfolgerungen.

Die geschilderten Verhältnisse am Hintergraben im Flaacherfeld sind also charakteristisch für eine Flußstrecke, bei welcher die Beziehungen zwischen Fluß und Grundwasser einem häufigen Wechsel unterworfen sind. Je nach dem Wasserstande geht das Gefälle bald vom Fluß zum Grundwasser, bald umgekehrt. Unter diesen Umständen kommt eine Abdichtung des Flußbettes nicht zu Stande. Von einem bestimmten Wasserstande an beginnt die Infiltration von Flußwasser gegen den Hintergraben.

6. Verlauf des Grundwasserstromes zwischen Thurmündung und Eglisau.

a) Epigenetisches Tal Rüdlingen-Eglisau.

Unmittelbar unterhalb Rüdlingen ändert das Rheintal ganz unvermittelt seinen Charakter. Statt des breiten Tales von Ellikon folgt eine schluchtartige Strecke. An den steilen Hängen steht fast überall direkt die Molasse in ihren verschiedenen Ausbildungen an; von den alten Schottern fehlt hier unten am Flusse jede Spur.

Von der Töbmündung an schaltet sich auf der linken Rheinseite ca. 45 m über dem Flusse die Schotterterrasse von Töbfriedern in den Hang ein. Der Schotter hat aber nur eine Mächtigkeit von 10–20 m, er reicht also nicht bis zum Rheine herab, es kann unter diesen Umständen nicht zur Bildung eines Grundwasserstromes kommen. Das Sickerwasser des Schotters tritt bei diesen Lagerungsverhältnissen auf dem Kontakt zwischen Schotter und Molasse als Schichtquellen zu Tage. Eine solche Quellengruppe speist bei Seglingen gegenüber von Eglisau das Bächlein, welches die Lochmühle treibt. In unserer Karte sind Quellen angedeutet, welche früher für die Wasserversorgung von Eglisau Verwendung fanden. Eine andere Schichtquelle desselben Horizontes entspringt neben dem linksseitigen Widerlager der Straßenbrücke Eglisau mit einem Ertrage von 120 Minutenlitern.

Am Flusse selbst läßt sich der anstehende Fels bis unterhalb die Eisenbahnbrücke ununterbrochen verfolgen. Unmittelbar unterhalb derselben ändert am rechten Ufer die Landschaft ihren Charakter vollständig. Statt der welligen, für Molasseunterlage typischen Formen folgen unvermittelt die scharfen, ausgeprägten, trockenen Schotterterrassen.

b) Grundwasseraufstoß und Fassung unterhalb Eglisau.

Bevor der Rhein durch das Kraftwerk Eglisau getrennt wurde, konnte ich mehrmals beobachten, wie von der Eisenbahnbrücke an abwärts bei niedrigem Wasserstande am rechtsseitigen Ufer das Grundwasser aus dem Kiese des Ufers

rieselte mit nahezu derselben Intensität, wie wir dies bei der Mündungsstelle bei Ellikon-Rheinau beschrieben haben. Der Rhein hat also hier sein altes Tal und damit seinen unterirdischen Gefährten nach langer Trennung wieder gefunden. Als vor einigen Jahren für die Wasserversorgung von Eglisau die erreichten Schichtquellen bei Seglingen nicht mehr genügten, lag es nahe, den großen Rheingrundwasserstrom auszunützen. Um die Uferzone mit geringer Tiefe des Tales zu meiden, wurde eine Stelle etwa 200 m unterhalb der Eisenbahnbrücke gewählt. Wie aus der Abb. 18 hervorgeht, wurde die Fassung am bergseitigen Rand, der tiefsten Terrasse, plaziert, um vom Rheine eine gewisse Entfernung inne zu halten und doch den Grundwasserspiegel in möglichst geringer Tiefe zu erreichen. Das Profil von Abb. 18 zeigt deutlich, daß in der Zuflußrichtung des Grundwasserstromes unmittelbar oberhalb der Fassung die einige zehn Meter hohe obere Schotterterrasse anschließt. Das Wasser kommt also aus einem Gebiete mit außer-

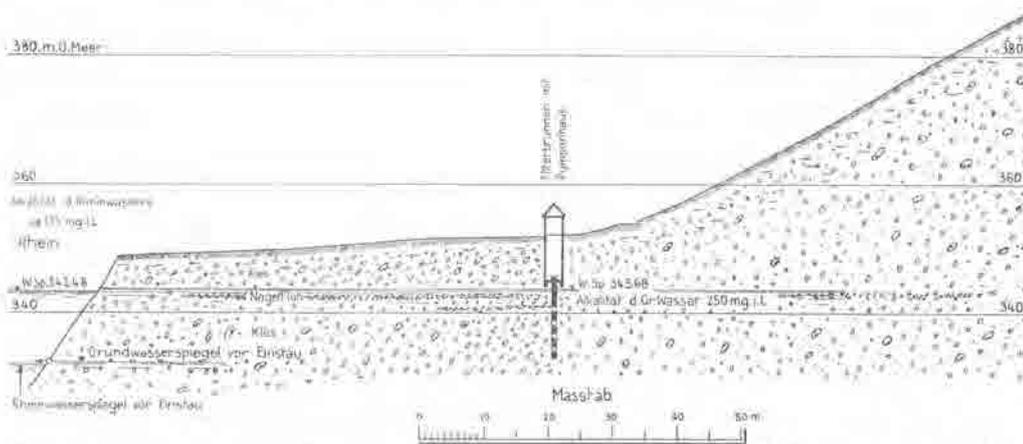


Abb. 18. Profil durch die Grundwasserfassung der Gemeinde Eglisau, ca. 500 m unterhalb der Eisenbahnbrücke. (Quer zur Flußaxe.)

ordentlich hoher, schützender Überdeckung, was für die Qualität des Wassers von großem Vorteil sein muß.

Die Fassung wurde bis zu einer Tiefe von ca. 20 m unter Terrain vorgetrieben, wovon 11 m unter den Grundwasserspiegel. In den unteren Schichten wurden die für den alten Schotter charakteristischen Nagelfluhbänke angetroffen.

Laut Wasserrechtsverleihung entnimmt die Gemeinde den Brunnen 600 Minutenliter, welche Menge freilich nur einen kleinen Teil des Ertrages der Fassung ausmacht.

c) Beziehung zwischen Grundwasserfassung und Rhein.

Immer wenn eine Fassung in der Nähe eines Flusses angeordnet wurde, wurden im Publikum Bedenken wegen Beeinflussung durch das Flußwasser laut. Ich glaube deshalb mit einigen Worten auf diese Frage eintreten zu müssen.

Das Nivellement der Spiegel von Rhein und Grundwasserfassung zeigt ein deutliches Gefälle (20 cm) vom Filterbrunnen zum Fluß; die Niveaudifferenz

macht gerade soviel aus als notwendig ist, um das Grundwasser in den als Vorflut dienenden Fluß austreten zu lassen. Das Druckgefälle geht also deutlich von der Fassung gegen den Rhein und nicht umgekehrt.

Diese Feststellung wird die chemische Zusammensetzung des Grundwassers der Fassung durchaus bestätigen. In das Profil von Abb. 18 habe ich auch die Alkalinität des Wassers eintragen lassen, die beim Grundwasser 250 mgr, also 25 französische Grade, gegenüber nur 165 mgr, resp. 14,5 französische Grade, beim Rheine beträgt. Nach der Analyse des Kantonschemikers vom 4. September 1929 entsprechen auch die übrigen Komponenten der chemischen Zusammensetzung den üblichen Anforderungen, z. B.: Freies Ammoniak 0 mgr, albuminoïdes Ammoniak 0,004 mgr, Chlor 7 mgr usw.

Auch die bakteriologische Prüfung ergab sehr gute Resultate: 5 Kolonien (am 6. Tage gezählt). Colilitter über 5 cm³, wie dies bei der sehr günstigen Lage der Fassung nicht anders erwartet werden kann.

d) Vorflut des Grundwasserstromes durch das Rafzerfeld.

Das Verbindungsstück zwischen den beiden bestimmten Punkten — Hintergraben an der Thurmmündung und Grundwasseraustritt bei Eglisau — kann nur auf dem Wege durch das Rafzerfeld angenommen werden. Nur auf dieser Strecke läßt eine breite Lücke im anstehenden Fels unserem Grundwasserstrom genügend Raum. Als Anhaltspunkt über die rechtsseitige Grenze des Grundwasserstromes erwähnen wir den Molasseaufschluß 300 m südlich von Nack¹⁵⁾. Das linke Ufer wird durch den Nordhang des „Hurbig“ bei Buchberg-Steinenkreuz markiert. Dabei müssen wir aber berücksichtigen, daß die Aufschlüsse auf Kote ca. 415 m liegen, also nicht weniger als etwa 70 m über dem Grundwasserspiegel; es wird also auf Kosten der Neigung der beiden Hänge des alten Tales noch eine beträchtliche Abschreibung an der Breite des Grundwasserstromes gemacht werden müssen. Während die Aufschlüsse der Molasse etwa 2,5 km auseinander liegen, haben wir die Breite des Grundwasserstromes hier nur zu 1,5 km angenommen.

e) Tiefenlage des Grundwasserspiegels und Einfluß auf die Besiedelung des Gebietes.

Bemerkenswert ist, wie wir bereits kurz angedeutet haben, die enorme Überdeckung des Grundwasserspiegels. In der Gegend von Nack-Steinenkreuz gibt die topographische Karte Höhenzahlen bis zu 445 m an. Die Landschaft zeigt hier einen hügeligen Charakter, wir sind nämlich im Bereiche der Endmoräne des Maximalstandes der letzten Vergletscherung. An die Endmoräne schließt sich westlich der zugehörige Gletscherboden ans Rafzerfeld an, Moränen und Schotter, wie wir dies in Abb. 19 für die geologisch analoge Zone des unteren Glattales dargestellt haben.

Verbinden wir die beiden Punkte des Grundwasserstromes an der Thurmmün-

¹⁵⁾ Siehe meine geologische Karte des Rheinlaufes (Sp. K. Nr. 35) und Badische geologische Karte Blatt Jestetten.

dung und unterhalb der Eisenbahnbrücke Eglisau, so kämen wir unter dem Rafzerfeld auf eine Spiegelhöhe von ca. 344 m; wir sind damit *hundert Meter unter den höchsten Moränenpunkten*, beim Rafzerfeld sind es ca. 80 m. Die Moränenzone selbst ist als durchlässig zu beurteilen, wir sind nämlich hier an der äußersten Zunge des großen Rheingletschers, wo eine große Menge Schmelzwasser abfließen und so auch die Moränenzone stark verschwemmen mußte. Es kam so eine stark kiesige Facies der Moräne zur Ablagerung.

Die enorme Tiefe des Grundwasserspiegels mußte auch für die Besiedelung des Gebietes von einschneidender Bedeutung sein.

Auf dem Grundwasserströme selber war die Beschaffung von Trinkwasser für Siedelungen ganz undenkbar. Man hätte ja Schächte von 80–100 m abteufen müssen. Alle älteren Siedelungen des Schottergebietes dieser Strecke halten sich daher in der Nähe der seitlichen Hänge, von welchen die kleinen Quellen zugeleitet werden konnten.

Erst als man vor etwa 60 Jahren mit der Anlage der modernen Druckwasserleitungen begann, war die Anlage der Siedelungen im Schottergebiete selbst möglich (Stationssiedelungen Rafz und Hüntwangen-Wil).

7. Strecke Eglisau-Kaiserstuhl.

a) Allgemeines.

Auch über die Strecke von Eglisau-Kaiserstuhl hatte ich mich schon früher ziemlich eingehend geäußert (Grundwasservorkommnisse der Schweiz, Seite 60). Wesentlich neue Erhebungen sind auf diesem Teilstück des Grundwasserstromes seither nicht erschlossen worden, selbst der Bau des inzwischen erstellten Kraftwerkes Eglisau an der Glattmündung hat nicht viel zur Kenntnis des Grundwasserstromes beigetragen, indem das Werk ganz außerhalb des alten Tales in einer epigenetischen Strecke liegt. Zudem verläuft der Grundwasserstrom, wie aus der Karte hervorgeht, nur teilweise auf dem Gebiete des Kantons Zürich. Die genaueren geologischen Verhältnisse können aus meiner geologischen Karte, Blatt Kaiserstuhl, ersehen werden¹⁰⁾.

b) Anhaltspunkte über den Verlauf des Grundwasserstromes.

Der Verlauf des Grundwasserstromes muß hier in erster Linie durch die Aufschlüsse am Rheinufer bestimmt werden, Bohrresultate stehen für diese Strecke nicht mehr zur Verfügung.

1,8 km unterhalb der Eisenbahnbrücke Eglisau hört auf der linken Rheinseite der Schotter auf und wird am Steilufer durch Süßwassermergel abgelöst. Etwas weiter talabwärts beobachten wir dieselbe Erscheinung auch am rechten Rheinufer. Die Anlagerung von verkittetem Schotter an den anstehenden bunten Mergel ist auch vom linken Ufer aus sichtbar. Die schiefe Kontaktfläche repräsentiert uns hier das linke Ufer des Grundwasser führenden alten Tales, welches

¹⁰⁾ Hug, J. Geologie der nördlichen Teile des Kantons Zürich. Beiträge zur geolog. Karte der Schweiz, Neue Folge, Lief. 15, 1907, und Sp. K. Nr. 36.

rechts außerhalb des Rheines ganz auf deutsches Gebiet übersetzt. Ein Ausweichen nach links kann hier auf keinen Fall angenommen werden, die Molasseaufschlüsse lassen sich ununterbrochen verfolgen.

Auch die topographischen Verhältnisse lassen an der Abzweigungsstelle den Wechsel im Charakter des Tales erkennen. Oberhalb dieser Stelle, d. h. also auf der Strecke von der Eisenbahnbrücke bis 1,8 km unterhalb, hat der Rhein in den Schottern seines alten Tales einen breiten Boden bilden können. Wo er aber aus dem Schotter in den anstehenden Fels übertritt, nimmt er wie überall auf den epigenetischen Strecken den Charakter eines schluchtartigen Tales an, obwohl es sich beim anstehenden Fels nur um einen nicht sehr widerstandsfähigen Süßwassermergel handelt.

c) Grundwassermündung bei Herdern.

Die nächste Mündung des Grundwasserstromes in den Rhein läßt sich auch vom schweizerischen Ufer aus bei günstigen Witterungsverhältnissen, besonders deutlich bei Schneebedeckung beobachten. Etwa 0,4 km unterhalb des Kraftwerkes, resp. 1,4 km unterhalb der erwähnten Abzweigungsstelle, biegen die Höhenkurven am rechtsseitigen Ufer auffallend gegen Norden aus. Das rechtsseitige Ufer muß also hier wieder aus besser erschließbarem Material bestehen, es kann dies wohl nur der Schotter des alten Tales sein. Zur Bestätigung dieser Annahme fehlt auch die Grundwassereinmündung auf dieser Strecke nicht. Selbst vom linksseitigen Ufer aus läßt sich beobachten, wie an der Stelle der Ausweitung des Tales die Kiesbänke am rechtsseitigen Flußufer frei von Schnee bleiben. Bei näherem Zusehen können wir die Grundwasseraufstöße aus dem Kiese rieseln sehen. Das Wasser tritt hier mit weniger Kraft und in weniger starken Bächen zu Tage, als wir oberhalb Ellikon beobachten und durch die photographische Platte festhalten konnten (Abb. 12). Dafür sind aber die Aufstöße auf der ganzen Strecke von etwa 120 m gleichmäßig zu einem ununterbrochenen Streifen längs des Rheinufers verteilt.

Die Grundwassermündung war schon vor Einleitung des Kraftwerkstaues in der beschriebenen Form sichtbar. Die Beschreibung, die ich auf Seite 61 der Grundwasservorkommnisse im Jahre 1918 veröffentlicht hatte, bezieht sich auf einen Zeitpunkt mit ungestautem Rhein. Nachdem das Werk in Betrieb gesetzt war, hatte ich die Austrittsstelle mehrmals begangen. Eine auffallende Verstärkung der Aufstöße konnte ich dabei nicht beobachten, obwohl der Schotter des alten Tales von 600 m oberhalb des Wehres an auf eine Strecke von etwa 2 km überstaut wird. Die *Überstauung* des Wasser führenden Schotters bei einer Stauhöhe von 12 m und einer Sickerlänge von 1,4 km hat also *keine besonders auffallende Vermehrung der Grundwasserführung* zur Folge gehabt. Unter Sickerlänge verstehen wir hier die Strecke zwischen Grundwasseraustritt und dem nächsten Punkte des überstauten Schotters.

d) Mündung des Glatgrundwasserstromes.

In der Karte ist auch auf der linken Rheinseite eine Reihe von Grundwasser-

aufstoßen verzeichnet. Begehen wir bei niedrigem Wasserstande das Rheinufer, so können wir linksseitig die anstehende Molasse bis ca. 300 m unterhalb des Stauwehres verfolgen, dann kommen wieder die Schotter in der bekannten Ausbildung. Wir werden im nächsten Kapitel die Zugehörigkeit dieses Aufschlusses zum entsprechenden Grundwasserstrom des untern Glattales nachweisen.

Der letztere äußert sich auch in Form einer Grundwassermündung; die Aufstöße am linken Rheinufer verteilen sich auf eine Länge von einigen hundert Metern.

e) Unterstes Teilstück des Rheingrundwasserstromes.

Wie aus den Aufschlüssen am Rheinufer entnommen werden kann, schiebt sich unterhalb der Einmündung bei Herdern der Grundwasserstrom wieder mehr gegen das Zürcher Ufer. Die Breite reduziert sich hier wesentlich und zwar deshalb, weil hier wieder der Malmkalk als anstehendes Gestein kommt, in welchem auch der alte Rhein nur ein schmales Tal einzugraben vermochte.

Bei Kaiserstuhl verläßt der Grundwasserstrom das Gebiet des Kantons Zürich. Mit unverminderter Stärke und mit vielen analogen Grundwasserausmündungen, sowie größeren und kleineren Abweichungen vom heutigen Flußlauf zieht sich unser unterirdisches Gewässer über die Landesgrenze bei Basel hinaus, um sich in der oberrheinischen Tiefebene noch einmal zu gewaltigem Ausmaß zu entfalten.

IV. Der Grundwasserstrom des untern Glattales.

A. Allgemeine Orientierung.

Die vorstehend erwähnte Grundwassereinmündung vom linken Rheinufer unterhalb der Glattmündung kann nach seiner Lage, resp. der Verteilung des anstehenden Felsens zu schließen, nur einem Tale angehören, das als analoge Erscheinung zu dem Grundwasser führenden Urstromtal des Rheines aus dem Glattal aufgefaßt werden muß. Tatsächlich begegnen wir längs der Glatt denselben geologischen Verhältnissen, wie auf der Strecke Rheinsfelden-Schaffhausen, dadurch gekennzeichnet, daß zu unterst der alte, teilweise verkittete Schotter bis unter die Flußsohle reicht, überlagert zunächst von jüngerem Schotter, der weiter talaufwärts durch Endmoränen und Bedeckung mit Grundmoräne abgelöst wird. Ich verweise auf die Darstellung im schematischen Längenprofil von Abb. 19.

B. Hydrologische Anhaltspunkte bei Glattfelden.

1. Querprofil durch den Grundwasserstrom.

Schon auf Seite 14 wurde als Abb. 5 ein Profil durch das Glattal etwa 900 m oberhalb des Dorfes Glattfelden dargestellt, wie es sich aus einer Anzahl im Jahre 1907 ausgeführten Tiefbohrungen rekonstruieren ließ. Wir haben hier den einzigen Fall eines ziemlich vollständig durch Bohrungen erschlossenen Querprofils durch ein Urstromtal.

Der Querschnitt des mit Grundwasser aufgefüllten Schotter bestimmt sich hier zu etwa $14,000 \text{ m}^3$, die maximale Tiefe zu 21 m. Die Glatt hält sich in diesem Profil ganz an das linke Ufer des alten Tales, und schließt direkt die anstehende Molasse auf. Als Grundwasserträger wurde der alte, teilweise verkittete Schotter angetroffen, der lockere Schotter der letzten Eiszeit (siehe auch Längensprofil

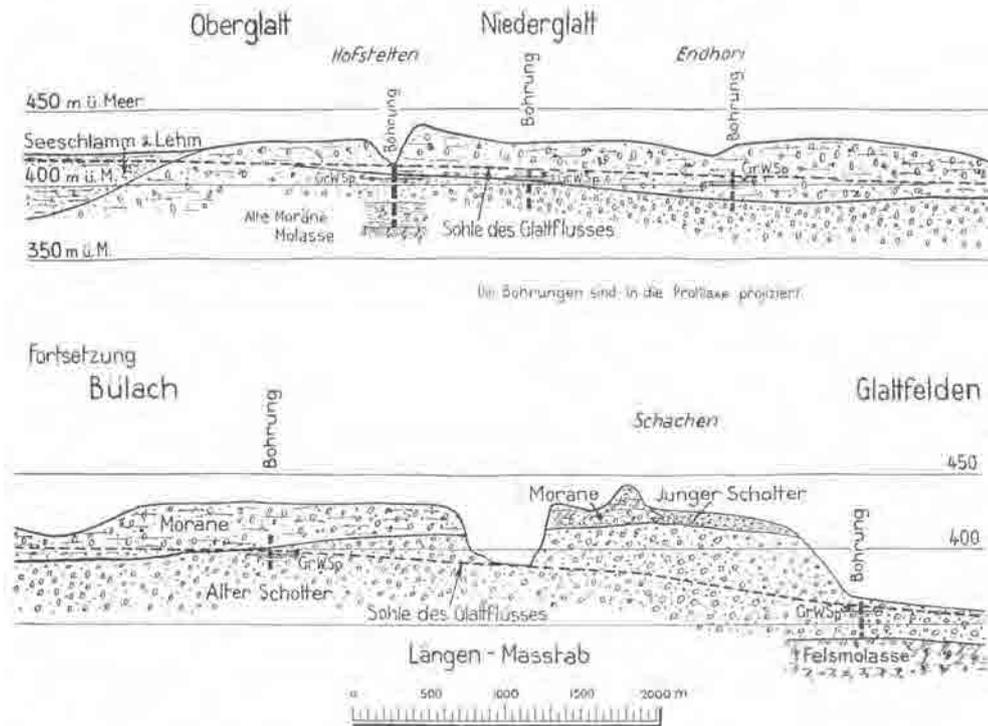


Abb. 19. Schematisches Längensprofil durch das Glattal von Glattfelden bis Oberglatt, mit Angabe der Spiegel von Glatt und Grundwasser.

von Abb. 19) setzt nur die oberste Terrasse zusammen. Die Oberfläche der letzteren liegt nicht weniger als 40 m über dem Grundwasserspiegel.

2. Grundwasserfassung der Gemeinde Glattfelden.

Als vor etwa zehn Jahren die Gemeinde Glattfelden in die Lage kam, den Wasserbedarf aus dem Grundwasserstrom zu decken, mußte es nahe liegen, eine Stelle nahe jenem Profil für eine Grundwasserfassung zu wählen. Natürlich konnte nur der linksseitige Abschnitt in Betracht kommen, gegen rechts hin war die zunehmende Überdeckung der Erschließung hinderlich.

Die Brunnenbohrung wurde bis zu 20,63 m Tiefe vorgetrieben, ohne daß dabei die Sohle des Schotter erreicht wurde. Der Grundwasserspiegel lag bei 5,63 m und zwar am 6. August 1921, also in einem Zeitpunkt mit ganz extremem Niedrigwasserstande. In den Brunnenplänen sind folgende Erträge mit den zugehörigen Absenkungen angegeben:

Ertrag	560	Minutenliter	bei	0,33	m	Absenkung
„	1590	„	„	1,02	m	„
„	1700	„	„	1,22	m	„

3. Aufstöße westlich von Glattfelden (Hungerbrünneli).

Im untersten Teilstück des tiefsten Talbodens beim Letten mutet uns der sumpfige Charakter des Gebietes etwas sonderbar an, wenn wir bedenken, daß wir ganz im Bereich des alten Tales, also im durchlässigen Schottergebiete uns befinden. Die Ursache dieser Erscheinung kann nur darin gesucht werden, daß der Grundwasserspiegel nahe an den Talboden, an den tiefsten Stellen sogar *über* denselben kommt. Es bilden sich sogar einzelne typische Quellbäche, die sich zu einem Wasserlauf von einigen tausend Minutenlitern vereinigen.

Etwas weiter talaufwärts, ca. 1 km westlich Glattfelden, steht in der topographischen Karte (Bl. 36) die Bezeichnung „Hungerbrünneli“ innerhalb des Talbodens. Als *Hungerbrunnen* bezeichnet man allgemein *eine Quelle, die nur in sehr niederschlagsreichen Perioden Wasser abgibt*, also in Zeiten, die Mißernten zur Folge haben. Nach dieser Definition verstehen wir ohne weiteres, daß der Name einige hundert Meter oberhalb der konstanten Aufstöße eingetragen ist, nur ganz hohe Grundwasserstände können so weit talaufwärts vorübergehend noch Grundwasseraufstöße ins Leben rufen.

4. Abweichung zwischen Grundwasserstrom und Glattal.

Auf dem letzten Teilstück vor der Vereinigung mit dem Rheingebiet ließ der wechselvolle Werdegang der Natur verschiedene interessante Züge im Charakter der Landschaft entstehen.

Verfolgen wir z. B. die Glatt von Glattfelden an abwärts, so ändert sich 1,5 km unterhalb des Dorfes bei der Fabrik Letten der Charakter des Tales ganz unvermittelt, der breite Boden hört auf, der Fluß benützt als Ablauf ein schluchtartiges, in Molassefels eingeschnittenes Tal, welches in dieser Form bis zum Rhein reicht. Der Unterlauf der Glatt, die Mündung in den Rhein inbegriffen, ist eine typische *epigenetische* Strecke.

Beim Letten erscheint an der Glatt der anstehende Fels zuerst am rechten und erst weiter talabwärts auch am linken Ufer; schon daraus geht hervor, daß das alte Tal links der Glatt verlaufen muß. Diese Auffassung wird in glänzender Weise durch die topographische Gestaltung des Bodens bestätigt, die auch in der Siegfriedkarte deutlich zum Ausdruck kommt (Blatt 26, siehe auch meine geol. Karte der Umgebung von Kaiserstuhl). Der tiefste Talboden beschreibt beim Letten eine deutliche Ausbuchtung in der Richtung gegen den Rhein. Es scheint, als hätte die Glatt zur Zeit, als sie sich bereits im Felsbett festgelegt hatte, mit verzweifelten Anstrengungen versucht, durch den Schotter des alten Tales zum Rheine vorzudringen. Der Versuch blieb aber resultatlos.

5. Doppelmündung der Glatt.

Der weitere Verlauf des Grundwasserstromes links außerhalb der Glatt wird auch durch eine Reihe von Schotteraufschlüssen gekennzeichnet. Auf diesen Spuren

kommen wir zu der *Grundwassermündung unterhalb Rheinsfelden*, auf die wir schon auf Seite 35 hingewiesen haben.

Die Gegend von Rheinsfelden präsentiert uns also das seltene Schauspiel einer Doppelmündung. Zu der epigenetischen Mündung der oberirdischen Glatt kommt etwa 400–500 m unterhalb noch die Vereinigung des Rheines mit der unterirdischen Komponente des Glattales.

Vergegenwärtigen wir uns das Ausmaß des Grundwasserquerschnittes bei Glattfelden mit 14,000 m², das Gefälle zu nahezu 1 ‰, so wird an der Mündung die Grundwasserführung ohne Zweifel einen ganz erheblichen Bruchteil der 2 sek/m³ betragenden Niederwassermenge der oberirdischen Glatt ausmachen. Eine Schätzung der Grundwasserführung mit etwa 1 sek/m³ dürfte wohl nicht zu optimistisch angenommen sein.

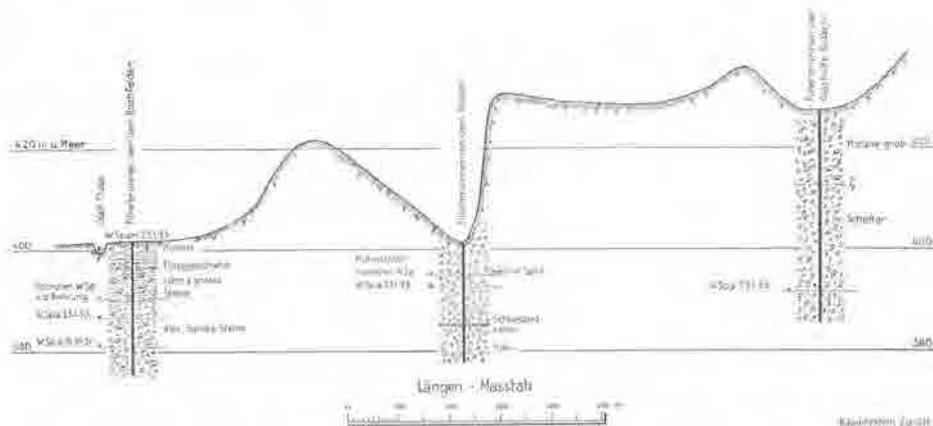


Abb. 20. Querprofil durch das Glattal bei Hochfelden-Bülach.

C. Strecke Station Glattfelden bis Oberglatt mit den zugehörigen Fassungen.

Folgen wir von Glattfelden an dem Einschnitt der Glatt talaufwärts, so können wir an den steilen Hängen den stark verkitteten Schotter an überhängenden Felswänden beobachten, besonders auffallend längs dem Werkkanal.

Die Überlagerung besteht, wie in unserem Längenprofil von Abb. 19 dargestellt wird, zuerst aus jungem Schotter. Bei Schachen links, resp. der Station Glattfelden rechts, folgt zunächst die große Endmoräne der letzten Vergletscherung und weiter talaufwärts die allgemeine Moränenbedeckung, stellenweise mit stark lehmiger Ausbildung. Besonders deutlich sehen wir den Schotter-Moränenkontakt in der Kiesgrube an der Straße Bülach-Hochfelden aufgeschlossen. Wie aus dem Längenprofil von Abb. 19 hervorgeht, liegt bei Höri die Sohle der Glatt über dem Kontakt, d. h. die Glatt fließt ganz im Bereich der Moräne.

Auch in dieser Zone der Moränenbedeckung schließen eine Reihe von Fassungen den Grundwasserstrom auf; als besonders wichtig seien genannt:

I. Fassung der Glashütte Bülach.

Die Bohrstelle liegt beim Bahnhof Bülach im typischen Endmoränengebiet

einige zehn Meter hoch über dem Flußniveau. Dementsprechend wurde dann auch der Grundwasserspiegel erst in einer Tiefe von 36 m erreicht.

Die Brunnenanlage ist in Abb. 20 (rechts) dargestellt als Beispiel für einen sehr tiefen Brunnen. Der oberste Teil des Bohrprofils bestand aus Moräne, der untere Teil aus altem, etwas verkittetem Schotter, dessen Liegendes noch nicht erreicht wurde.

Die Pumpenanlage wurde für eine Entnahme von 380 Minutenliter eingerichtet.

2. Fassung der Gemeinde Bülach.

Als es sich darum handelte, eine Grundwasserfassung für die Gemeinde Bülach zu disponieren, mußte natürlich in erster Linie versucht werden, innerhalb des Grundwasserstromes eine Stelle zu finden, welche den Grundwasserspiegel mit einem möglichst wenig tiefen Schacht erreichen ließ. Es mußte deshalb nahe liegen, mit der Fassung mehr gegen die tiefer gelegenen Gebiete, also näher an die Glatt zu rücken. Andererseits mußte aber möglichst an Länge der Anschlußleitung an das Dorfnetz gespart werden. Aus diesen sich vollständig diametral gegenüber stehenden Erwägungen wurde als vorteilhafteste Lösung ein Punkt an der Straße nach Hochfelden gewählt (siehe Karte) und zwar auf der Nordseite der Straße am Waldrand. Die geologisch-hydrologischen Verhältnisse lassen sich in die folgenden Punkte zusammenfassen:

- Terrainhöhe 401,35 m
- Schachtvertiefung bis 394,70 m
(vorwiegend Moräne mit lehmigen Einlagerungen).
- Grundwasserspiegel bei 393,00 m
- Grundwasserträger erbohrt bis 378,30 m.
(Meistens grober Kies mit einigen mehr sandigen Schichten).

Bei Kote 378,30 m war die Sohle des Schotters noch nicht erreicht (siehe Abb. 20 Mitte).

Beim Pumpversuch konnte die geförderte Wassermenge bis zu 1500 Minutenliter gesteigert werden. Der Gemeinde wurde das Recht zur Entnahme von 1400 Minutenliter aus dem Brunnen verliehen.

Auffallend ist die tiefe Lage des Grundwasserspiegels 6–8 m unter dem Spiegel der Glatt im gleichen Profil; dasselbe gilt übrigens auch für die Fassung bei der Glashütte. Ursache dieser Divergenz der Wasserspiegel scheint in der besonderen Gestaltung des Längenprofils der Glatt zu liegen. Der Grundwasserspiegel macht das starke Gefälle des Flusses auf der Strecke von Hochfelden bis Glattfelden nicht mit, sondern gleicht den Höhenunterschied auf eine längere Strecke aus.

Noch tiefer stellt sich der Grundwasserspiegel bei der Fassung Hochfelden nahe dem rechten Ufer der Glatt ein, ebenso überraschen die großen Niveaudifferenzen des Grundwasserspiegels. Da ich mich mit diesem Falle nicht selber be-

schäftigt hatte, bin ich nicht in der Lage, eine Erklärung für die Ursache der Erscheinung zu geben.

3. Wasserfassung Höri.

Viel zu reden gab seinerzeit die Fassung für die Wasserversorgung Höri, die in verschiedener Hinsicht allgemeines Interesse verdient.

Es mußte auf Grund der vorstehenden geologischen Erwägungen angenommen werden, daß unter der lehmigen Grundmoräne, die in der Umgebung von Nieder- und Endhöri mehrfach aufgeschlossen ist, der alte Schotter mit seinem Grundwasserstrom durchgehe. Auf Grund dieser Überlegung durfte man es wagen, als Bohrstelle einen Punkt auf dem tiefsten Boden, nur wenig über dem Spiegel der Glatt zu wählen. Wie aus Abb. 21 hervorgeht, bestimmte sich die Mächtigkeit der

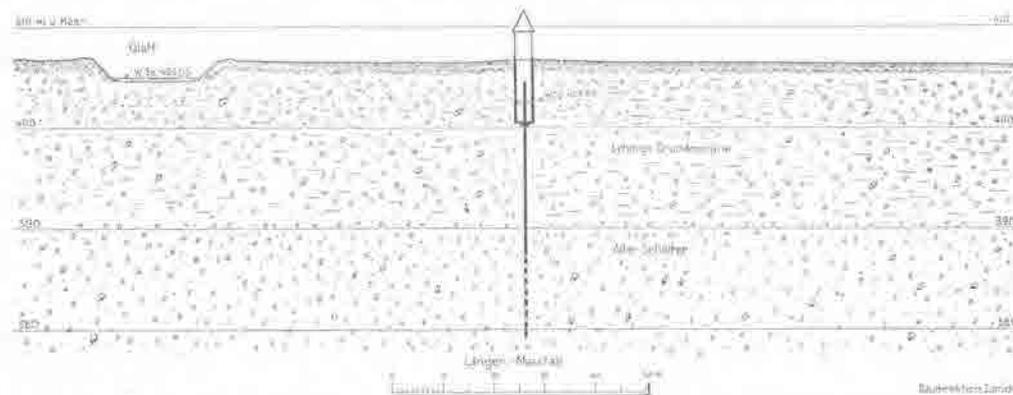


Abb. 21. Profil der Grundwasserbohrung bei Höri (Abdeckung des Grundwassers führenden Schotters durch lehmige Moräne; artesischer Auftrieb).

