

Zeitschrift:	Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber:	Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band:	73 (1980)
Heft:	1
Artikel:	Gedanken zur pleistozänen Landschaftsgeschichte im nördlichen Teil des Kantons Zürich aufgrund hydrogeologischer Untersuchungen
Autor:	Freimoser, Matthias / Locher, Thomas
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-164953

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Gedanken zur pleistozänen Landschaftsgeschichte im nördlichen Teil des Kantons Zürich aufgrund hydrogeologischer Untersuchungen

Von MATTHIAS FREIMOSER¹⁾ und THOMAS LOCHER²⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Im Zuge hydrogeologischer Untersuchungen im extra- und intramoränischen Bereich des Glatt-Armes des würmeiszeitlichen Rhein-Linth-Gletschers und des Thur-Armes des Rhein-Bodensee-Gletschers (unteres Glattal, Windlacherfeld, Gebiet Weiach, Rafzerfeld, Rhein-Thur-Gebiet zwischen Andelfingen, Rheinau und Rüdlingen) wurde eine Vielzahl von Sondierbohrungen abgetieft, aufgrund deren die Felsoberfläche in einer Isohypsenkarte (Tafel) dargestellt wird. Neben vorwiegend fluviatil geprägten Rinnen sind darin glazial übertiefe Hohlformen zu erkennen, deren Ausschürfung und Wiederverfüllung mit Grundmoränen, lokal moränenartigen Kiesen und mit Seeablagerungen im Glattal während der Risseiszeit, im Flaacherfeld und im Gebiet Andelfingen-Marthalen sehr wahrscheinlich teilweise in der Würmeiszeit erfolgte. Auch die übrige würmeiszeitliche Schichtfolge stammt zum überwiegenden Teil aus dem Hochglazial. Es interessieren dabei insbesondere die Lagebeziehungen zwischen den äussersten Endmoränen und den Schottern im Vorfeld als auch im intramoränischen Bereich. Die steil abtauchenden Endmoränen bedingen Steilstufen in den Grundwasserströmen und sprechen für das relativ tiefe Niveau, auf dem der Würmgletscher vorstieß. Es wird angenommen, dass nach dem Zurückschmelzen der beiden Gletscher vom Maximalstand eine starke Tiefenerosion einsetzte, die im Zuge des Wiedervorstosses während des Schlieren-Stadiums eine kräftige Aufschotterung folgte.

1. Einleitung

Im Rahmen des Programms zur systematischen Erkundung der Grundwasservorkommen im Kanton Zürich führten anfänglich Dr. Th. Locher, später Dr. M. Freimoser für das Geotechnische Büro Dr. von Moos AG im nördlichen Kantonsteil hydrogeologische Untersuchungen aus. In Zusammenarbeit mit Dr. P. Nanny, EAWAG, wurden die Arbeiten im Raum Rüdlingen-Rafzerfeld-Weiach begonnen, wobei besonders Existenz und heutige hydrologische Bedeutung der von HUG (in HUG & BEILICK 1934) postulierten alten Rhein-Thur-Rinne von Rüdlingen durch das Rafzerfeld interessierten. Von 1972/73 an wurden das untere Glattal und das Windlacherfeld zwischen Rhein und Flughafenareal Kloten untersucht. Noch im Gang sind die Arbeiten östlich des Rheins thuraufwärts (Flaacherfeld, Gebiet Andelfingen-Marthalen, Gebiet Gütighausen-Altikon-Frauenfeld). In die Betrachtungen miteinbezogen werden z.T. auch Ergebnisse von Sondierbohrungen im

¹⁾ Dr. von Moos AG, Geotechnisches Büro, Bachofnerstrasse 5, CH-8037 Zürich.

²⁾ Beratender Geologe, Waldstrasse 4, CH-8122 Pfaffhausen.

Gebiet zwischen Thur, Rhein und Staustufe Rheinau, die uns freundlicherweise teils von den Wasserwerken Winterthur zur Verfügung gestellt, teils dem Untersuchungsbericht für den Bau der Staustufe Rheinau entnommen wurden (Kraftwerk Rheinau 1957).

Es würde zu weit führen, im einzelnen auf die durchgeführten Arbeiten einzugehen. Den Kernpunkt der Untersuchungen bildeten Sondierbohrungen inklusive spezielle hydrologische Versuche (Kleinpumpversuche im Bohrloch, Langzeitpumpversuche in Brunnen zur Ermittlung der Feldergiebigkeit usw.). Ohne das Gebiet nördlich und östlich des Flaacherfeldes miteinzubeziehen, wurden von uns im Rahmen des Programms etwa 80 neu ausgeführte Bohrungen (rund 4500 Bohrmeeter, davon allerdings ungefähr 3700 m als Spülbohrungen) betreut. Weiter standen uns etwa 85 ältere oder von dritten ausgeführte Kernbohrungen und Unterlagen über rund 35 konzessionierte Grundwasserfassungen zur Verfügung.

2. Geologischer Überblick und quartärgeologische Probleme im Untersuchungsgebiet

Gesteine des Mesozoikums sind am Aufbau des Untersuchungsgebietes nur im Nordwesten bei Kaiserstuhl-Herdern und unterhalb der Staustufe Rheinfelden beteiligt. Geophysikalische Untersuchungen deuten darauf hin, dass dort die Malmtafel flexurartig und längs WSW-ENE verlaufenden Bruchstörungen, die sich möglicherweise nach Osten ins Rafzerfeld fortsetzen, gegen Süden absinkt. In der Mineralwasserbohrung Eglisau wurde die Oberkante des Malms bei Kote etwa 140 m ü. M. in 236 m Tiefe erreicht (CADISCH 1959). Im Bereich der Thurmündung soll nach geoelektrischen und seismischen Untersuchungen die Malmoberkante etwa 1000 m tief liegen und mit rund 5° gegen Südosten einfallen (SCRIBA 1973). Das Lägerngewölbe endet knapp westlich des Südwestrandes des Arbeitsgebietes.

Über den Gesteinen des Jura und des Siderolithikums liegt der Molassefels, der südlich des Rheins, nach den Geländeaufschlüssen und den Bohrergebnissen zu urteilen, flache, ± W-E streichende Synkinal- und Antikinalzonen aufweist. Im nördlichen Teil des Arbeitsgebietes wurde unter den Talsohlen vor allem die Untere Süsswassermolasse erbohrt, weiter im Süden auch die Obere Meeresmolasse, während die Obere Süsswassermolasse erst oberhalb der heutigen Talböden ansteht.

Zur Klärung spezieller Probleme der Molassestratigraphie und -tektonik des Arbeitsgebietes konnten unsere Untersuchungen wenig beitragen, auch deshalb, weil diese tiefen Sondierungen vorwiegend als Spülbohrungen ausgeführt wurden. Dies gilt auch für die ausserhalb der Talsohlen und damit auch ausserhalb unseres eigentlichen Untersuchungsgebietes gelegenen altquartären Ablagerungen («Ältere Deckenschotter» auf dem Irchel und Stadler Berg, «Jüngere Deckenschotter» auf dem Rheins- und Laubberg und südöstlich Weiach).

Näher soll uns hier das Auftreten mittel- und jungpleistozäner Ablagerungen und ihre Deutung bei früheren Bearbeitern interessieren: Am Westrand des Rafzerfeldes von Wasterkingen über Stetten bis Hohentengen, bei Weiach und Fisibach und zwischen Glattfelden und dem Strassberg sind über den heutigen Talböden liegende Schotter weit verbreitet, für die allgemein ein risseiszeitliches Alter angenommen wird. Bei Wasterkingen sind diese Schotter nach KELLER (1977)

zweigegliedert: Er schreibt die Verbraunung des unteren Schotterkörpers (Riss I, Sanderrelikt) einem Riss-Interstadial zu, den oberen Schotterkörper deutet er als Vorstoßschotter, über denen er eine Grundmoräne sieht, die er der grössten Vergletscherung (Riss II) zuordnet. HOFMANN (1977) vergleicht diese bei Wasterkingen etwa 20 m dicken Kiese mit den Engeschottern bei Schaffhausen, die sich während des Zerfalls des Riss II-Eises gebildet haben sollen. In der Karte von HANTKE & Mitarbeitern (1967) und bei HANTKE (1963) figurieren diese fluvioglazialen Ablagerungen, ebenso wie jene südlich Glattfelden, als spätisseiszeitliche Schotter, SUTER (1944) stellt sie ungegliedert als Hochterrasse in das Riss I.

Die äussersten Endmoränen des Glatt-Armes des würmeiszeitlichen Rhein-Linth-Gletschers sind von Stadel über den Strassberg zu verfolgen und ziehen dann von nördlich Herrenwir in Richtung Eschenmosen. Der Thur-Arm des riesigen Rheinvorlandgletschers reichte während des Hochglazials bis zur Linie Steinencréuz (Buchberg)-Solgen-Lottstetten. Das Untersuchungsgebiet ist also insofern besonders interessant, als es sowohl intra- als auch extramoränische Bereiche zweier voneinander getrennter und auch recht unterschiedlich grosser Gletschersysteme umfasst. Hinzu kommt, dass das Wechselspiel von glazialer Akkumulation und Erosion durch die Neuanlage des Rheindurchbruchs Rüdlingen-Tössegg im Hochglazial (ELLENBERG 1972, KELLER 1977 u.a.) zusätzlich kompliziert wurde.