Überlagerung in Form einer ausgesprochenen lehmigen Grundmoräne zu über 15 m. Dann kam endlich der sehnlichst erwartete Schotter mit artesisch gestautem Wasser. Aus der Darstellung von Abb. 21 ergibt sich ein Auftrieb von ca. 11 m, d. h. das im Schotter bei Kote ca. 391 m angetroffene Grundwasser wird bis zu Kote 402.09 aufgetrieben. Die Pumpenanlage konnte unter solchen Umständen auf das durch natürlichen Auftrieb bestimmte Niveau, nicht weniger als 12 m über dem eigentlichen Grundwasserträger, eingestellt werden.

Bei diesen Lagerungsverhältnissen kann natürlich die Lage der Fassungsstelle nahe an der Glatt die Qualität des Wassers nicht schädigen; der mächtige Moränenabschluß zerstreut ohne weiteres alle Bedenken wegen Verunreinigung des Wassers durch den Fluß.

Die Ablösung zwischen Glatt und Grundwasserstrom ergibt sich übrigens auch aus dem Niveauunterschied der beiden Wasserspiegel (2,36 m).

Der Wasser führende Schotter wurde bis zu einer Tiefe von ca. 30 m erschlossen, was einer Mächtigkeit von etwa 14 m entsprechen würde; dabei war aber die Sohle des Schotters nicht erreicht.

Der Filterbrunnen repräsentiert uns also ein typisches Beispiel für eine Fassung mit artesisch gespanntem Wasser.

Der alte Schotter muß vor oder während der letzten Eiszeit bei Hörj bis tief unter das Niveau des heutigen Grundwasserspiegels erodiert und der Raum beim äußersten Vorstoß des Gletschers wieder mit lehmiger Grundmoräne ausgefüllt worden sein.

4. Fassung der Gemeinde Niederglatt.

Auch bei der Anlage der Fassung für die Wasserversorgung Niederglatt hatte man die Nähe der Glatt nicht gescheut, weil die Abdeckung des Schotter mit Moräne angenommen werden mußte. Der heute vorliegende Brunnenplan enthält über die Lagerungsverhältnisse keine genauen Angaben, ich konnte aber meinem diesbezüglichen Gutachten vom 9. II. 1909 die wichtigsten Daten entnehmen. Es ergibt sich so folgendes Bild:

Terrainhöhe	415,18 m
Moränenbedeckung in Form von typischer Grundmoräne (Lehm mit Geröllen) 8,3 m, also bis Kote	406,88 m
Schotter bis Kote ohne die Sohle zu erreichen.	400,18 m
Grundwasserspiegel	406,00 m.

Der Spiegel des Grundwassers liegt also auch hier wesentlich tiefer als die in unmittelbarer Nähe vorbei fließende Glatt (ca. 6 m). Vergleichende Analysen von Glatt- und Grundwasser der Fassung hatten schon im Jahre 1909 durch die großen Unterschiede in der Härte die trennende Wirkung der Grundmoräne sehr überzeugend erwiesen.

Da bei der Tiefenlage des Grundwasserspiegels ca. 9 m unter Terrain die Ausführung eines Pumpversuches mit gewissen Schwierigkeiten verbunden war, hat man es gestützt auf die erschlossene Mächtigkeit des Grundwasserträgers gewagt, das Werk auszubauen, ohne vorherige Bestimmung des Ertrages.

Das Pumpwerk der Gemeinde Niederglatt entnimmt den Brunnen 1200 Minutentliter. Dabei ist noch zu bemerken, daß es sich bei Niederglatt nicht um eine Ergänzungsanlage zu einer Quellwasserzuleitung, wie dies sonst überall der Fall ist, sondern um die einzige Speisung des Netzes handelt.

Vor etwa sechs Jahren hatte ich Gelegenheit, eine weitere Bohrung an einem Punkt etwa 100 m oberhalb der Eisenbahnbrücke über die Glatt bei Niederglatt ansetzen zu lassen, mit folgendem Resultate:

Terrainhöhe (ungefähr Niveau der Glatt)	417,75 m
0— 3,50 m	Lehm
3,50— 4,70 m	Lehmiger Kies
4,70—13,80 m	Kies und Sand
13,80—15,50 m	Kies mit feinem Sand
15,50—20,10 m	Feiner Sand
20,10—22,00 m	Grober Sand mit Kies
22,00—29,00 m	Feiner Sand gemischt mit grobem Sand, nach unten lehmig
29,00—30,00 m	Molassesandstein.

Grundwasserspiegel bei 8 m Tiefe.

Ertrag ca. 1300 Minutenliter.

Auch hier sehen wir also den Grundwasserspiegel noch tief unter die Glatt abgesenkt.

Eigentümlich ist ferner bei dieser Bohrung, daß bei -20 m der eigentliche Wasser führende Schotter durch Schlammseindeinlagerungen in der Durchlässigkeit stark herabgesetzt wird. Bei -29 m kam sogar die Molasseunterlage zum Vorschein. Immerhin dürfte damit noch nicht der tiefste Punkt des alten Tales erschlossen sein, indem die Bohrstelle der linken Uferzone des Tales angehört.

V. Die Grundwasserbecken des mittleren und oberen Glattales.

A. Allgemeine Orientierung.

Wie aus dem Längenprofil Abb. 19 hervorgeht, ändert bei Oberglatt unvermittelt der Charakter der Landschaft vollkommen. Die unruhige Moränenlandschaft, die in den Profilen von Abb. 19 und 20 deutlich zum Ausdruck kommt, hört bei Oberglatt auf. Es legt sich hier eine Endmoräne (Schliererstadium) quer durch das Tal, und im Zungenbecken breitet sich eine ehemals sumpfige Ebene mit einer Breite von 3 km aus.

Mit der Topographie ändert auch die Zusammensetzung des Bodens vollkommen. Eine Bohrung oberhalb Oberglatt hat einige zehn Meter tief nur weiche Seebodenlehme, aber keinen Schotter mehr erschlossen. Im Querprofil bei Rüm- lang haben drei über die ganze Breite des Talbodens verteilte Bohrungen bis zu Tiefen von ca. 45 m nur die Seebodenlehme feststellen lassen.

Wir müssen uns die geologischen Vorgänge, welche die Grundwasserführung hauptsächlich bestimmt haben, etwa wie folgt vorstellen:

Im Talboden selbst sind die alten Schotter, die wir auf der Strecke von Glattfelden bis Oberglatt nachgewiesen haben, der Erosion der letzten Interglazialzeit und besonders der letzten Eiszeit zum Opfer gefallen, aber nur bis zur Endmoräne von Oberglatt-Hofstetten. Bis hierher reichte also der besonders radikal wirkende Gletschervorstoß.

Beim Rückzug des Gletschers von der Endmoräne mußte sich in dem vom Eise geräumten Zungenbecken ein See bilden. In der Folge wurde der Moränen-see schon während der spätem Phasen der letzten Vergletscherung durch Gletscherschlamm vollständig ausgefüllt.

Oberhalb von Oberglatt stehen wir deshalb im Bereich des Talbodens ganz im Zeichen von unproduktivem Seebodenlehm. Einige lokale jüngere Schotterablagerungen werden wir in einem späteren Kapitel noch besprechen.

Sehen wir uns aber an den Hängen um, welche den Talboden einschließen, so begegnen wir wieder an zahlreichen Stellen unserem bekannten Schotter, der auch hier meistens durch lehmige Moräne der letzten Eiszeit überlagert wird.

Unsere Karte verzeichnet im mittleren Glattal, also oberhalb der Endmoräne von Oberglatt, eine ganze Anzahl von Flächen, welche aus altem Schotter bestehen, es sind:

1. Der linksseitige Streifen von Rümlang-Oberglatt.
2. Gebiet von Seebach.
3. Das Plateau von Wallisellen-Opfikon-Dietlikon-Holberg (Kloten).
4. Rechtsseitiges Plateau von Baltenswil-Wangen-Volketswil.

Die Parzellierung der ohne Zweifel früher zusammenhängenden Schottermasse in isolierte Reste kann nur die Folge der bereits erwähnten, bis nach Oberglatt reichenden Durchtalung sein. Neben dem eigentlichen Glattal bildete sich damals auch noch das Tal von Bassersdorf-Kloten, welches das Plateau von Brüttisellen-Volketswil abtrennte (siehe schematisches Querprofil Abb. 25).

Die sonderbare geologisch-hydrologische Eigenart dieser einzelnen Schotterreste läßt sich am besten an den einzelnen Gebieten selbst ableiten.

B. Schottergebiet von Rümlang.

1. Verbreitung des Wasser führenden Schotters.

Als untersten sicheren Anhaltspunkt des Schottergebietes von Rümlang verzeichnen wir die kleine Kiesgrube unmittelbar westlich des Bahnüberganges (700 m südlich Station Oberglatt), in Form von teilweise verkitteten Kiesen. Folgen wir der Landstraße Richtung Rümlang, so schließt halbwegs zwischen Oberglatt und Rümlang eine weitere Kiesgrube den Hang auf, in normalen Lagerungsverhältnissen, d. h. Schotter unter einer Moränenbedeckung von einigen Metern Mächtigkeit. Die in der Nähe der Kiesgrube abgeteufte Brunnenbohrung für die Wasserversorgung Oberglatt hat den Schotter bis zu 10,70 m unter dem Grundwasserspiegel erschlossen.

Vor dem Dorfe Rümlang sehen wir das Schotterplateau gegen den Talboden hinausbiegen; hier schließen uns wieder vier Kiesgruben den Schotter auf, überall mit Moränenbedeckung und stellenweise mit starker Verkittung zu Nagelfluhe. (Kiesgrube „Hohlsträß“ unmittelbar westlich des Dorfes.) Bei der Grube des Staates im „Boll“, 0,7 km nordwestlich Station Rümlang, tritt unter dem Schotter die ansteigende Molasseunterlage als linkes Ufer der Schotteranfüllung zu Tage. Eine weitere tiefe Kiesgrube schließt den Schotter 800 m südlich der Station Rümlang auf.

2. Wichtigste Überlaufquellen.

Wenn wir die vorstehenden Erhebungen über die Verbreitung des Schotters zu einem Querprofil zusammenstellen, so ergibt sich in schematischer Darstellung die Abb. 22. Die Lagerungsverhältnisse werden also dadurch gekennzeichnet, daß der Wasser führende Schotter *unter* das Niveau des Talbodens herabreicht. Da der Schotter weder talabwärts noch aufwärts eine Fortsetzung hat, muß das Grundwassergebiet ein geschlossenes Becken darstellen; es liegt also hier diejenige Erscheinung vor, die wir als *Grundwasserbecken* bezeichnen.

Die mit dem Grundwasserbecken zusammenhängenden Quellen sind Überläufe, d. h. das Wasser staut sich im Schotter so hoch auf, bis es einen Ausweg auf dem vorgelagerten Talboden findet; natürlich am ehesten an solchen Stellen, wo die vorgelagerte Moränendecke durch Erosion zufällig abgetragen wurde. Wie aus dem Profil von Abb. 22 hervorgeht, muß hier von *Überfallsquellen* gesprochen werden, indem das Auslaufniveau, resp. der *Quellenhorizont* wesentlich über der undurchlässigen Sohle des Grundwasserträgers steht; maßgebend für die Höhenlage ist lediglich nur die Kote der stauenden Vorlagerung. Dazu gehört zunächst

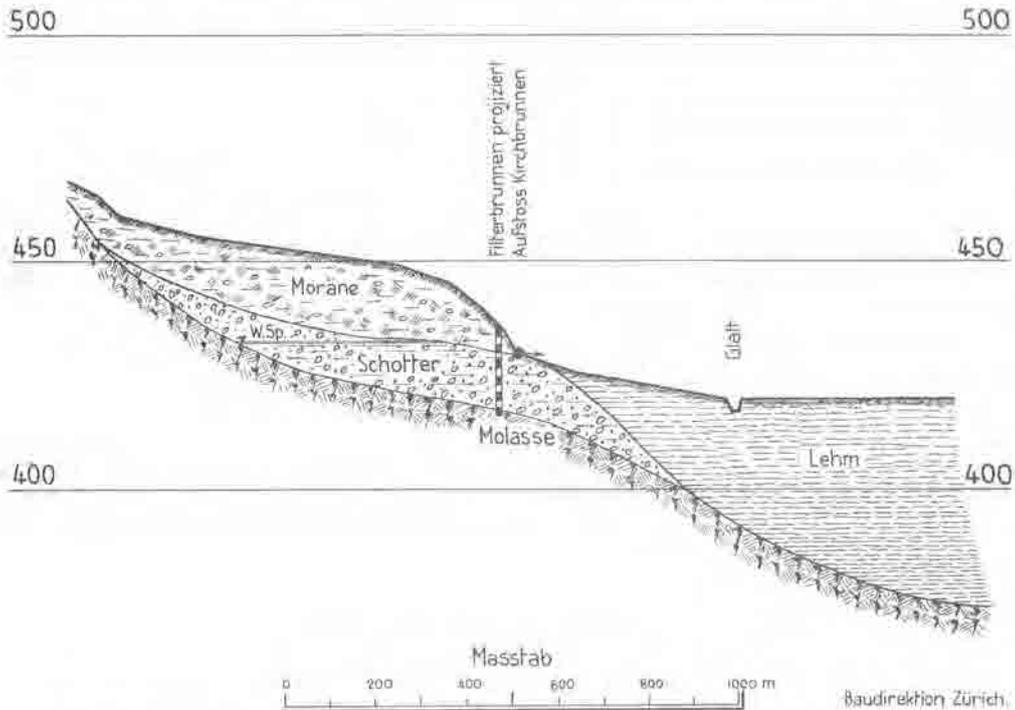


Abb. 22. Schematischer Querschnitt durch das kleine Grundwasserbecken bei Rümlang (Wasserfassung der Gemeinde Rümlang).

ein Aufstoß nahe der Grundwasserfassung Oberglatt (Nördlicher Ring der Karte). Am Fuße des Hanges treten hier über hundert Minutenliter auf den Talboden ans.

Als weitaus interessanteste Überfallsquelle unseres Schottergebietes nennen wir aber den

3. Kirchbrunnen von Rümlang,

der in verschiedener Hinsicht einzig in seiner Art dastehen dürfte (Abb. 23).

Das Wasser dieses ehrwürdigen Brunnens fließt nicht, wie wir dies bei gewöhnlichen Brunnen zu sehen gewohnt sind, aus einer Röhre zu, sondern es ergießt sich ein Aufstoß direkt in den umfangreichen mehrteiligen Brunnentrog. Eine eigentliche Fassung besteht also nicht.

Ich schätze den Ertrag bei höherem Wasserstande zu etwa 300 Minutenliter. Ohne Zweifel bildete die Quelle den Kern für die Dorfsiedlung.



Phot. Dr. J. Hug

Abb. 23. Der Kirchbrunnen in Rümlang (natürlicher Aufstoß in den Brunnentrog).
F = Mauer des Friedhofes.



Abb. 26. Kiesgrube am Hohlberg bei Kloten, alte verkittete Schotter mit Überlagerung von
lehmiger Moräne.

Die hygienischen Verhältnisse der Quelle haben zu wichtigen Schlußfolgerungen Anlaß gegeben, die auch für die allgemeine Hygiene nicht ganz ohne Belang sind¹⁷⁾.

Unmittelbar oberhalb der Quelle hat nämlich der Friedhof seinen Platz gefunden, und zwar so, daß nach den Gefällsverhältnissen zu schließen, das Wasser unmittelbar vor dem Zutritt zur Fassung resp. zum Brunnen direkt unter der Friedhofmauer austritt. Zwischen Friedhof und Austrittsstelle liegt nur die Straße, das F. der Abb. 23 deutet die Lage der Friedhofmauer an.

Bei dieser Situation würde man nach den landläufigen Ansichten ein hygienisch sehr stark verunreinigtes Wasser erwarten. Die vorliegenden Untersuchungen beweisen aber das direkte Gegenteil:

	Keimzahl per cm ³	Colifiter
Probe I (bei mittlerem Wasserstand)	5	über 10 cm ³
Probe II (bei hohem Wasserstand)	19	über 10 cm ³

Selbst die Colireaktion fiel also sehr günstig aus, besonders wenn wir berücksichtigen, daß eigentlich eine schützende Fassung fehlt. Der Brunnen hat übrigens während Jahrhunderten das Dorf mit Trinkwasser versorgt, ohne daß meines Wissens daraus Nachteile für die Gesundheit der Leute sich bemerkbar gemacht hätten.

Die Verhältnisse beim *Kirchbrunnen Rümliang* dürften dazu beitragen, mit der *abergläubischen Furcht vor der Verunreinigung des Grundwassers durch Friedhöfe endgültig aufzuräumen*.

Diese Auffassung wird auch durch eine Reihe medizinischer Erwägungen bestätigt.

4. Grundwasserfassungen von Rümliang und Oberglatt.

Unsere Karte verzeichnet im Grundwasserbecken von Rümliang zwei Konzessionen.

Als ich die Frage der Erweiterung der *Wasserversorgung Rümliang* zu studieren hatte, waren natürlich aller Augen auf den Kirchbrunnen gerichtet, der während Jahrhunderten als unversiegbarer Wasserspender vorzügliche Dienste geleistet hatte.

Wenn nun aber doch eine neue Fassung angelegt werden mußte, so lag es nahe, dafür eine Stelle außerhalb des Dorfes in Aussicht zu nehmen. Da bei dem Beckencharakter des Gebietes ein horizontaler Verlauf des Grundwasserspiegels anzunehmen war, mußte im Interesse einer nicht zu tiefen Erschließung des Grundwassers eine Stelle nahe dem Fuße des Hanges gewählt werden. Die Resultate der Bohrung, die einige Hundert Meter nördlich des Dorfes an der Straße nach Oberglatt abgeteuft wurde, sind laut Brunnenplan von Ing. A. Guyer, Winterthur:

¹⁷⁾ J. Hug. Untersuchungen über die Beeinflussung von Wasserfassungen durch Friedhöfe. Bull. des Ver. schweiz. Gas- und Wasserfachmänner, Heft 9, 1927.

- 0— 8,50 m Lehmige Moräne
- 8,50—10,65 m Nagelfluh etwas lehmig
- 10,65—12,00 m Kies und Sand
- 12,00—13,50 m Lehm
- 13,50—14,00 m Molassefels.

Grundwasserspiegel bei —4,54 m.

In der verhältnismäßig geringen Tiefenlage der Molassesohle äußert sich natürlich die Nähe des Ufers der Schotterauffüllung.

Die Gemeindewasserversorgung Rümliang entnimmt dem Brunnen 500 Minutenliter.

Wesentlich komplizierter gestalteten sich die Vorarbeiten für die Wasserversorgung Oberglatt. Wir erinnern an die Ausführungen Seite 42, wonach das Dorf selbst auf einem breiten Endmoränengürtel liegt (Abb. 19), am obersten Rande der Schotterauffüllung des Talbodens.

Eine Bohrung erschien unter diesen Umständen in dieser Zone zu unsicher. Im südlich anschließenden Talboden mit seinem Seebodenlehm war von vornherein nichts zu erwarten, es blieb also nur noch die schmale gegen die Station Oberglatt gerichtete Ausstülpung des Grundwasserbeckens von Rümliang zur Ausnützung übrig. Eine erste Bohrung etwa 900 m südlich Station Oberglatt ergab zwar den Schotter, aber in einer zu wenig durchlässigen Form. Die zweite Bohrung ca. 300 m weiter südlich (siehe Ring der Karte) am Fuße des Hanges neben der Landstraße ergab ein ähnliches Profil wie die Brunnenbohrung Rümliang: Schotter unter Moränenbedeckung bis —10,70 m, dann noch ca. 70 cm lehmigen Kies auf Molasse lagernd. Grundwasserspiegel bei —7,00 m.

Die Gemeinde nützt hier 500 Minutenliter aus.

Neben der Fassung entspringt die bereits genannte Überfallsquelle.

C. Grundwasserbecken von Seebach.

1. Allgemeine Orientierung.

In noch viel ausgeprägterer Form kommt der Beckencharakter beim Schotterrest des Schulhauhügels von Seebach zum Ausdruck.

Ein direkter Zusammenhang mit dem Becken von Rümliang kann nicht angenommen werden; es geht dies deutlich aus der Verbreitung der anstehenden Molasse hervor, die sich im Raume zwischen Rümliang und Seebach sichtbar vom Tempelhof bis zum vorspringenden Sporn bei der Station Glattbrugg verfolgen läßt. Auch eine mehr westlich durchgehende Verbindung ist nicht denkbar. An der Halde von Köschentrüti-Bärenbohl-Katzenrüti schließt die Molasse ununterbrochen ab.

Über die Zusammensetzung des Hügels geben insbesondere zwei große Kiesgruben Aufschluß. Die eine liegt auf der Südseite bei der Station Seebach, die andere am Nordhang neben dem Schulhaus.

Unser Profil (Abb. 24) zeigt in der südlichen Kiesgrube zuerst einige Meter sandiger Moräne, die nur der letzten Eiszeit zugeteilt werden kann. Scharf ab-

gegrenzt folgt darunter ein teilweise zu löcheriger Nagelfluh verkitteter Schotter. Bei der hinteren Kiesgrube neben dem Schulhaus ist die Kontaktfläche dadurch gekennzeichnet, daß die Nagelfluh deutliche Spuren von Gletscherschliff aufweist. Der Schotter muß also zur Zeit des Gletschervorstoßes der letzten Eiszeit, welche die obere Moräne abgelagert hat, bereits verhärtet gewesen sein, also schon die Spuren des Alters aufgewiesen haben; er muß demnach älter sein als die letzte Eiszeit.

Als weitere Eigenart des untern Schotters fällt uns etwa in halber Höhe der Wand der Kiesgrube eine lehmige Schicht auf mit 3—4 m Mächtigkeit. Dieselbe Erscheinung beobachten wir auch in der nördlichen Grube, wo gekritzte Geschiebe den Moränencharakter der Schicht kennzeichnen. Es muß sich also ein Gletschervorstoß in die allgemeine Schotterablagerung eingeschaltet haben.

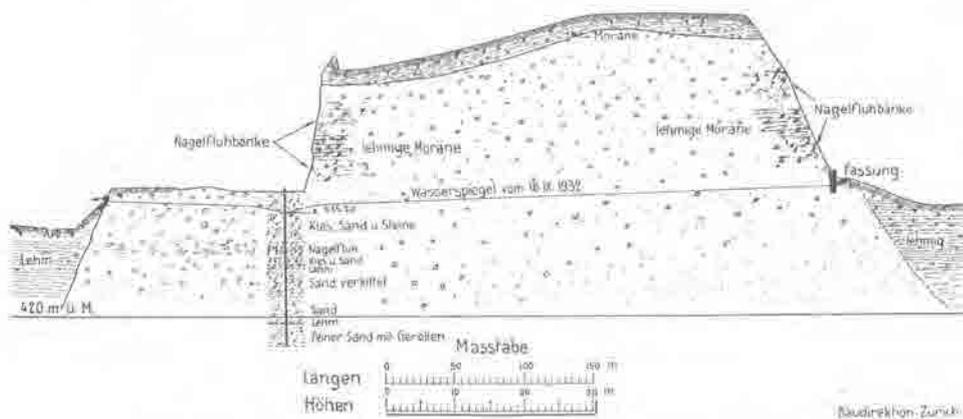


Abb. 24. Querprofil durch das Grundwasserbecken von Seebach.

Als weitere Aufschlüsse, welche den alten Schotter unter der Moräne erkennen lassen, nennen wir weiter:

- a) Die Kiesgrube am Ostende des Hügels an der Bahnlinie nach Schaffhausen.
- b) Verlassene Kiesgrube 1,2 km westlich der Kirche Seebach beim Hause Weid.

Im übrigen muß angenommen werden, daß der Fuß des Hügels die Grenze des Schotters bildet; eine Fortsetzung desselben in den umgebenden Talboden kann nicht erwartet werden. Als man seinerzeit etwa 100 m südlich unseres Hügels eine Kanalisation anlegte, kam bis zu 6 m Tiefe nur Lehm zum Vorschein. Dasselbe Material zeigte sich auch bei der Erstellung des Pumpwerkes (gegenüber der Bahnstation direkt am Fuße des Schotterhügels). Im Profil von Abb. 24 wird ferner angedeutet, daß der Lehm am Hang noch einige Meter über den Talboden sich hinaufzieht. Diese Erscheinung tritt übrigens bei der Umrandung der Grundwasserbecken sehr häufig auf. Alle Anzeichen deuten daraufhin, daß es auch beim Seebacherhügel sich um einen isolierten Rest der früher zusammenhängenden Schottermasse des Glattales handelt, der vorwiegend durch lehmige Moränen der letzten Eiszeit und Seebodenlehme eingefäßt wird.

2. Hydrologische Anhaltspunkte.

Auch hier kommt, wie aus unserer Darstellung von Abb. 24 hervorgeht, der Beckencharakter in den *Überfallsquellen* zum Ausdruck. Der Lehm des südlich vorgelagerten Talbodens bestimmt das Überlaufsniveau der Quellen.

Besonders bekannt ist der Überlauf auf der Südseite des Beckens, die sog. „Neubrunnenquelle“, die zu $\frac{1}{4}$ der Maschinenfabrik Oerlikon, zu $\frac{3}{4}$ der Gemeinde Seebach gehört. Im Herbst 1922 lieferte die Quelle 325 Minutenliter, während der Trockenperiode des Jahres 1921 sank der Ertrag bis auf 125 Minutenliter herab. Dazu kommt in unmittelbarer Nähe noch eine zweite kleine Quelle mit einigen zehn Minutenlitern (Tannenquelle).

Später wurde durch eine Kanalisation in der Seebacherstraße am Nordosthänge des Hügels eine neue Quelle, resp. das Grundwasserbecken angeschnitten. Ertrag im Herbst 1922 ca. 580 Minutenliter.

Von den drei Ringen, die in der Karte am Seebacherhügel eingetragen sind, bezeichnet der nördliche die *Quelle an der Seebacherstraße*, der südliche die *Neubrunnenquelle*.

Die Verwendung der Überfallsquellen war natürlich zufolge der großen Ertragsschwankungen sehr stark benachteiligt. Die Ironie des Schicksals läßt eben den niedersten Ertrag zeitlich ziemlich genau mit dem größten Bedarf der Wasserversorgung zusammenfallen.

Es mußte sich daher der Gedanke aufdrängen, eine Fassung zu disponieren, welche den Beckencharakter des Gebietes in geeigneter Weise auszunützen vermag, d. h. neben den Überfallsquellen auch das natürliche unterirdische Reservoir ausnützt.

3. Resultat der Sondierung.

Auf meinen Vorschlag hin wurde eine Sondierbohrung am Fuße der bergseitigen Wand der alten Kiesgrube bei der Station ausgeführt. Der Grundwasserspiegel wurde in einer Tiefe von 2,7 m erreicht; der Grundwasserträger in Form von Kies mit einzelnen Nagelfluhschichten wurde in einer Mächtigkeit von 8 m erschlossen, d. h. er ging bis zu 10,70 m Tiefe; darunter folgte Lehm, feiner, zu einer Art Sandstein erhärteter Schlammsand, feiner Sand mit einzelnen Geröllen und wieder Lehm, also alles undurchlässige Schichten.

Mit diesem Bohrresultat war die Voraussetzung für den Beckencharakter des Gebietes einwandfrei erwiesen. Eine Ausnützung des Schotterreservoirs kann aber offensichtlich nur dann wirtschaftlich sein, wenn das Grundwasser auf große Strecken hin von der Fassung aus herangezogen werden kann.

Um über diese Frage genügend Anskunft zu erhalten, wurden anschließend an die Ausführung der Bohrung nach Einsetzen eines Filterrolres in der Zeit vom 6. bis 16. September 1922 Pumpversuche durchgeführt mit periodischer Beobachtung der offensichtlich zum Grundwasserbecken gehörenden Überfallsquellen.

Ich entnehme den Ablesungen die folgenden Zahlen:

1922	Neubrunnen- Quelle	Quelle Seebacherstraße	Entnahme aus dem Bohrloch
	l/Min.	l/Min.	l/Min.
8. Sept. ¹⁸⁾	328	500	—
10. „	275	480	794
12. „	235	428	803
14. „	234	428	791
16. „	221	413	1003
18. „	259	428	739
21. „	280	444	765

Es versteht sich von selbst, daß die in der Nähe der Bohrstelle gelegene Neubrunnenquelle sofort auf die Entnahme aus dem Bohrloch reagiert, der Ertrag sinkt schon nach zwei Tagen um etwa 10 %. Im Verlauf des Versuches geht sie sogar bis auf 221 Minutenliter, also um 30 % zurück. Der hydrologische Zusammenhang zwischen Bohrstelle und Neubrunnenquelle geht aus diesen Zahlen klar hervor. Die Zunahme des Quellertrages gegen das Ende des Versuches rührt von der Reduktion der Entnahmemenge, zum andern Teil von den starken Regen des 12.—14. September her.

Bei der Quelle an der Seebacherstraße stellt sich die Reaktion wegen der größeren Entfernung in reduziertem Maße ein; die Abnahme des Ertrages um 17 % läßt den Zusammenhang aber doch außer allem Zweifel erscheinen.

Mit diesen Feststellungen ist einwandfrei der Beweis erbracht, daß *der ganze östliche Teil des Seebacherhügels zum eigentlichen Grundwasserbecken gehöre* und daß man sich auf die Dauer auf die Ausnützung des Reservoirs verlassen könne.

Auf Grund dieser hydrologischen Feststellung mußte es als möglich erachtet werden, durch Anlage eines Filterbrunnens an der Bohrstelle im ganzen östlichen Teil des Hügels bis zur Seebacherstraße den Grundwasserspiegel abzusenken. Damit mußten für die Fassung zwei verschiedene Vorteile erreicht werden:

a) Die künstliche Senkung des Grundwasserspiegels mußte neben den bekannten Überfallsquellen auch alle unsichtbaren und unfäßbaren Adern abschneiden, die ringsherum aus dem Becken abfließen. Es gilt dies besonders für die Nordostseite, wo eine kleine jüngere Schotterterrasse an den alten Schotter anschließt und so die Überläufe unsichtbar übernehmen kann.

b) Dazu kommt noch die Reserve des natürlichen Reservoirs. Nehmen wir die Reichweite der Fassung zu etwa 0,6 km² an, das Porenvolumen zu 30 %, so würde dies für jeden Meter des abgesenkten Grundwasserspiegels einen Reservoirzuschuß von nicht weniger als etwa 200.000 m³ Wasser ausmachen.

4. Ergebnisse der Fassung.

Die Ausnützung des Grundwasserbeckens von Seebach durch die neue Fassung hat sich im Laufe der Zeit tatsächlich im Sinne des vorstehenden Programmes entwickelt. An Stelle der früheren sehr stark schwankenden Erträge der Über-

¹⁸⁾ Vor Inbetriebsetzung der Pumpe.

laufquellen stand dauernd eine Wassermenge von 1500 Minutenliter zur Verfügung, die im Verhältnis von 2:1 zwischen der Gemeinde Seebach und der Maschinenfabrik Oerlikon geteilt wird.

Bei trockenen Zeiten kam es mehrfach vor, daß den sämtlichen Überläufen das Lebenslichtlein ausgeblasen wurde, bis die nächste Regenperiode durch Auffüllen des abgesenkten Reservoirs die Quellen zu neuem Leben erweckte.

Die neue Fassung von Seebach kann als typisches Beispiel für die Ausnützung eines Grundwasserbeckens durch eine vertikale Fassung gelten.

5. Qualität des Wassers.

Ich glaube auch noch mit einigen Worten auf die Qualität des Wassers eingreten zu müssen. Dabei kommt in erster Linie die kompakte, geschlossene Lagerung des alten Schotters zu Gute. Von Wichtigkeit ist ferner die starke Beimischung von Sand, ebenso die Überlagerung und Einlagerung von lehmigen Mo-

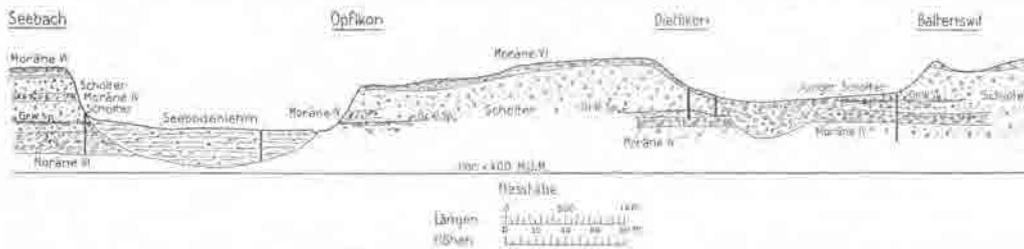


Abb. 25. Schematisches Querprofil durch die Grundwasserbecken des mittleren Glattales von Seebach über Opfikon-Diellikon bis gegen Effretikon.

ränenschichten, welche den Sickerweg des Wassers verlängern müssen. Die Lage der Fassung am Fuße des Steilhanges der ehemaligen Kiesgrube bedingt eine außerordentlich hohe Überdeckung des Grundwasserspiegels gerade in der Zone, aus welcher das Wasser zu der Fassung direkt zufließen muß (siehe Abb. 24). Diesen günstigen Lagerungsverhältnissen entsprechen auch die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchungen. Eine Probe vom 30. VI. 1930 ergab: 5 Kolonien per cm^3 , Colititer über 5 cm^3 . Auch die andern Proben aus dem fertigen Brunnen ergaben durchwegs ein nahezu keimfreies Wasser.

Interessant waren auch die *Ergebnisse eines Infektionsversuches*, der seinerzeit bei Anlaß einer gemeinsamen Begutachtung mit Herrn Prof. Dr. Silberschmidt ausgeführt worden ist. Im Boden der ehemaligen Kiesgrube wurden in einer Entfernung von nur 25 m etwa 3 m über dem Grundwasserspiegel während zwei Tagen unschädliche Bakterien eingespült und das Wasser der Fassung während 14 Tagen mehrmals per Tag bakteriell untersucht. Trotz dieser intensiven künstlichen Infektion konnten in der Fassung keinerlei infiltrierte Bakterien festgestellt werden, obwohl sich zwischen Infektionsstelle und Grundwasserspiegel keinerlei lehmige Schichten einschalteten, auch eine Humusdecke fehlte in der Kiesgrubensohle vollständig.

Der Ausgang des Versuches stellte also der Filtrationswirkung des alten Schotters ein glänzendes Zeugnis aus. Es versteht sich von selbst, daß man bei

derartigen Lagerungsverhältnissen die Schutzzone um die Fassung, resp. die Entfernung von Wohnhäusern weniger reichlich bemessen muß, als bei den jüngeren Schottergebieten.

D. Schottergebiet von Wallisellen-Opfikon-Dietlikon.

1. Anhaltspunkte über die Verbreitung des Wasser führenden Schotters.

Nach unserer Karte gehört zu diesem Grundwasserbecken das ganze Plateau, das vom Glattal zwischen Wallisellen und Glattbrugg einerseits und dem Talboden von Brüttsellen-Bassersdorf-Kloten anderseits begrenzt wird.

Über die Zusammensetzung des Gebietes geben uns eine Reihe von großen Kiesgruben Aufschluß. Als besonders typisch nenne ich die große Grube im nördlichen Ausläufer am Holberg 1,1 km nordwestlich von Kloten. Unsere Abb. 26 zeigt zu oberst eine Decke von Moräne der letzten Eiszeit mit einigen Metern Mächtigkeit. Darunter kommen bis zur Sohle der Grube die teilweise zu Nagelfluhe verkitteten Schotter. Auch hier beobachten wir die Erscheinung, daß die Verkittung zu oberst, also am Kontakt mit der Moräne am meisten fortgeschritten ist.

Auch in der Umgebung von Opfikon schließen verschiedene Kiesgruben den Schotter auf. In diesem Gebiete fehlt aber in der Regel die Moränenbedeckung. An dieser Stelle sind wir nämlich im Bereich eines gegen das Glattal vorspringenden Spornes, an dem die vorstoßenden Eismassen der letzten Eiszeit eher abgetragen als angeschüttet haben. Als geologisch besonders interessant erwähnen wir die Kiesgrube unmittelbar südlich des Dorfes Opfikon, in welcher die Einlagerung von eckigen, bis nahezu m²-großen erratischen Blöcken unmittelbar über dem Grundwasserspiegel der Moränenzone im alten Schotter des Seebacherhügels entspricht.

Das Normalprofil (alter verkitteter Schotter mit Grundmoränenbedeckung) sehen wir auch in der verlassenen Kiesgrube am Hange nordwestlich von Wallisellen sowie in verschiedenen Gruben bei Dietlikon sowie nördlich des Dorfes aufgeschlossen.

In unserer Übersichtskarte fällt halbwegs zwischen Wallisellen und Dietlikon beim „Schönenhof“ ein einspringender Winkel in das Schottergebiet auf. An dieser Stelle taucht nämlich aus unserem Plateau ein durch einen Steinbruch erschlossener Buckel von Molassesandstein (obere Süßwassermolasse) auf, ohne irgendwie in seiner Bodengestaltung sich vom allgemeinen Schotterplateau abzuheben. Auch hier fehlt entsprechend der Lage auf der Stoßseite des Gletschers die Moränenbedeckung.

2. Hydrologische Orientierung.

Ein Blick auf die topographische Karte (Bl. 43 und 159), oder noch besser ein Gang über das Plateau läßt leicht verschiedene hydrologische Eigenarten erkennen.

Bei einer Durchquerung in der Richtung Opfikon-Bassersdorf begegnen wir im Walde verschiedenen Mulden der Moränenlandschaft. Der Boden läßt in der

Regel sumpfigen Charakter erkennen, indem aus den Hängen lehmiges Material ausgespült und in der Sohle abgelagert wurde. Dadurch wird an solchen Stellen die Versickerung etwas aufgehalten, im übrigen wird alles nicht von der Verdunstung beanspruchte Wasser durch den unterliegenden Schotter restlos aufgenommen; es *fehlt* also trotz der Moränenbedeckung *jedliche oberflächliche Entwässerung*.

Eine Ausnahme macht nur die unmittelbare Umgebung von Rieden, wo offensichtlich als Folge einer durchgehenden lehmigen Moränenbedeckung auf dem Plateau einige Quellen entstehen konnten. Damit war hier die Anlage einer Ortschaft möglich. An allen andern Stellen des Plateaus wäre die Beschaffung von Trinkwasser mit den früher zur Verfügung stehenden Einrichtungen für eine größere Siedelung kaum möglich gewesen.

Nach diesen Überlegungen steht also nahezu die gesamte Fläche des Plateaus als *absolutes*, von Oberflächenentwässerung freies *Einzugsgebiet* dem Grundwasserbecken zur Verfügung.

3. Wichtigste zugehörige Quellengruppen.

Es versteht sich von selbst, daß auch beim Plateau von Opfikon-Dietlikon dieselben Lagerungsverhältnisse zu erwarten sind, wie wir sie bei Rümlang und Seebach kennen gelernt haben, d. h. die Schotterauffüllung reicht auch hier unter den Talboden hinab. Es kommt daher auch hier an zahlreichen Stellen zur Bildung von Überfallsquellen. Am besten müssen hierzu diejenigen Stellen disponiert sein, wo aus irgend einem Grunde, besonders durch den Vorstoß der Gletscher der letzten Eiszeit die abschließende Moräne abgetragen wurde. Ich erwähne die folgenden Quellengruppen:

Gruppe Opfikon. Im untern Teil des Dorfes trat früher eine mächtige Quelle in einer ehrwürdigen Brunnenanlage als Aufstoß zu Tage. Leider ist vor einigen Jahren das schöne Wahrzeichen des Dorfes unbegreiflicher Weise abgeräumt worden. Das Wasser wird jetzt durch Drainagen abgeleitet. Etwa hundert Meter südlich der alten Fassung wurde durch einen Stollen das Wasser für die Gemeindegwasserversorgung gefaßt; als Ertrag wurden 800—1200 Minutenliter angegeben.

In der Literatur finden wir von der Dorfquelle die folgenden Messungen¹⁹⁾:

	Ertrag	Temperatur
Herbst 1865	405	10,2° C
Frühling 1866	975	10,2° C
Frühling 1867	2700	10,2° C
9. Oktober 1884	642	10,2° C
20. März 1885	525	10,2° C

Der Charakter der Quelle als Überlauf kommt in den großen Ertragsschwankungen zum Ausdruck. Auffallend ist aber die große Konstanz der Temperatur als Folge der großen Überdeckung, resp. dem Ausfluß aus dem steilen Hang.

¹⁹⁾ Die Wasserversorgung der Stadt Zürich, ihr Zusammenhang mit der Typhusepidemie vom Jahre 1884, (mit Beiträgen v. H. Bürkli, Alb. Heim, H. Albrecht etc.) 1885, Seite 129.

Gruppe Tönl. Ebenfalls direkt am Fuß des Hanges etwa 300 m nordwestlich des Dorfes Opfikon gelegen. In der erwähnten Schrift vom Jahre 1885 wurden als Gesamterträge der beiden Gruppen im Tönl 365—1500 Minutenliter angegeben (III. 1885, resp. III. 1867).

Neubrunnen am Holberg. (1,2 km westlich Station Kloten.) Der Name ist auch hier in der topographischen Karte Bl. 43 eingetragen. Nach der zitierten Schrift wurden die Erträge zu 600 Minutenliter (Frühling 1867), 83 Minutenliter (9. Oktober 1884), 140 Minutenliter (20. März 1885) bestimmt. Heute ist die Quelle durch Drainagen abgeleitet.

Zwischen Opfikon und Wallisellen kennzeichnen eine ganze Reihe von *kleinen Quellen* die Höhen des Grundwasserspiegels am Hang des Plateaus.

Eine größere *Quellengruppe* mit 200—300 Minutenliter, die unmittelbar unterhalb der Bahnlinie nach Winterthur bei *Niederschwerzenbach-Wallisellen* austritt, diente früher zur Speisung der Wasserversorgung *Wallisellen*. Die ganze Gruppe wurde durch die später zu besprechende neue Grundwasserfassung der Gemeinde vollkommen abgeschnitten.

Zu der *Quellgruppe Dietlikon* gehören zunächst die Aufstöße im Dorfe, die wohl wie bei Rümlang und Opfikon für die Lage der Siedelung bestimmend waren. An zwei Stellen wurden je etwa 150 Minutenliter in den Bach abgeleitet. Eine weitere Gruppe entspringt unmittelbar östlich der Bahnstation in den Brunnenwiesen, wo nach den Messungen der kantonalen Wasserrechtsabteilung etwa 280 Minutenliter in den Drainagen abgestoßen werden.

Es wäre aber meines Erachtens eine absolut unrichtige Schlußfolgerung, wenn die Summe der erwähnten Aufstöße als Gesamtabfluß des Plateaus gedeutet wird. Ohne Zweifel kämen wir so zu einem Wert, der weit unter dem tatsächlichen Abfluß stehen dürfte.

An verschiedenen Stellen schließen nämlich junge Schotter, herrührend von Rückzugsphasen der letzten Eiszeit, direkt an den alten Schotter an. Es versteht sich unter diesen Umständen von selbst, daß auf solchen Strecken der Überlauf aus dem alten Schotter direkt in den anschließenden jüngeren Schotter übertreten kann, ohne als Quellen zu Tage zu treten.

Besonders klar kommt die Erscheinung bei Glatthbrugg zum Ausdruck. Der junge Schotter, das Fluvioglacial der Endmoräne von Oberhausen-Seebach (Zwischenstadium zwischen Schlierer- und Zürcherstadium), wird hier durch eine große Kiesgrube aufgeschlossen, in welcher der Grundwasserspiegel zu Tage tritt, und aus der Grundwasser in großer Menge abgeleitet wird. In unmittelbarer Nähe der Grube steht am Hang die Nagelfluh des alten Schotter an.

Ähnlich gestalten sich auch die Verhältnisse auf der Strecke von Bassersdorf bis unterhalb Kloten. Die Abwesenheit von Überfallsquellen am Fuß des Hanges erklärt sich hier einfach damit, daß die jungen Schotter des Talbodens Bassersdorf-Kloten in direkter Verbindung mit dem alten Schotter stehen und so das Wasser ohne Quellenbildung übernehmen. In der Übersichtskarte mußten die

Grundwassergebiete der jungen Schotter im Interesse der Deutlichkeit getrennt dargestellt werden.

E. Erschließung durch Grundwasserfassungen.

Im Lauf der letzten 25 Jahre sind die Lagerungsverhältnisse unseres Grundwasserbeckens durch verschiedene Tiefbohrungen abgeklärt worden.

a) Im Jahre 1909 wurde eine erste *Bohrung* direkt am Fuße des Hanges, also in der Randzone des Plateaus bei der „Lohstampfe“, 1,5 km südwestlich von Kloten, angesetzt. Es wurde bei einer Tiefe von 14,9 m unter dem benachbarten Talboden gut verkitteter alter Schotter angetroffen, ohne daß damit das Liegende desselben erreicht worden wäre.

Mit dieser Bohrung war zum ersten Mal einwandfrei erwiesen, daß *der Schotter tatsächlich tief unter das Niveau des heutigen Talbodens herabreicht*, der *Beckencharakter des Gebietes* also außer allem Zweifel steht. Der Schotter erwies sich als ziemlich schlecht durchlässig und zwar als Folge der starken Verkittung und stellenweisen Durchsetzung mit Lehm. Auch an anderen Stellen des Plateaus hat die Randzone eine Beeinträchtigung der Durchlässigkeit des Schotter feststellen lassen. So erschloß z. B. eine unmittelbar nördlich der Häuser von Dietlikon, nahe dem Fuße des Hanges angesetzte Bohrung bis zu einer Tiefe von etwa 29 m zwar den Schotter, aber in einer stark verkitteten, schwer durchlässigen Facies. In die Randzone fällt auch die Bohrung für die alte Fassung der Wasserversorgung Dietlikon unmittelbar unterhalb des Dorfes, wo bis zu einer Tiefe von etwa 8 m vorwiegend verkitteter Schotter erschlossen wurde (Abb. 27).

b) Gestützt auf die vorstehenden unliebsamen Erfahrungen blieb nichts anderes übrig, als die *neue Grundwasserfassung der Gemeinde Dietlikon* oberhalb des Dorfes zu plazieren, also möglichst gegen das Innere des Hügels, obwohl bei dem horizontalen Verlauf des Grundwasserspiegels der letztere erst in einer Tiefe von etwa 7–8 m erwartet werden konnte.

Wie aus dem Detailprofil der Bohrung (Abb. 29, rechts) hervorgeht, reichte die lehmige Moränendecke bis zu –5,3 m, darunter folgte der normale alte Schotter in bald mehr, bald weniger stark verkitteter Form. Bei –18,5 m kam man auf eine lehmige Moräneneinlagerung, die bis zu –19,30 m noch nicht durchbrochen war. Wahrscheinlich handelt es sich hier um eine der Moräneneinlagerungen im alten Schotter, wie wir sie bereits bei Seebach und Opfikon feststellen konnten.

Der Wasserspiegel wurde bei 7,32 m Tiefe erreicht. Die Pumpversuche in der Sondierbohrung ergaben folgende Resultate:

300 l/min. bei einer Absenkung von 3,00 m
400 „ „ „ „ „ 4,50 m.

Die verhältnismäßig große Absenkung hat den Grund in der Verkittung des Schotters. Mit der Vergrößerung der Eintrittsfläche durch Erweiterung auf einen Durchmesser von einem Meter haben sich denn auch die Ertragsverhältnisse resp. die Absenkung wesentlich verbessert, so daß die Gemeinde Dietlikon ihren Wasserbedarf von 600 Minutenliter auch in trockenen Jahren (1928/29) entnehmen konnte.

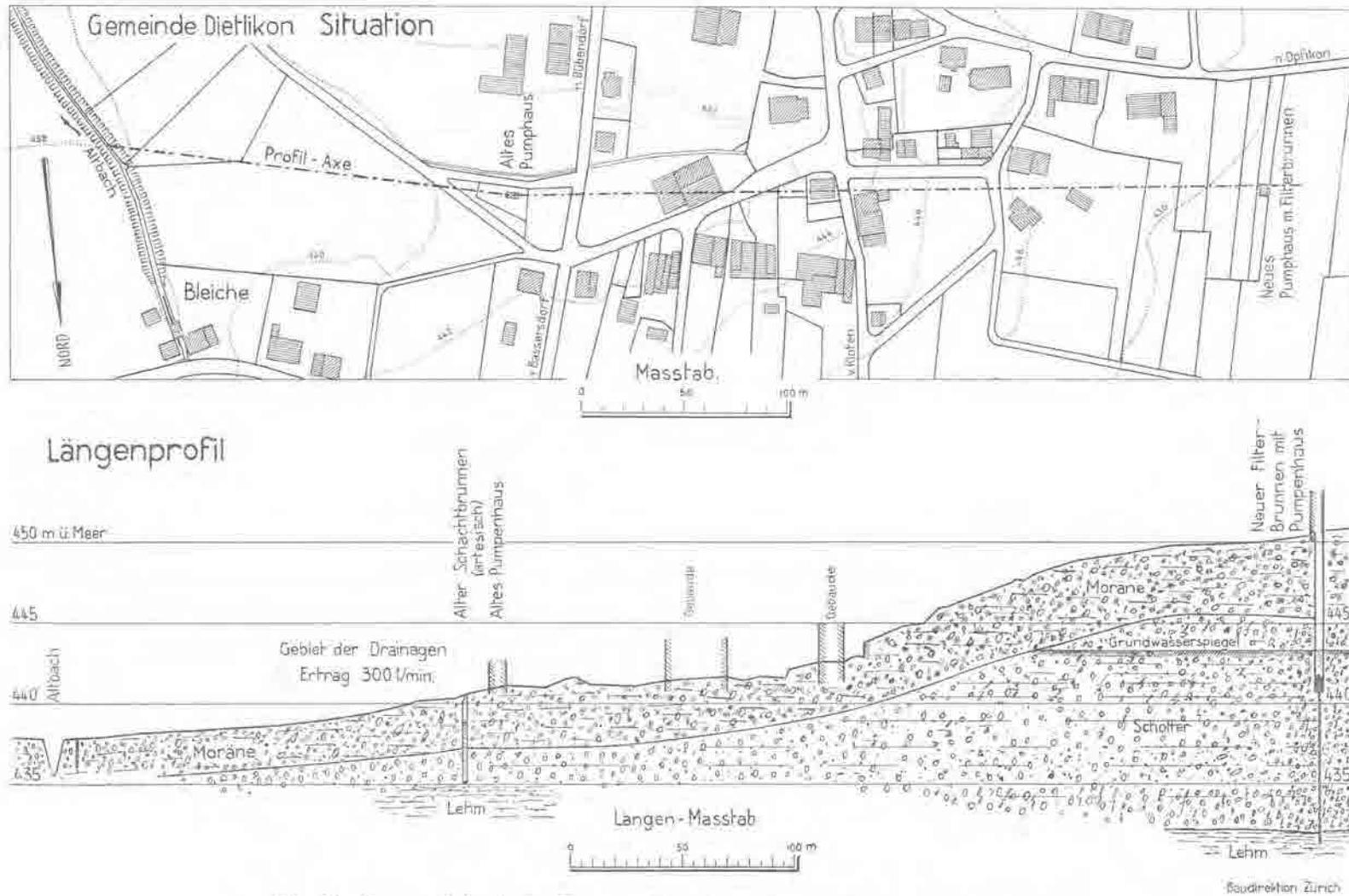


Abb. 27. Querprofil durch den Rand des Grundwasserbeckens bei Dietlikon mit Situation.

Grundwasserbecken Wallisellen

Grundwasserstände im Filterbrunnen i. d. Kiesgrube i. Hof Wallisellen

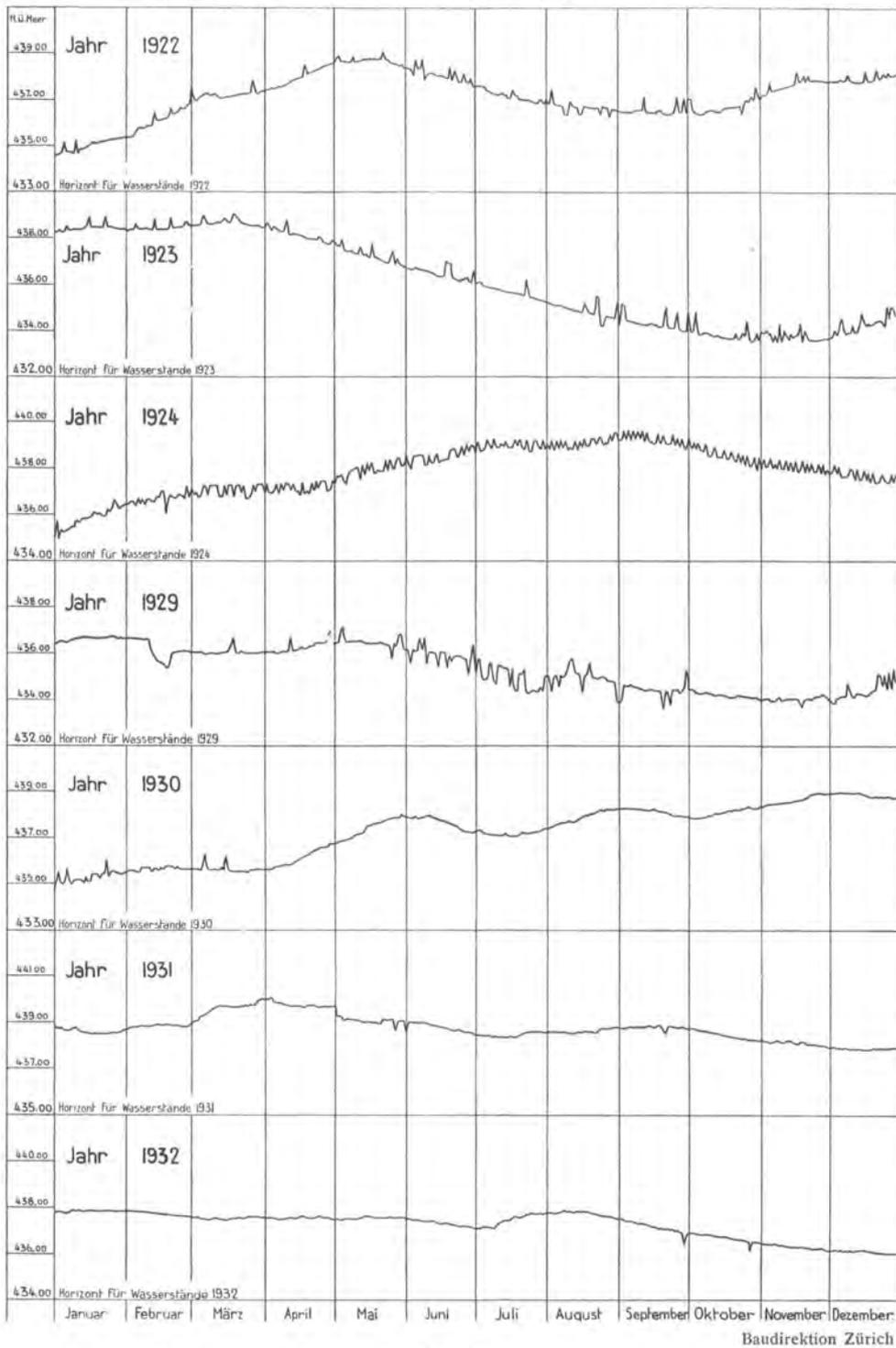


Abb. 28.

Baudirektion Zürich

Filterbrunnen der Fleischwaren AG Wällsellen
in den Steinackern

Filterbrunnen der Gem.Dietikon
in den Kegeläcker

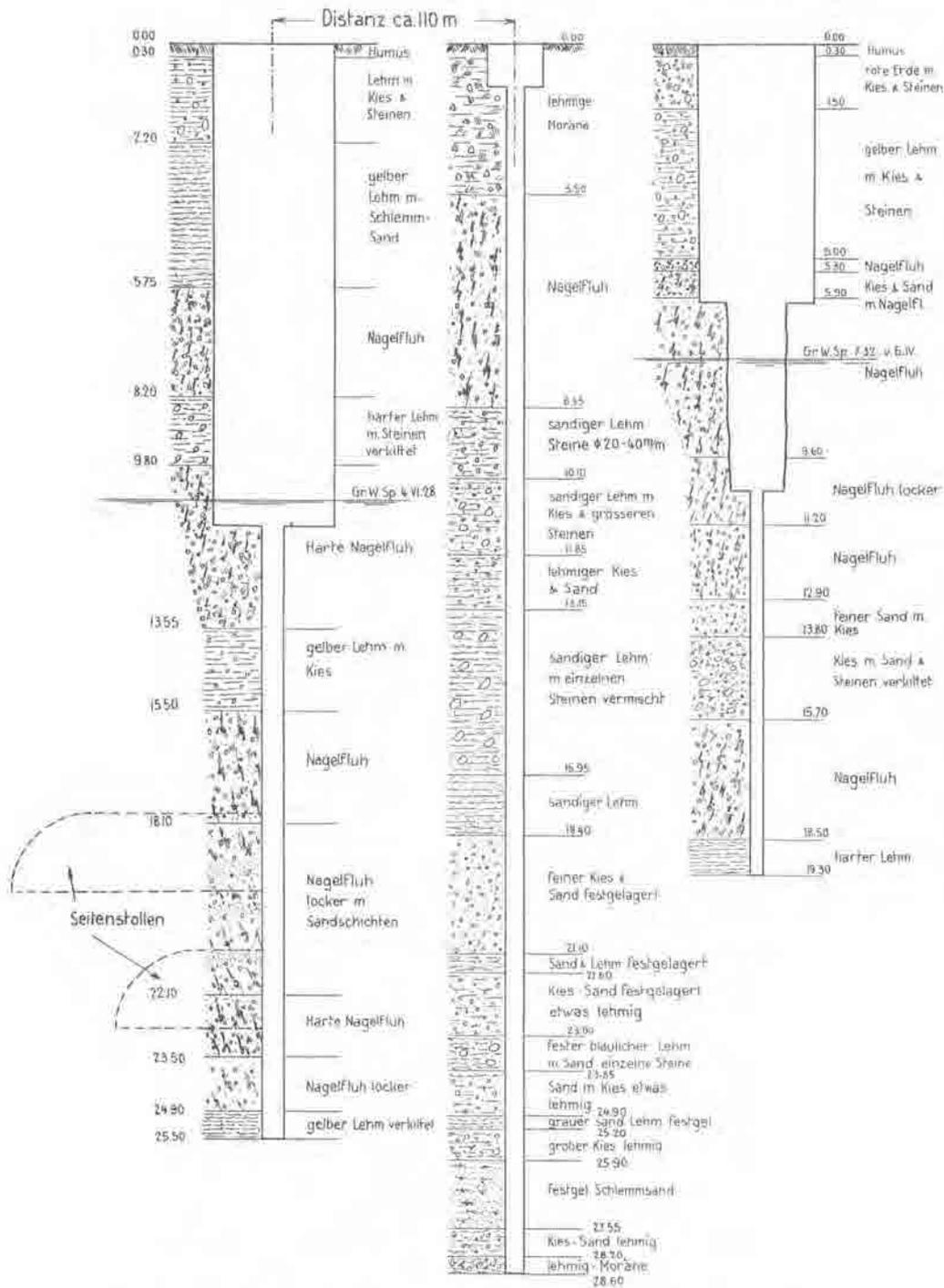


Abb. 29. Profile aus dem Grundwasserbecken Wällsellen-Dietikon.



Phot. Dr. J. Hug

Abb. 30. Weiher mit Grundwasseraufstößen aus dem Grundwasserbecken von Wangen-Brüttisellen
am Ostende des Dorfes Wangen.



Phot. Dr. J. Hug

Abb. 31. Weiher mit Grundwasseraufstößen oberhalb der Kirche Wangen.

entfernte Grundwasseraufstoß (siehe Seite 53) mußte den Grundwasserspiegel regulieren, resp. große Schwankungen ausschalten.

Die großen Niveaudifferenzen weisen darauf hin, daß nicht nur die sichtbaren und unsichtbaren Überfallsquellen abgeschnitten wurden, sondern auch das Reservoir des Grundwasserbeckens herangezogen werden mußte. Die nachfolgende Niederschlagsperiode versuchte dann jeweilen die Absenkung wieder auszugleichen, resp. das Becken wieder auf die normale Höhe zu füllen.

e) Die *Grundwasserfassung der Fleischwaren A.-G. Wallisellen* bei der Kiesgrube „im Felsen“ am Nordwestende des Dorfes gehört noch ganz der Randzone des Schottergebietes an, was sich in der beschränkten Durchlässigkeit des Schotterers zu erkennen gibt. Wie aus Abb. 29 Profil links hervorgeht, haben wir es hier mit normalen Lagerungsverhältnissen zu tun. Die Moränendecke reicht bis zu einer Tiefe von 5,75 m, dann kommen mehr oder weniger stark verkittete Schotter als Grundwasserträger. Daneben fehlen aber auch die lehmig-sandigen Moräneneinlagerungen nicht. Eine obere Moränenschicht, die in 2 Etagen aufgelöst ist, liegt zwischen -8,2 und -15,50 m, eine untere würde unterhalb von -24,90 m noch angefahren.

Zur Verbesserung des Wassereintrittes wurden in Tiefen von 19 und 22 m noch je ein kurzer Stollen bergwärts vorgetrieben. Der Ertrag wird zu 100 Minutenliter angegeben.

Eine Bohrung 110 m weiter nördlich am gleichen Hang hat ein ähnliches Profil ergeben mit einer analogen mittleren und einer unteren Moränenzone (Abb. 29, rechts).

f) Die *Fassung der Gemeinde Opfikon* unmittelbar südlich des Dorfes wurde als Stollen angelegt, der natürlich keine Anhaltspunkte über die Tiefe des Schotterers unterhalb des Grundwasserspiegels geben kann.

F. Grundwasserbecken Volketswil-Wangen-Brüttisellen.

I. Anhaltspunkte in Bezug auf Verbreitung des Schotterers.

Jenseits des Taleinschnittes von Brüttisellen-Bassersdorf-Kloten setzt sich unsere besprochene alte Schottermasse neuerdings fort und bildet hier das rechtsseitige Randplateau des Glattales. Auf Grund von zahlreichen geologischen und hydrologischen Aufschlüssen kommen wir zu einer ununterbrochenen Verbreitung von Volketswil bis nahe an Bassersdorf, d. h. also auf eine Länge von mindestens 8 km.

Am häufigsten sind natürlich die Aufschlüsse am Steilabhang des Plateaus gegen das Glattal, z. B.:

a) In einer heute verlassenem Kiesgrube am Waldrande beim Bahnwärterhaus im „Grifflö“ 1 km südöstlich Station Bassersdorf (Top. Atl. Bl. 67), wo die lockere Nagelfluh unter lehmiger Moräne zu Tage tritt.

b) Kiesgrube nahe der Bahnlinie 0,5 km nördlich Baltenswil mit etwa 3 m lehmiger Moräne, darunter scharf abgeschnitten die Nagelfluhbänke unseres Schotterers, gegen die Sohle der Kiesgrube sichtlich lockerer werdend.

c) Verschiedene Aufschlüsse beim und im Bahneinschnitt nahe Brüttisellen, wo die Winterthurerlinie in das Plateau einschneidet.

d) Über die Breite des Schotterplateaus geben uns die beiden nicht mehr ausgebeuteten Kiesgruben rechts und links der Bahnlinie im „Brand“, 2,3 km westlich Station Effretikon, Auskunft, wo die Nagelfluh unter der Moräne früher deutlich sichtbar war (Top. Atl. Bl. 210).

e) Große Kiesgrube unmittelbar östlich von Wangen an der Straße nach Kindhausen sowie verschiedene Ausbisse des Schotters fast ohne Moränenbedeckung im Einschnitt 1 km südöstlich Wangen.

f) Kiesgrube 500 m östlich Kindhausen.

g) Ein isolierter Schotteraufschluß, der eventuell noch mit unserem Gebiete in Zusammenhang gebracht werden könnte, liegt noch viel weiter nördlich als die Kiesgrube an der Straße von Nürensdorf nach Hakab (Top. Atl. Bl. 67), mit der typischen Nagelfluh unter der lehmigen Moränendecke mit Kote ca. 538 m, also nicht weniger als etwa 90 m über dem Grundwasserspiegel des Beckens. Der Aufschluß gehört wahrscheinlich schon dem rechtsseitigen Hang der Schotterauffüllung an.

Auf alle Fälle ergänzt der Aufschluß die Anhaltspunkte über die Breiten- und Tiefenausdehnung der Schottermasse, welcher unsere Grundwasserbecken angehören. Wir kommen hier bis Seebach für unser Schotterplateau zu einer Breite von nicht weniger als 10 km.

Am talseitigen Rande des Plateaus treten eine ganze Reihe zum Teil sehr ertragsreicher Quellen zu Tage, und verschiedene neuere Brunnenbohrungen geben über die Tiefe des Schotters unter dem Grundwasserspiegel genauere Anhaltspunkte.

Ich nenne die folgenden Austritte des Grundwassers:

2. Aufstöße bei Volketswil.

Schon am oberen Ende des Grundwasserbeckens liefert ein Aufstoß unmittelbar oberhalb des Dorfes den Wasserbedarf für die Gemeindewasserversorgung (Konzessionierte Wassermenge 180 Minutenliter). Es liegt hier wieder eine typische Überfallsquelle vor, die direkt aus dem Fuße des Hanges austritt. Eine Messung vom 8. November 1884 ergab einen Ertrag von 330 Minutenliter²⁰⁾.

Folgen wir von Volketswil dem Fuße des Plateaus, so finden wir auf einer Strecke von 3,5 km, d. h. bis gegen Wangen hin, nirgends einen Quellaustritt. Es rührt dies unbedingt daher, daß auf der fraglichen Strecke eine mehr als 10 m mächtige Schotterablagerung der letzten Eiszeit als Schotterterrasse des Zürcherstadiums auf der Linie Gfenn-Hegnau direkt an den alten Schotter anschließt. Die Überläufe können so in den Grundwasserstrom des jungen Schotters übertreten, ohne ans Tageslicht zu kommen. Der durch die Überläufe gespiesene Grundwasser-

²⁰⁾ Bericht über die Typhusepidemie in Zürich im Jahre 1884 (S. 33).

strom der jungen Schotterterrasse von Hegnau-Stiegenhof-Flugfeld Dübendorf, der im Flugfeld in den Drainagen als große Quellbäche austritt, ist in unserer Übersichtskarte besonders bezeichnet.

3. Aufstöße unter den Reben südöstlich von Wangen.

In der Literatur mehrfach genannt sind die Aufstöße bei der Lokalität, die in der topographischen Karte Blatt 210 1 km südöstlich von Wangen mit „Unter den Reben“ bezeichnet wird. Die örtlichen Verhältnisse sind hier dadurch charakterisiert, daß eine lokale Erosionsrinne, die wohl durch einen Gletscherbach der letzten Eiszeit entstanden sein muß, das Schotterplateau bis unter den Grundwasserspiegel angeschnitten hat, sodaß es zum Überfließen des Grundwassers in der tiefsten Rinne kommt.

Zur Ausnutzung des Wassers für Kraftzwecke werden die Aufstöße etwas gestaut. Dabei kommt dann die wunderbare Klarheit des aufstoßenden Wassers besonders eindrucksvoll zur Geltung (Abb. 30).

Aus dem letzten Jahrhundert stehen uns die folgenden Messungen zur Verfügung ²¹⁾.

11. Oktober 1884	1200 l/min.
8. November 1884	1160 „

4. Quellgruppe oberhalb der Kirche Wangen mit zugehörigem Hungerbrunnen.

Eine zweite Gruppe von Aufstößen entspringt oberhalb der Kirche Wangen, wo ein neuer Taleinschnitt das Plateau durchschneidet. Der alte Schotter steht hier direkt neben den Aufstößen in einer Kiesgrube sichtbar an.

Auch bei dieser Gruppe wird das Wasser in einem Bassin von wunderbarer Klarheit gestaut. Leider ist das in Abb. 31 dargestellte Landschaftsbild durch Umhauen der Tannen-Einrahmung nach der Aufnahme zerstört worden.

In dem erwähnten Berichte vom Jahre 1885 sind die folgenden Messungen der Quellgruppe oberhalb der Kirche erwähnt:

11. Oktober 1884	1142 l/min.	10,2 ⁰
8. November 1884	650 „	?
20. März 1885	889 „	10,0 ⁰

Etwas oberhalb der Aufstöße verzeichnet der topogr. Atlas Bl. 210 den Flurnamen „Hungerbrunnen“.

Die fragliche Stelle liegt etwa 2 m höher als die eigentlichen Aufstöße. Die Hungerquelle tritt nur dann in Aktion, wenn ein sehr hoher Wasserstand des unterirdischen Grundwasserbeckens im Hange auch die obere Austrittsöffnung erreichen kann. Auch hier handelt es sich also wie bei dem bereits aus dem untern Glattal beschriebenen Hungerbrunnen, um eine periodische, nur bei ausgesprochenen Niederschlagsperioden aufstoßende Überfallsquelle.

5. Neuere Messungen der Aufstöße von Wangen.

Die Meßstellen für die vorstehend erwähnten, dem Berichte über die Typhusepidemie in Zürich (1884) entnommenen Wassermengen lassen sich leider nicht

²¹⁾ Typhusepidemie Zürich 1884 etc. (S. 132).

mehr genau festlegen; offensichtlich sind nur höher gelegene, gut sichtbare Überläufe dabei einbezogen worden. Es geht dies besonders aus einer Messung hervor, die im März 1926 durch das kant. Wasserrecht ausgeführt wurde und als Summe aller Überläufe bei Wangen nicht weniger als 6800 Minutenliter ergab. Von diesem Ertrage ist für die Trinkwasserversorgung Wangen nur ein ganz bescheidener Bruchteil (400 Minutenliter) ausgenützt. Der übrig bleibende Teil wird auf kleine, nur noch teilweise benützte Wasserkraftanlagen geleitet.