Im extramoränischen Bereich sind die Gliederbarkeit und Alterseinstufung der – im Rafzerfeld bis fast 100 m – mächtigen Schottervorkommen im Bereich der heutigen Talböden von besonderem Interesse. Von einem Teil der bisherigen Bearbeiter werden sie gänzlich als Niederterrassenschotter aufgefasst (z.B. LEEMANN & ELLENBERG 1972), andere wiederum sehen darin eine Ineinanderschachtelung risseiszeitlicher und würmeiszeitlicher Schotterkörper (z.B. SOMMERHALDER 1968 im Glattal und HOFMANN 1977 im Rafzerfeld).

Mehrmals diskutiert wurde in der Literatur auch, ob der Würmgletscher in einer frühen Phase des Hochwürms über die äussersten markanten Endmoränen hinausgereicht hat, wofür z.B. SOMMERHALDER (1968) in der der Stadler Moräne vorgelagerten Windlacher Moräne einen Zeugen sieht, oder ob eventuell sogar schon im Frühwürm der Gletscher seine grösste Ausdehnung erreichte, wie HANTKE (in HANTKE & Mitarbeiter 1967) annimmt.

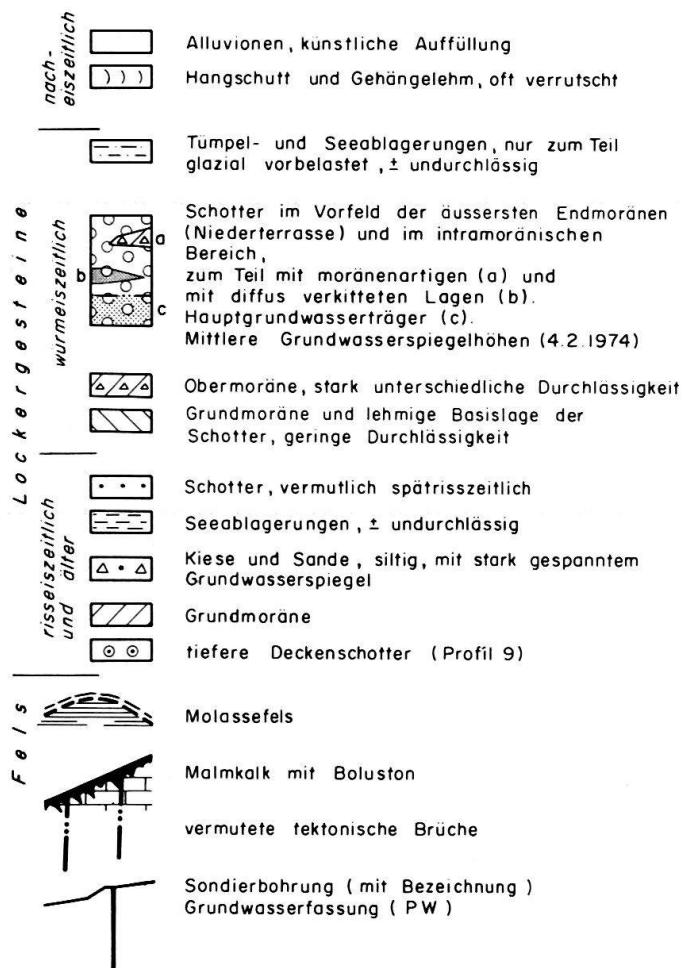
Weiter von Interesse ist der Tiefgang des Würmgletschers: Nach KELLER (1977) sind die Grundmoränen des äussersten Vorstosses des würmeiszeitlichen Thurgletschers hoch oben am Hang über Rüdlingen und auf dem Chachberg zu suchen; die Seeablagerungen und wohl auch der überwiegende Teil der Schottervorkommen östlich der Thurmündung müssten demnach mindestens prähochwürmeiszeitlich sein. Auch nach HOFMANN (1977) ist nur ein geringer Teil der Schotter im Raum Rüdlingen-Rheinau als würmeiszeitlicher Rückzugsschotter aufzufassen, der Hauptteil soll «in der Interglazialzeit Riss I/Riss II abgelagert worden» sein (S. 121).

Im unteren Glattal wurden Schotter des intramoränischen (und teilweise auch des extramoränischen) Raumes lange Zeit als Mittelterrassenschotter bezeichnet und darunter teils risseiszeitliche (SUTER 1944, WEBER 1928, SOMMERHALDER 1968), teils interglaziale oder früh- bis hochwürmeiszeitliche (HANTKE 1959, JÄCKLI 1964) Ablagerungen verstanden.

3. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit

Sinn und Zweck des vorliegenden Beitrages soll *nicht* sein, über die Vielzahl von Untersuchungsergebnissen, vor allem hydrologischer oder hydrochemischer Art, zu berichten. Diese sind für das Gebiet Rüdlingen–Rafzerfeld–Weiach und für das untere Glattal und das Windlacherfeld in umfangreichen Untersuchungsberichten zusammengestellt und von speziell Interessierten einzusehen. Hier soll vielmehr versucht werden, die für den Ablauf der mittel- und jungpleistozänen Landschaftsgeschichte interessanten Teilergebnisse herauszugreifen und zu interpretieren. Wir sind uns bewusst, dass das so geschaffene Gedankengebäude relativ roh gezimmert sein muss, sind die Untersuchungsmethoden doch nach Art, Umfang und der räumlichen Verteilung auf die Lösung einer speziellen Aufgabe der angewandten Geologie, nämlich die Erkundung von Grundwasserströmen in den Schottern der Talsohlen, ausgerichtet. Spezielle quartärgeologische Arbeitsmethoden, wie Geröllmorphometrie, Geröllanalyse oder auch pedologische Untersuchungen, fehlen so gut wie ganz. Wir werden deshalb zur Lösung offener quartärgeologischer Fragen mit Ergebnissen *unserer* Untersuchungsmethoden, z.B. mit hydrologischen Daten wie Durchlässigkeit, Ganglinienverlauf, Wasserchemismus usw., beizutragen versu-

LEGENDE zu den Profilen Figur 1 + 2
(Lage der Profile siehe Tafel)



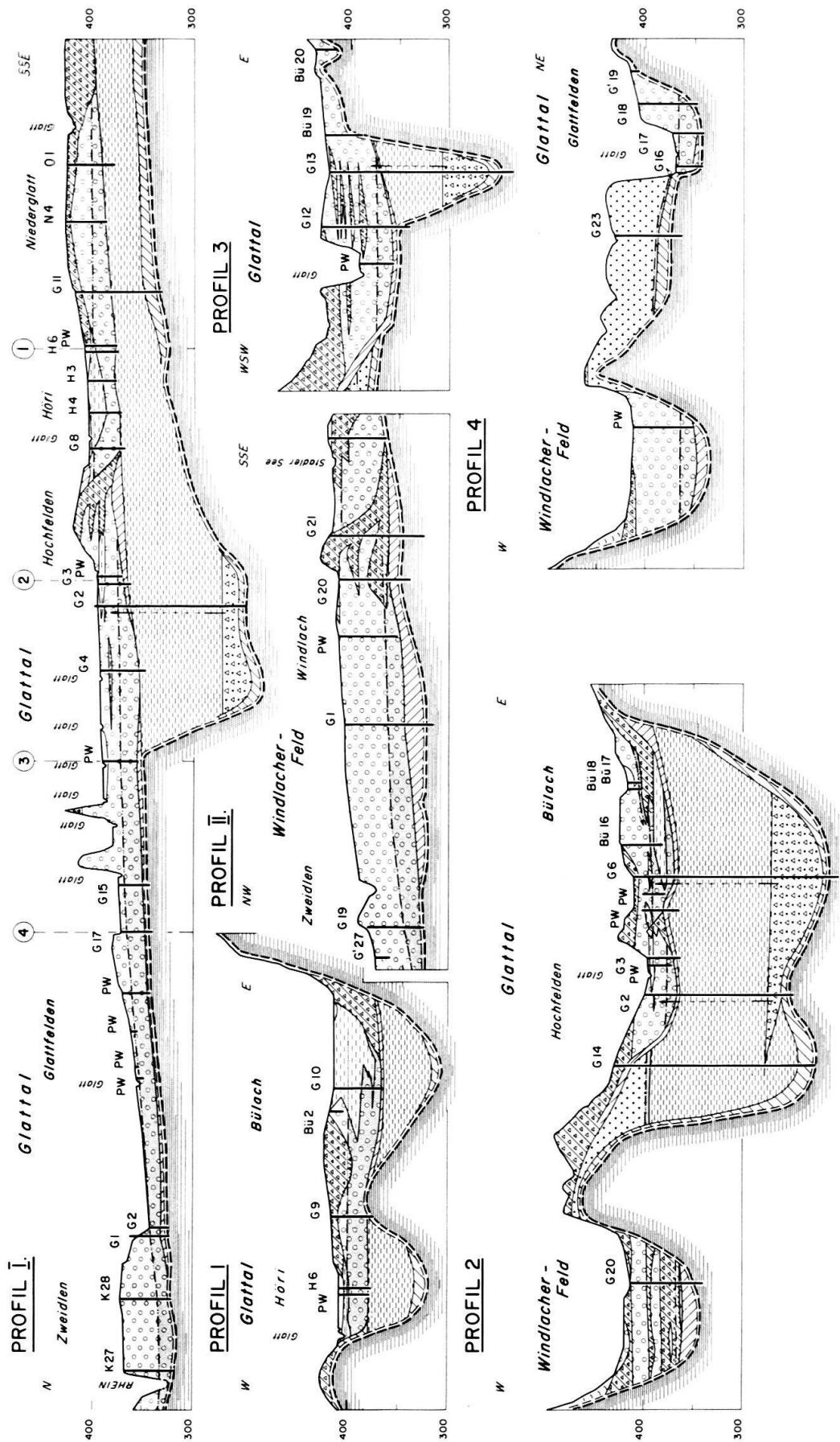


Fig. 1. Geologische Profile durch das untere Glattal und das Windlacherfeld (Legende siehe Seite 257).

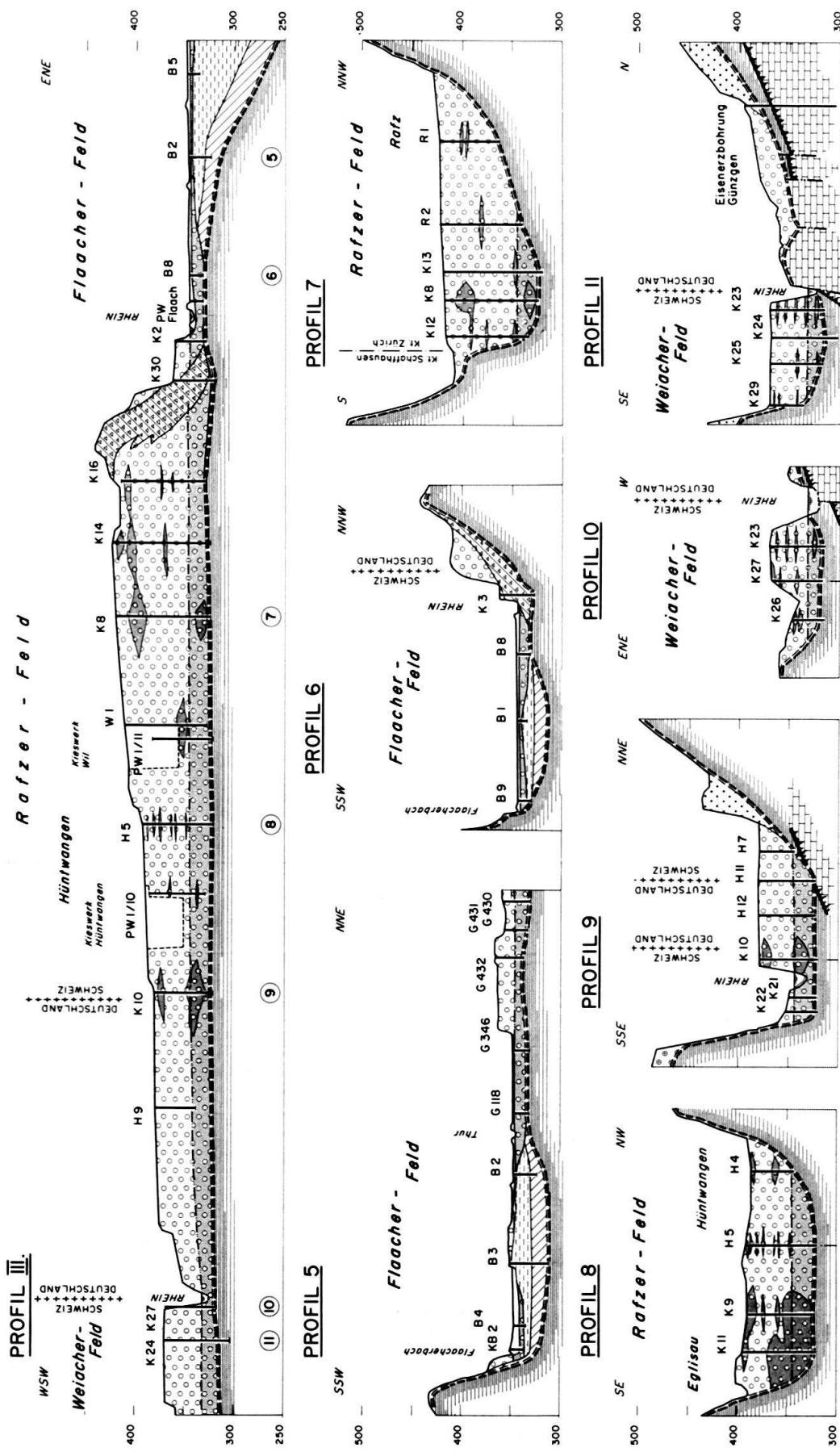


Fig. 2. Geologische Profile durch das Räfzer- und Fläucherfeld (Legende siehe Seite 257).

chen. Den Hauptteil unserer Argumente beziehen wir aber aus den Bohrergebnissen. Durch die Mitberücksichtigung der dritten Dimension der quartären Sedimentationsräume hoffen wir die Lagebeziehungen zwischen den verschiedenen Sedimentkörpern besser erfassen zu können, als dies durch morphologische Bearbeitungen möglich ist.

4. Untersuchungsergebnisse

4.1 Morphologie der Felsoberfläche

Auf der Tafel ist der Verlauf der Felsoberfläche dargestellt, wie er sich aus den Oberflächenaufschlüssen und den Bohrungen ableiten lässt. Die geringe Äquidistanz von 10 m wurde nicht gewählt, um eine – aufgrund der Anzahl der Sondierpunkte selbstverständlich nicht vorhandene – besondere Genauigkeit vorzutäuschen, sondern um die wichtigsten Formelemente in der Morphologie der Felsoberfläche plastischer hervortreten zu lassen.

Zwischen den Hochgebieten des Molassefelsens in den heutigen Talflanken – beidseits des Glattals und Windlacherfeldes, nördlich des Rafzerfeldes und im Gebiet Buchberg-Irchel – und in einzelnen isolierten Felsbuckeln – wie Höhragen, Eschenberg und Hörberg, Hörlispitz-Alten – lassen sich grob zwei unterschiedliche morphologische Formen feststellen: Einmal langgestreckte, relativ gleichmäsiges Gefälle aufweisende, in erster Linie wahrscheinlich fluviatil ausgeräumte und allenfalls glazial verbreiterte Rinnen, zum andern übertiefe, in der Karte gerastert dargestellte Hohlformen im Fels, für die unseres Erachtens nur eine Deutung als glazial ausgeschürfte Wannen und Rinnen in Frage kommt. (Andere Erklärungsversuche, z. B. durch jungquartäre Bruchstörungen oder Rücksenkung, müssen unserer Meinung nach schon allein an der Form dieser Hohlformen scheitern. Nicht auszuschliessen ist selbstverständlich, dass die glaziale Tiefenerosion durch tektonische Schwächezonen begünstigt wurde.)

Besonders gut ist eine vom Rheinfallbecken bei Neuhausen kommende Rinne gegen Süden zu verfolgen: Ihre Sohle weist im Bereich der Halbinsel Schwaben bei Rheinau, wo sie sich mit dem Übertritt vom Malmkalk in die Untere Süßwassermolasse stark verbreitert, Koten um etwa 335 m ü. M. auf. Im Gebiet Ellikon wird die 330iger Isohypse gequert. Die Rinne führt weiter über das Gebiet Rüdlingen ins Rafzerfeld, wo das Sohlengefälle bei oder sogar knapp unterhalb 1% liegt. Sohlenkoten unterhalb 320 m ü. M. wurden erst im Weiacherfeld erbohrt.

Im Gebiet Weiach vereinigt sich diese «Rhein-Thur-Rinne» mit der oder besser gesagt mit den «Glatt-Rinnen»: Eine ist gegen Südosten bis unterhalb der Station Glattfelden, die andere gegen Süden durch das Windlacherfeld zu verfolgen.

Glazial übertiefe Hohlformen findet man sowohl im unteren Glattal als auch im Gebiet Flaacherfeld-Andelfingen-Marthalen. Die tiefste erbohrte Kote der Hohlform im Raum Bülach-Hochfelden liegt bei 215 m ü. M., 195 m unter Terrain (Bohrung G6 bei Hirslen an der Strasse Bülach-Hochfelden, Koordinaten 682.120/264.090, siehe Fig. 1). Aus dem Gebiet Oberglatt-Niederglatt mündet in sie eine übertiefe Rinne, die ihre Fortsetzung in der nördlichen Felsrinne des mittleren Glattals haben könnte (HALDIMANN 1978). Östlich des Höhragen deutet sich gegen Bachenbülach ein zweiter Rinnenansatz an. Besonders markant ist die nur etwa

600 m breite, gegen Norden allmählich aushebende fjordartige Furche, die von diesem tiefen Becken gegen Eglisau zielt. Sie reicht deutlich über die äussersten Endmoränen des Glatt-Armes des würmeiszeitlichen Rhein-Linth-Gletschers hinaus. Gegen oder für die naheliegende Hypothese, dass diese Furche einer tektonischen Schwächezone folgen würde, konnten keine handfesten Argumente gefunden werden. Immerhin stimmt die Richtung mit alten Störungen bei Baden überein (SCHINDLER 1978).