6. Querprofil bei Brüttisellen-Baltenswil.

Auf der Strecke von Wangen bis gegen Brüttisellen wird das Schotterplateau von einem Gürtel von Moränen umsäumt, die den Austritt von Wasser in grös-

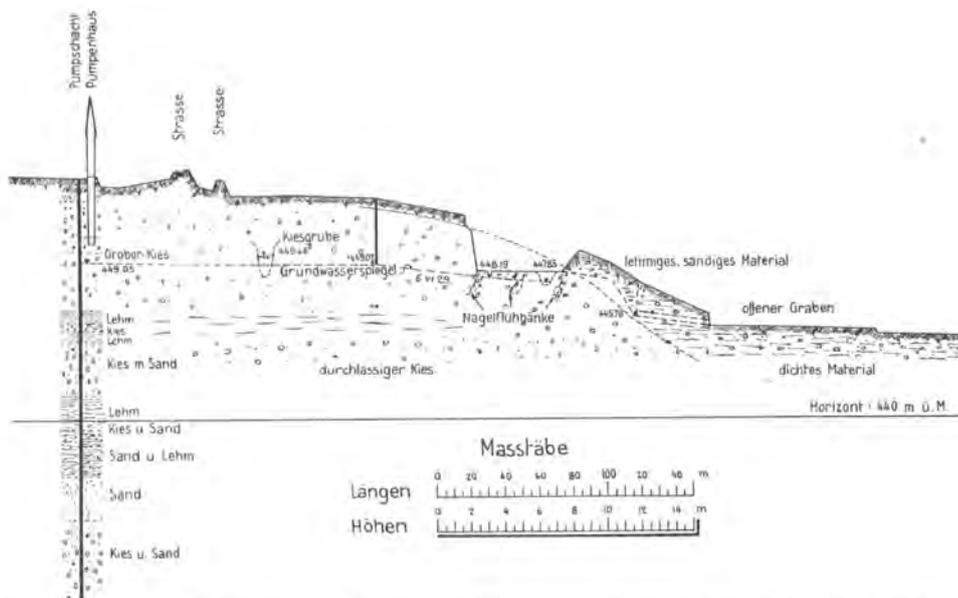


Abb. 32. Detailprofil durch den Rand des Grundwasserbeckens bei Brüttisellen-Baltenswil. Stauung des Grundwasserspiegels durch angelagerten Lehm.

rem Umfange nicht gestatten. Erst im Gebiet von Brüttisellen-Baltenswil gestalten sich die Verhältnisse zur Quellenbildung wieder günstiger, immerhin unter wesentlich andern geologischen Vorbedingungen als bei Wangen.

Wir verweisen auf die Profildarstellung von Abb. 32, welche durch den Fuß des Plateaus und die vorgelagerte Ebene gezogen ist. Für das Profil konnten neben der Tiefbohrung für den Filterbrunnen von Brüttisellen auch noch die Resultate von Schachtsondierungen und Spiegelablesungen verwendet werden, die ich bei Anlaß der Erledigung von verschiedenen Rechtsfragen sammeln konnte.

Die schon im Jahre 1911 durch die damalige Besitzerin des Fassungsrechtes, die Gemeinde Seebach, ausgeführte Brunnenbohrung schloß den Grundwasserträger bis zu einer Tiefe von 25,5 m auf, wobei verschiedene Lehmeinlagerungen durchfahren werden mußten.

Später ging der Besitz des Brunnens an die Gemeinden Brüttisellen und Wallisellen über. An Brüttisellen wurde von der Baudirektion eine Bewilligung für 1000, an Wallisellen für 2000 Minutenliter erteilt.

Diese Verleihung stützt sich auf Ertragsmessungen durch die Wasserrechtsabteilung und auf die Pumpversuche, die im Jahre 1912 während einigen Wochen durchgeführt wurden. Bei einer Entnahme von 3000 Minutenliter wurde eine Absenkung von 1,8 m konstatiert.

7. Überfallsquellen bei Brüttisellen.

Es versteht sich nach dem Profil von Abb. 32 von selbst, daß bei den vorliegenden Lagerungsverhältnissen die Überfallsquellen hier nicht am Fuße des Hanges austreten, wie bei Wangen, sondern das Wasser kann ohne weiteres in die vorgelagerte Kiesebene übertreten. Der durchlässige Charakter der Ebene ergibt sich klar aus den beiden Kiesgruben, welche über dem Grundwasserspiegel einen teilweise schief geschichteten lockeren Schotter aufschließen. Es handelt sich hier um das Produkt einer Rückzugsphase der letzten Eiszeit. Die Gletscherbäche derselben lagerten hier ihre Schotter im stehenden Gewässer des Zungenbeckens der Endmoräne von Baltenswil-Eichmühle-Dietlikon ab. In der östlichen Kiesgrube sind unter dem jungen Schotter in einer Tiefe von ca. 2 m auch noch die verkitteten älteren Schotter sichtbar anstehend; die letzteren beherrschen also auch noch in der dem Plateau vorgelagerten Ebene die unterirdische Wasserführung.

Besonders interessant sind die geologischen Verhältnisse, welche in der Randzone des Grundwassergebietes beobachtet werden konnten. Sie sind auf Grund von Erhebungen in verschiedenen Sondierschächten in das Profil von Abb. 32 eingetragen. An den Schotter schließt sich eine dichte lehmige Vorlagerung an, die nach außen auf Kosten des Schotters immer mehr zunimmt. Es entsteht so eine Art natürliche Stauung, welche den Grundwasserspiegel des Schotters fixiert und zwar auf einem Niveau wesentlich über dem vorgelagerten niederen Talboden.

In der letzten Zeit hatte ich erneut Gelegenheit, Sondierschächte in der Riegelzone abteufen zu lassen, die alle ein lehmiges, schwer durchlässiges Material erschlossen haben. Zwei dieser Schächte fallen in das Profil von Abb. 32.

Die stauende Wirkung der Lehmvorlagerung der Riegelzone kommt auch durch den nahezu horizontalen Verlauf des Grundwasserspiegels innerhalb des eigentlichen Schottergebietes deutlich zum Ausdruck.

In der Kontaktzone mit dem Lehmriegel fällt der Spiegel zufolge der geringeren Durchlässigkeit des Schotters und der Wirkung des Absenkungskegels des Drainageauslaufes am Westende der Kiesgrube steiler ab.

8. Erträge der Quellengruppen.

Aus der vorgelagerten Schotterebene treten zwei Gruppen von Überläufen aus, nämlich:

a) *Gruppe* bei und unmittelbar im östlichen Teil des Dorfes *Brüttsellen*. Auch diese Ortschaft zeigt wieder wie Rümliang, Opfikon und Diellikon eine typische Siedelung um einen Grundwasseraufstoß. Ich erwähne die folgenden Messungen:

November 1865	930 l/min.	20. März 1885	1362 l/min.
Frühling 1866	945 „	8. März 1912	1845 „
11. Okt. 1884	2288 „	7. Mai 1912	1895 „

Die vier ersten Messungen sind der bereits zitierten Schrift über die Typhusepidemie von Zürich 1884 entnommen, die beiden letzteren wurden bei Anlaß einer gemeinsamen Gerichtsexpertise durch Herrn Prof. O. Zwicky ausgeführt.

b) Als *Neubrunnengruppe* fassen wir in erster Linie den Drainageabfluß aus der Kiesgrube Benz-Müller in unserem Profile von Abb. 32 auf.

Aus den vorliegenden Messungen greife ich die folgenden Zahlen heraus:

November 1865	4590 l/min.	10. März 1885	2214 l/min.
Frühling 1866	3915 „	8. März 1912	2490 „
11. Okt. 1884	2232 „	28. Mai 1912	2146 „

Die Zahlen 1—4 sind wieder der Schrift über die Typhusepidemie Zürich (1884) entnommen, die 5. und 6. der Expertise mit Prof. O. Zwicky.

Der direkte hydrologische Zusammenhang zwischen dem Filterbrunnen unseres Profiles und den Neubrunnenquellen der Kiesgrube ergibt sich auch aus der Übereinstimmung der chemischen Zusammensetzung des Wassers der beiden Punkte:

	Trockenrückstand in mgr p. L.	Alkalinität franz. Grade	Chlor mgr p. L.
Filterbrunnen	310	27,5	7,0
Neubrunnenquelle	306	27,0	7,4

(Bestimmungen durch Dr. L. Minder, Zürich.)

Zu der gleichen Schlußfolgerung berechtigen auch die Messungen, die während des Dauerpumpversuches im Jahre 1912 aus dem Filterbrunnen unseres Profiles ausgeführt wurden. Als der Pumpversuch am 15. VI. eingeleitet wurde, lieferte die Neubrunnenquelle 2470 Minutenliter. Nachdem der Pumpversuch 7 Tage gedauert hatte, verminderte sich der Ertrag der Quellen auf 1550 Minutenliter. Als Ursache der Ertragsverminderung kann natürlich nur die Senkung des Grundwasserspiegels im anschließenden Teil des Beckens in Betracht kommen.

9. Aufstöße zwischen Baltenswil und Bassersdorf.

Etwa 0,3 km nördlich von Baltenswil entspringen in den „Thonäckern“ (Südwestecke des Top. Bl. 67) unter- und oberhalb der Bahnlinie die 11 Dorfbrunnen von Baltenswil. In derselben Gegend entspringt noch ein Quellbächlein, dessen normaler Ertrag wohl zu über 1000 Minutenliter geschätzt werden kann.

Die obersten Quellen entspringen oberhalb einer kleinen Stufe des Bodens, es scheint also auch hier eine Riegelzone als talseitiger Stauabschluß vorzuliegen, wie wir ihn für die Gegend von Brüttsellen durch Abb. 32 dargestellt haben.

Ein Aufstoß beim Hause im „Bächli“, 1 km südöstlich Station Bassersdorf, dürfte als äußerster Vorposten unseres Grundwasserbeckens zu deuten sein. Ich schätze den Ertrag des Aufstoßes auf etwa 500 Minutenliter.

Auch an dieser Stelle verteilen sich die Aufstöße auf verschiedene Höhenlagen. Die stauende Randzone fehlt also auch hier nicht.

10. Grundwasserbohrung nördlich Baltenswil.

Im Jahre 1932 wurde ca. 200 m nördlich der erwähnten Aufstöße von Baltenswil für die Wasserversorgung von Effretikon-Rikon-Tagelswangen am Waldrand eine Tiefbohrung ausgeführt, die folgende Resultate ergeben hat:

0 m — 4,45 m	Verkittete Schotter.
4,45 m — 7,00 m	Lockere Kiese mit Lehm gemischt.
7,00 m — 7,50 m	Lockeren Kies gut durchlässig.
7,50 m — 8,20 m	Kies, etwas hart gelagert.
8,20 m — 9,70 m	Lockeren Kies.
9,70 m — 11,00 m	Hart gelagerter Kies.
11,00 m — 11,50 m	Lockerer Kies.
11,50 m — 11,80 m	Verkitteter Schotter.
11,80 m — 16,20 m	Verkittete Sande.

Das beim Pumpversuch vom 22. VI. 31 entnommene Wasser ergab die folgende Zusammensetzung:

Trockenrückstand	316 mgr L.	Ammoniak, alb.	0,016 mgr L.
Alkalinität	277,5 „ „	Chloride als Cl	6,2 „ „
Organ. Substanzen	12,4 „ „	Nitrate	14 „ „
Ammoniak, freies	0 „ „	Sulfate	Spuren.

Dem definitiven Brunnen werden 1200 Minutenliter entnommen.

VI. Die Grundwasserbecken des obern Glattales.

A. Verhältnisse auf der Strecke Volketswil-Gutenswil-Aatal.

Am rechtsseitigen Hange des Glattales auf der Strecke zwischen Volketswil und Freudwil fehlt es zwar nicht an Aufschlüssen, die den alten Schotter beobachten lassen, wie z. B. an verschiedenen Stellen am Hange zwischen Gutenswil und Freudwil, die Abgrenzung des entsprechenden Grundwassergebietes ist aber trotzdem mit Schwierigkeiten verbunden. Der Grundwasserspiegel kann nämlich erst verschiedene zehn Meter tief unter den Aufschlüssen erwartet werden. Die Lage dieser Aufschlüsse gibt daher keine sichern Anhaltspunkte über die Frage, ob sie dem Grundwassergebiete selbst oder dem Uferhange rechts außerhalb des Beckens angehören.

Auch sichtbare Grundwasseraufstöße können sich auf dieser Strecke nicht entwickeln, weil an dem Schotterhang verschiedene Schotterstufen der späteren Rückzugsphasen der letzten Eiszeit anschließen. Die Überläufe haben also auch hier keine Gelegenheit, sichtbar zu Tage zu treten, sondern sie gehen ohne weiteres in die jüngeren Schottergebiete über. Wir werden auf das so gespiesene kom-

plizierte Grundwassersystem in einem späteren Kapitel noch zurückkommen. Bei diesen besonderen Verhältnissen ist auch das beschriebene alte Schottergebiet des Hanges als öffentliches Gewässer kartiert, und zwar weniger als besondere hydrologische Einheit, sondern in der Eigenschaft als Zuflußzone der erwähnten Grundwasserströme.

B. Wichtigste Anhaltspunkte über die Verbreitung des Wasser führenden Schotters.

Als typische Schotteraufschlüsse seien erwähnt:

1. Der Einschnitt des Aatales zwischen Uster und Wetzikon.

Weitaus der vollkommenste Aufschluß bildet der Einschnitt der Aa auf der Strecke von Ober-Uster bis über die Station Aatal hinauf. An den steilen, stellen-

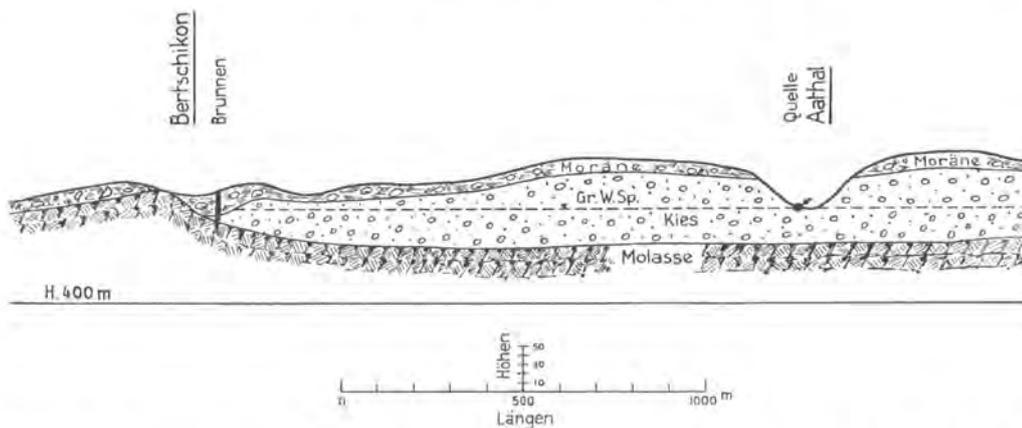


Abb. 33. Schematisches Querprofil durch das Grundwassergebiet des oberen Glattales bei Bertschikon-Aatal.

weise sogar überhängenden Wänden tritt der zu Nagelfluhe verkittete Schotter fast überall sichtbar zu Tage. Durch die Herauswitterung von lockeren Schichten kommt das typische, ruinenartige Aussehen zustande. Die Aufschlüsse sind in der Literatur mehrfach unter dem Namen Aatalschotter beschrieben worden, so von *J. Früh, E. Brückner, Jul. Weber*; die genaueren Literaturangaben können der Dissertation von *H. Bodenburg-Hellmund* entnommen werden²²⁾.

Die schematische Darstellung von Abb. 33 dürfte am besten in der Lage sein, einen Begriff von den Lagerungsverhältnissen dieses Gebietes zu geben. Die ganze Landschaft wurde als typische Drumlinzone mehrfach beschrieben (siehe Dissertation *Bodenburg-Hellmund*). Die elliptisch geformten Hügel bestehen vorwiegend aus lehmiger Grundmoräne, darunter folgt dann der Sockel aus dem alten Schotter.

Die Abgrenzung des Schotters auf der rechten Seite des Aatales, also gegen den Pfäffikersee, wurde in Abb. 33 aus Mangel an sicheren Aufschlüssen weggelassen.

²²⁾ *H. W. Bodenburg-Hellmund*, Die Drumlinlandschaft zwischen Pfäffiker- und Greifensee. Vierteljahresschrift der Naturf. Ges. Zürich. 1909. Seite 149–216.

2. *Abgrenzung des Grundwasserbeckens bei Ottikon-Göbau.*

Etwas eigenartig mutet uns im Profil Abb. 33 die Abgrenzung des Schottergebietes bei Göbau-Ottikon an. Der Südwestrand des Plateaus fällt hier steil ab. Dieser Absturz besteht aber nicht aus Schotter, sondern aus Molassefels ohne Moränenbedeckung. Die Grenze zwischen Fels und Schotter muß also direkt durch das Plateau gezogen werden. Es schaltet sich also zwischen das Grundwassergebiet und die Mulde von Mönchaltorf gleichsam eine Felsrippe ein, wie dies in Abb. 33 schematisch dargestellt ist.

Wir müssen uns also vorstellen, daß um die Mitte des Eiszeitalters, d. h. vor Ablagerung des alten Schotters in der Periode der großen Talaustiefung das breite Glattal entstanden ist, wie das uns bei Seebach-Effretikon begegnet ist. Auf der Strecke von Uster bis Wetzikon hat sich aber der Einschnitt ganz abseits der heutigen tiefsten Mulde des Glattales, also östlich von Göbau verlegt. Das Tal wurde dann durch die Gletschervorstöße des mittleren Eiszeitalters mit Schotter und stellenweise auch mit eingelagerten Moränen ausgefüllt.

Über die alten Schotter rückte dann der Eisstrom der letzten Eiszeit vor, mit Ablagerungen von Moränen, welche stellenweise durch die Gletscherbewegung zu Rundhöckern, d. h. also zu einer Drumlinlandschaft geformt wurden.

Auffallend ist dabei die Erscheinung, daß die eigentliche Erosion sich auf das Gebiet links des Schottergebietes verschoben hat, also auf die Linie Grüniugen-Mönchaltorf-Greifensee. Damit blieb mit Ausnahme des Aataleinschnittes die Schottermasse auf der ganzen Breite intakt. Insofern liegen also die Verhältnisse etwas anders als im mittleren Glattal.

3. *Weitere Anhaltspunkte über die Abgrenzung des Grundwasserbeckens gegen Südwesten.*

Unter diesen Umständen läßt leider die Topographie die Abgrenzung zwischen Schotter und angrenzender Molasse nur schwer erkennen. Die Darstellung der Grenze des Schotters, resp. des Grundwasserbeckens zwischen Uster und Göbau kann daher nicht Anspruch auf Genauigkeit machen. Es gilt dies besonders für die Gegend der Wühre, wo neben dem Mangel an klaren Aufschlüssen auch lokale jüngere Schotter die Verhältnisse komplizieren.

Wir sind hier neben hydrologischen Anhaltspunkten auf einige wenige Schotteraufschlüsse angewiesen.

Verschiedene Ausbisse von altem Schotter beobachten wir bei den Ortschaften Sulzbach und Bertschikon. In der Fortsetzung folgt die große Kiesgrube beim „Sandbuck“ etwa 500 m nördlich von Göbau. Der Schotter zeigt eine stark sandige Ausbildung mit schiefer Deltastruktur. Der Höhenzug mit dem Dorf Göbau besteht schon wieder aus Molasse, gehört also schon dem linken Ufer des Grundwasserbeckens an. Sehr deutliche Schotteraufschlüsse beobachten wir links an der Straße von Unter-Ottikon nach Ober-Ottikon. Besonders interessant scheint mir die verlassene Kiesgrube unmittelbar östlich von Ober-Ottikon in der „Gaß“, die den Kamm des Hügels aufschließt. Der zu harter Nagelfluh verkittete Schotter

reicht bis unter die Humusdecke, ohne Moränenüberlagerung, der Gletscher der letzten Eiszeit hat dem alten Schotter wie dem Felsuntergrund die Rundhöckerform verliehen.

In der südöstlichen Fortsetzung des Grundwasserbeckens kommen die großen Kiesgruben beim Thalgütli (1 km nördlich Herschmettlen) und an der Straßenkreuzung 700 m nördlich derselben Ortschaft. Bei der letztgenannten Grube beobachten wir zu oberst 4–6 m typische Moräne der letzten Eiszeit, und erst in der Sohle der Grube die Nagelfluhbänke unseres Schotters.

Als wichtig für die Abgrenzung nenne ich die Kiesgrube mit Nagelfluh 300 m nördlich von Herschmettlen am Waldrande, während die Ortschaft selber bereits auf einer nackten Molasserippe steht.

Gegen Südosten hin keilt sich unser Grundwasserbecken zwischen der Landstraße Herschmettlen und der Bahnlinie aus. Am Fuchsbühl sehen wir den Schotter noch in verschiedenen Gruben aufgeschlossen, als südlichste Vorposten unseres großen Glattalgrundwasserbeckens.

Noch weiter südlich in der Gegend von Bubikon sind wir überall im Bereich der anstehenden Molasse.

Unsere Karte verzeichnet bei Affeltrangen nördlich Dürnten ein weiteres Gebiet mit altem Schotter, der in einer großen Kiesgrube zwischen Affeltrangen und Betzholz aufgeschlossen ist. Eine Quellengruppe kennzeichnet auf der Westseite des Schotterhügels bei Affeltrangen die Lage des Grundwasserspiegels.

Die südliche Fortsetzung der Karte bis gegen die Station Dürnten stützt sich auf die Aufschlüsse von Schotter, welche in der Ausbeutung von Schieferkohle in dieser Gegend namhaft gemacht wurden. Immerhin darf man sich nach den vorhandenen Profilen nicht verhehlen, daß in diesem Gebiete die Grundwasserführung durch mächtige Einlagerungen von Moräne, bituminösen Lehmen und kohligen Schichten stark beeinträchtigt sein muß²³⁾.

C. Grundwasseraufstöße und Wasserfassungen.

Nachdem die hydrologische Natur der Aatalschottergebiete einmal genauer erforscht war, begann systematisch die Ausnützung derselben für die benachbarten Gemeinden. Wenn die meisten neueren Wasserfassungen sich besonders an den Südwestrand des Beckens konzentrieren, so ist das kein Zufall, es liegt dies an den besonderen geologischen Verhältnissen. Das südwestlich angrenzende Gebiet weist nämlich bis zum Zürichsee die denkbar ungünstigsten hydrologischen Verhältnisse auf. Wie schon auf Seite 64 angegeben ist, hat die Erosion der letzten Interglazialzeit und der letzten Eiszeit alle Eiszeitablagerungen auf den nackten Fels abgetragen, so daß nur drei ganz kleine Reste von Schotter übrig geblieben sind. Es sind dies die kleinen Grundwassergebiete von Binzikon und Oetwil a. See,

²³⁾ Genauere Angaben über geologische Profile dieser Zone sind angeführt bei Bodenburghellmund, H. Vierteljahrsschrift der Naturf. Ges. Zürich. 1909, Seite 174 ff. und in: Die diluvialen Schieferkohlen der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Serie VIII. Lief., 1923 (E. Baumberger, Schieferkohlen von Dürnten, S. 475 ff. und Profilbeilage XXI).

sowie ein kleines, nicht ausgenütztes und in der Karte nicht angegebenes Grundwasservorkommen östlich von Eßlingen.

Nach der ersten Redaktion dieses Kapitels hat die Erschließung des Grundwasserbeckens weiter große Fortschritte gemacht; so sind im Laufe dieses Jahres von der erwähnten Grenzlinie aus Wasserleitungen bis nach Eßlingen, sowie von Ottikon über Grüningen bis nach Hombrechtikon erstellt worden. Die neuen Fassungen konnten in der Karte nicht mehr angegeben werden.

Die hydrologischen Aufschlüsse sind so zahlreich, daß ich nur ganz kurz auf die wichtigsten Erscheinungen hinweisen kann.

1. Fassungen bei Nossikon-Sulzbach.

Bei Neufuhr (2,2 km südöstlich Station Uster) erschließt eine Fassung für den benachbarten Hof den sichtigen Schotter, daneben entspringt auch ein Quellbächlein mit einigen hundert Minutenlitern.

Bei Sulzbach deuten zwei Quellbächlein die Zugehörigkeit zum Grundwasserbecken an. Das eine entspringt am Nordende der Ortschaft, wo die topographische Karte Bl. 215 einen Feuerweiher angibt.

Ein zweiter Quellbach tritt als Überlauf aus dem Becken in der Nische am Südende des Dorfes zwischen Punkt 504 der top. Karte (Bl. 213) und der Siedlung „Walke“ zu Tage.

Eine unmittelbar östlich des Dorfes an der Straße nach Bertschikon ausgeführte Bohrung erschloß wieder ein normales Profil, Abb. 34.

Die obere Moräne reichte bis $-5,30$ m, der Wasser führende Schotter bis $-18,40$ m. Grundwasserspiegel bei $-2,65$ m. Die Konzession lautet auf 300 Minutenliter. Der ausgebeutete Brunnen konnte bis zu einem Ertrage von 1150 Minutenliter beansprucht werden.

2. Fassung Bertschikon.

Gehen wir einen Kilometer weiter gegen Süden, so kommen wir in das Gebiet von Bertschikon, wo im östlichen Teil des Dorfes am Fuß des Hanges eine Reihe von Aufstößen den Spiegel des Beckens andeuten.

Die Bohrung für die Wasserversorgung der Ortschaft wurde auch hier an den Fuß des Hanges verlegt.

Die Bohrung wurde bis zu einer Tiefe von 12,75 m vorgetrieben, was freilich nicht ohne Schwierigkeiten möglich war. Zuerst mußte die Moränendecke mit einigen Metern Mächtigkeit durchbrochen werden, dann folgten stark verkittete Schotter mit wenig Wasser. Erst von 11 m an abwärts wurde das eigentliche Becken in lockerem, durchlässigem Kies erschlossen. Das Wasser wurde aus der Tiefe artesisch bis nahe an die Erdoberfläche aufgetrieben.

Die Wasserversorgung Bertschikon entnimmt dem Brunnen 400 Minutenliter.

3. Fassung bei Grüt-Goßau (Artesischer Brunnen).

In letzter Zeit hatte ich Gelegenheit, im Seewadel bei Grüt-Goßau eine neue Grundwasserfassung zu disponieren. Das Resultat derselben ist insofern interes-

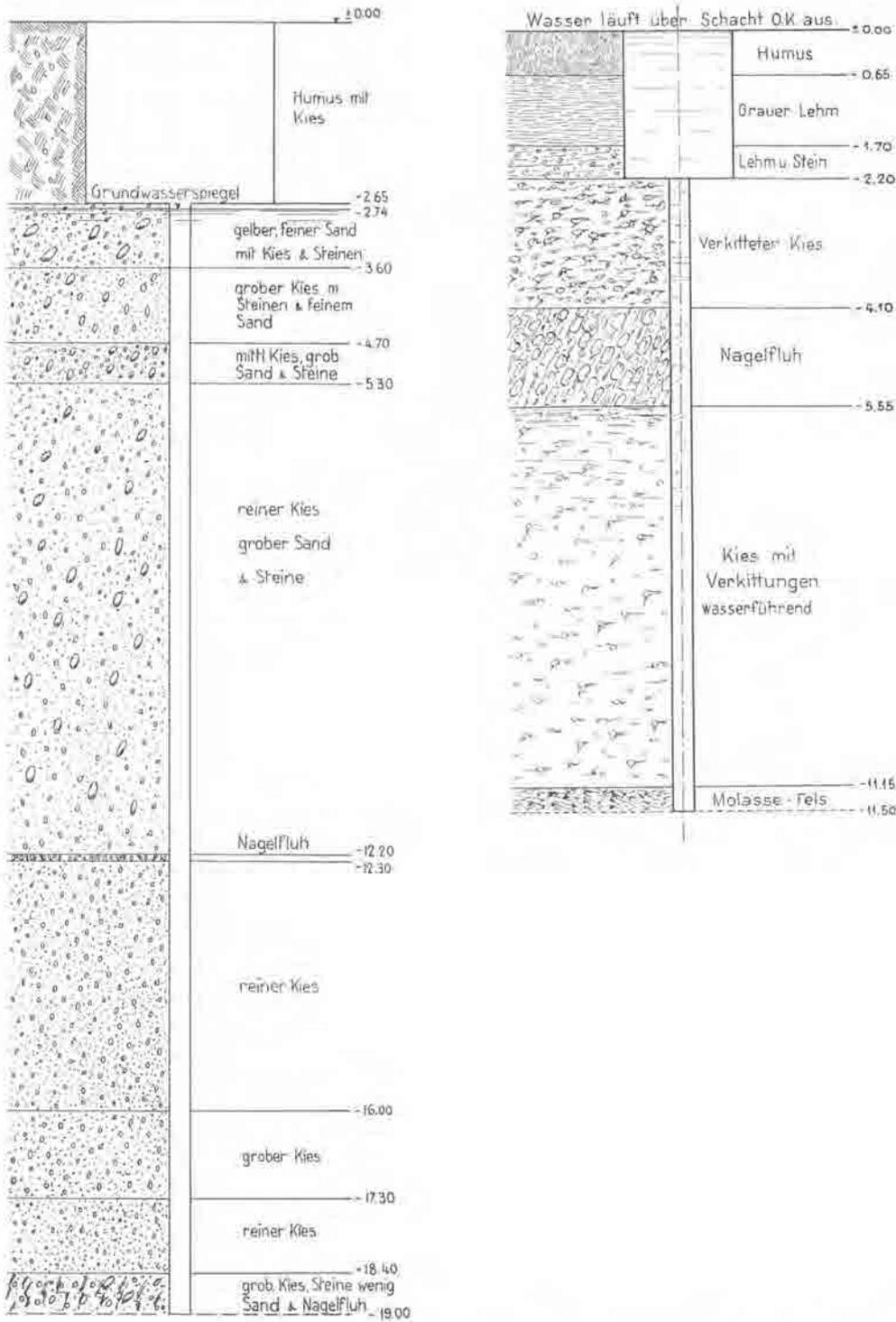


Abb. 34. Profile der Bohrungen von Sulzbach (links) und Fuchsbühl bei Bubikon (rechts).

sant, als hier der artesische Druck des Grundwassers in einer Intensität zum Ausdruck kam, wie er bis jetzt in unserer Gegend nicht beobachtet werden konnte.

Auf der topographischen Karte (Bl. 227) ist 1,4 km östlich von Gósbau eine sumpfige Niederung mit der Bezeichnung „Seewadel“ angegeben. Der Flurname deutet auf das Vorhandensein von Quellen hin, die nach ihrer Lage zu schließen, als Überläufe des Grundwasserbeckens gedeutet werden müssen.

Eine alte Fassung nahe dem Fuße des Hanges, aber noch im Sumpfe gelegen, lieferte einen Minimalertrag von 180 Minutenlitern. Dazu kommen in gleicher Lage am Hange noch einige andere Aufstöße.

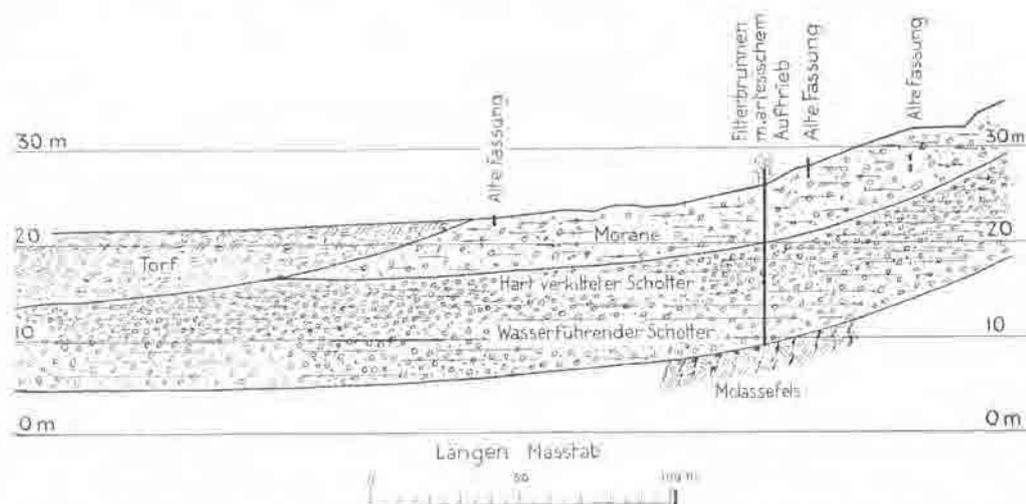


Abb. 35. Schematisches Querprofil durch den artesischen Brunnen von Grüt-Gossau. Abschließung des wasserführenden alten Schotter durch lehmige Moräne.

In Abb. 35, die ein schematisches Profil durch diese Gegend darstellt, sind ferner noch alte Fassungen eingetragen, die verschiedene Meter über dem Talboden liegen. Aus diesen Verhältnissen mußte die Schlußfolgerung abgeleitet werden, daß der Grundwasserspiegel im Hange durch angelagerte lehmige Grundmoräne gleichsam gestaut sei. Um eine richtige Fassung zu erhalten, blieb also nichts anderes übrig, als die Grundmoränendecke zu durchstoßen und den mutmaßlichen Schotter zu erschließen.

Zunächst entschloß man sich nur zur Ausführung eines Schachtes nahe dem Fuße des Hanges, d. h. an der Stelle, wo im Profil die Grundwasserfassung angegeben ist. Der Schacht wurde bis zu einer Tiefe von ca. 4 m in lehmiger Moräne abgeteuft; dabei wurde zwar der Grundwasserspiegel, aber noch kein durchlässiger Grundwasserträger angetroffen. Wenn man aber den Wasserspiegel im Schachte absenkte, so konnte in der Schachtsohle eine eigenartige Erscheinung beobachtet werden. Das durch Lehmbeimischungen stark getrübte Wasser ließ in der ganzen Breite der Schachtsohle helle Flecken mit klarem Wasser erkennen. Es konnte dies nur daher rühren, daß aus dem Boden stellenweise Adern mit klarem Grundwasser von unten her aufgetrieben wurden.

Mit diesen Feststellungen war der Beweis erbracht, daß unter der Schichtsohle Grundwasser führende Schotter vorhanden sein müssen. Die bereits erwähnte Höhenlage des Wasserspiegels im Hange ließ einen ausgeprägten artesischen Druck im Wasser erwarten, das Aufquellen war aber durch weitere mehr oder weniger schwer durchlässige Schichten gehemmt. (Siehe Abb. 37.)

Unter diesen Umständen erschien die Ansetzung einer Tiefbohrung im Schachte gerechtfertigt, die bis zu einer Tiefe von 13,10 m vorgetrieben wurde.

Bis zu einer Tiefe von 5,10 m herrschten lehmige Schichten der Grundmoräne vor. Dann folgten Nagelfluhschichten, die für den alten Schotter charakteristisch sind. Die Verkittung des Schotters war hier so stark, daß die Arbeit nur mit großen Schwierigkeiten fortgesetzt werden konnte.

Bei einer Tiefe von 12 m wendeten sich die Verhältnisse zum Bessern, indem der Schotter lockerer und damit auch durchlässiger wurde, was sich sofort in einem starken Auftrieb durch das Bohrröhr äußerte. In diesem Stadium flossen bereits 160 Minutenliter aus dem Röhr.

Der weitere Vortrieb der Bohrung erleichterte den Zutritt des Wassers immer mehr. Als eine Tiefe von 13,1 m erreicht war, präsentierten sich die Verhältnisse so, wie sie durch die photogr. Aufnahme von Abb. 36 dargestellt sind. Das Bohrröhr endigte ca. 2 m über der Terrainoberfläche, also 14 m über dem Anschnitt des Grundwasserträgers. Trotzdem flossen aus dem Röhr 390 Minutenliter dauernd über. Das monumentale Aussehen des Austrittes rührt daher, daß das Wasser nicht nur oben aus dem Röhr ausfloß, sondern aus den Muffenlöchern des Röhr.