Gewaltige Ausdehnung und Tiefe erreichen auch die Hohlformen im Fels im Gebiet Marthalen-Andelfingen. Auf der Karte (Tafel) sind noch die westlichen Ausläufer dieser glazialen Übertiefung erfasst: Eine südliche Rinne folgt ± der Thur und hebt im Raum Rüdlingen aus. Sie hat sozusagen noch ein wenig die oben beschriebene fluviatil geprägte «Rhein-Thur-Rinne» angeknabbert. In dem engen Felstal zwischen dem Ort Alten und der südlichen Talflanke des Thurtals hat die Bohrung G110 der Wasserwerke Winterthur den Fels bei 100 m (Kote etwa 254 m ü. M.) noch nicht erreicht.

Nördlich des Felsbuckels Alten-Hörnlispitz greifen von der nahe Andelfingen tief ausgeschürften Wanne offensichtlich zwei durch einen flachen Molassebuckel getrennte Felsrinnen ein Stück gegen Westen aus, wobei vor allem die nördliche, gegen Rheinau weisende auch hydrologisch von Interesse ist. Diese beiden glazial ausgeschürften Zonen sind sicherlich mit ein Grund dafür, dass die Rheinfallrinne bei Rheinau gegen Süden so rasch an Breite gewinnt.

Die von KELLER (1977) in diesem Raum entworfene Isohypsenkarte der Oberfläche des Molassefelsens zeigt deutlich, wie gefährlich es ist, in einem Gebiet mit komplizierterem Aufbau der quartären Ablagerungen zu sehr auf geoelektrische Sondierungen zu vertrauen bzw. deren Ergebnisse nicht vorsichtig genug zu interpretieren.

Gebiete mit solcher glazialer Übertiefung sind natürlich beileibe keine Besonderheit; sie sind sowohl im alpinen als auch im nordischen Vereisungsgebiet an zahlreichen Stellen nachgewiesen. In der engeren Nachbarschaft sei nur an die tiefen Felströge im mittleren und oberen Glattal (HALDIMANN 1978, WYSSLING & WYSSLING 1978), im Zürich- und Limmattal (SCHINDLER 1968 und 1974) oder im westlichen Bodenseegebiet (SCHREINER 1968) erinnert.

4.2 Zur mittel- und jungpleistozänen Landschaftsgeschichte im unteren Glattal und im Windlacherfeld

4.2.1 Füllung und Alter der glazial übertieften Hohlform im Molassefels bei Bülach

Wenn man sich bei der Frage nach dem Alter dieser glazialen Übertiefungen mit der Unterscheidung würmeiszeitlich oder älter bescheidet, dann sind die Verhältnisse bei dem «Loch» Bülach-Hochfelden eindeutig. Der fjordartige Rinnenfortsatz gegen Norden reicht über die maximale Ausdehnung der Würmendmoränen hinaus; auch eine Ausschürfung der übrigen Hohlform so nahe am Rand eines doch relativ kleinen Gletschers erscheint schwer vorstellbar. Für ein vorwürmisches Alter dieser Tiefenerosion spricht auch die Tatsache, dass im benachbarten Embracher Tal, welches vom Würmgletscher nicht mehr erreicht wurde, eine deutliche Übertiefung festgestellt wurde (HALDIMANN 1978).

Ein Beitrag zur Aufhellung des Problems, wie der Gletscher nun diese enorme Tiefenerosion bewerkstelligt hat, kann von uns nicht erbracht werden. Es muss jedenfalls ein Gletscher gewesen sein, der im Raum Bülach noch eine respektable Dicke aufwies. Im südbayerischen Raum scheint der Mindelgletscher noch mehrere Kilometer weiter als jener der Risseiszeit nach Norden vorgestossen zu sein. Auf schweizerischem Gebiet dürfte aber nur der Rissgletscher beträchtlich über den würmeiszeitlichen Maximalvorstoss hinausgereicht haben und der Urheber dieser glazialen Tiefenerosion sein.

Weitere Hinweise für diese Alterseinstufung ergeben sich aus der Füllung der Hohlform selbst (vgl. Fig. 1): Über dem Fels liegt eine lehmige, z.T. etwas kiesige Schicht, die wir als Riss-Grundmoräne deuten (eine zweifelsfreie Beurteilung lassen die Spülbohrungen leider nicht zu). In einem Teil der Bohrungen (G6, G13, G2) folgen darüber lehmige, eventuell subglazial abgelagerte, moränenartige Kiese und Sande bis etwa 50 m Dicke. Sie sind mässig bis schlecht durchlässig (k-Werte im Bereich 10^{-5} m/sec) und führen Grundwasser, dessen piezometrisches Niveau über jenem des genutzten oberen Stockwerks liegt. Das Wasser weist einige Besonderheiten auf: So liegt z.B. die Gesamthärte meist unter der Karbonathärte. RICHTER & LILLICH (1975) erklären diese Erscheinung durch Ionenaustausch, wobei Ca- und Mg- durch K- und Na-Ionen ersetzt werden. Maximale Austauschraten sind bei gering konzentrierten Wässern demnach in feinklastischen Lockergesteinen bei geringen Fließgeschwindigkeiten zu erwarten. Interessant ist, dass nach der oben zitierten Arbeit Wässer dieses Typs (Karbonathärte > Gesamthärte) oft durch Ionenaustauschvorgänge zwischen normalen Grundwässern vom Ca-HCO₃-Typ und noch mit Na-Ionen belegten Austauschern in ehemals mit Salzwasser erfüllten bzw. salzwassernahen Sedimenten entstehen. Dass dies in unserem Fall jedoch auf einen Zusammenhang mit Porenwasser aus der Meeresmolasse hinweisen könnte, ist wohl eher unwahrscheinlich.

Als weitere Eigenschaften dieses Wassers sind die – zu erwartende – Sauerstoffarmut mit ihren Nebenerscheinungen (leichter Ammonium-, Nitrit-, Eisen- und Mangangehalt, frei von Nitrat) zu nennen. Der Chloridgehalt lag um 50 mg/l, auch geringe Phosphatmengen waren nachweisbar. Die Isotopenmessung einer Wasserprobe aus Rohr G6 im Mai 1974 (Dr. U. Siegenthaler, Universität Bern) ergab für Tritium < 5,6 TU. Dieser niedrige Tritiumgehalt zeigt, dass das Wasser zum grossen Teil seit mehr als 20 Jahren im Boden ist. Der Anteil von seit 1958 infiltriertem Wasser lag damals höchstens bei 5%. Im Sauerstoff-18-Gehalt lag die Probe im Vergleich zu anderen Grundwässern dieser Region etwas niedrig.

Über diesem tiefen Grundwasser-Stockwerk füllen bis zu 150 m dicke tonig-siltige Seeablagerungen die Hohlformen aus. Messungen der natürlichen Gammastrahlung in einigen der PVC-Piezometerrohre ergaben im unteren Teil der Seeablagerungen einen deutlich inhomogenen Aufbau als oben. Diese unterschiedlichen Bildungsbedingungen könnten eventuell auf grössere Eisnähe im unteren Teil verbunden mit grobkörnigen Schüttungen und Eisferne im oberen Teil mit ruhigeren Sedimentationsbedingungen hindeuten.

Im Süden bei Oberglatt und an den Trogrändern, z.B. in der Bohrung G14 (Koordinaten 680.480/264.885, Fig. 1, Profil 2) nördlich Hochfelden, reichen die Seeablagerungen bis in ein Niveau von 390 m ü. M. hinauf.

Zwischen der Oberkante der Seeablagerungen und der Würm-Endmoräne des Strassbergs wurden bei G14 grundwasserführende Kiese erbohrt, die ihrer Lage nach sinnvoll nur mit den von HANTKE & Mitarbeitern (1967) als spätisseiszeitlich eingestuften Schottern des Plateaus zwischen Glatt, Windlacherfeld und Strassberg verknüpft werden können. Die darunter liegenden Seeablagerungen müssen also älter als diese Schotter sein, d.h. grosse Teile der Füllung der glazial ausgeschürften Hohlformen können nicht aus dem Riss-Würm-Interglazial stammen.

Zwei weitere Bohrungen (G22, Koordinaten 679.325/266.790 und G23, Koordinaten 680.260/266.565) wurden direkt auf diesem Schotterplateau angesetzt. Die genetische Deutung der dort zwischen Fels (OK 377.26 m ü. M. bzw. 370.19 m ü. M.) und UK-Schotter (388.26 bzw. 388.19 m ü. M.) erbohrten Sedimente ist nicht eindeutig. Es könnte sich sowohl um Grundmoräne als auch um Äquivalente der bei G14 angetroffenen Seeablagerungen handeln. Eine lithologische Gliederung des Schotterkörpers ist anhand unserer wenigen Sondierungen nicht möglich, auch die hydrologischen Daten (Grundwasserspiegel offensichtlich von der Randlage des jeweiligen Messpunktes stark abhängig, k-Werte und chemische Daten stark streuend) lassen keine aufschlussreichere Interpretation der Art dieses Grundwasserträgers zu. Als Besonderheit sei vermerkt, dass die Gesamthärte mit französischen Härtegraden um 25 F° (G22) bzw. 28 F° (G14) überraschend gering ist. Eventuell kommt darin eine gewisse Entkalkung des durchsickerten Schotterkörpers zum Ausdruck, worin man wiederum einen Altershinweis sehen könnte. Noch deutlicher ist diese geringe Gesamthärte (um 15 F°) in Quellwässern aus den Deckenschottern des Irchels.