Mit diesen Bohrergebnissen war natürlich die Eignung dieser Stelle zur Anlage einer definitiven Fassung mehr als hinreichend bewiesen. Während im schematischen Profile von Abb. 35 nur die großen Züge der Lagerung angedeutet sind, wurde in Abb. 37 die genaue Schichtenfolge nach dem Plane des Bauleiters, Ing. E. Frei, Rapperswil, dargestellt.

Besonders bemerkenswert sind die *Vorteile* einer solchen *Lagerung der Schichten für die Qualität* des Wassers. Es versteht sich von selbst, daß bei derartigen Druckverhältnissen jeglicher Zutritt von Oberflächenwasser in der näheren Umgebung der Fassung völlig ausgeschlossen ist, es kann nur Wasser aus größerer Entfernung, also mit langem Filtrationsweg in den Brunnen eintreten.

Der definitive Filterbrunnen wurde bis zu einer Tiefe von -17,0 m vorgetrieben, sodaß der Wasser führende Schotter in einer Mächtigkeit von 5 m erschlossen war. Natürlich hält auch heute der artesische Auftrieb an, es mußte deshalb eine Vorflutdrainage für den Brunnen angelegt werden. Nach den bei der zuständigen Behörde eingezogenen Erkundigungen fließen aus dem Brunnen dauernd 450—600 Minutenliter über, wenn die Pumpe außer Betrieb steht.

Nach dem Wasserrechtskataster werden vorläufig aus dem Brunnen nur 400 Minutenliter ausgenützt, die außer für Grüt-Goßau auch für Mönchaltorf und Eßlingen Verwendung finden.

Der Brunnen von Grüt-Goßau bringt also das *Prinzip des artesischen Druckes*



Phot. A. Bellick
4, II, 1932

Abb. 36. Der artesische Brunnen von Grüt-Gossau im Zustande der Sondierbohrung.

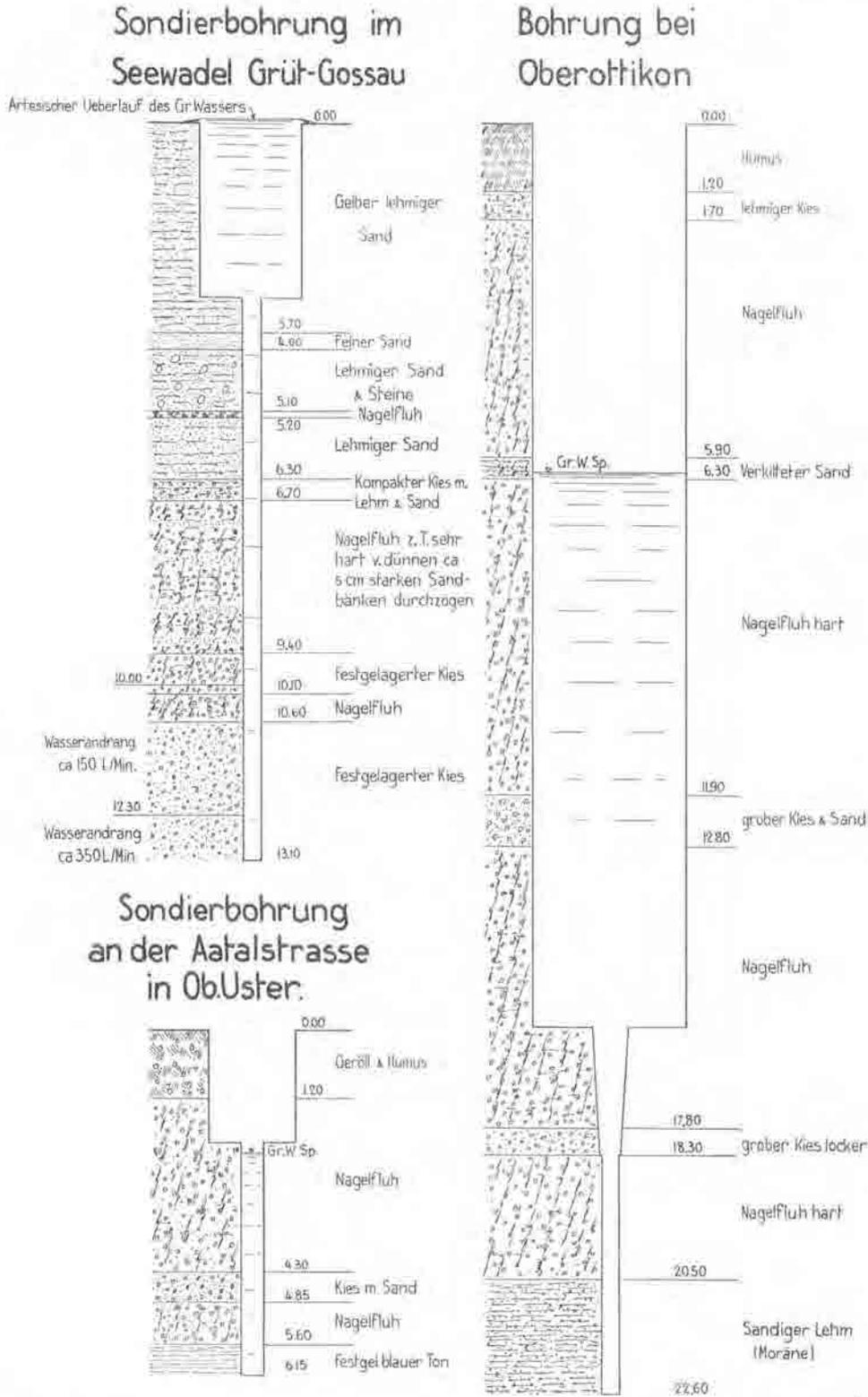


Abb. 37. Verschiedene Bohrresultate aus dem Grundwasserbecken des oberen Glatttales.

mit seinem Auftrieb von nicht weniger als 14 m in so außerordentlich starkem Ausmaß zur Geltung, wie es an keiner andern Stelle des Kantons registriert werden konnte.

4. Aufstöße bei Ober-Ottikon.

In der weitem Umgebung von Ober-Ottikon gibt sich die Zugehörigkeit zur Randzone durch das Vorkommen einer Reihe von kleinern und größern Aufstößen kund. Unsere Karte deutet hier durch drei Ringe eine Gruppe von Aufstößen an, welche hauptsächlich die Wasserversorgungen von Grüningen, Ober-Ottikon, Unter-Ottikon und Brüscheid-Hellberg gespeisen haben mit zusammen ca. 650 Minutenliter. Dazu kommen noch Aufstöße, die den Weiher direkt nördlich von Ober-Ottikon speisen mit 60—240 Minutenliter. Diese Aufstöße rühren daher, daß von Nordosten her eine Vertiefung unter den Grundwasserspiegel des Beckens eingreift.

5. Bohrungen östlich Ober-Ottikon.

In allerneuester Zeit ist nun das Gebiet von Ober-Ottikon in Bezug auf Ausnützung des Grundwasserbeckens in großem Stil zu sehr großer Bedeutung gekommen. Die Aufstöße als solche gaben zu der Schlußfolgerung Anlaß, daß hier dem Schotter eine gute Durchlässigkeit zukomme, was ihn zur Anlage ertragsreicher Fassungen disponieren muß.

Der Bereich der alten Fassungen westlich von Ober-Ottikon wurde zum vornherein als für eine moderne Fassungsanlage gänzlich ungeeignet erachtet. Man wäre damit unmittelbar in die Nähe des Dorfes gekommen mit direkter Zuflußrichtung aus der Ortschaft mit nur einigen Metern Überdeckung über dem Grundwasserspiegel.

Auch in quantitativer Hinsicht bestand wenig Hoffnung, die notwendige Wassermenge von 4000 Minutenlitern zu beschaffen, indem das Quellgebiet offensichtlich dem Rande des Grundwasserbeckens mit unzureichender Mächtigkeit des Grundwasserträgers entsprechen muß.

Auf Grund der anderweitig bei den Grundwasserbecken des Glattales gesammelten Erfahrungen kam ich dazu, die Fassungen östlich von Ober-Ottikon an den Fuß des Hanges und direkt in denselben zu verlegen, von welchen verschiedene Aufschlüsse die Zugehörigkeit zum Grundwasserbecken beweisen. Da die Fassungsarbeiten erst während der Niederschrift dieses Kapitels zum Abschluß gekommen sind, muß auf eine erschöpfende Darstellung verzichtet werden. Die drei ausgeführten Bohrungen haben auch hier den Grundsatz bewiesen, daß gegen das Innere des Beckens günstigere Ertragsverhältnisse zu erwarten sind als in den Randzonen. Es war aber noch möglich, wenigstens das Resultat der dritten Bohrung in Abb. 37 darzustellen nach Plan des Bauleiters Ing. E. Frei. Fast das ganze Profil besteht aus stark verkittetem Schotter, der auf lehmiger Grundmoräne lagert. Der Grundwasserspiegel wurde bei $-6,20$ m angetroffen, die Lage des Bohrloches im Hange kommt darin zum Ausdruck.

Bei der starken Verkittung des Schotters war die Ausführung des Brunnens durch die Bohrung mit Schwierigkeiten verbunden. Es wurde daher teilweise mit Wasserhaltung abgeschachtet; dabei mußten während fünf Wochen ununterbrochen etwa 4500 Minutenliter Wasser gefördert werden. Der Zufluß kam hauptsächlich aus den beiden lockeren Schichten bei 11,90—12,80 und 17,80—18,30 m Tiefe.

Auffallend war ferner der große Niveauunterschied des Grundwasserspiegels in den einzelnen Bohrlöchern im Sinne eines starken Abfallens des Spiegels in der Randzone (ca. 2 m), sodaß besondere Vorkehrungen nötig wurden, um ein unnötiges Überfließen aus dem obersten Brunnen zu verhindern.

Vorläufig wurden zwei Bohrungen zu Brunnen ausgebaut, für die eine Konzession von 4000 Minutenlitern erteilt worden ist. Sie dienen zur Versorgung der kleinern Ortschaften der Umgebung von Ottikon, wie für Grüningen, Binzikon und Hombrechtikon.

Die Fassungsanlage von Ober-Ottikon bedeutet also einen weitem großen Fortschritt in der Erschließung des Grundwasserbeckens im obern Glattal.

6. Fassungen am Fuchsbühl bei Bubikon.

Auf Seite 65 hatte ich geschildert, daß die Schotteraufschlüsse beim Fuchsbühl 1,5 km nordwestlich Station Bubikon das obere Ende unseres zusammenhängenden Grundwasserbeckens darstellen.

In der Randzone des Schotters entspringt ein Quellbach aus vielen Aufstößen. Sie sammeln sich in einem Weiher 1 km nordwestlich Station Bubikon. Als besonderes Kuriosum notieren wir die eigenartige Erscheinung, daß der Quellbach in der Richtung gegen Süden abfließt, während unser Grundwassergebiet sich gegen Norden oder Nordwesten orientiert. Es rührt dies daher, daß die Wasserscheide gegen das Zürichseetal, resp. die Felsbarriere von Bubikon-Rüti unter den Grundwasserspiegel am oberen Ende des Grundwasserbeckens eingeschnitten ist.

Es liegt also hier die seltene Erscheinung eines *Übergreifens der hydrologischen Beziehungen über die Wasserscheide vor*.

Die Gemeinde Bubikon bezog seit vielen Jahren einen großen Teil ihres Wassers aus einer Fassung, mit der ich schon im Jahre 1911 zu tun hatte. Es wurde damals in die stark verkittete, einer Bohrung große Schwierigkeiten bereitende Nagelfluh, ein auch als Reservoir dienender Schacht von ca. 5 m Tiefe ausgehoben, in welchen das Wasser von unten aufquillt.

Vor einigen Jahren wurde die Wasserversorgung Bubikon in diesem Gebiete erweitert. Es war dies besonders aus einer Bohrung etwa 70 m nördlich der alten Fassung direkt am Fuße des Fuchsbühl möglich. Das Profil derselben wird durch Abb. 34 (rechts) dargestellt.

Unter einer Decke von jungem Lehm und etwas Moräne kommt von —2,20 m an der eigentliche Schotter, aber zunächst noch mit starker Verkittung, welche die Durchlässigkeit und damit auch die Eintrittsverhältnisse zum Brunnen stark beeinträchtigt. Erst bei —5,5 m folgte der eigentliche Grundwasserträger in Form einer lockeren Facies des Kieses. Auch hier macht sich also die im alten Schotter

mehrfach erwähnte Erscheinung bemerkbar, daß die äußeren Schichten stark verkittet sind, so daß der produktive Schotter erst in der Tiefe erreicht werden kann, als natürliche Folge des Fortschreitens des Verkittungsvorganges von außen nach innen.

Entsprechend der Abschließung des Grundwasserträgers nach oben, muß sich auch hier ein *artesischer Druck* bemerkbar machen, der schon bei der Sondierbohrung ein Überfließen des Wassers über Terrain bewirkte.

Die Gemeinde Bubikon entnimmt dem alten und dem neuen Brunnen zusammen 1200 Minutenliter.

7. Fassungen im Aatal.

Wie wir schon früher erwähnt haben, bildet auch das Aatal einen Einschnitt in das allgemeine Grundwasserbecken.

Unsere Karte verzeichnet etwas oberhalb der Station Aatal eine Fassung mit über 500 Minutenliter. Es ist damit die *alte Quellfassung der Wasserversorgung Uster* gemeint, für die eine Konzession für 600 Minutenliter erteilt wurde. Wir haben es hier mit einem gewöhnlichen natürlichen Aufstoß zu tun, der zufolge des Aataleinschnittes bis unter den Grundwasserspiegel am linksseitigen Talhang zustande kam.

Als hydrologisch interessant nennen wir ferner die *Fassung bei der Fabrik Trämpler* an der Aatalstraße in *Ober-Uster*, aus welcher 250 Minutenliter entnommen werden.

Das Profil ist in Abb. 37 Mitte nach dem Plane des Ingenieurbureaus A.-G. Guggenbühl, Zürich, dargestellt. Unter 2 m Humus und Geröll (Anschwemmung der Aa) folgt bis zu einer Tiefe von 5 m ein stark verkitteter Schotter mit einer Einlagerung von lockerem Kies; die Unterlage des Schotters bildet ein blauer Ton.

Diese Bohrung zeigt uns, daß der Schotter auch noch unter die Sohle des Aatales reicht. Das Liegende bildet eine lehmig-sandige Moräne, die durch eine am Fuße des linksseitigen Aatalhanges im Areal oberhalb der Brauerei Bartenstein bis zu einer Mächtigkeit von 15,55 m erschlossen wurde, ohne das Liegende zu erreichen. Über dem Lehm sind in dieser Gegend Aufstöße mit 340 Minutenliter für die Brauerei gefaßt.

Die Karte verzeichnet weiter nordwestlich in der Gegend von Ober-Uster noch verschiedene andere kleinere, meistens ältere Fassungen. Dazu gehört auch die durch einen großen Ring angedeutete Quellengruppe an der Stelle, wo die Straße Uster-Wetzikon die Eisenbahnlinie kreuzt. Es liegen hier Fassungen vor, die schon aus dem Jahre 1848 stammen. „Beim Bau des oberen Teilstückes der Glattalbahn (1857) hat die Bahngesellschaft als Ersatz für die alten Fassungen neue erstellt, ferner die alten, hölzernen Ableitungen in der Straße ausgehoben und durch eiserne ersetzt“. Nach den Akten der Wasserrechtsabteilung liefern die vier Fassungsstränge zusammen 600 Minutenliter (Maximalertrag).

VII. Die Grundwasserbecken der Halbinsel Au und bei Wädenswil.

1. Gebiet der Halbinsel Au.

a) *Geologische Orientierung.*

Im Zürichsee-Limmattal gestalten sich die Verhältnisse in Bezug auf die Verbreitung des alten Schotterers wesentlich anders als im Glattal. Allem Anschein nach erfüllte der Schotter vor der letzten Eiszeit das ganze Zürichsee-Limmattal. Während aber das Glattal wegen seiner besonderen Lage zeitweise zu einem toten Tale degradiert war und so von Erosion verschont blieb, konzentrierte sich die Abtragung mehr auf das Haupttal. Hier mußte besonders während der letzten Interglazialzeit und der letzten Eiszeit die Wirkung der Erosion zur Geltung kommen. Auf Grund dieser Überlegung erklärt es sich ohne weiteres, daß im Limmattal von der Anschüttung des alten Schotterers nur noch vereinzelte Reste übrig geblieben sind. Dazu gehört in erster Linie die Halbinsel Au bei Wädenswil, die sich in unserer Karte auf weiter Flur als vereinzeltes offensichtliches unterirdisches Gewässer abhebt.

Schon in meiner früheren Publikation (Typen der ausnutzbaren Grundwassergebiete)²⁴⁾ hatte ich die eigenartigen Wasserverhältnisse dieses Gebietes kurz erwähnt. Seither hat aber die Ausnützung hier weitere Fortschritte gemacht, durch Fassungen, welche wohl einzig in ihrer Art dastehen.

Die Halbinsel Au präsentiert sich vom Lande und vom See her als elliptischer Hügel, der bei der Station Au durch eine schmale Ebene mit dem Ufer verbunden wird. Wie aus einer Serie von Tiefbohrungen hervorgeht (Lagerhaus Blattmann & Co. bei der Station Au) muß dieses Verbindungsstück als ganz junge Verlandungszone aufgefaßt werden, es kamen bis zu -14 m Seebodenlehme zum Vorschein. Das Schottervorkommen hat also den Charakter einer Insel und nicht einer Halbinsel.

Der Schotter selbst erscheint an verschiedenen Stellen besonders an der Seite gegen den See hin aufgeschlossen. Einige hundert Meter westlich des Dampfschiffsteges, wo der Uferweg als Stollen eingehauen ist, beobachten wir den Schotter als feinkörnige Nagelfluh in typischer schiefer Schichtung (Deltastruktur). Einzelne weniger stark verkittete Partien wittern an der Felswand heraus, daher das ruinenhafte Aussehen dieser Uferpartie.

Auch auf der Westseite des Hügels im Landgut Schultheß tritt der Schotter an verschiedenen Aufschlüssen zu Tage. Besonders interessant ist hierbei ein Stollen, der einige Meter über dem Seespiegel etwa zehn Meter in den Hügel gehauen wurde. Er soll dem Vernehmen nach aus der Zeit des bekannten Generals Werthmüller stammen, der im 17. Jahrhundert in diesem Gute vorübergehend ein sagenumwobenes Dasein fristete. Den Zweck des sonderbaren Stollens kann man sich heute nicht mehr recht vorstellen.

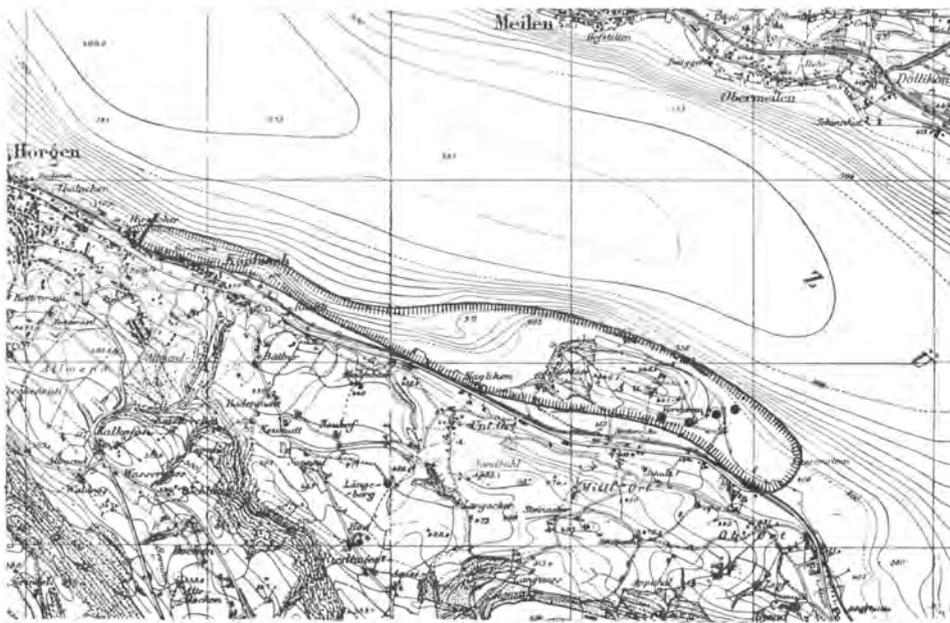
Weitere Aufschlüsse sind ferner beim Dampfschiffsteg, wo ein alter Sodbrunnen den verkitteten Schotter und den Grundwasserspiegel beobachten läßt.

²⁴⁾ Monatsbulletine des Schweiz. Vereins v. Gas- und Wasserfachmännern 1928. Seite 29/30.

Die elliptische Form des Schotterhügels kann nur eine Folge der Erosionswirkung des Gletschers der letzten Eiszeit sein. Der alte Schotter der Au wurde also durch das vorrückende Eis in gleicher Weise zu elliptischen Rundhöckern geformt, wie die Moränenfelsen der Umgebung von Grüningen und die östlich anschließenden Schotter von Ottikon.

h) Verbreitung des Schotters außerhalb der Halbinsel.

In unserer Karte geht sonderbarer Weise das öffentliche unterirdische Gewässer über den Auhügel hinweg ein Stück weit in den See hinaus. Diese Be-



Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 31. August 1933.

Abb. 38. Verbreitung des Grundwasserbeckens der Halbinsel Au mit Fortsetzung im Zürichsee.

hauptung mag auf den ersten Blick etwas hypothetisch erscheinen. Es haben sich aber eine ganze Reihe sicherer Anhaltspunkte zur Stütze dieser Diagnose beibringen lassen, die überzeugend genug waren, um sogar eine Ausnützung des unterseeischen Schottergebietes in die Wege zu leiten.

In der Darstellung des Seebodens in der topographischen Karte, Bl. 228 (siehe Abb. 38) fällt uns auf, daß außerhalb des Landungssteges eine etwa 100 m breite, seichte Zone anschließt, dann fällt der Boden ganz unvermittelt steil in etwa 4 Höhenkurven ab.

Wie ich mich durch Befahren mit einem Bote in Begleitung von Herrn Treichler, Betriebsleiter der Wasserversorgung Wädenswil, überzeugen konnte, besteht die unterseeische Felswand aus eiszeitlicher Nagelfluh, in der Ausbildung, wie wir sie im vorstehenden Kapitel im Glattal von so vielen Orten beschrieben haben. Die härteren, d. h. stärker verkitteten Partien hängen aus der Wand

in den See über, die tieferen, mehr lockeren Schichten sind herausgerollt; dadurch kommt die eigenartige ruinenhafte Gestaltung der Felswand zustande.

Wenn man nun das Bild des Seegrundes der topogr. Karte Bl. 228 betrachtet, so geht daraus mit aller Deutlichkeit hervor, daß die geschilderte Schotterfelswand auf beiden Seiten über die Halbinsel hinaus sich fortsetzt, sowohl seeabwärts als aufwärts. Vor einigen Jahren wurde bei der Anlage des Seewasserpumpwerkes der Gemeinde Horgen am Seeufer noch festgelagerter Schotter gefunden, der ohne Zweifel mit dem Auschotter in Verbindung gebracht werden muß. Der Aufschluß liegt 3 km unterhalb der Au.

Über die Verbreitung des Schotters östlich der Halbinsel gibt uns das Profil von Abb. 39 nähern Aufschluß.

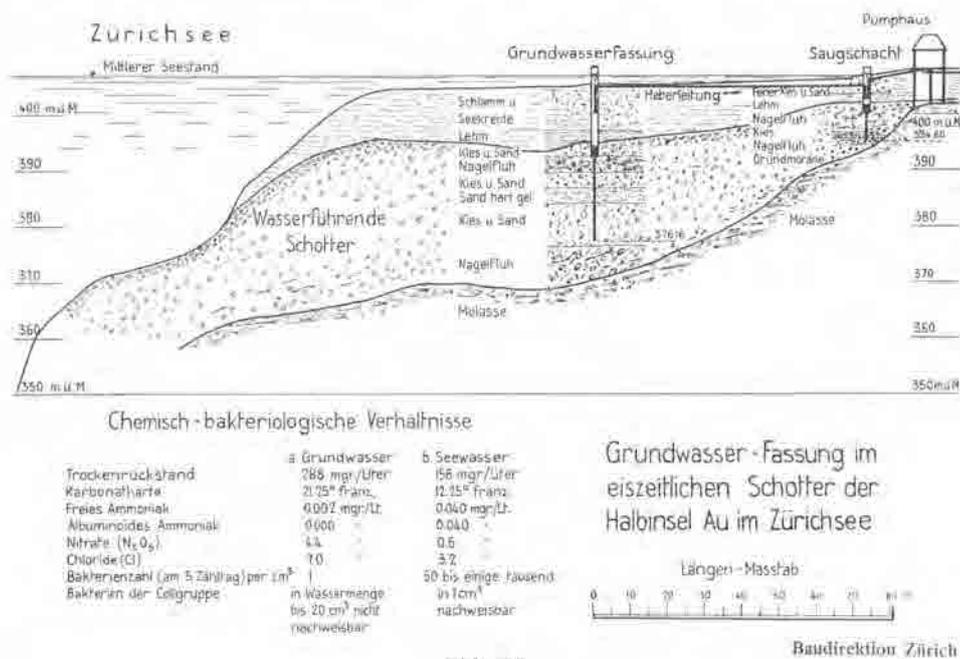


Abb. 39.

Die Bohrung am Ufer (Saugschacht des Profiles 39) ergab verkitteten Schotter mit Moränenunterlage, die bei 9 m Tiefe auf Molassefels lagert.

Ganz anders nun die etwa 80 m im See plazierte zweite Bohrung. Bei einer mittleren Wassertiefe von 2 m kamen zunächst 12 m rezente Seeablagerungen (Seekreide, Schlamm, Lehm), darunter die eigentlichen Wasser führenden Schotter. Entsprechend dem Charakter als alten Schotter schalteten sich einzelne harte Nagelfluhschichten ein.

Bei Kote 376,16, d. h. gegen 31 m unter dem Seespiegel, wurde der weitere Vortrieb eingestellt, dabei war aber die Sohle des Schotters noch nicht erreicht. Die starke Verkittung der untersten Schichten dürfte vielleicht die Nähe der Sohle des Schotters vermuten lassen. Das will freilich nicht heißen, daß wir damit den tiefsten Punkt der Schotteranlagerung vor uns hätten. Ein Blick auf die Neigung



Phot. A. Beilick
2. IV. 1931

Abb. 39 a. Sichtbarer Aufbau des Filterbrunnens der Gemeinde Wädenswil von Profil Abb. 39.

der Felssohle in Abb. 39 drängt uns die Überzeugung auf, daß die Bohrung 2 (Grundwasserfassung des Profiles) noch der Uferpartie des Schotters angehöre. Die Darstellung der Felssohle in Abb. 39 ist natürlich hypothetisch, sie kann eventuell noch steiler verlaufen.

Auf Grund dieser neuen Anhaltspunkte muß also die totale *Erstreckung des alten Schotters zu mindestens 5 km angenommen werden*, wovon der größere Anteil auf die unterseeische Verbreitung fällt.

c) *Alle Wasserfassungen im Gebiete der Halbinsel.*

Entsprechend der vollständigen Isolierung des Schottergebietes der Au muß das zugehörige Grundwasservorkommnis zum Typ der Grundwasserbecken gerechnet werden, wie wir sie im mittleren und oberen Glattal kennen gelernt haben. Neu sind hier aber die Beziehungen zum See.

Als älteste Erschließung des Grundwasserbeckens nennen wir den *alten Sodbrunnen neben dem Landungssteg*, nur wenige Meter vom See entfernt. Der typische alte Schotter mit seiner starken Verkittung stellt im Brunnenschacht sichtbar an. Obwohl der Brunnen ganz nahe am Seenerfer liegt und man deshalb landläufig allgemein annimmt, daß hier Seewasser geschöpft werde, unterscheidet sich das Grundwasser mit einer Härte von 26 franz. Graden sehr stark vom Seewasser mit ca. 12 Grad. Bei dieser ausgesprochenen chemischen Differenzierung kann natürlich trotz der unmittelbaren Nähe der beiden Gewässer von einer Infiltration aus dem See nicht gesprochen werden. Für diese Auffassung sprechen auch die Niveauverhältnisse, indem der Grundwasserspiegel einige Dezimeter über dem Spiegel des Sees steht. Diese Feststellungen gelten für alle noch zu besprechenden Fassungen im Bereich der Halbinsel.

Die *Speisung des Grundwasserbeckens* kann also nicht vom See her, sondern durch die auf die Halbinsel fallenden Niederschläge erfolgen, die in dem durchlässigen Grunde restlos versickern können.

In der Karte von Abb. 38 sind am Südostfuß des Hügels zwei Fassungen eingetragen, es sind dies die Sodbrunnen von zwei Landgütern. Der eine der beiden Schächte ist ganz in den verkitteten Schotter eingehauen.

d) *Neue Fassung bei der Station Au.*

Eine abklärende Erschließung des Grundwasserbeckens brachte aber erst die Tiefbohrung, welche für die Gemeindewasserversorgung Wädenswil resp. für die westlichen Gebiete der Ortschaft in Aussicht genommen wurde. Die Stelle ist auf der Karte von Abb. 38 durch den westlichen großen Ring, nahe bei der Station Au, am Südfuß des Hanges angedeutet.

Die Bohrung war insofern von Mißgeschick verfolgt, als zuerst eine stark verkittete, schlammige und damit undurchlässige Moräne durchfahren werden mußte. Man fand also Lagerungsverhältnisse, wie sie bis zu jenem Zeitpunkte beim alten Schotter nicht aufgefallen waren. Erst bei 11 m Tiefe, ca. 6 m unter dem Seespiegel, kam dann der langersehnte Schotter mit dem *Grundwasser*, das natür-

lich sofort *mit artesischem Druck* bis über den Spiegel des Sees aufgetrieben wurde. Die Bohrung wurde bis zu 19 m Tiefe fortgesetzt, immer im Schotter, ohne das Liegende desselben zu erreichen. Die Verkittung war in allen Schichten ziemlich stark vorgeschritten, was natürlich der Abteufung des definitiven Brunnens ziemlich große Schwierigkeiten entgegensetzte. Das zugehörige Pumpwerk wurde für einen Ertrag von 300 Minutenlitern ausgebaut, die für die Wasserversorgung des Gebietes der Umgebung der Au Verwendung finden.

e) *Die neue Fassung im Zürichsee.*

Der Erfolg der Bohrung in der Halbinsel hat dazu ermutigt, in dem nunmehr nachgewiesenen Schottergebiet weitere Versuche zur Ausnützung desselben ausführen zu lassen. Die Aufmerksamkeit mußte sich besonders auf die unterseeische Verbreitzungszone richten, die nach unseren früheren Ausführungen sich einer größeren Ausdehnung erfreut als der sichtbare Schotterhügel.

Die Bohrungen brachten das schon auf Seite 74 erwähnte, in Abb. 39 dargestellte Profil heraus, das gegen den See hin unter einer 12 m dicken Seebodenlehmschicht einen seewärts an Mächtigkeit zunehmenden Schotter erkennen läßt. Der eigentliche Grundwasserträger wurde bis zu einer Mächtigkeit von ca. 18 m erschlossen, ohne daß damit die Sohle erreicht worden wäre.

Natürlich wurde das Grundwasser in einer Tiefe von etwa 14 m unter dem Seespiegel mit dem Schotter angeschnitten; sofort machte sich der artesische Druck geltend, und ließ den Grundwasserspiegel bis einige Dezimeter über den Seespiegel ansteigen. Der Auftrieb bestimmt sich damit zu ca. 14 m. Wir haben also hier ein würdiges Analogon zu dem artesischen Brunnen von Grüt-Gobau (siehe Seite 66).

In Abb. 39 sind *die chemischen Verhältnisse von Grund- und Seewasser* einander gegenüber gestellt.

Ein Blick auf die Tabelle läßt die Gegensätze auf der ganzen Linie erkennen. Als Hauptmerkmal zwischen Grund- und Oberflächenwasser haben wir bei den früheren dieses Problem betreffenden Auseinandersetzungen besonders die Alkalinität benützt (Karbonathärte). Einem Werte von 21,2 Graden beim Grundwasser stehen beim See 12,25 Grade gegenüber. Auch bei den organischen Komponenten kommt der ganz verschiedene Charakter der beiden Wasser sehr scharf zum Ausdruck.

Ganz auffallend sind die *hygienischen Verhältnisse des Grundwassers*, die einer fast vollkommenen Keimfreiheit gleichkommen. Es unterscheidet sich damit sehr vorteilhaft vom Seewasser.

Alle diese Anhaltspunkte deuten also darauf hin, daß auch hier die *Speisung des Grundwassers* zum allergrößten Teil *durch die Niederschläge* erfolgt und nicht durch Infiltration von Seewasser. Nach dem Profil von Abb. 39 kann natürlich auch Wasser vom Hang her direkt oder durch die kleinen Spalten des Molassefelsens in den Schotter gelangen.

Der an der äußersten Bohrstelle des Profiles ausgebaute Brunnen, der nach

Abb. 40 etwas über dem Seespiegel markiert ist, ergab einen Ertrag von ca. 1200 Minutenlitern. Die für diesen Brunnen an die Gemeinde Wädenswil erteilte Konzession lautet auf 1085 Minutenliter. Das Wasser wird durch einen Heber zu dem am Seeufer plazierten Pumpwerk geleitet (Projekt Direktor H. Peter, Zürich).

Ich sah mich veranlaßt, auf den Brunnen von Wädenswil etwas näher einzutreten, weil die Lage desselben, das Maß des artesischen Druckes in Verbindung mit den Beziehungen zum See einen einzigartigen hydrologischen Typ darstellt.

2. Das Grundwassergebiet von Mühlenen Richterswil.

In unserer Karte ist ein weiteres offensichtliches Grundwassergebiet unmittelbar westlich von Richterswil angegeben.

a) Alte Quellenfassungen.

Schon seit Jahrzehnten bezieht die Gemeinde Wädenswil den größten Teil ihres Wassers aus Quellenfassungen in den Mühlenen bei Richterswil; auch die Wasserversorgung Richterswil bezog aus diesem Quellgebiet Wasser. Die Quellenfassungen liegen in einem Wäldchen am Fuße des Steilhanges in einer Entfernung vom Seeufer. Der mittlere Ertrag der gesamten Gruppe wird zu 1260 Minutenliter angegeben.

Der Raum zwischen Quellen und See wird durch ein Tufflager eingenommen, das natürlich nur von unseren Quellen stammen kann ²⁴⁾. Eigentümlicherweise liegt der Wasserspiegel der Quellen mehr als 18 m höher als der Spiegel des Sees.

Bei der ersten Besichtigung mutete mich diese Höhendifferenz etwas eigentümlich an und drängte die Schlußfolgerung auf, daß hier komplizierte hydrologische Verhältnisse zu entziffern seien.

b) Neue Fassung beim Pumpwerk.

Auf Grund eines Vergleiches mit den in Bezug auf Lagerung und Habitus ähnlichen Schottern des Glattales — die Resultate der Bohrungen in der Au lagen damals (1926) noch nicht vor — glaubte ich annehmen zu dürfen, daß der Quellenhorizont noch nicht die Sohle des Schotters darstelle, sondern, daß die Quellen eher als Überlauf eines tieferen Grundwasserbeckens im Schotter aufgefaßt werden müssen.

Eine unmittelbar südlich des Pumpenhauses, das zur Förderung des Quell-ertrages dient, ausgeführte Tiefbohrung ergab folgendes Profil:

- 0 m— 1,70 m lehmiger Kies,
- 1,70 m— 6,30 m Kies mit Sand,
- 6,30 m— 7,15 m lehmiger Sand,
- 7,15 m— 8,10 m verkitteter Kies,
- 8,10 m— 9,20 m Kies mit viel feinem Sande,
- 9,20 m—10,60 m durchlässiger Kies,
- 10,60 m—11,25 m lehmiger Kies mit großen Steinen,
- 11,25 m—12,00 m harte Nagelfluh.

²⁴⁾ Siehe Profil Seite 71 in Höhn, W. Das Werden unseres Heimatbodens. Neujahrsblatt der Lesegesellschaft Wädenswil 1934.

Der Grundwasserspiegel wurde bei -3 m angetroffen, er stieg aber auf $-0,90$ m, als die lehmige Einlagerung bis $7,15$ m Tiefe durchbrochen war.

Die anschließenden Pumpversuche ergaben bei 3 m Absenkung unter den ruhenden Grundwasserspiegel einen Ertrag von 400 Minutenlitern.

Dem definitiven Brunnen werden 300 Minutenliter entnommen.

Auch in diesen Sondierungsergebnissen kommt also der *Beckencharakter des Gebietes* deutlich zum Ausdruck. Wenn sich der Grundwasserspiegel etwa 19 m über dem nahen See halten kann, so muß am Seeufer eine abschließende, undurchlässige Vorlagerung einen Stauriegel bilden, der wohl aus angekleisterter Grundmoräne der letzten Eiszeit und dem von der Quelle abgelagerten Tuffe bestehen dürfte.

c) *Sennhüttenfassung im oberen Grundwasserhorizont.*

Mit dem östlichen Ring unserer Karte, resp. der östlichen Fassung im Grundwassergebiet von Mühlenen hat es die folgende Bewandnis:

Kaum 100 m östlich der genannten Fassungsstelle äußerte sich ein weiterer, noch höher gelegener Grundwasserspiegel in einigen Quellen. Die Aufschlüsse in den Ruinen einer alten Sennhütte ließen erkennen, daß wir auch hier noch im Bereich des alten Schotters sein müssen. Der Grundwasserspiegel steht hier etwa 27 m hoch über See, also ca. 9 m über dem Spiegel der benachbarten Fassung beim Pumpwerk. Unter 1 m stark verkitteter Nagelfluh kamen noch 4 m lockere Schotter, aus denen das Wasser bis 2 m über Terrain aufgetrieben wurde. Dem Brunnen wurden 500 Minutenliter Wasser entnommen.

In den Mühlenen kann damit das *Vorkommen von zwei getrennten Grundwasserstockwerken* nachgewiesen werden. Diese Erscheinung läßt sich nur so erklären, daß zwischen den beiden Wasser führenden Schotterebenen noch eine durchgehende undurchlässige Einlagerung eingeschaltet ist.

Ferner muß auch beim oberen Schotterhorizont sowohl gegen den See als gegen die Fassung beim Pumpwerk hin eine hermetisch abschließende Grundmoräne durch ihre stauende Wirkung den Grundwasserspiegel fixieren.

Wir gehen wohl kaum fehl, wenn wir die trennende undurchlässige Zone mit der auf Seite 74 im Auhügel festgestellten Moränenzone in Verbindung bringen, wie überhaupt die Schottervorkommnisse von Mühlenen und Au ohne Zweifel als Überreste einer zusammenhängenden Schottermasse aufgefaßt werden müssen.

d) *Einzugsgebiet der Fassungen von Mühlenen.*

Die Darstellung auf der Karte beruht auf der folgenden Überlegung: Ein oberes Schottergebiet beim „Gehren“ entwässert sich in Quellen an der Sohle des Schotters. Es mußte daher die entsprechende Bezeichnung verwendet werden. Dazu kommt nun rechts des Reidbaches das Schotterplateau von Altschloß. Zwischen diesem Komplexen finden sich tiefer in der Richtung gegen Mühlenen im Walde „Riedholz“ eine Reihe weiterer Aufschlüsse, die von Aug. Aepli in seiner

Spezialkarte erwähnt, aber als junge gedeutet werden²⁵⁾. Aus hydrologischen Erwägungen mußten wir das Quellgebiet von Mühlönen bis und mit dem Plateau von Altschloß zu einer Einheit als Sammelgebiet des Grundwassergebietes von Mühlönen, ohne auf die allfällige Zugehörigkeit zu verschiedenen Altersstufen näher einzutreten, zusammennehmen; nur so sind die bei Mühlönen gefaßten 2060 Minutenliter denkbar.

VIII. Der Grundwasserstrom des Sihl- und Limmattales.

1. Einleitung.

Über die Grundwasserführung des Sihl-Limmattales hatte ich bereits im Jahre 1918 eine ziemlich eingehende Untersuchung veröffentlicht (Grundwasservorkommnisse der Schweiz, Seite 110—132); die unterirdische Hydrologie dieses Gebietes wurde damit in den allgemeinen Zügen bereits festgelegt.

In den letzten 15 Jahren wurden aber sowohl im Sihl- als im Limmattal eine große Zahl neuer Bohrungen zur Erschließung von Grundwasser und auch für andere Abklärungsarbeiten ausgeführt. Dadurch ist die hydrologische Erforschung dieses Tales so weit vorgeschritten, wie dies in diesem Ausmaß für keine andere Stelle des Kantons oder der Schweiz der Fall sein kann. Es stehen im Limmattalgebiete die Resultate von über hundert Tiefbohrungen zur Verfügung. Auch die chemisch-hygienische Abklärung hat im Laufe der Zeit sehr große Fortschritte gemacht.

Die Einzelforschungen des Limmattgrundwassergebietes haben bis jetzt eine so enorme Menge hydrologischen Materials sammeln lassen, daß eine vollständige Veröffentlichung weit über den Rahmen dieser Arbeit hinaus gehen müßte.

2. Allgemeine Orientierung über die Schotter der letzten Eiszeit.

Schon im vorstehenden Kapitel haben wir darauf hingewiesen, daß im Limmattal die Verhältnisse sich etwas anders entwickelt haben als im Glattal. Während dort die alten Schotter in weiter Verbreitung noch erhalten geblieben sind, wurden sie im Haupttal zufolge der letzten Interglazialzeit und der letzten Eiszeit zum größten Teil abgetragen. Als isolierten Rest haben wir die Halbinsel Au bereits geschildert.

In diesem neu geschaffenen, durch fluviale und eventuell auch durch glaziale Ausräumung entstandenen Limmattal hat die letzte Eiszeit ihre Moränen und Schottermassen abgelagert.

Die heute geltende Auffassung über die Gliederung der zur letzten Eiszeit gehörenden Schotter des Limmattales hatte ich im Jahre 1917 publiziert²⁶⁾.

²⁵⁾ *Aeppli, Aug.*, Erosionsterrassen und Glazialschotter in ihrer Beziehung zur Entstehung des Zürichsees, mit Karte 1:25000. Beiträge zur geol. Karte der Schweiz. Neue Folge, Lief. 4.

²⁶⁾ *Hug, J.*, Die letzte Eiszeit in der Umgebung von Zürich. Vierteljahrsschrift der Natf. Ges. Zürich 1917, Seite 125 ff. Siehe auch: Heim, Alb., Geologie der Schweiz. Bd. I, 1919, S. 260

Wie schon der Name ausdrückt, wurde die letzte Eiszeit von keiner anderen Vergletscherung mehr überschritten. Die in dieser Periode entstandenen Bodenformen haben sich deshalb bis heute in nahezu ursprünglicher Form erhalten können.

Die Grundwasserführung in den Ablagerungen der letzten Eiszeit geht am deutlichsten aus der *schematischen Darstellung einer sog. glazialen Serie*, resp. dem am unteren Ende einer Eiszunge gebildeten Komplex (Abb. 40) hervor. Die Zeichnung mußte bei allen meinen früheren Grundwassermonographien verwendet werden, weil sie zum Verständnis für weitere Kreise unumgänglich notwendig erscheint.

Wir erkennen in Abb. 40 deutlich den *Endmoränenwall*, der in der Regel aus blockigem, mit Sand, Lehm und Schlamm durchsetzten Material besteht und damit undurchlässig, also zur *Grundwasserführung* meistens *ungeeignet* ist. Dazu kommt,

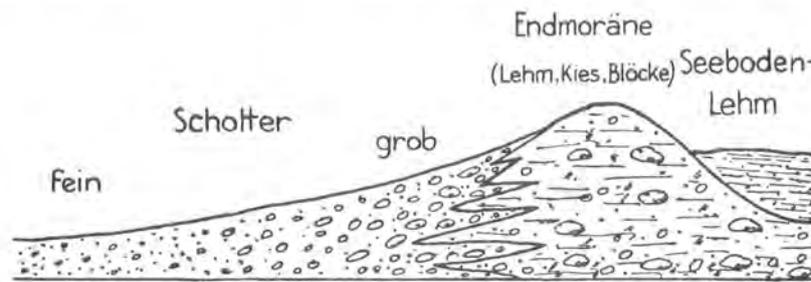


Abb. 40. Schematischer Längsschnitt durch eine Endmoräne mit anschließendem Schotter resp. Verknüpfung von Moräne und Schotter.

daß zufolge des Blockreichtums die Ausführung von Bohrungen mit großen Schwierigkeiten verbunden ist.

Im sog. *Zungenbecken*, d. h. im Raume, welchen der Gletscher erfüllte, mußte in der Regel eine mit lehmiger Grundmoräne ausgekleidete Hügellandschaft entstehen. Meistens entsteht beim Rückzug des Gletschers im Zungenbecken ein See zufolge der Abdämmung des Tales durch den Moränenwall. In der Regel wurden aber die Moränenseen durch Schlammausfüllung verlandet; das Hauptkontingent zu diesem Zerstörungswerk hat wohl der sich zurückziehende Gletscher mit seinem Schlamm, den Absätzen der Gletschermilch, geliefert. Wir erwähnen diesen Vorgang deshalb, weil die entsprechenden eiszeitlichen Seeablagerungen im Limmattal und noch in ausgedehnterem Maße im Glattal innerhalb des Verbreitungsgebietes der letzten Vergletscherung eine sehr große Rolle spielen, so daß daraus manche bittere Enttäuschung bei Grundwasserbohrungen resultierte.

Die Endmoränen stellen aber nur den kleinsten Teil des vom Gletscher hertransportierten Materiales dar. Bei den heutigen Gletschern beobachten wir außerhalb der Endmoränen einen Gletscherboden, in dem die abfließenden Schmelzwasserbäche große Mengen von Moränenschutt weiter schleppen und in sortiertem, gewaschenem Zustande weiter talabwärts wieder ablagern. So entsteht der sogenannte Gletscherboden, die *fluvioglazialen Ablagerungen*.

Bei der enormen Ausdehnung des Erosionsgebietes der diluvialen Gletscher von den Alpen bis in unsere Gegend mußten vom Eisrande Ströme von gewaltigem Ausmaß ausstrahlen, sodaß ein Schuttransport in großem Stile möglich war. Besonders imposant ist das komplizierte Netz von Schotterfeldern, das sich am Endmoränenkranz der maximalen Ausdehnung der letzten Vergletscherung anschließt. Eine Darstellung der zugehörigen Grundwasserströme hatte ich schon in den Grundwasservorkommen der Schweiz Seite 48 veröffentlicht.

Da die Gletschergrenze auf der Linie Mellingen-Killwangen-Schöfflisdorf-Windlach-Station Glattfelden-Rafz-Neuhausen verläuft, fällt das entsprechende Grundwasserstromnetz fast ganz außerhalb des Bereiches unseres Kantons. Es bleiben nur einige kurze Teilstücke im Wehntal (Schöfflisdorf-Niederweningen), im unteren Glattal und im Rafzerfeld.

Dementsprechend kann die letzte Eiszeit im Kanton Zürich in der Hauptsache nur *Ablagerungen der Rückzugsphasen* deponiert haben, die durch ziemlich komplizierte Verhältnisse gekennzeichnet sind.

Im Limmattal sind drei große Hauptstadien ausgebildet, jedes mit einer eigenen Endmoräne mit zugehörigem Schotterfelde. Die Bohrungen haben in den letzten Jahren auch die Seeablagerungen der Zungenbecken aufgeschlossen.

Als Stadien nennen wir in der Reihenfolge ihres Alters aufgezählt:

a) *Killwangerstadium* mit gut ausgebildeter Endmoräne bei Spreitenbach-Station Killwangen und dem Wettingerfeld als zugehöriges Schotterfeld.

b) *Schliererstadium*, Endmoräne bei Unter-Engstringen-Kloster Fahr-Ruine Glanzenburg-Schönenwerd-Friedhof Schlieren mit ausgedehntem Schotterfeld zwischen Unter-Engstringen-Schlieren-Geroldswil.

c) *Zürcherstadium*, Endmoräne Wollishofen-Ulmberg-Lindenhof-Oberer Zäune-Hohe Promenade im Gebiet der Stadt Zürich. Als Schotterfeld figuriert der Talboden des Limmattales.

Durch diese allgemeinen geologischen Grundzüge werden die Grundwasser-Verhältnisse des Limmattales in den großen Zügen bestimmt.

3. Grundwasserstrom im Sihltal.

a) *Verhältnisse im oberen Sihltal.*

In unserer Karte setzt sich der Grundwasserstrom des Limmattales von Zürich aus mit wesentlich reduzierter Breite bis über Langnau hinaus ins Sihltal hin-auf fort.

In der Gegend der Station Sihlbrugg sehen wir zwar im Bette der Sihl Molasse und Moräne anstehend, aber schon etwa 1 km oberhalb Langnau treten am Ufer der Sihl deutlich Grundwasseraufstöße bei niederem Wasserstande auf. Es muß also hier bereits eine Kiesauffüllung als Grundwasserträger im Talboden wirken.

Über die Herkunft des Schotters kann man nicht lange im Zweifel sein. Die genannte Moräne des Zürcherstadiums zieht sich als Seitenmoräne, in mehrere Wälle aufgelöst, über den Kamm des Zimmerberges zwischen Sihltal und dem Zürichsee. Das Sihltal war also zur Zeit des Zürcherstadiums eisfrei. Die Schmelz-

wasser an der linken Flanke der Eiszunge des Zürichseetales mußten daher ihren Weg durch das heutige Sihltal nehmen, wobei die Gletscherbäche im Talboden den Schotter ablagerten. Wir haben es also im Sihltal mit dem sog. *Flankenschotter des Zürcherstudiums* zu tun. Wir werden auch in andern Tälern, besonders im oberen Glättal die Flankenschotter der Eiszungen als wichtige Grundwasserlieferanten kennen lernen.

b) Profil bei Gontenbach.

Abb. 41 stellt einen aus drei Bohrungen zusammengestellten Querschnitt durch das Sihltal dar.

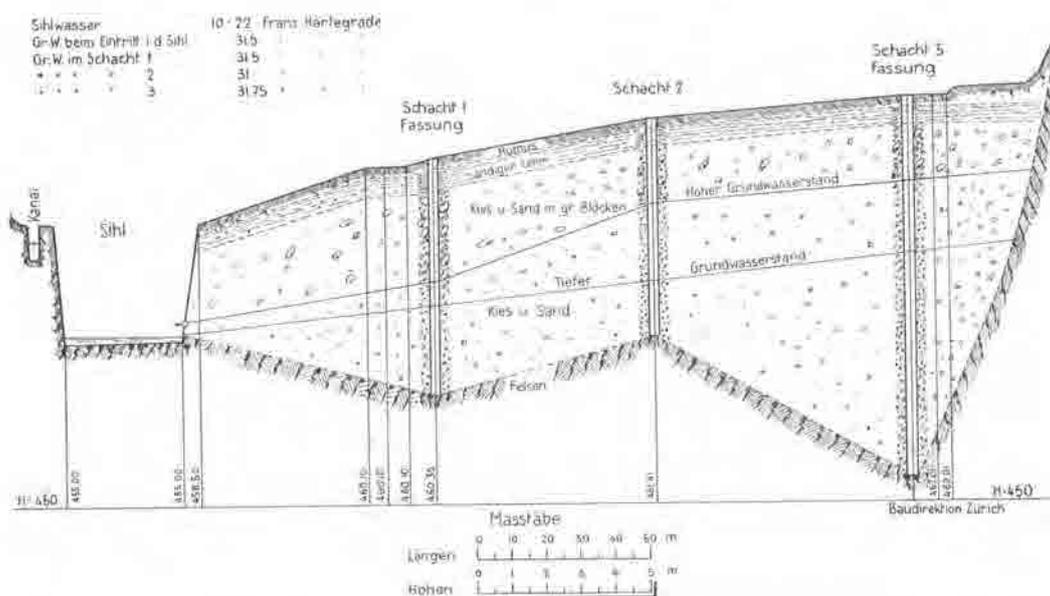


Abb. 41. Querprofil durch den Grundwasserstrom des Sihltales bei der Station Gontenbach, Wasserfassung der Gemeinde Rüschlikon.

Bei der Abteufung der Aufschlüsse fiel mir die sehr grobkörnige Zusammensetzung des Schotters auf. Über kopfgroße Gerölle waren häufig, sodaß an Stelle der Bohrung eine Schachtabteufung mit Wasserhaltung notwendig wurde. Die Nähe der zugehörigen Moräne, d. h. der kurze Transportzug durch die Gletscherbäche, kommt darin deutlich zum Ausdruck.

Als weitere Eigentümlichkeit erwähne ich die Lage der tiefsten Stelle des Grundwasserstromes, resp. des mit Schotter erfüllten Tales. Die Sihl selbst liegt in diesem Profil ganz am rechten Ufer in der anstehenden Molasse, die tiefste Rinne verläuft auf der linken Seite des Talbodens in einer Entfernung von ca. 200 m von der Sihl.

Die Bohrstellen I und III wurden zu definitiven Brunnen ausgebaut, denen die Gemeinde Rüschlikon 600 Minutenliter entnimmt.

Ich hatte das Profil von Gontenbach mehrfach als typisches Beispiel für einen Grundwasserstrom geschildert, bei welchem trotz unmittelbarer Nähe des Flusses *keinerlei Infiltration von Flußwasser* angenommen werden kann. Es geht dies aus zwei verschiedenen Erwägungen hervor, nämlich:

a) Der Grundwasserspiegel zeigt ein deutliches durchgehendes Gefälle gegen den Fluß, was eine Strömung in dieser Richtung, d. h. also vom Grundwasser gegen den Fluß verursachen muß. Bei niedrigerem Wasserstande beobachtete ich denn auch am linken Ufer der Sihl deutliche Grundwasseraufstöße.

b) Dem Spiegelgefälle entspricht auch die *Härte des Grundwassers*. Aus früheren Bestimmungen (Dr. L. Minder) entnehme ich folgende Zahlen: in Bezug auf die Karbonathärte des Wassers:

Sihl	10—22	franz.	Grade
Grundwasser aus Bohrung I	31,5	„	„
„ „ „ II	31	„	„
„ „ „ III	31,75	„	„

Dem Grundwasserstrom ist bis in die Nähe des Flusses dieselbe Härte eigen. Eine Vermischung mit weichem Sihlwasser fehlt also vollständig.

c) Fassungen und Aufstöße bei Adliswil.

Die top. Karte Bl. 175 zeigt unmittelbar unterhalb Adliswil im Sood einen Talboden von 700 m Breite. Die Grundwasserkarte verzeichnet hier zwei Fassungen, die beide an die Wasserversorgung der Gemeinde Adliswil angeschlossen sind.

Bei einem Blick auf die Grundwasserkarte muß uns auffallen, daß die Fassungen direkt am Rande des Talbodens plaziert sind, entgegen dem Grundsatz, möglichst nahe der Mitte des Grundwasserstromes zu gehen, um so die maximale Tiefe zu erreichen.

Als es sich vor zwei Jahren darum handelte, die zweite Fassung für Adliswil zu bestimmen, war man zufolge der Besitzverhältnisse und der Überbauung des Talbodens bereits stark in der Auswahl der Punkte beschränkt. Man durfte es in dieser Zwangslage wagen, direkt an den linken Rand des Talbodens zu gehen nach folgenden Überlegungen:

Die linksseitige Abgrenzung des Talbodens wird nicht etwa durch anstehende Molasse gebildet, sondern durch den sog. Albischuttkegel. Aus den verschiedenen Nischen auf der Strecke von Adliswil über Wiedikon hinaus schieben sich zahlreiche Schuttkegel vor, die sich aus den vom Albiskamm ausgespülten Verwitterungsprodukten der Mergel- und tonigen Sandsteinschichten der Molasse gebildet haben. Aus verschiedenen Bohrungen am linken Rande des Talbodens weiter talabwärts konnte die Prognose abgeleitet werden, daß der Wasser führende Schotter sich noch weit unter dem Schuttkegel hinein fortsetze. Der Letztere muß nämlich auf Grund geologischer Erwägungen als eine ganz junge, zum mindesten postglaziale Anschüttung aufgefaßt werden. Es geht dies besonders aus den Beobachtungen einige Kilometer weiter talabwärts hervor, wo der Fuß des Schutt-

kegels nicht abgeschwemmt ist und in zahlreichen Lehmgruben abgebaut wird. Dabei werden immer wieder ganze Gruppen von stehen gebliebenen Baumstrünken angetroffen. Nach den Angaben von A. Escher v. d. Linth konnte früher, ca. 1823, sogar ein römischer Boden unter einer 2 m mächtigen Lehmschicht beobachtet werden.

Vergegenwärtigen wir uns, daß der Schotter eine typische eiszeitliche Bildung darstellt, so versteht sich eine Überlagerung durch den postglazialen Schuttkegel ohne weiteres.

Der Talboden des Sihltales erfreut sich bei Sood-Adliswil nur deshalb einer so großen Breite, weil hier durch die Sihl der Fuß des Schuttkegels bereits abgetragen ist. Es geht dies aus unserem Profile Abb. 42 aus dem Gefällsbruch des

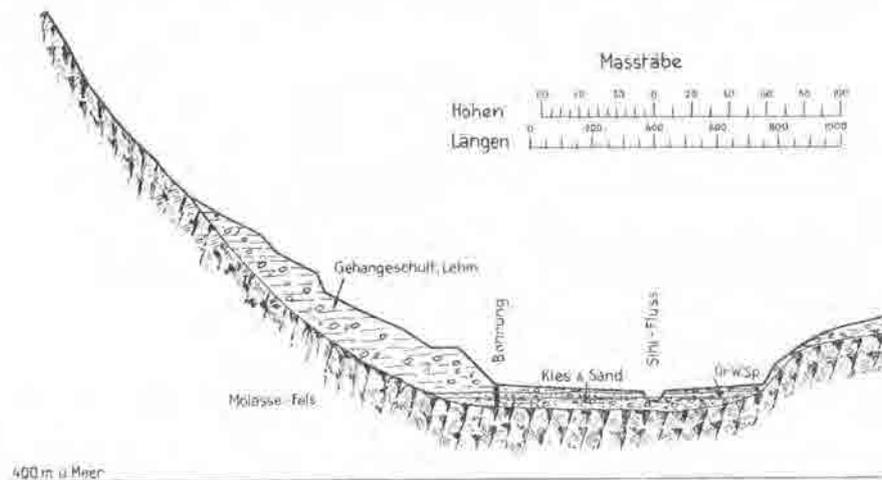


Abb. 42. Schematischer Querschnitt bei Sood-Adliswil.

linksseitigen Talhanges hervor, der unterste Steilabsturz kann nur durch Abtragung des Fußes entstanden sein, für den normalen Schuttkegel wäre die Böschung viel zu steil.

Als Anhaltspunkt stand ferner die alte bestehende Fassung der Gemeinde Adliswil zur Verfügung, die direkt am Rande des Talbodens, resp. am Fuße des Hanges plaziert ist und trotzdem den Wasser führenden Schotter noch erschlossen hatte.

Gestützt auf diese Erwägungen wurde an der fraglichen Stelle, die auf unserer Karte mit dem nördlichen der beiden Ringe bei der Station Sood gekennzeichnet ist, ein Schacht mit anschließender Bohrung angesetzt. Bis zu einer Tiefe von 4,70 m wurde noch der genannte lehmige Schuttkegel durchfahren, dann erst wurde der eiszeitliche Schotter erreicht. Der letztere hielt bis zu 11,00 m Tiefe an, dann folgte die anstehende Molasse.

Die im definitiven Brunnen ausgeführten Pumpversuche vom April 1931 ergaben bei ²⁷⁾

²⁷⁾ Angaben des Bauleiters Ing. A. Frick, Zürich.

1,05 m Absenkung	900	Minutenliter
1,65 m	1500	„
2,60 m	2100	„

Die Lagerungsverhältnisse sind besonders in Bezug auf die Qualität des Wassers als sehr günstig zu bezeichnen. Die 4,7 m Lehmbedeckung gehören natürlich zu dem bereits genannten Schuttkegel, der wenigstens im Bereich der Fassung selbst und auf der linken Seite derselben eine ganz vorzügliche Schutzdecke bildet.

d) *Grundwasseraufstöße im Unterwasserkanal im Sood.*

Im gleichen Profil wie die im vorstehenden Abschnitt geschilderte Grundwasserfassung wird der Grundwasserstrom noch durch den Unterwasserkanal der „Sapt“ A. G. für Textilprodukte im Sood angeschnitten. Wenn bei niederem Wasserstande der Sihl der Zulauf aus dem Oberwasserkanal abgestellt wird, so hindert dies die Zirkulation des Wassers im Unterwasserkanal nicht vollständig. Der Spiegel des letzteren stellt sich nämlich nach Abschließen des Oberwasserkanals unter den Grundwasserspiegel ein; so kommt eine stark drainierende Wirkung des Unterwasserkanales zustande, ein Teil des Grundwassers kann so zum Abfluß gelangen.

Während der ausgesprochenen Trockenperiode vom November 1925 wurde der Grundwasserabfluß des Kanals durch das kantonale Wasserrechtsbureau gemessen; es konnte eine Wassermenge von 3410 Minutenlitern festgestellt werden.

Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß der Unterwasserkanal nur etwa 50 cm unter den Grundwasserspiegel herab geht, so kann die im Kanal zu Tage tretende Wassermenge wohl nur einen Bruchteil des vorhandenen Sihlgrundwasserstromes ausmachen.

e) *Fassung bei der Manegg.*

Begehen wir das Sihltal auf der Strecke von Sood über Leimbach zur Manegg, so fällt uns auf, daß hier überhaupt gar kein Raum für einen Talboden übrig bleibt. Die Sihl bespült am rechten Ufer direkt die anstehende Molasse, und von links her stößt unser Schuttkegel bis an die Sihl hinaus vor. Wir sind nämlich hier im Bereiche der aktivsten Runse des Albis, der „Falltsche“, die bei Hochwasser ihren Schuttkegel bis in das Bett der Sihl vorstoßen kann.

Trotz dieser topographischen Gestaltung des Tales wäre es meines Erachtens durchaus nicht berechtigt, einen Unterbruch der Grundwasserführung anzunehmen. Wir haben es füglich wagen dürfen, auf unserer Karte den Grundwasserstrom auch durch das Bereich des Schuttkegels von Leimbach hindurch zu ziehen.

Diese Auffassung wird durchaus bestätigt durch die Aufschlüsse, welche vor einigen Jahren durch die Brunnenbohrungen für das Werk Manegg der Papierfabrik an der Sihl entstanden sind. Die beiden Ringe der Karte bei der Manegg bezeichnen zwei Filterbrunnen, die in durchlässigem, vorwiegend sehr grobem

Schotter bis zu ca. 9 m, d. h. an beiden Stellen bis auf den liegenden Molassefelsen abgeteuft worden sind.

Nach den Aufzeichnungen über die Pumpversuche vom 23./28. II. 1926 beim Schacht II — zunächst an der Sihl gelegen — wurden während 52 Stunden ununterbrochen 2450 Minutenliter gepumpt, mit einer Absenkung des Grundwasserspiegels im Brunnen um ca. 1,6 m. Auffallend ist, daß hier der ruhende Wasserspiegel dauernd ca. 30 cm tiefer steht als der Spiegel der Sihl im gleichen Profil. Trotz dieser Divergenz von Grund- und Flußwasserspiegel ließen sich keinerlei Anzeichen von Infiltration nachweisen. Verschiedene während des Pumpversuches entnommene Wasserproben ergaben eine Härte von ca. 30 franz. Graden.

Der Papierfabrik a. d. Sihl wurde eine Bewilligung zur Entnahme von 3000 Minutenlitern aus den beiden Brunnen erteilt,

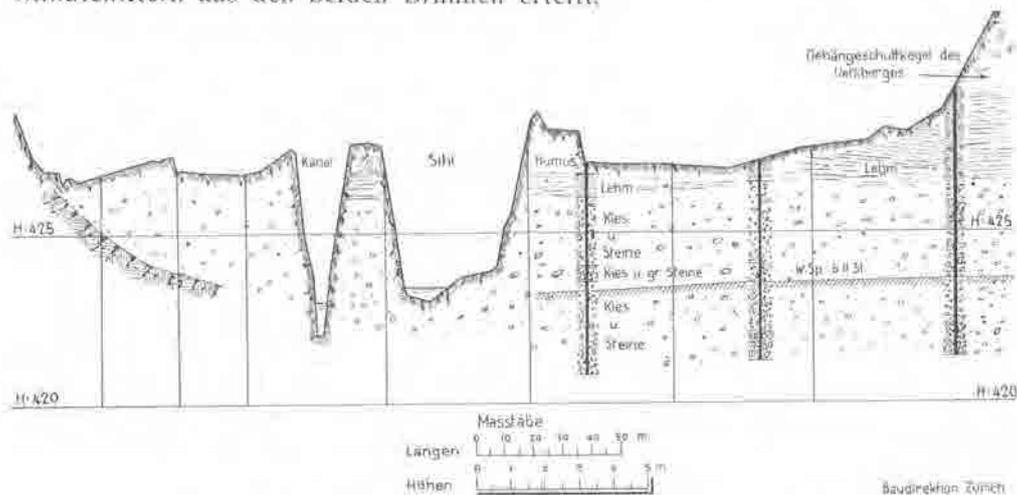


Abb. 43. Querprofil durch das Sihltal bei der Höcklerbrücke Zürich.

Die vorstehenden Feststellungen über Ertrags- und Härteverhältnisse bei der Manegg d. h. also unmittelbar unterhalb der vom Schuttkegel geschlossenen Talstrecke, sprechen bestimmt für den ununterbrochenen Verlauf des Grundwasserstromes auf der Strecke von Sood bis Manegg.

1) Aufschlüsse bei der Höcklerbrücke.

Unsere Abb. 43 stellt ein Querprofil durch das Sihltal bei der Höcklerbrücke zwischen den Stationen Manegg und Brunau dar. Zur Konstruktion des Schnittes stehen uns neben den Aufschlüssen an den Hängen die Resultate von vier Bohrungen zur Verfügung, nämlich eine auf der rechten und drei auf der linken Seite der Sihl. Die Bohrungen wurden ausgeführt, um Grundwasserbeobachtungspunkte zu erhalten. Es soll durch periodische Ablesungen an diesen Punkten ein allfälliger Einfluß des Etzelwerkes auf die Grundwasserführung des Sihltales bestimmt werden.

Wenn auch die Bohrungen nicht bis auf die Molassesohle fortgesetzt werden konnten, so bietet doch das Profil verschiedene interessante Züge, Vor allem kon-

statieren wir auch hier wieder, daß die Sihl ganz auf das rechte Ufer der Schotter-auffüllung resp. des Grundwasserstromes gedrängt ist. Im weiteren zeigt sich deutlich die Überlagerung des Schotters durch den Albisschuttkegel.

g) Fassungen im Gebiete von Brunau-Gießhübel.

Unsere Karte gibt bei der Brunau direkt am rechten Sihlufer und ganz am rechtsseitigen Rande des Talbodens eine Fassung an, die nur als gewöhnliche Quellenfassung ausgebaut ist. Als Ertrag werden zusammen mit den übrigen, etwa 800 m weiter nördlich, direkt im Fabrikareal der Papierfabrik a. d. Sihl gelegenen Brunnen 8000 Minutenliter angegeben.

Im gleichen Querprofile wurde zu Anfang des Jahres 1933 am rechten Ufer der Sihl etwa 200 m westlich der genannten Fassung neben den Wehreinbauten eine Brunnenbohrung abgeteuft, die bis zu einer Tiefe von 9 m Wasser führende Schotter erschloß. Darunter folgte Lehm als Verwitterungsprodukte der Molasse und bald der eigentliche anstehende Fels. Auch hier haben die Pumpversuche die Zugehörigkeit der Bohrstelle zum großen Grundwasserstrom ergeben.

Bei niedrigem Wasserstande macht sich der Grundwasserstrom auch im Bett der Sihl bemerkbar. Durch eine Wehranlage wird die ganze Wassermenge der Sihl in den Kanal geleitet, im Bett unterhalb des Wehres sind dann die Grundwasser-aufstöße deutlich zu sehen. Ich schätzte die im Sihlbette zu Tage tretende Wassermenge auf gegen tausend Minutenliter.

4. Übergangzone vom Sihl- zum Limmattal.

a) Der Grundwasserfall beim Sihlhölzli an der Einmündung des Sihltales in den Limmat-Talboden.

Auf der Strecke zwischen der Brunau und dem Sihlhölzli beobachten wir die seltene Erscheinung eines Grundwasserfalles, resp. eines Steilabsturzes im Längsprofil des Grundwasserspiegels.

Wie wir im vorstehenden Kapitel gezeigt haben, steht also bei der Brunau der Grundwasserspiegel *über* der Sihl; ganz anders nun beim Sihlhölzli. Schon beim Bau der Unterführung der S. B. B. unter der Sihl war mir aufgefallen, daß der Grundwasserspiegel nicht weniger als 3 m unter dem Spiegel der Sihl stand. Unmittelbar neben und sogar unter der Sihl konnte im trockenen Kies gearbeitet werden. Eine wenige Dezimeter mächtige Schlammsschicht bewirkte eine hermetische Abdichtung des Flußbettes.

Die Höherlegung der Sihl für den Überfall hat die Niveaudifferenz noch vergrößert. Dafür spricht der Grundwasserspiegel, welcher bei der neuen Wasserfassung der Brauerei Hürlimann angetroffen wurde und zwar 7,5 m unter dem Spiegel der nur wenige zehn Meter entfernten Sihl. Die Bohrstelle liegt am rechten Ufer der Sihl etwa 400 m oberhalb des Sihlüberfalles.

Der Verlauf des Grundwasserspiegels wurde in Abb. 44 auf Grund von Ablesungen in den vorhandenen Brunnen dargestellt; der Steilabsturz mit 9 m Sprunghöhe auf einer Strecke von 250 m kommt darin deutlich zum Ausdruck.

Die Ursache dieser sonderbaren Erscheinung geht schon aus einem Blick auf unsere Karte hervor. Vor dem Sihlhölzli tritt nämlich der Sihlgrundwasserstrom durch eine schmale Lücke in den breiten Boden des Limmattales. Damit erklärt sich aus rein hydraulischen Gründen das Absinken des Grundwasserspiegels zufolge der Verteilung des Wassers auf eine breitere Fläche.