Es ist immerhin in Betracht zu ziehen, dass dieses Schottervorkommen zusammen mit Erosionsrelikten unter der würmeiszeitlichen Moräne am Heitling bei Neerach, am Westende des Laubbergs, bei Zweidlen sowie eventuell mit den Vorkommen am Westrand des Rafzerfeldes zwischen Wasterkingen und Hohentengen einst ein einheitliches Schotterfeld gebildet haben könnte. Ob dies effektiv der Fall war und wie das Schotterfeld möglicherweise zu gliedern und zeitlich einzustufen sei, könnte erst durch Detailuntersuchungen näher geklärt werden. Auch ein möglicher Zusammenhang mit den nördlich des Rheins gelegenen Schotterrelikten zwischen Tössegg und Eglisau, die von ELLENBERG (1972) als spätisseiszeitliche Kameschotter gedeutet wurden, sollte in eine solche Untersuchung mit einbezogen werden. Die bei Aarüti (etwa 1,5 km westlich Glattfelden) bei Kote 370 m ü. M. dem Molassefels auflagernden Schotter mit Komponenten bis 50 cm Durchmesser machen unseres Erachtens jedenfalls den Eindruck einer recht gletschernahen Bildung.

Interessant ist in diesem Zusammenhang ein Blick in die weitere Nachbarschaft. Im Embracher Gebiet ist die übertiefste Felsrinne (tiefste erbohrte Felskote rund 315 m ü.M.) ebenfalls mit Grundmoräne und Seeablagerungen gefüllt, letztere reichen dort bis zur Kote etwa 400 m ü. M. (freundliche mündliche Mitteilung von Herrn P. Haldimann). Im mittleren Glatttal bilden risseiszeitliche oder interglaziale Seebodenlehme das Hauptfüllmaterial der Felsrinnen, welche in einem Niveau zwischen 410 (im Nordwesten) und 430 m ü. M. (im Südosten) durch eine unebene Erosionsfläche abgeschnitten und von würmeiszeitlichen Bildungen bzw. den Aatal-schottern überlagert werden (HALDIMANN 1978). Im oberen Glattal (WYSSLING

& WYSSLING 1978) sind Teile der die Felsrinnen auskleidenden Seeablagerungen nachgewiesenermassen interglazialen und würmeiszeitlichen Alters. Das Alter jener Seeablagerungen, welche die Unterlage der Aatalschotter bilden – Auflagerungsfläche etwa im Niveau 465–470 m ü. M. –, scheint aber noch offen zu sein. Eine mit präwürmeiszeitlichen Seeablagerungen gefüllte Rinne findet sich nicht zuletzt auch im Limmattal im Wettingerfeld, die bis zu einer Kote von etwa 335–345 m ü. M. hinaufreicht und von würmeiszeitlichen Sedimenten überlagert ist (SCHINDLER 1968).

4.2.2 Zum Ablauf der Würmeiszeit

Die durch eine Vielzahl von Bohrungen belegte heutige Oberfläche der risseiszeitlichen Seeablagerungen der Beckenfüllung von Bülach weist ein äusserst gleichmässiges Gefälle entlang dem Glattlauf von Kote 390 m ü. M. bei Oberglatt bis zu Kote 355 m ü. M. beim Glattknie östlich Glattfelden auf, wo OK-Seeablagerungen ohne Gefällssprung an OK-Molassefels angrenzen. In dieser dem heutigen Glattlauf ± folgenden, zwischen Oberglatt und Glattfelden mit flachen Talhängen und mit etwa 5% abfallenden Rinne in den risseiszeitlichen Seeablagerungen bzw. vom Glattknie abwärts im Molassefels sehen wir das interglaziale Glattal. Das in ganz ähnlicher Höhenlage im Windlacherfeld nachgewiesene Molassefels-Tal könnte damals ein Fluss aus dem Wehntal benutzt haben. Die um rund 15 m höher als am Glattknie gelegene Oberkante der Seeablagerungen im Gebiet Lindirain (G26, Koordinaten 681.962/267.930) deutet darauf hin, dass ein Verlauf des Glattals von Bülach gegen Eglisau damals schon nicht mehr wahrscheinlich war.

Über den Seeablagerungen bzw. über dem Molassefels bei Glattfelden wurden in verschiedenen Bohrungen geringmächtige, an Grundmoräne erinnernde Lagen angetroffen, die aber zum mindesten in den Spülbohrungen nicht sicher identifiziert werden konnten. Eindeutig für Grundmoräne sprachen die in der Kernbohrung G26 über den hartgepressten Seeablagerungen oberhalb Kote 368.70 m ü. M. angetroffenen 6 m dicken Sedimente. Ähnliches gilt für tonig-siltige und sandige, mit Kies durchsetzte Ablagerungen zwischen Molassefels und Niederterrassenschotter in der Bohrung G1 im Windlacherfeld (Koordinaten 678.220/266.805, vgl. Fig. 1, Profil II).

Wir sehen in erster Linie zwei Möglichkeiten zur Einstufung dieser fraglichen Grundmoränenreste: Nicht vollkommen auszuschliessen ist vorerst die Zuordnung zu einem Gletschervorstoss im Spättriss, mit dem auch die Bildung der oben beschriebenen hochgelegenen Erosionsrelikte eines grösseren zusammenhängenden Schotterkörpers verbunden gewesen sein könnte. (Falls die Ansicht von KELLER 1977, dass die Wasterkinger Schotter von Grundmoräne bedeckt sind, stimmen sollte, stiesse eine solche Erklärung allerdings auf Schwierigkeiten.)

Unseres Erachtens wahrscheinlicher ist aber, dass diese Grundmoränenreste einem ersten, über den klassischen Endmoränenstand hinausgehenden Würmgletscher-Vorstoss während des Hochglazials zuzuschreiben sind. Dies würde besonders im Windlacherfeld gut mit den Untersuchungsergebnissen von LEEMANN (1958) und SOMMERHALDER (1968) übereinstimmen, welche anhand von Seitenmoränenresten bei Windlach einen solchen Maximalvorstoss postulierten.

Hinweise auf eine grössere Verbreitung fröhwrmeiszeitlicher Moränen, Seeablagerungen und Schotter, wie sie vor kurzem aus dem Raum Kloten bekanntgemacht worden sind (LONGO 1978, HALDIMANN 1978), konnten im unteren Glattal und im Windlacherfeld bisher nicht gefunden werden. Es ist deshalb wenig wahrscheinlich, dass die genannten Grundmoränenreste einem fröhwrmeiszeitlichen Vorstoss zuzuschreiben sind.

Auch im Limmattal werden unter den Niederterrassenschottern des Wettingerfeldes von SCHINDLER (1978) wahrscheinliche Moränenreste beschrieben, die als zu einem Maximalvorstoss des Würmgletschers im Hochglazial gehörig betrachtet werden könnten; bei der Neuenhof-Moräne von MAZURCZAK (1976) dagegen ist auch unseres Erachtens ein Rissalter nicht völlig auszuschliessen.

Der Ablauf des Geschehens im Würmhochglazial lässt sich aus unseren Untersuchungsergebnissen wie folgt rekonstruieren: Der über den risseiszeitlichen Seeablagerungen vorrückende - bzw. der nach einem ersten maximalen Vorstoss bis in das Gebiet Lindirain zurückschmelzende - Würmgletscher begann im Raum Glashütte Bülach-Hirslen-Hochfelden für längere Zeit zu stagnieren und zu pendeln. Der Gletscher überfuhr dabei seine im extramoräischen Bereich aufgeschütteten Niederterrassenschotter mehrmals, der weiteste Vorstoss schuf die Moränenstaffeln des Gebietes Strassberg und Hard nördlich Bülach. Dieser längere Gletscherhalt im Raum Hirslen-Hochfelden kann nicht nur durch die Bohrergebnisse, sondern vor allem auch durch die hydrologischen Befunde nachgewiesen werden. Wegen der insgesamt schlechteren Durchlässigkeit und der recht heterogenen Zusammensetzung der Moränen- und gletschernahen Ablagerungen am Ort dieser Pendelbewegungen hat sich dort eine Steilstufe von etwa 15 m im Grundwasserstrom ausgebildet. Es gibt also mit Sicherheit keine durchgehenden Schotter vom Gebiet Herrenwis über Hochfelden in den Raum Höri, wie sie z. B. SOMMERHALDER (1968) in Form von Mittelterrassenschottern zu erkennen glaubte oder wie sie auch in der Karte von HANTKE & Mitarbeitern (1967) angedeutet zu sein scheinen. Im Gegensatz zu SOMMERHALDER können wir auch keine Anzeichen für eine Verschiedenartigkeit der Schotter entlang der Glatt nördlich Hochfelden erkennen.