Analoge Unregelmäßigkeiten im Verlaufe des Grundwasserspiegels konnte ich auch an anderen Stellen des schweizerischen Mittellandes beobachten.

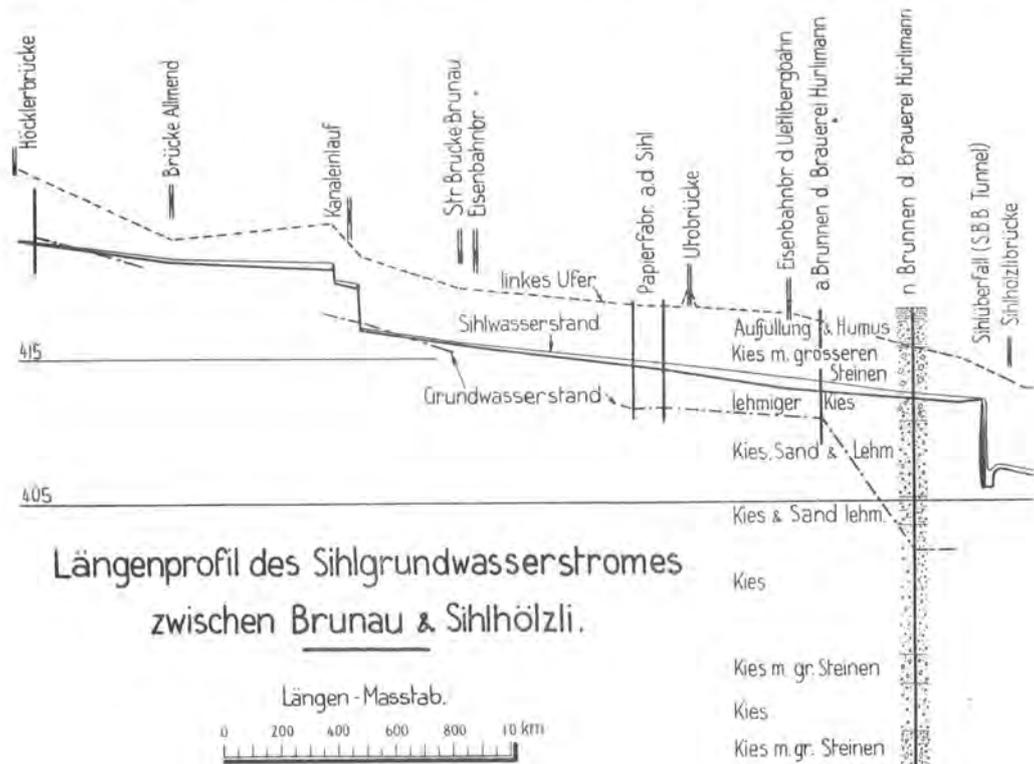


Abb. 44. Sihlhölzlifall.

b) Das Bohrprofil beim Sihlhölzli.

Das bereits erwähnte Bohrprofil des neuen Brunnens der Brauerei Hurlimann, das in Abb. 44 in etwas vereinfachter Form dargestellt ist, zeigt verschiedene Eigentümlichkeiten, welche durch die besondere Lage der Bohrstelle verursacht sind.

Zuerst fällt uns die viel größere Mächtigkeit des Schotters auf. Während bei den Bohrungen im Sihltal bei 9—11 m Tiefe in der Regel schon die anstehende Molasseunterlage angetroffen wurde, war bei unserem Bohrloch in einer Tiefe von 31,8 m das Liegende des Schotters noch nicht erreicht. Wenn ich mich richtig erinnere, wurde die definitive Bohrung sogar bis zu 33 m vorgetrieben und zwar immer noch im Schotter.

Wir sind nun eben mit dem Bohrloch beim Sihlhölzli in das Gebiet des Haupttales mit seiner viel stärkeren Schotteranhäufung gekommen.

Im Profil fällt uns ferner besonders in den oberen Schichten desselben, d. h. bis zu 14,90 m Tiefe, das Vorhandensein von lehmigen Einlagerungen auf. Wir erkennen darin die unmittelbare Nähe der Endmoräne, von der aus der Schotter aufgeschüttet wurde. Der Ulmberg, resp. der Moränenwall, liegt nur ca. 100 m entfernt; wir müssen also mit unserem Bohrloch noch im Bereiche des *Übergangskegels*, oder der Verknüpfungszone zwischen Schotterfeld und Endmoräne sein, wie wir dies in der schematischen Zeichnung von Abb. 40 dargestellt haben.

Im unteren Teil des Profils unterhalb 14,90 m Tiefe herrschen die Schotter vor. Es lagert also hier eine moränenartige Facies auf Schotter. Diese Lagerungsverhältnisse sind charakteristisch für einen vorrückenden Gletscher. Von einem weiter alpeinwärts gelegenen Stande des Eises wurde der untere Schotter angeschüttet und die oberen, mehr oder weniger lehmigen Wechsellagerungen sind als Produkte des vorgerückten Gletschers anzusehen.

Auch an anderen geologisch analogen, also auch zum Zürcherstadium gehörenden Stellen, konnte der Vorstoßcharakter dieses Stadiums einwandfrei nachgewiesen werden. Gestützt auf diese Überlagerung war es möglich, mehrfach ertragreiche Grundwasserfassungen ganz nahe außerhalb des zum Zürcherstadium gehörenden Endmoränenwalles anzuordnen. Im Kanton Zürich wäre dazu besonders die neue Grundwasserfassung von Ober-Stammheim als nächste Verwandte zu rechnen, ferner außerhalb unseres Kantons die Fassungen von Stein a. Rhein an der entsprechenden Endmoräne des Rheintales bei Etwilen, ebenso bei Hitzkirch und Sursee an den gleichaltrigen Reußgletscher-Endmoränen des See- und Suhrtales.

c) Härteverhältnisse am Übergang vom Sihl- zum Limmattal.

Bei der Besprechung des Grundwassers des Sihltales hatte ich mehrfach auf die große Härte desselben, die sich um 30 franz. Grade bewegt, hingewiesen, was gegen eine Speisung durch weiches Flußwasser aus der Sihl spricht. Dasselbe Regime hat sich im ganzen Sihltal nachweisen lassen; es würde aber zu weit führen, alle gesammelten Analysen aufzuzählen.

Wie gestalten sich nun die Härteverhältnisse nach dem „Grundwasserfall“? Mit dem Untertauchen des Grundwasserspiegels unter die Sihl wäre nun das Infiltrieren von Flußwasser durch ein starkes Sickergefälle von Fluß- zum Grundwasser bei den 8 m Niveauunterschied hydraulisch begünstigt. Trotzdem ergaben die Wasserproben aus dem erwähnten Bohrloch beim Sihlhölzli noch eine Karbonathärte von 28,9 franz. Graden gegenüber von 16,3 franz. Graden einer gleichzeitig aus der benachbarten Sihl entnommenen Probe. Von einer Infiltration von Flußwasser kann also auch hier nicht die Rede sein. Immerhin möchte ich darauf hinweisen, daß es sich um Wasserproben aus den unteren Kiesschichten handelt, denn nur diese werden durch den neuen Brunnen ausgenützt. Wie weit allfällig obere Grundwasserschichten durch die Sihl allenfalls beeinflusst werden können, geht aus diesen Bestimmungen nicht hervor. Wir müssen ferner berücksichtigen, daß

die Bohrstelle auf dem rechten Ufer der Sihl liegt. Auf das Verhalten des Grundwassers am linken Ufer werden wir später eintreten.

5. Grundwassergebiet innerhalb der Endmoräne beim Paradeplatz.

Unsere Karte verzeichnet noch ein kleines Grundwassergebiet in der Ebene, die den Raum zwischen der Endmoräne und dem Zürichsee erfüllt. Die darin eingetragene Fassung mit 300 Minutenliter speist die Kühlanlage der neuen Börse, Ecke Talstraße-Bleicherweg. Als Beweis für die Grundwasserführung dieses Gebietes ist in Abb. 45 ein Profil von der Pelikanstraße über den Paradeplatz längs

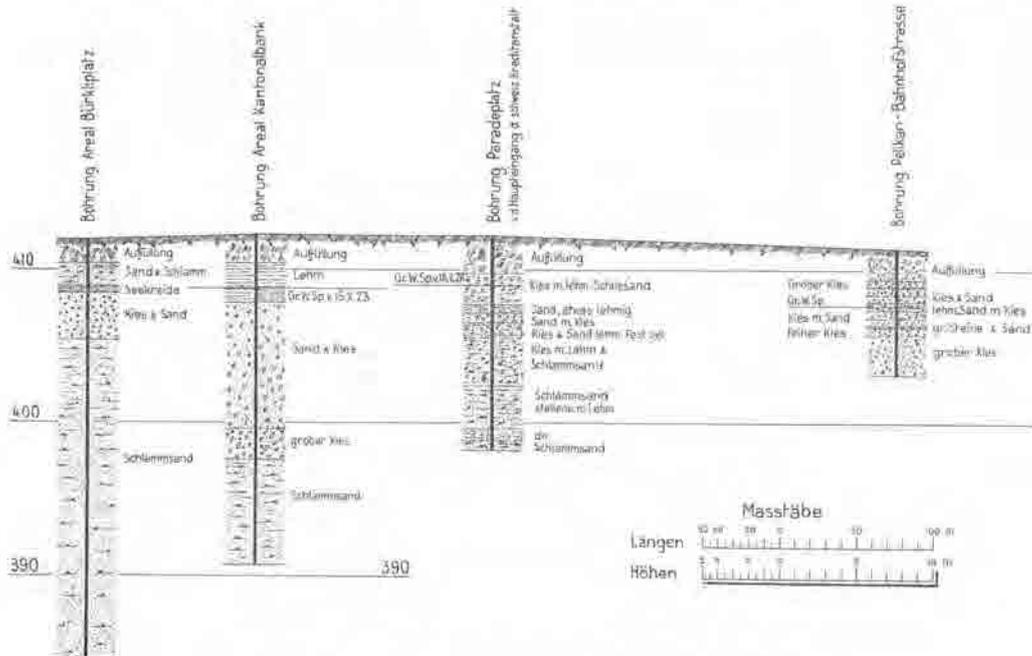


Abb. 45. Profil Pelikanstraße-Bürkliplatz, Zürich I.

der Bahnhofstraße bis zum See dargestellt worden unter Verwendung der Resultate von vier Tiefbohrungen.

Wir sind hier im Bereiche des Seebeckens, das innerhalb der teilweise durch Bauten abgetragenen Endmoräne der Linie Lindenhof-St. Annagasse-Botanischer Garten-Ulmberg beim Rückzug des Gletschers entstehen mußte. Bei der Auffüllung des Sees beteiligte sich neben Seeschlamm besonders in den oberen Schichten auch Kies, welcher die Grundwasserführung bedingt. Die Mächtigkeit des Schotter nimmt im allgemeinen gegen den See hin auf Kosten der lakustrinen Schlammablagerungen rasch ab.

An der Pelikanstraße haben wir zunächst ein Profil, das durch zwei Kiesschichten gekennzeichnet ist, mit einer Zwischenlagerung von lehmigem Moränenmaterial. Im übrigen gestaltet sich hier der Verlauf der Schichten sehr unregelmäßig, in einer Entfernung von einigen zehn Metern hat ein Bohrloch wieder eine ganz andere Schichtenfolge ergeben. Wir sind eben hier direkt am inneren Rande der

Endmoräne, die in unmittelbarer Nähe durch die Baugruben für den Felsenhof, Schweiz. Volksbank, Glockenhof und St. Annahof erschlossen wurde.

Beim Paradeplatz hat die Bohrung unter der künstlichen Auffüllung Kiese bis zu 9,20 m Tiefe erschlossen, wobei immerhin die Durchlässigkeit durch Lehm und Schlamm stark vermindert war.

An der oberen Bahnhofstraße, Gegend der Kantonalbank, fand man eine Kies-schicht von ca. 10,5 m, die freilich mit Sandschichten durchsetzt war. Trotzdem mußten bei der Absenkung einer Baugrube einige tausend Minutenliter gepumpt werden.

Noch näher gegen den See am Bürkliplatz schrumpft der Kies bis auf eine Mächtigkeit von 2 m zusammen, die lakustrin Schichten wiegen vor.

Eine aus diesem Grundwassergebiet an der Talstraße entnommene Wasserprobe ergab eine Härte von nur 16 franz. Graden. Es läßt dies auf Infiltration aus dem nahen Schanzengraben schließen. Aus dem See kann ein Zufluß kaum erwartet werden, indem die Schlammschichten des Seebodens für die Kolmatierung sehr günstig sein müssen.

6. Der Limmattgrundwasserstrom im Gebiet der Stadtkreise 4 und 5.

a) Allgemeine Orientierung.

Außerhalb der erwähnten Endmoräne Lindenhof-Ulmerberg, dem sogenannten Zürcherstadium, folgen die zugehörigen Schottermassen als Gletscherboden der Endmoräne. Die zahlreichen Bohrungen reichen aber auch in die unter dem Schotter lagernden älteren Schichten, die, soweit dies Schotter der früheren Eiszeiten sind, ebenfalls noch für die Grundwasserführung in Frage kommen.

Die Verteilung der Grundwasserführung im Limmattal auf ältere und jüngere Schotter hat denn auch bei der Darstellung in der Karte zu einem Zwiespalt der Überlegungen geführt. Außerhalb der Kantonsgränze bei Wettingen bewegt sich das Grundwasser in älteren Schottern, es liegen also Verhältnisse vor, wie wir sie im Rhein- und unteren Glattal kennen gelernt haben. Auch bei Zürich hatten verschiedene Bohrungen in den Randregionen ältere Schotter erschlossen. Auf Grund dieser beiden Tatsachen kam ich zur Zeit, als die Karte herausgegeben wurde, dazu, den Grundwasserstrom des Limmattales den Urstromtälern zuzurechnen, unbekümmert um den großen Anteil, der den Schottern der letzten Eiszeit an der Grundwasserführung zukommt.

Auch in anderer Hinsicht haben sich bei der Ausarbeitung dieses Kapitels die Schwierigkeiten gehäuft. Diese liegen in erster Linie in der komplizierten Gliederung der Wasser führenden Schotter als Folge der verschiedenen Rückzugsstadien des Gletschers. Auch die hydrologischen Feststellungen in Bezug auf Niveauschwankungen, chemische Zusammensetzung des Grundwassers und Temperaturverhältnisse haben sich in so reichlichem Maße gehäuft, daß eine ausführliche Darstellung für sich allein einen Band füllen müßte. Zudem gehen heute die Erhebungen zufolge der nächstens in Angriff zu nehmenden neuen Grundwasserversorgung Zürich's beim Hardhof noch weiter. Wir können uns unter

diesen Umständen um so eher ganz kurz fassen, als die „Grundwasservorkommnisse“ bereits eine eingehende Schilderung dieses Grundwassergebietes enthalten (Seite 110—124).

b) Profile aus den mittleren Partien des Talbodens.

Schon am obersten Rande des Talbodens, kaum hundert Meter vom nächsten Moränenaufschluß entfernt, hat eine Bohrung an der Löwenstraße bis zu 16,10 m Tiefe den durchlässigen Schotter erschlossen. Der Grundwasserspiegel wurde bei $-5,90$ m erreicht. Ertrag 1200 Minutenliter bei 0,55 m Absenkung (Abb. 46, Profil links).

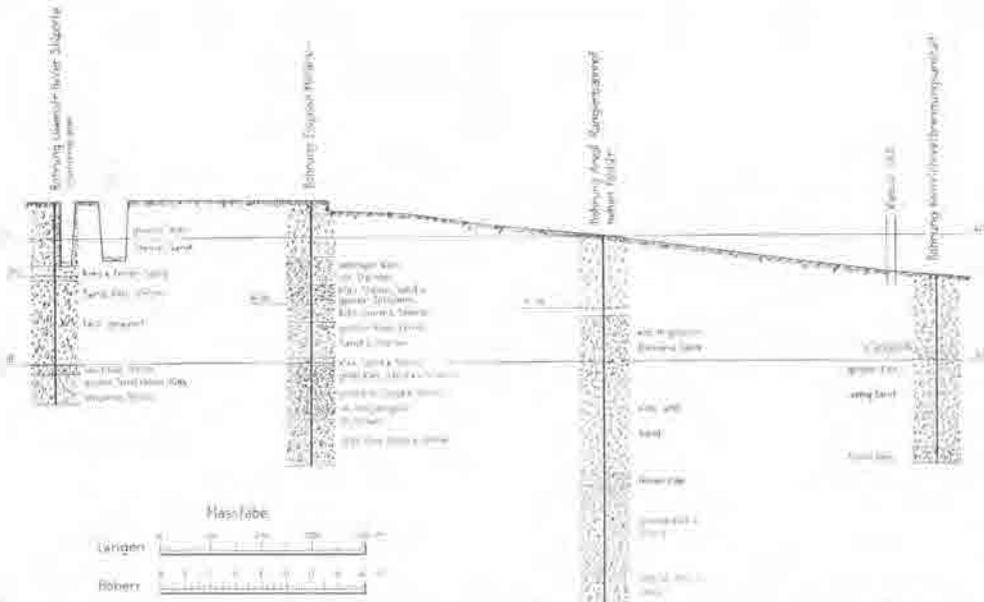


Abb. 46. Bohrprofile aus dem Grundwassergebiet des Limmattales bei Zürich. (Typisch für die Talmitte.)

Eine weitere aufschlußreiche Bohrung steht uns aus dem Areal Militärstraße 62 (Milchverband) zur Verfügung, die bis zu 20 m Tiefe vorgetrieben wurde. Bis zu $-7,10$ m wurden kiesige Schichten mit Lehm und Schlamm vermischt angetroffen. Die Nähe der Moräne dürfte sich auch hier noch bemerkbar machen, wie wir dies bei der Bohrung im Areal der Brauerei Hürlimann konstatiert hatten. Von $7,1$ — $20,0$ m Tiefe fanden sich eigentliche fluvioglaziale Schotter, die stellenweise mit großen Geröllen gemischt waren. Grundwasserspiegel bei $-7,04$ m (Mitte September 1928).

Die Molkerei entnimmt aus dem Brunnen 1000 Minutenliter.

Im Areal des Bahnhofes, an der Stelle, wo an der Feldstraße die linksufrige Seebahn abzweigt, wurde im Jahre 1917 eine Bohrung bis zu $-29,30$ m vorgetrieben. Ich glaube die Resultate dieses Aufschlusses schon deshalb anführen zu müssen, weil hier ein Brunnen nicht ausgebaut wurde; es liegen daher von dieser Bohrung amtlich keine Akten vor (Profil 2 in Abb. 46). Die durchlässigen Kiese, die bald mehr oder weniger grobkörnig sind, reichten bis zu $-29,30$ m Tiefe, ohne

daß damit die Sohle des Schotters erreicht war. Der Grundwasserspiegel wurde bei $-0,05$ m angetroffen (18. Mai 1917). Am 23. Mai 1917 wurde ein Pumpversuch ausgeführt und zwar ohne Einsetzen eines Filterrohres. Der Eintritt des Wassers war also nur durch den Querschnitt des 30 cm weiten Bohrröhres möglich. Es wurden 75 Minutenliter gepumpt bei einer Absenkung des Wasserspiegels von ca. 15 cm im Bohrröhr.

Als weiteres Bohrprofil, das für die Mittelzone des Talbodens charakteristisch ist, habe ich in Abb. 46 (rechts) die Bohrung des neuen Brunnens der Kehrlichtverbrennungsanstalt neben dem S. B. B.-Viadukt an der Josephstraße dargestellt. Der Schotter zeigt in der ganzen Mächtigkeit der Schichten, d. h. bis zu 15,00 m

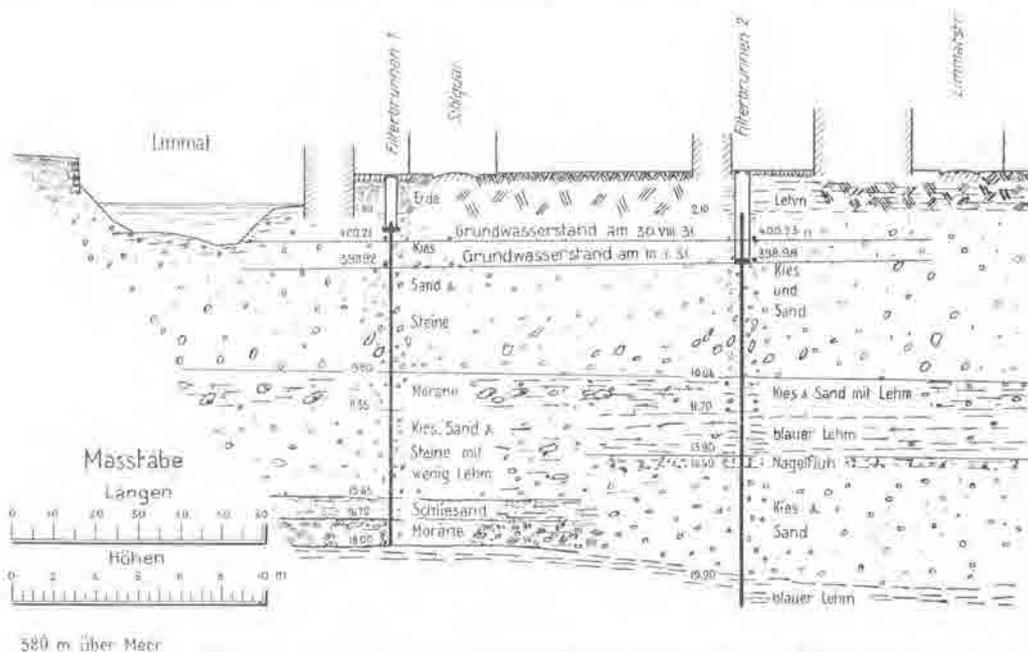


Abb. 47. Querprofil durch den rechtseitigen Rand des Grundwassergebietes beim S. B. B.-Viadukt in Zürich 5 mit 2 Grundwasseretagen.

Tiefe eine ziemlich homogene Zusammensetzung. Grundwasserspiegel bei $-6,10$ m (April 1926).

Die Kehrlichtverbrennungsanstalt entnimmt in ihrem Areale aus zwei Brunnen zusammen 6000 Minutenliter.

c) Charakteristische Profile für die Randpartien des Talbodens.

Wir verweisen auf Abb. 47, die ein Profil aus der Brunnenbohrung II der Löwenbräu A. G. beim S. B. B.-Viadukt an der Limmatstraße und dem Bohrprofil des etwas näher an der Limmat plazierten Brunnens der Mühlengenossenschaft schweizer. Konsumvereine am Sihlquai konstruiert ist.

Unter der üblichen Schicht von lehmigem, durch postglaziale Umlagerung etwas gestörten Kies folgt zunächst bis zu ca. 10 m Tiefe ein oberer Kies, der

dem normalen Schotter der Endmoräne von Zürich entsprechen muß, also dem Kiese, den wir in den im vorstehenden Kapitel beschriebenen Bohrungen durchwegs als Grundwasserträger kennen gelernt haben.

Darunter folgt eine ca. 4 m mächtige lehmige Moränenschicht, welche dem Vorstoße des Linthgletschers der letzten Eiszeit ihre Entstehung verdankt.

Unter der Moräne konstatieren wir eine zweite Grundwasserzone in einem zu Nagelfluh verkitteten Schotter, bei ca. 14–20 m Tiefe. Unter dem Schotter kam noch eine etwa 9 m erbohrte Schicht von sandigem Lehm, der in unserem Profile nur teilweise dargestellt ist.

Ohne Zweifel gehört die untere Schotterstufe zu dem älteren Schotter, den wir im Glattal und bei der Halbinsel Au bereits kennen gelernt haben. Am Rande des Talbodens konnte sich ein vereinzelter Rest vor der Abtragung durch die Stürme der späteren Perioden erhalten.

Dank der undurchlässigen Moränenzone haben wir es hier mit zwei von einander *getrennten Grundwasserhorizonten* zu tun.

Ich möchte mit Nachdruck darauf hinweisen, daß die geschilderte komplizierte Gliederung der Schichten des Talbodens nur für die eigentliche Randzone charakteristisch ist. Eine etwas oberhalb unseres Profiles, aber nur ca. 20 m weiter gegen die Mitte des Talbodens plazierte Bohrung I im Areal der Löwenbräu A. G. hat nichts mehr von der Serie der älteren Schichten feststellen lassen. Es wurde bis zu 20 m Tiefe normaler Schotter erbohrt. Wir sind also hier schon im Bereich der in Abb. 46 dargestellten mittleren Zone des Grundwasserstromes, dem Schotter des Zürcherstadiums.

d) *Querprofil an der Stadtgrenze.*

In der Umgebung des Hardhofes, d. h. im untersten Teilstück des Stadtkreises 5 sind in letzter Zeit im Raume zwischen Industriestraße und Limmat als Vorarbeiten für die neue Grundwasserversorgung der Stadt nicht weniger als 12 Tiefbohrungen ausgeführt worden, die bis zu einer Tiefe von 25,60–40,75 m vorgetrieben wurden. Es würde zu weit führen, alle diese Bohrresultate jetzt schon darzustellen, wir greifen nur einige Aufschlüsse heraus.

Zu der im vorstehenden Abschnitt besprochenen Randzone des Grundwasserstromes muß die Bohrung I (Hardhof) gerechnet werden, die im Profil von Abb. 48 rechts dargestellt ist. Sie liegt in einer Entfernung von ca. 30 m von der Limmat.

Der normale Schotter des Zürcherstadiums geht hier bis zu –26,25 m, dann kommt bis zu –35,85 m der teilweise gut verkittete alte Schotter. Das Liegende des Letzteren wird durch moränenartige Einlagerungen gebildet. Die in Abb. 47 dargestellte Moräneneinlagerung zwischen dem jüngeren und älteren Schotter fehlt hier, resp. sie wurde zur Zeit der Ablagerung der oberen Schotter vollkommen abgetragen. Damit fällt natürlich auch die Zweiteilung des Grundwasserträgers in zwei getrennte Etagen dahin.

Das mittlere der drei tiefgehenden Profile von Abb. 48 entspricht der Bohrung IV (Hardhof) direkt rechts an der Industriestraße. Sie ergab bis zu –28,50 m

den normalen Schotter des Zürcherstadiums. Es fiel auf, daß das Korn des Schotter nach oben immer größer wurde. Das Liegende des Schotter bildet den auch in andern Bohrungen angetroffenen Seebodenschlamm, der in einem See abgelagert wurde, welcher beim Rückzug des Gletschers der letzten Eiszeit von der Endmoräne von Schlieren entstehen mußte.

Die Bohrung IV zeichnete sich mit ihrem homogenen Schotter durch ihren großen Ertrag aus. Der an der Bohrstelle ausgebaute Brunnen liefert einen Ertrag von 9000 Minutenlitern bei nur 0,6 m Absenkung.

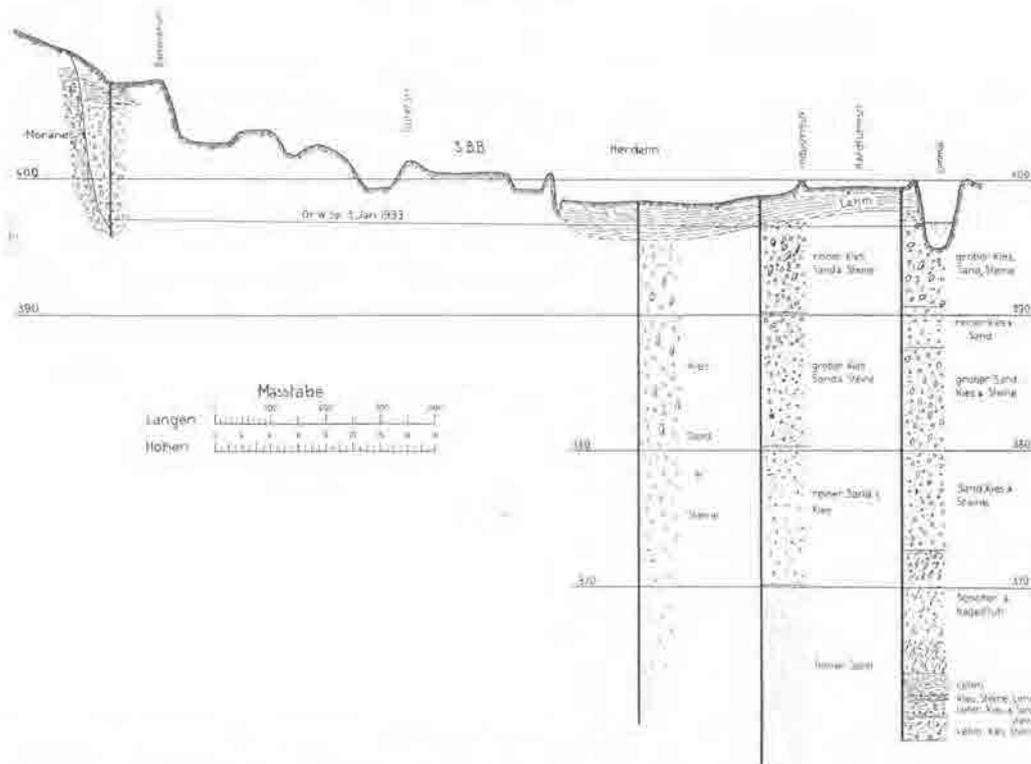


Abb. 48. Querprofil durch den Limmat-Grundwasserstrom beim Hardhof bis zur Badenerstraße.

In der Fortsetzung unseres Profiles von Abb. 48 im Raume zwischen Industriestraße und Bahnlinie nach Altstetten wurde ferner noch eine schon früher ausgeführte Tiefbohrung eingetragen, die unter einer ca. 4 m mächtigen Schicht von postglazialen Lehm den Schotter erschloß.

In letzter Zeit konnte am linksseitigen Rande des Talbodens nahe der Badenerstraße durch die Resultate von zwei Bohrungen das linke Ufer des Grundwasserstromes, resp. die Anlagerungsfläche des Schotter an die Moräne genauer fixiert werden (Abb. 48 links).

Die gesamte Breite des Grundwasserstromes bestimmt sich damit zu nicht weniger als 1,5 km.

e) Ausnützung des Grundwasserstromes im Gebiet der Stadt Zürich.

Die vorstehenden Ausführungen sind weit davon entfernt, Anspruch auf Vollständigkeit der Darstellung der innerhalb des Sihl-Limmatgrundwasserstromes vorhandenen Grundwasserbohrungen zu machen. Es sind lediglich die neueren geologisch-hydrologisch interessanten Aufschlüsse zusammengestellt worden. Schon in meinen früheren Ausführungen über den Grundwasserstrom des Limmattales hatte ich eine Reihe von Grundwasserfassungen erwähnt.

Von allgemeinem Interesse mag eine Zusammenstellung der innerhalb des Stadtgebietes vom Kanton erteilten Grundwasserkonzessionen sein. Die Lage der einzelnen Entnahmestellen ergibt sich aus der Übersichtskarte oder aus dem von der kantonalen Wasserrechtsabteilung erstellten Spezialkärtchen von Abb. 49.

Im ganzen sind innerhalb des Stadtgebietes (ohne Altstetten) für eine Entnahme von 97 732 Minutenliter Konzessionen erteilt worden. Von der Stadt Zürich wurde im April 1933 ein Gesuch zur Entnahme von 9000 Minutenlitern und im Mai 1933 ein weiteres Gesuch für 30 000 Minutenliter aus dem Gebiet des Hardhofes an der Stadtgrenze eingereicht; auch diese Konzession ist inzwischen erteilt worden.

Die Ausnützung des Sihl-Limmat-Grundwasserstromes erreicht also im Gebiete von Zürich ein Ausmaß, das alle übrigen Gebiete der Schweiz weit in den Schatten stellt.

f) Die Härteverhältnisse des Limmatgrundwasserstromes.

Wenn wir die ausgenützte Wassermenge mit der auf unserer Übersichtskarte dargestellten Verbreitung des Schotters, also des direkten Einzugsgebietes unseres Grundwasserstromes vergleichen, so drängt sich mit aller Macht die Überzeugung auf, daß hier die üblichen Theorien über Grundwasserbildung bei weitem nicht mehr Geltung haben können. Wenn wir annehmen, daß $\frac{1}{3}$ der Niederschläge durch Versickerung dem Grundwasser zukommt, so kämen wir auf eine Wassermenge, die nur einen kleinen Bruchteil der tatsächlich ausgenützten Wasserführung ausmacht.

Wir müssen uns daher notgedrungen nach anderen ausgiebigen Wasserlieferanten unseres Grundwasserstromes umsehen. Es kann dies nur die Limmat resp. die Sihl sein. Über die Beziehungen des Grundwasserstromes zum Zürichsee, der landläufig immer wieder als Grundwasserlieferant in den Vordergrund gestellt wird, haben wir uns schon auf Seite 91 in negativem Sinne geäußert. Die vom Ulmberg über den botanischen Garten zum Lindenhof durchgehende Endmoräne muß mit lehmigen Einlagerungen ein weiteres unüberwindliches Hindernis für den Zufluß aus dem See zum Grundwasserstrom bilden.

Schon in den „Grundwasservorkommnissen“ Seite 116 hatte ich das Problem der *Infiltration von Flußwasser zum Grundwasserstrom* eingehend geschildert.

Ich stellte besonders auf ein chemisches Querprofil durch den Grundwasserstrom ab, das die Karbonathärte in verschiedenen Entfernungen von der Limmat darstellt.

	Entfernung v. d. Limmat	Karbonathärte in franz. Graden
1. Brunnen bei Höngg	30 m	14 ⁰
2. Brunnen an der Limmatstraße	50 m	16,8—18,5 ⁰
3. Maschinenfabrik Escher Wyß	300 m	23,8—24,5 ⁰
4. Sodbrunnen beim Güterbahnhof	1000 m	28,3—29 ⁰
5. Brunnen im städtischen Schlachthof	1200 m	30,6—32,5 ⁰

Die unter Punkt 2 und 3 angeführten Zahlen sind den Untersuchungen von *O. Thomann* entnommen²⁸⁾.

Aus unserer Zusammenstellung ergibt sich also eine auffallende *Proportionalität* zwischen der Härte des Grundwassers und der Entfernung vom Fluß. Wir können uns diese Gesetzmäßigkeit nur dadurch erklären, daß weiches Flußwasser in großem Maßstab zum Grundwasser infiltriert. Je weiter wir uns vom Flusse entfernen, um so mehr macht sich die Mischung mit dem härteren, von der Bergseite her zufließenden Grundwasser bemerkbar. Andererseits muß auch das infiltrierende Grundwasser auf dem längeren Wege durch den Schotter eine Anreicherung seiner Mineralbestandteile erfahren.

Mit diesen Feststellungen erklärt sich einzig und allein das durch die Ausnützung festgestellte Maß der Grundwasserführung im Limmattal. Die Hauptkomponente der Speisung wird durch die Infiltration aus Sihl und Limmat gebildet.