Ganz ähnlich ist offensichtlich die Entwicklung im Windlacherfeld verlaufen. Auch dort weisen die Endmoränen Süssbuck-Brand einen Tiefgang bis auf den Molassefels hinab auf und bedingen dadurch eine Steilstufe im Grundwasserstrom von 40 bis 50 m. Auch für die Kiese und Kiessande im Vorfeld dieser Endmoränen ergaben unsere Untersuchungen keine Hinweise auf Verschiedenartigkeit; wir deuten sie deshalb in ihrer Gesamtheit als Niederterrassenschotter.

Beim Rückzug des Gletschers wurde südlich dieser Endmoränen des Maximalvorstosses im unteren Glattal kein eigentliches Zungenbecken freigegeben, denn wie schon erwähnt, weist die flach rinnenartige Oberfläche der risseiszeitlichen Seeablagerungen dort ein gleichmässiges Gefälle gegen Norden auf. Ähnlich wie nördlich Hochfelden liegt darauf auch hier eine lückenhafte, dünne Grundmoränendecke. Darüber folgen Kiessande, deren Durchlässigkeit gegen oben deutlich abnimmt. Es ist schwer vorstellbar, dass dieser ausgedehnte und an mehreren Orten genutzte Grundwasserträger in einem durch die Endmoränen bei Hochfelden-Bülach gestauten See, z. B. in Form eines Deltas, zur Ablagerung gelangt sein soll. Unserer Meinung nach handelt es sich dabei um gegen oben immer gletschernäher wer-

dende Vorstoßschotter, welche zum nächsten Vorrückungsstadium gehören. Dieser Deutungsversuch ist natürlich aber nur dann möglich, wenn man annimmt, dass durch die Endmoränen des Maximalstandes und sein Niederterrassenschotter-Vorfeld beim Gletscherrückzug rasch eine tiefe Abflussrinne erodiert wurde.

Eiszeitliche Seeablagerungen wurden dagegen in zahlreichen Bohrungen im Gebiet Höri-Wilenhof *über* diesen Schottern angetroffen. Wodurch dieser See gestaut wurde, ist nicht klar zu erkennen. Abgesehen von lokalen Ereignissen, wie Abdämmung durch seitliche Bachschwemmkegel, könnte der Grund darin liegen, dass mit dem gleichzeitig erfolgenden Wiedervorstoss des Bodensee-Rhein-Gletschers eine Aufschotterung im Rhein-Töss-Gebiet verbunden war, durch welche für die Gletscherschmelzwässer im Glattal die Vorflutverhältnisse immer ungünstiger wurden. Dies würde aber bedeuten, dass die würmzeitlichen Terrassen im Rheingebiet unterhalb des Durchbruchs Rüdlingen-Tössegg nicht nur durch fortschreitende Eintiefung in das oberste Akkumulationsniveau – welches im oberen Rafzerfeld oder bei Lindirain noch erhalten ist – entstanden sind (z. B. LEEMANN & ELLENBERG 1972), sondern dass im Sinne von GRAUL (1962) mit einer nochmaligen Wiederaufschotterung und Ineinanderschachtelung verschieden alter Würmschotter gerechnet werden muss. Dass eindeutige und quantitativ ins Gewicht fallende Zeugen für eine solche Wiederaufschotterung in diesem Teil des Untersuchungsgebietes selten sind, könnte daran liegen, dass der Rheinlauf durch die Engstelle bei Tössegg weitgehend fixiert war und die jüngeren Schotter dadurch immer wieder ausgeräumt worden sind.

In der westlich des Höhragen zuoberst aufgeschlossenen oder unter geringmächtigen kiesigen Sedimenten verborgenen, z. T. drumlinartigen Moränendecke dokumentiert sich unseres Erachtens ein nochmaliger Gletschervorstoss, der auch die oben beschriebenen Seeablagerungen bei Höri noch betroffen hat, ehe auf der Linie Hofstetten/Obergлатt-Römischer Gutshof bei Seeb eine zweite eindrückliche Rückzugsstaffel gebildet wurde (vermutlich vergleichbar mit dem Schlieren-Stadium des Limmatals).

Östlich des Höhragen scheint dieser nochmalige Gletschervorstoss zu fehlen. Dort bestand offensichtlich ein einheitliches Seebecken, das vor allem durch die Flankenentwässerung aus der Gegend von Winkel im gletschernahen Bereich mit Kiesen und Sanden zugeschüttet wurde. Gegen die Tiefe und gegen Norden geht dieser Grundwasserträger in feinkörnige Seeablagerungen über. Infolge dieser natürlichen Abdämmung weist das Bachenbülacher Grundwassergebiet Spiegelhöhen auf, welche um etwa 20 m über jenen des benachbarten Glattgrundwasserstromes liegen.

4.3 Die mittel- und jungpleistozäne Landschaftsgeschichte im Bereich Flaacherfeld-Rüdlingen-Rafzerfeld

Bei einer Kernbohrung mitten im Flaacherfeld (B3, Koordinaten 687.240/270.831, Fig. 2, Profil 5) wurden unter geringmächtigen, vermutlich spät- oder nacheiszeitlichen Kiesen von Kote 348 m ü. M. an vorwiegend sandige, z. T. auch siltig-tonige Seeablagerungen durchbohrt, die nach unten in eine hart gepresste, viel Molassemergel-Material enthaltende Grundmoräne übergehen. Der Fels der Unteren Süßwassermolasse wurde bei – 38,50 m (Kote 312 m ü. M.) erreicht.

Zur Klärung der Frage nach dem Alter dieser Grundmoräne und der Seeablagerungen können bisher leider noch keine pollenanalytischen Befunde vorgelegt werden. Ein Schlüssel zur richtigen zeitlichen Deutung dieser Lockergesteinsschichtfolge im Flaacherfeld liegt zweifellos im Gebiet zwischen Rüdlingen und dem Rafzerfeld, im Bereich der von allen bisherigen Bearbeitern unbestrittenen äussersten Würm-Endmoränen Steinenkreuz-Lottstetten und deren Lagebeziehung zu den Rafzerfeldschottern. Die geologischen und hydrologischen Ergebnisse der in diesem Raum unter unserer Leitung abgetiefsten Sondierungen lassen unseres Erachtens einen ganz eindeutigen Schluss zu: Die Würm-Endmoränen liegen nicht flach mehr oder weniger *über* den Rafzerfeldschottern, sondern weisen – übrigens ganz ähnlich wie im Gebiet Hirslen-Hochfelden oder Stadel des Linth-Rhein-Gletschers – einen Tiefgang bis hinunter auf den Molassefels auf und verzahnen sich infolge kleiner Pendelbewegungen der Gletscherstirn mit diesen Schottern.

Da es sich im entscheidenden Bereich um Spülbohrungen handelt – wichtig sind vor allem die Bohrungen K3, K4, K5, K6 und K30 bei Rüdlingen und zum Vergleich dazu die Sondierungen K16 und K14 im Ostteil des Rafzerfeldes –, sollen zur Untermauerung dieser These nicht nur die erbohrte Lithologie, sondern insbesondere auch die hydrologischen Ergebnisse herangezogen werden. Schon während des Bohrens konnten zwischen dem Raum Rüdlingen und dem Rafzerfeld ganz gravierende Unterschiede in den Spülwasserverlusten festgestellt werden, die Profilk-Werte liegen im intramoränischen Bereich denn auch um etwa 1-2 Zehnerpotenzen niedriger als im Rafzerfeld. Sehr instruktiv ist auch der Grundwasserspiegel-Ganglinienverlauf in den Bohrungen, besonders in der nahe dem Rheinbord gelegenen Sondierung K3 (Profil 6, Fig. 2). Der Wasserspiegel liegt dort mehrere Meter über dem Rheinspiegel und reagiert nur auf den langfristigen Witterungsablauf, dagegen überhaupt nicht auf die Schwankungen des Flusspiegels. Ein eindeutiger Beweis für die hydrologische Trennung des Gebietes Rüdlingen vom Rafzerfeld durch die abtauchenden Würm-Endmoränen ist unseres Erachtens auch durch den sechswöchigen Grosspumpversuch 1973 im Rafzerfeld gelungen: Die durch eine Entnahme von bis zu 28 000 Minutenlitern erzielte Feldabsenkung im gesamten Rafzerfeld griff nicht über diese trennende Barriere auf das Rüdlinger Gebiet über.

Wir haben unsere Auffassung von den quartärgeologischen Verhältnissen im Raum Rüdlingen ausführlich dargestellt, weil sich aus deren richtiger Deutung wichtige Folgerungen ergeben: Die Verknüpfung von Würm-Endmoränen mit Rafzerfeldschottern bis nahe zur Felsoberfläche hinab weist diese ganz eindeutig als würmzeitliche Niederterrassenschotter aus. Damit soll allerdings nicht behauptet sein, dass, abgesehen von den sicherlich älteren, höher gelegenen Schottervorkommen am Westrand, im gesamten übrigen Rafzerfeld nicht Reste einer älteren Schotterfüllung erhalten geblieben sein könnten (vgl. z. B. HOFMANN 1977, 1979), auch wenn wir hierfür im Feld noch keine eindeutigen Befunde feststellen konnten. Allerdings scheinen uns fehlende Leitgerölle des Hegau-Rheins in Kiesgruben am Südrand des Rafzerfeldes allein noch nicht unbedingt eine Einstufung der dortigen Kiese in das Präwürm zu erfordern. Sie könnten unseres Erachtens ganz gut auch während der Würmeiszeit von der gemeinsam mit dem Rhein die Rafzerfeld-Rinne benutzenden Thur geschüttet bzw. von den Gletscherschmelzwässern wieder aufgearbeitet worden sein.

Hinweise auf eine Grundmoränendecke über dem Fels an der Basis der Rafzerfeldschotter – ähnlich wie im Glattal über den alten Seeablagerungen beschrieben – fehlen zwar in den Bohrungen nicht ganz (z. B. in der Kernbohrung RKB 12 am Ostrand des Stadtforen), sind aber keineswegs über jeden Zweifel erhaben. Beim Brunnenbau im Stadtforen selbst wurde unmittelbar über dem Fels ein grober Flußschotter mit vielen gut gerundeten, vornehmlich karbonatischen Steinen und Blöcken gefunden.

Zur Klärung der Quartärgeologie im intramoräischen Bereich des Thur-Armes des gewaltigen Rhein-Bodensee-Gletschers werden unsere im Raum Marthalen-Andelfingen und thuraufwärts bis Frauenfeld im Gang befindlichen Untersuchungen sicherlich noch neue Argumente liefern. Aufgrund unserer bisherigen Arbeiten im Flaacherfeld und unter Mitberücksichtigung älterer Untersuchungsergebnisse zwischen Thur und Rheinau (Kraftwerk Rheinau 1957) sehen wir folgende Lösungsansätze und gleichzeitig folgende Schwierigkeiten zur Klärung der würm-eiszeitlichen Landschaftsgeschichte:

Das Abtauchen der Endmoränen im Raum Rüdlingen bis etwa auf das Felsniveau hinab legt den Schluss nahe, dass die im Flaacherfeld erbohrte Grundmoräne zu diesem Rüdlinger Stadium der Würmeiszeit gehört. Ganz frische Grundmoräne wird ja auch im südlichen Talhang bei Flaach bis hinab zur Strasse Flaach-Rüdlingen in Baugruben immer wieder aufgeschlossen. Beim Zurückschmelzen des Gletschers vom Rüdlinger Stand könnte sich also, wie es bereits LEEMANN & ELLENBERG (1972) beschrieben haben, die Lottstettener Eisrandterrasse zusammen mit dem Rhein-Thur-Durchbruch Richtung Tössegg gebildet haben. Nach Freigabe des Zungenbeckens kamen dort über der Grundmoräne die Seeablagerungen zur Sedimentation, die am südlichen Talrand bei Flaach bis über Kote 350 m ü. M. hinaufreichen (ob allerdings die Gesamtheit der zwischen Alten und der südlichen Talflanke in der Bohrung G110 bis 100 m Dicke erbohrten Sande und Silte zu diesen würmeiszeitlichen Seeablagerungen zu zählen ist oder ob sich darin auch ältere Sedimente verbergen, sei noch offengelassen).

In den Bohrungen der Wasserwerke Winterthur nördlich der Thur und im Bereich Chachberg-Niderholz ist über dem ein nur geringes Relief aufweisenden Molassefels nirgends eine eindeutige Grundmoräne gefunden worden; es liegen dort fluviatile, horizontal geschichtete Schotter unmittelbar über dem Fels. Mit der Zuordnung der Grundmoräne im Flaacherfeld zum Würm-Maximalstand wird es aber unseres Erachtens schwierig, dieselbe Grundmoräne nördlich der Thur über die dortigen Schotter zu legen, wie es z. B. KELLER (1977) versucht. Falls aber dort Grundmoräne und Seeablagerungen unter diesen Schottern überhaupt in nennenswerter Mächtigkeit zur Ablagerung gelangten, müssten sie vor der Schüttung der Schotter erodiert worden sein.

Hinweise auf eine solche Erosion könnte man sehr wohl in der Ausbildung der Oberfläche der Seeablagerungen im Flaacherfeld sehen (vgl. Fig. 2, Profile III, 5 und 6). Das hiesse aber wiederum auch, dass im Anschluss an den Rhein-Thur-Durchbruch Richtung Tössegg sehr rasch eine Tiefenerosion bis in ein Niveau von rund 330 m ü. M. bei Rüdlingen erfolgt und damit das Rheinbett schon damals bis etwa auf die heutige Felssohle abgetieft worden sein müsste. Allerdings ist auch denkbar, dass der Fluss vor dieser Engstelle bei Rüdlingen sogar eine bescheidene Übertiefung durch Auskolkung seines Bettens geschaffen hat.

In den Schottermassen zumindest der höheren Terrassen nördlich der Thur möchten wir deshalb bei unserem derzeitigen Kenntnisstand Erosionsrelikte eines ehemals das ganze Zungenbecken mit grosser Mächtigkeit füllenden Schotterkörpers sehen, der im Zuge des Wiedervorstosses des Gletschers (Altener oder Schlieren-Stadium) geschüttet wurde. Ähnlich wie bei Niederglatt-Höri der Glattalgletscher scheint auch der Thurgletscher im Raum Marthalen-Oerlingen dieses sein eigenes Vorstoss-Schotterfeld mehrere Kilometer überfahren zu haben. Hierauf und auf die Frage nach Alter und Füllung der gewaltigen glazialen Übertiefung in diesem Raum kann aber erst nach Abschluss der dort laufenden hydrogeologischen Untersuchungen näher eingegangen werden.

Schwierigkeiten bereitet auch die Verknüpfung des Thur-Raumes mit dem Schaffhausener Gebiet, in dem das Büro Dr. von Moos AG zurzeit ebenfalls geologische Untersuchungen ausführt. Die Studien im Zuge der Voruntersuchungen für das Kraftwerk Rheinau (1957) haben südlich von Neurheinau, ganz ähnlich wie im Lottstettener Feld (vgl. LEEMANN & ELLENBERG 1972, KELLER 1977) eine Dreigliederung der Lockergesteinsdecke ergeben: Zwischen zwei Schotterkörpern eine wasserstauende, lehmige Zwischenschicht, die im Rheinaubericht ebenso wie bei Lottstetten als Grundmoräne des Rüdlinger Stadiums gedeutet wird. Die Kiese *unter* dieser Moräne könnten also gut Äquivalente der Rinnenschotter im alten Talzug Schaffhausen - Urwerf - Flurlingen - Neuhausen - Rheinfall - Halbinsel Schwaben sein. Diese Rinnenschotter gelten im Schaffhauser Gebiet gemeinhin als risseiszeitlich, hier bei Rheinau würde vorerst auch nichts gegen ein fröhwürmzeitliches Alter oder gegen eine Deutung als Vorstoßschotter des Würm-Maximalstandes sprechen (vgl. SCHREINER 1968). Die weitere Fortsetzung dieser unteren Schotter und der Grundmoräne südlich des Rheinauerfeldes ist noch unklar; im Gebiet Niderholz-Chachberg jedenfalls sind, wie bereits erwähnt, in den Bohrprofilen der Wasserwerke Winterthur zwischen den Kiesen und Kiessanden bzw. zwischen diesen Schottern und dem Fels fast nirgends Zwischenschichten verzeichnet, die als Moräne gedeutet werden könnten.

Auf die Frage weiterer Erosions- und Aufschüttungsphasen im Andelfinger- oder Zürich-Stadium bzw. im Spätglazial im Untersuchungsgebiet kann im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen werden. Es sei nur noch kurz erwähnt, dass die Untersuchungen im Thurtal oberhalb Thalheim aufgrund von Holzfunden für die dortigen, grundwasserführenden Thorschotter ein sehr junges Alter erwarten lassen (oberhalb Frauenfeld ergab nach einer freundlichen mündlichen Mitteilung von Herrn E. Müller, Büro Büchi, ein Holzfund an der Basis der Schotter ein C-14-Alter von nur 6500 Jahren). Teile der im Flaacherfeld über den Seeablagerungen und im gesamten untersten Terrassenniveau liegenden Schotter könnten also sehr jung sein.