Auch die Stelle des Beginnes der Infiltration hat sich einwandfrei bestimmen lassen. Auf Seite 83 haben wir bereits ausgeführt, daß im Sihltal eine Infiltration von Flußwasser aus der Härte des Grundwassers nicht abgeleitet werden kann. Beim Vorherrschen des Druckgefälles vom Grundwasser gegen den Fluß wäre dieser Vorgang auch nicht denkbar. Wir wiesen dann weiter darauf hin, daß beim Gießhübel der Grundwasserspiegel stark unter den Spiegel der Sihl sinkt, so daß die Gefällsverhältnisse dem Flußwasser den Zutritt zum Grundwasser ermöglichen würden. Trotzdem konnte bei der neuen Fassung der Brauerei Hürlimann, also unterhalb des Grundwasserfalles, eine Härte von 28,9 franz. Graden festgestellt werden, also ein nicht infiltriertes Grundwasser.

Gehen wir nun aber unter die Kreuzung des Grundwasserstromes mit der Sihl, so ändert sich das Bild vollkommen. Der Brunnen an der Militärstraße zeigt mit seinen 16 franz. Graden deutlich die Spuren einer intensiven Infiltration.

Auf Grund von zahlreichen chemischen Untersuchungen durch *Dr. L. Minder* vom städtischen Laboratorium konnte durch die Direktion der Wasserversorgung, *Ing. O. Lüscher*, eine detaillierte Härtekarte des Talbodens von Zürich bis Schlieren zusammengestellt werden, die im allgemeinen die auf dieser Seite angeführte Gesetzmäßigkeit in der Verteilung der Karbonathärte im Sinne einer Zunahme mit der Entfernung von der Limmat vollauf bestätigt.

Dazu lassen sich aus der Karte noch eine Reihe von lokalen Erscheinungen herauslesen. Besonders deutlich hebt sich das Gesetz ab, daß die *maximale In-*

²⁸⁾ *O. Thomann*, Untersuchungen über das Grundwasser von Zürich. Vierteljahresschrift der Naturf. Ges. Zürich 1901. S. 107.

filtration sich hauptsächlich an die *Kurven des Flußlaufes* heftet. Wo z. B. die Limmat nach rechts abbiegt, kommt es auf der linken Flußseite in der Kurve zu einer starken Infiltration, welche die Härte bis auf 15 franz. Grade herabsetzt.

g) Spezielle Untersuchungen beim Hardhof für die städtische Grundwasserfassung.

An eine solche Infiltrationsstelle beim Hardhof wurde die bereits erwähnte neue Grundwasserfassung der städtischen Wasserversorgung verlegt. Die Fassungen werden hier in die Zone mit einer Härte von 15–18 franz. Graden plaziert.

Die Infiltration kommt den Fassungen in doppelter Hinsicht zugute, es sind dies:

a) Der Zuschuß aus dem Fluß, ohne daß damit ein hygienischer Nachteil für das Grundwasser verbunden wäre. Das Filtrationsvermögen des Schotters bietet dafür alle Gewähr.

b) Die geringe Härte bietet große Vorteile für die technische Verwendung des Wassers, besonders für städtische Bedürfnisse.

Aus den Voruntersuchungen von Herrn Direktor *Lüscher* liegen vom Hardhofgebiet interessante Detailuntersuchungen über die Verteilung der Härte in verschiedenen Tiefen des Grundwasserstromes und die Schwankungen im Laufe des Jahres vor. Mit gleicher Ausführlichkeit sind auch die Temperaturverhältnisse des Grundwassers bearbeitet worden.

Da die Erhebungen noch im Gange sind, muß eine Darstellung derselben auf eine spätere Publikation zurückgestellt werden.

7. Anhaltspunkte über den Limmatgrundwasserstrom in der Gegend von Altstetten-Schlieren.

Eine Reihe von Daten in Form von Bohrungen und andere hydrologische Aufschlüsse sprechen bestimmt dafür, daß sich unser Grundwasserstrom auch auf der Strecke Altstetten-Schlieren etwa im Sinne des Querprofiles von Abb. 48 fortsetzt. Sogar die im Profil angedeutete Lehmdecke fehlt bei Schlieren nicht, sie ist als einige hundert Meter breiter Streifen rechts der Bahnlinie als Ausfüllung eines rezenten Altwasserlaufes bei verschiedenen Grabarbeiten nachgewiesen worden.

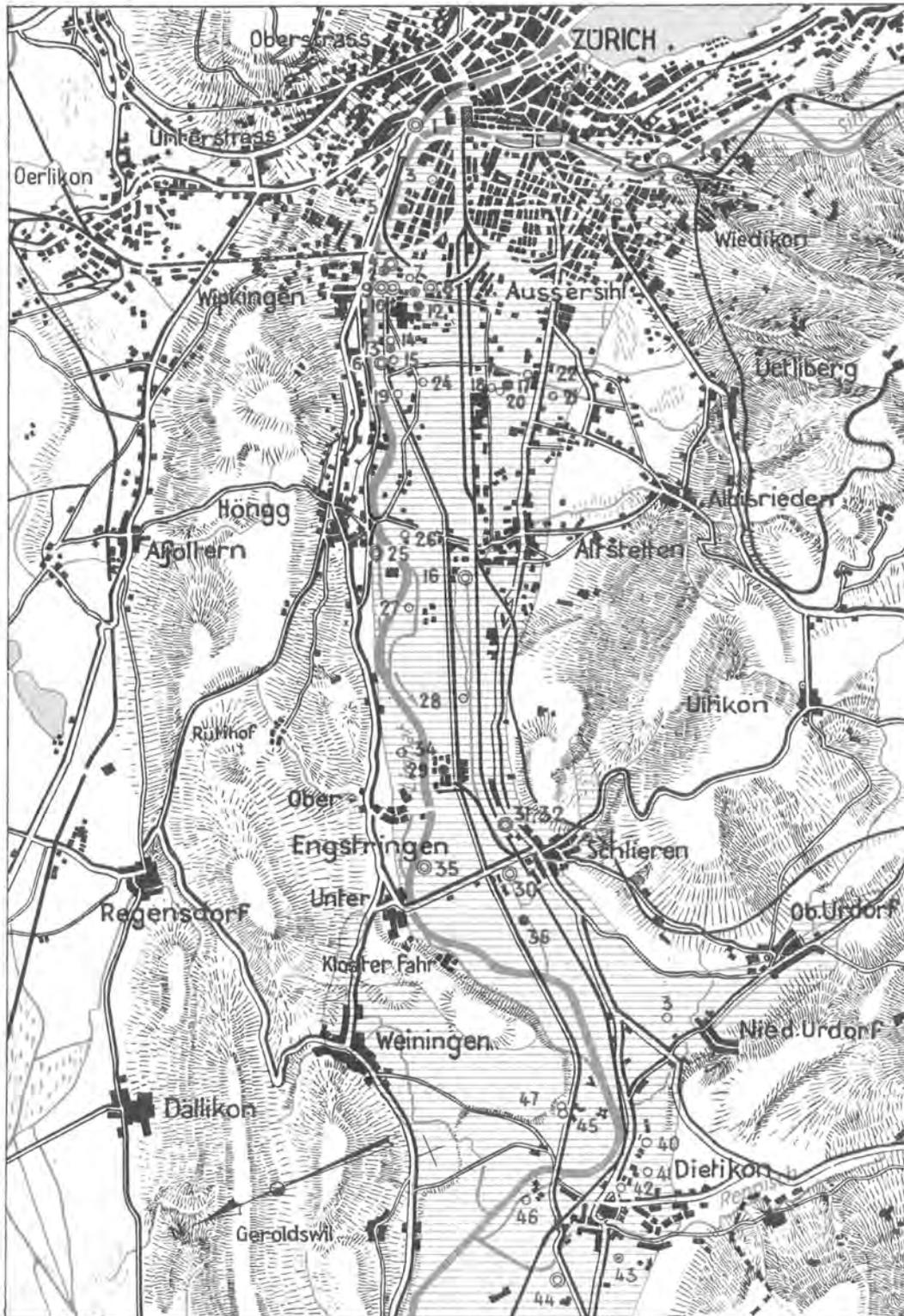
a) Wichtigste Bohrresultate.

Beim städtischen Schlachthof nahe der Badenerstraße wurde der Schotter bis zu 22 m erschlossen, wovon 13 m unter dem Grundwasserspiegel. Die Sohle des Schotters wurde dabei nicht erreicht.

Bei einer Brunnenbohrung in einer Fabrik neben dem Bahnhof Altstetten fand man bis zu —30,4 m durchlässige Schotter, meistens stark sandhaltig.

Beim Brunnen im Gaswerk Schlieren wurde der Schotter sogar bis zu 35 m Tiefe erschlossen, ohne damit auf die Sohle des Schotters zu kommen. Im Gegensatz dazu beobachtete ich bei einer späteren Bohrung im Areal der Gasfabrik

Lageplan zu den Beobachtungsstellen im Limmattal



Baudirektion Zürich

Abb. 49

Grundwasserstände an Beobachtungsstellen im Limmatal.

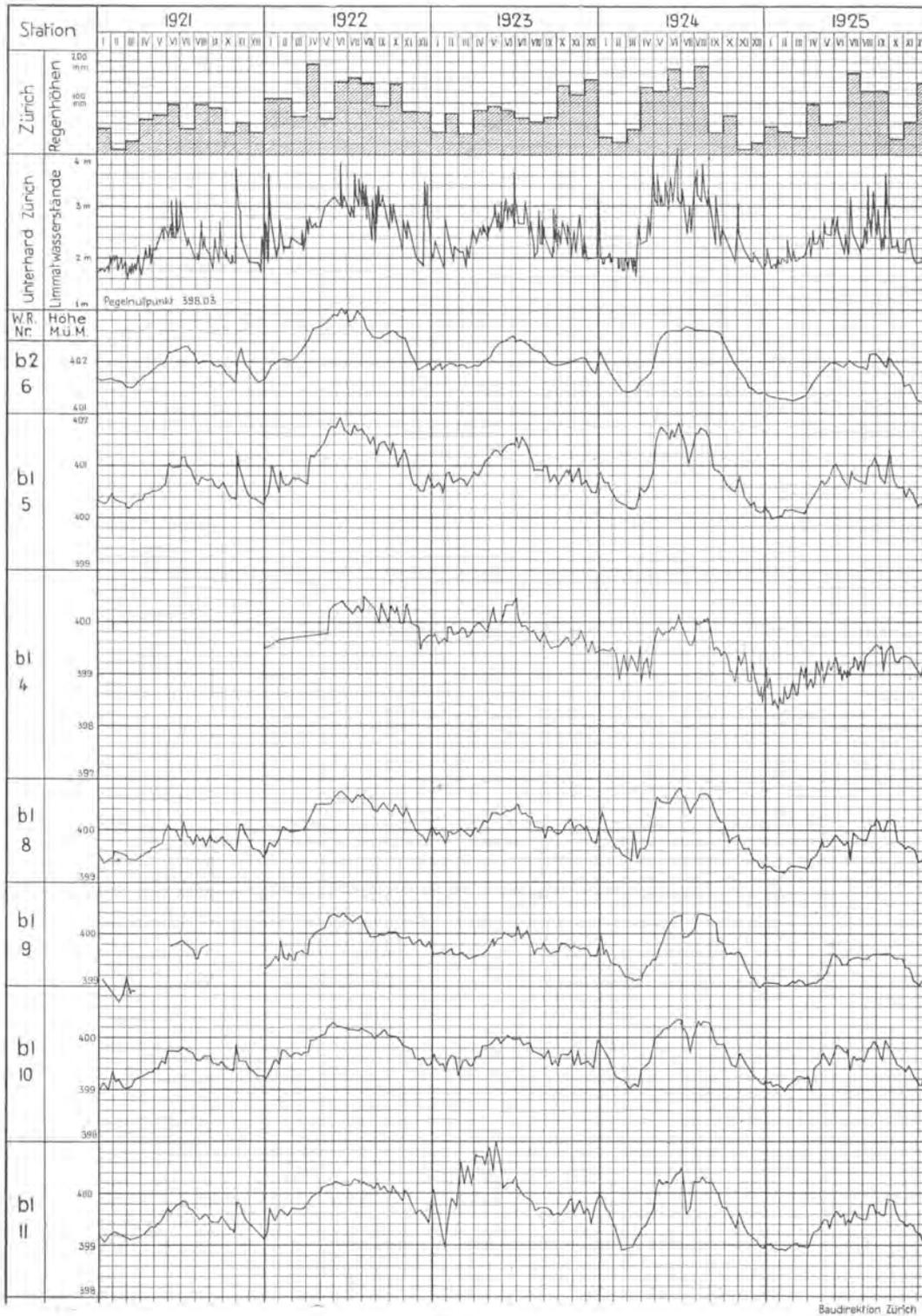


Abb. 49a.

Grundwasserstände an Beobachtungsstellen im Limmattal.

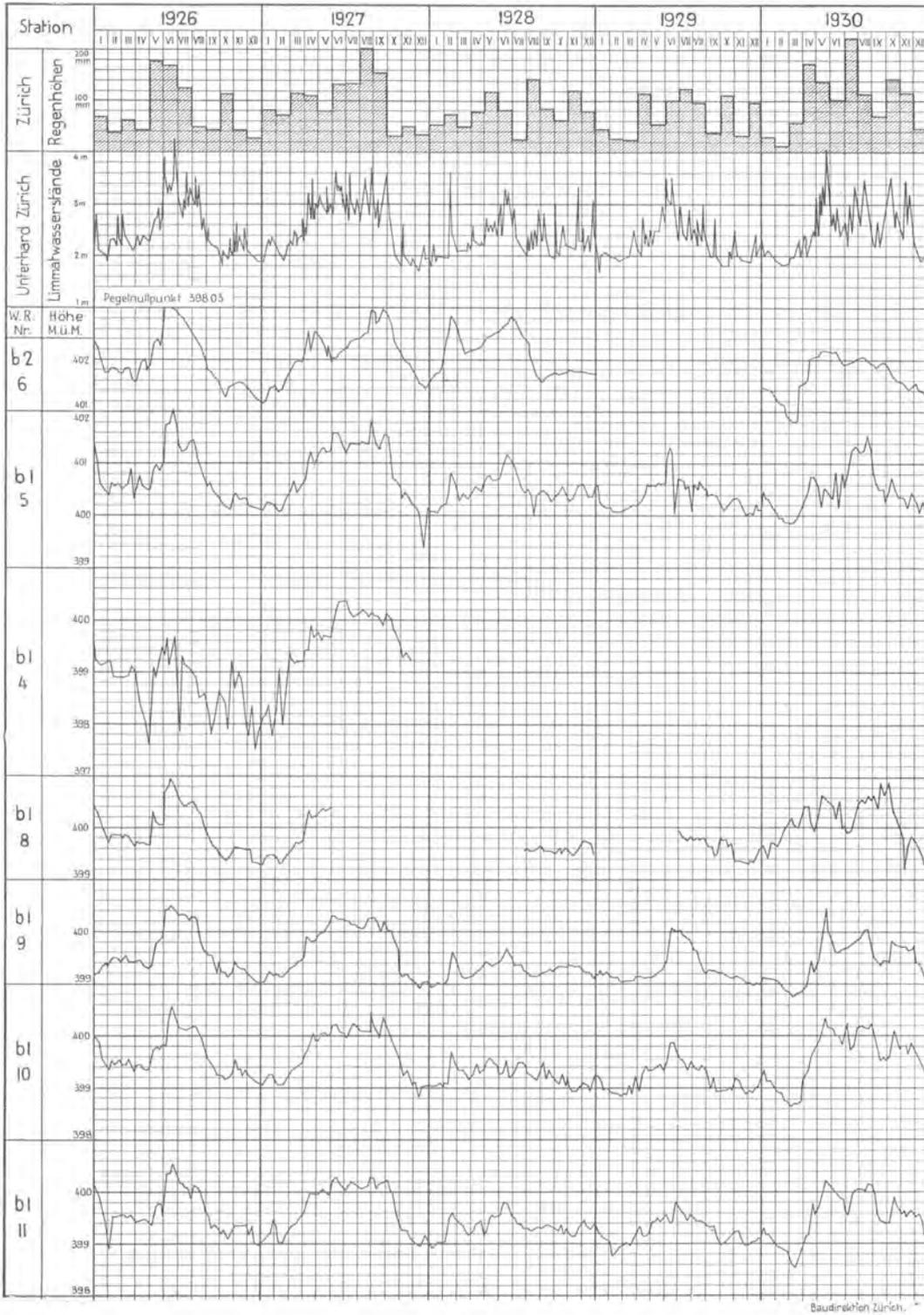


Abb. 49b.

Grundwasserstände an Beobachtungsstellen im Limmattal.

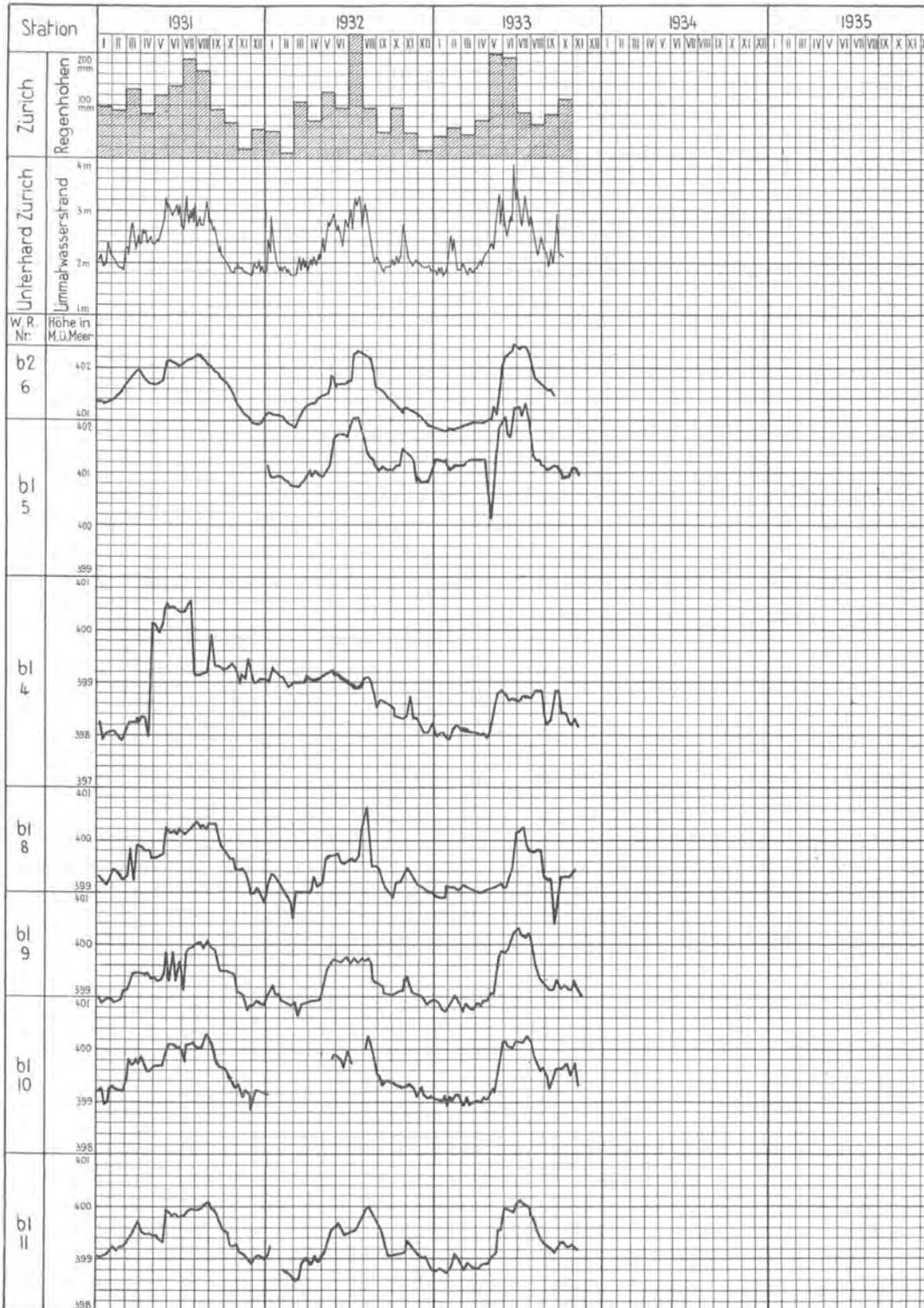
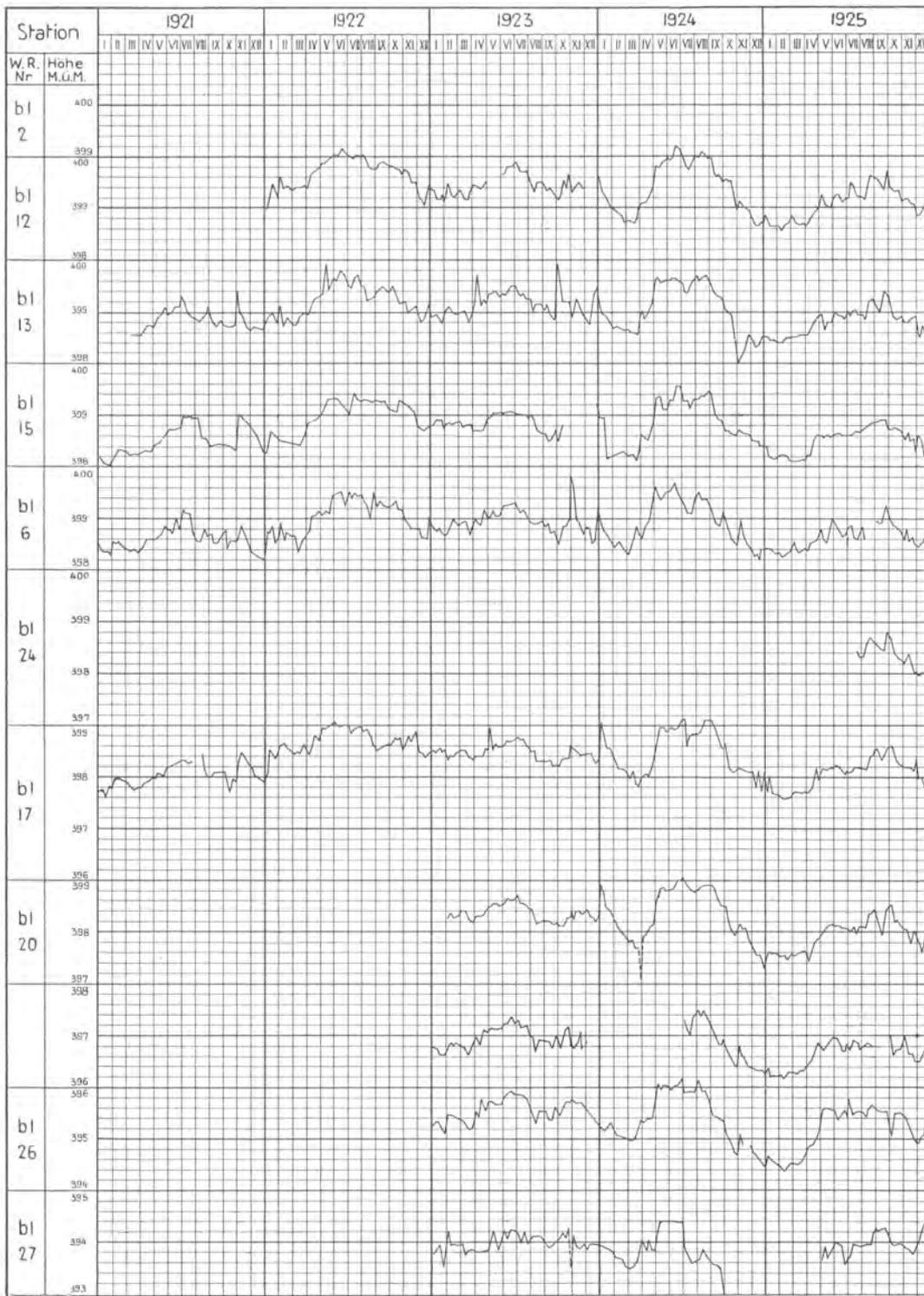


Abb. 49 c.

Baudirektion Zürich

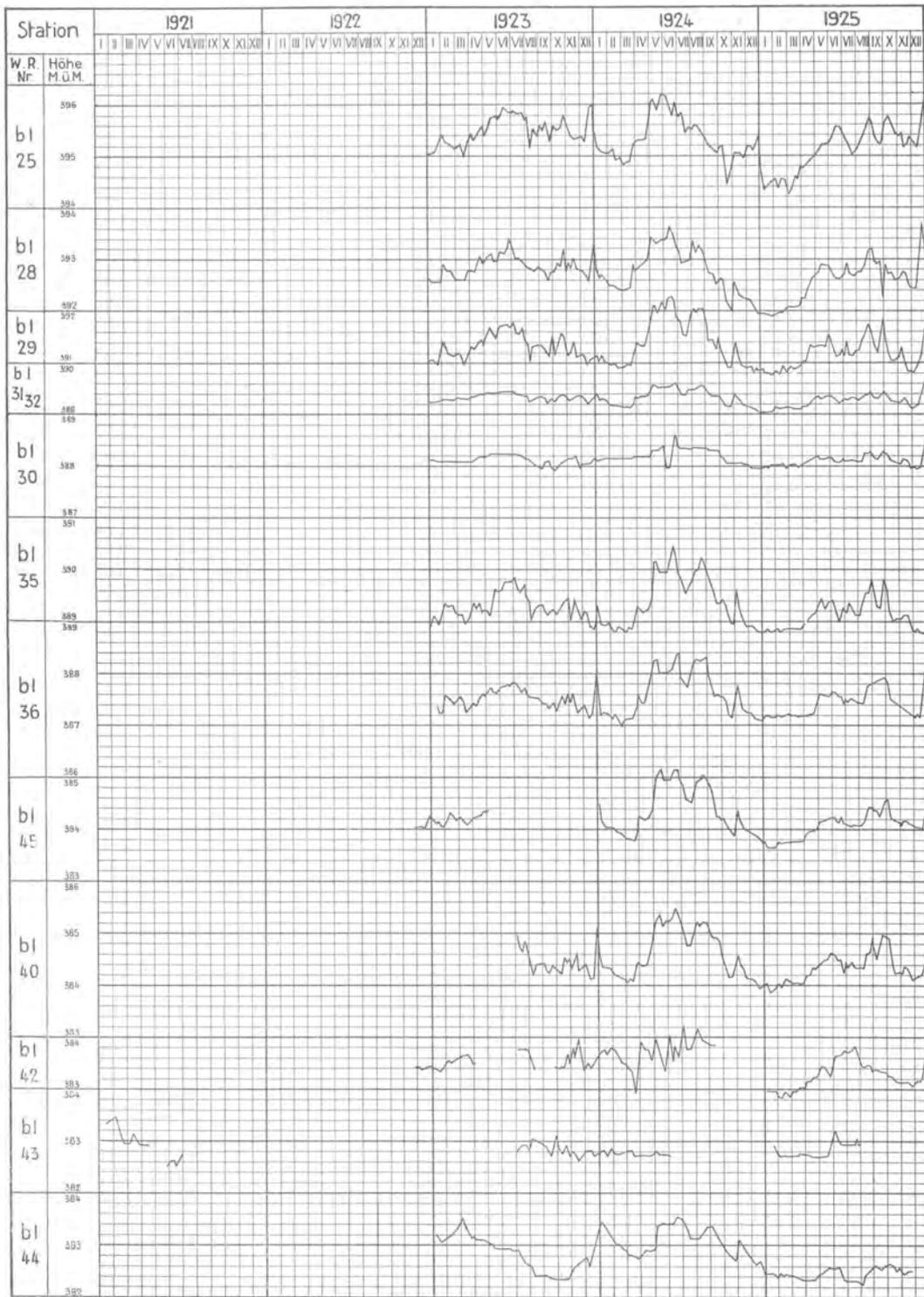
Grundwasserstände an Beobachtungsstellen im Limmattal



Baudirektion Zürich

Abb. 49d.

Grundwasserstände an Beobachtungsstellen im Limmattal



Baudirektion Zürich

Abb. 49 g.

Grundwasserstände an Beobachtungsstellen im Limmattal.

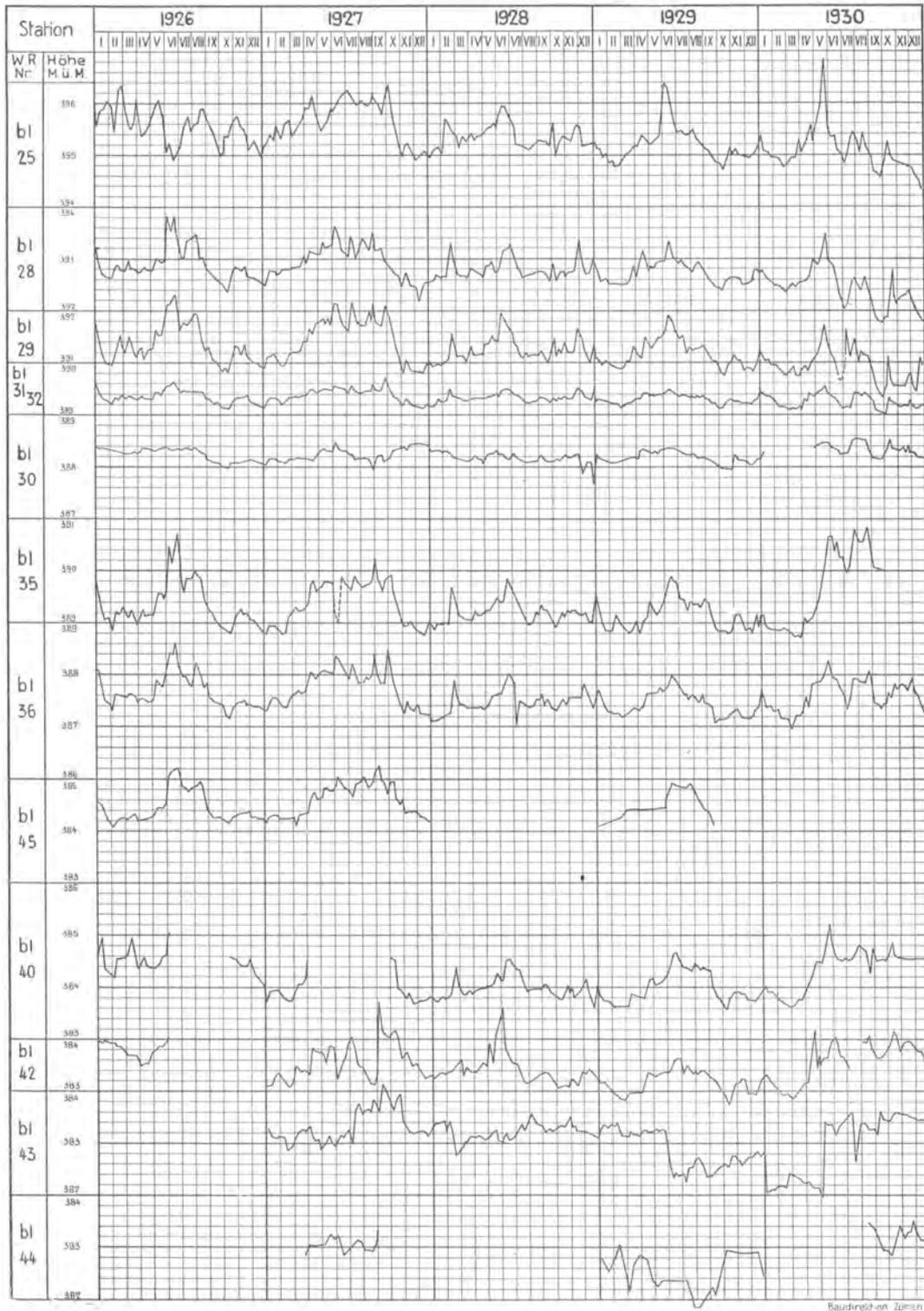


Abb. 49 h.

Baudirektion Zürich

Grundwasserstände an Beobachtungsstellen im Limmattal.

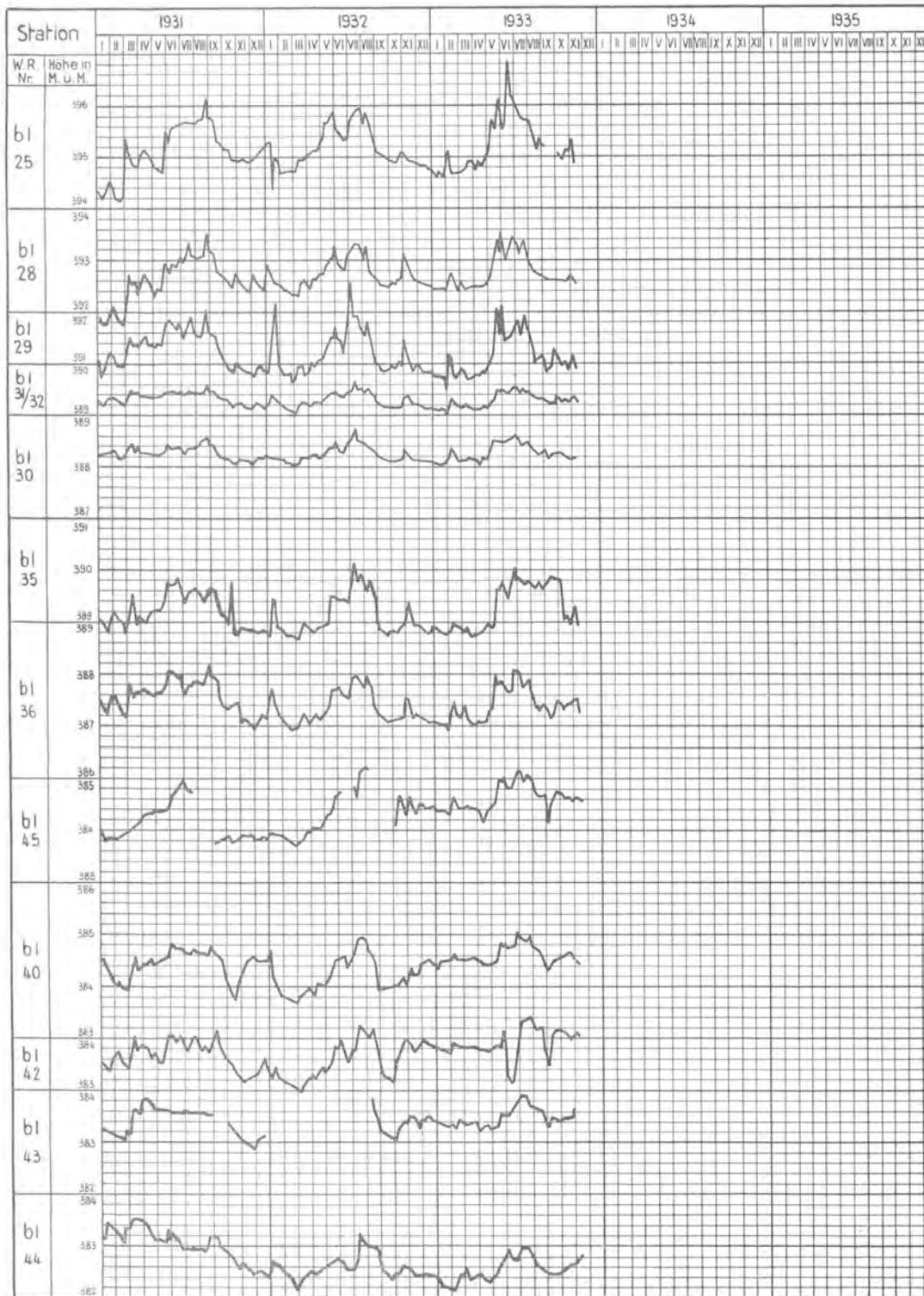


Abb. 49i.

Baudirektion Zürich