4.4 Vergleich zwischen dem würmeiszeitlichen Linth-Rhein- und dem Bodensee-Rhein-Gletscher im Untersuchungsgebiet

Als wichtigstes Ergebnis unserer Arbeit erachten wir den Nachweis, dass die äussersten Würm-Endmoränen bei Stadel-Bülach und bei Rüdlingen nicht irgendwelchen Schottern flach aufliegen, sondern einen bemerkenswerten Tiefgang aufweisen und sich mit den extramoräischen Schottern verzahnen. Dieser Tiefgang

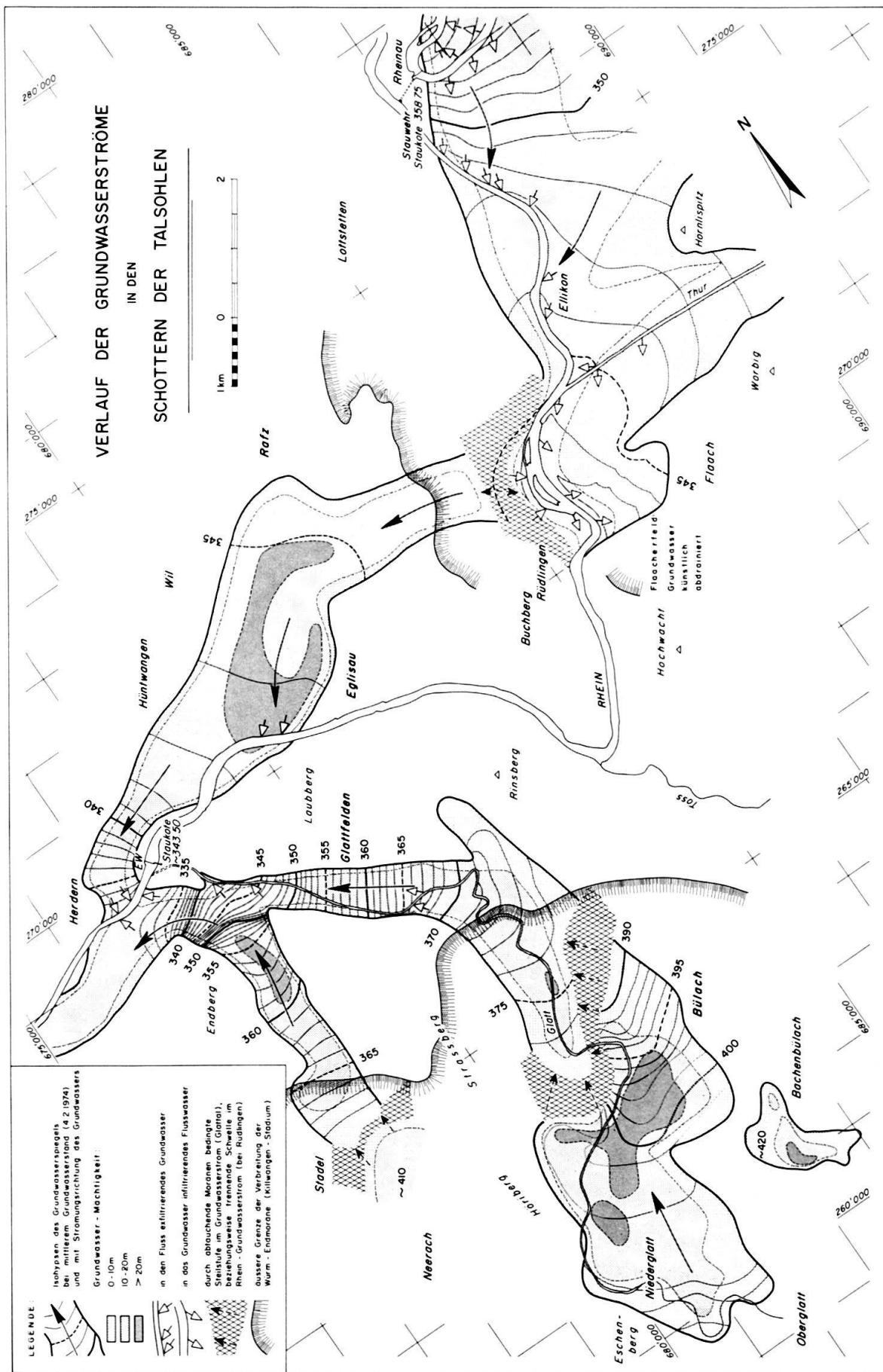


Fig. 3. Hydrologische Übersicht über das Untersuchungsgebiet.

der Endmoränenstände konnte übrigens schon früher in ganz ähnlicher Form von SCHINDLER (1968) im Limmattal gefunden werden. Dieselbe Erscheinung kennen wir aber auch aus dem Randbereich anderer Maximalstände der Würmeiszeit, z. B. aus dem Eulachtal oder vom linken Rand des Reussgletschers bei Uffikon. Die Vorstellung von Endmoränen des Würm-Maximalstandes, welche flach über weit in den intramoränischen Raum ziehenden Vorstoßschottern liegen sollen (MOSER 1958 im zentralen Aargau), hat hier also zweifellos keine Gültigkeit.

Diese relativ steil abtauchenden Endmoränen sind hydrologisch von grosser Bedeutung. Sie stellen in den Grundwasserströmen schlechter durchlässige Bereiche, gewissermassen Barrieren dar (vgl. Fig. 3). Wo sich, wie im unteren Glattal und im Windlacherfeld, oberhalb dieser «Staustufen» ein ausreichendes hydraulisches Gefälle aufzubauen vermag, können diese Barrieren vom Grundwasserstrom in Steilstufen durchströmt werden.

Anders bei Rüdlingen: Dort kann sich kein hydraulisches Gefälle zur Überwindung der Moränenbarriere ausbilden, weil das Grundwasser im stark eingeschnittenen Talabschnitt Rüdlingen – Tössegg – Eglisau einen tief liegenden Vorfluter hat. Dazu kommt, dass unterhalb Eglisau durch den Rheinstau der ehemalige Vorflutabschnitt im heutigen Staubeckenbereich künstlich um etwa 12 m angehoben wurde und jetzt nur noch eine relativ schmale Rinne zu dem tief liegenden Vorfluter ins Unterwasser der Staustufe zur Verfügung steht. Aus diesen Gründen ist im Bereich der Moränenbarriere in der Rafzerfeld-Rinne bei Rüdlingen keine Steilstufe, sondern eine effektive Trennung und Kulmination im Grundwasserstrom zu beobachten.

Das beiden Gletschern gemeinsame Abtauchen der Endmoränen zeigt aber auch, dass das Niveau der Talböden, auf dem sie vorrückten, relativ tief lag. Wir glauben, dass die in Figur 3 dargestellten Grundwasserströme weitgehend das Riss-Würm-interglaziale Gewässernetz widerspiegeln. Diese Erscheinung steht im Gegensatz zu vielen bisher publizierten Auffassungen und Feststellungen, z. B. auch im südbayerischen Raum, wo ganz verbreitet mindel-, riss- und würmeiszeitliche Sedimente übereinander liegend zu finden sind. Eine Erklärung für diese unterschiedliche Entwicklung könnte in der im Westteil der Vorlandmolasse stärkeren Hebung vom Pliozän an und mit der durch das Einsinken des Oberrheingrabens gegebenen tiefer liegenden Erosionsbasis zusammenhängen (vgl. LEMCKE 1974).

Die mächtigen, im Gletschervorfeld gelegenen Schottermassen im unteren Glattal, im Windlacherfeld und im Rafzerfeld stellen demnach zum überwiegenden Teil die zum Maximalstand gehörenden Niederterrassenschotter dar. Der Grund dafür, dass in diesen Niederterrassenschottern im unteren Glattal mehr siltige Partien eingeschaltet zu sein scheinen und dass sie weniger gut bzw. zumindest unterschiedlicher gut durchlässig sind als im Rafzerfeld, könnte darin liegen, dass durch die Schottermassen des riesigen Rhein-Bodensee-Gletschers die Schmelzwässer des viel kleineren Rhein-Linth-Gletschers z. T. zurückgestaut wurden. Am Ausgang des Windlacherfeldes sieht es sogar so aus, als ob manchmal Schotter vom Glattal gegen Süden geschüttet worden wären.

Aus dem Tiefgang der Würm-Endmoränen des Maximalstandes lassen sich aber noch weitere Feststellungen ableiten: Vorstoßschotter im klassischen Sinn fehlen sowohl im unteren Glattal als auch im Gebiet Rüdlingen. Der Rhein-Linth-

Gletscher hat zwar sein eigenes Niederterrassen-Schotterfeld zwischen Hochfelden und Strassberg etwa 1 km gegen Norden überfahren, diese Kiessande ziehen aber nicht in den intramoränischen Bereich. Im Gebiet Rüdlingen gilt dasselbe, die Moränenfront scheint hier eher noch steiler abzutauchen. Die von beiden Gletschern beim Vorrücken zum Maximalstand zweifellos im Vorfeld deponierten Schuttmassen müssen somit laufend vom Gletscher selbst wieder aufgearbeitet und weiter verfrachtet worden sein und erst beim Abschmelzen während des Maximalstandes das beobachtbare gewaltige Ausmass erreicht haben. Im Unterschied zum Linth-Rhein-Gletscher im unteren Glattal hat der Thurgletscher im Flaacherfeld offensichtlich Tiefenerosion betrieben.

Der Tiefgang der Endmoränen des Maximalstandes und die tiefe Lage der Gletscherbasis im anschliessenden Zungenbeckenbereich bedeuten aber auch, dass die z. T. mächtigen Schottermassen dieses intramoränischen Raumes mindestens zu einem ansehnlichen Teil jünger als der Maximalstand sein müssen. Es gilt dies für die Schotter von Oberglatt bis Höri ebenso wie für Teile jener im Gebiet Ellikon-Marthalen (z. B. Chachberg). Da aber gerade letztere, wie in mehreren Kiesgruben nahe Niedermarthalen sichtbar, eindeutig horizontalgeschichtet und somit in keinem See abgelagert worden sind, muss die Tiefenerosion im Rhein-Thur-Durchbruchstal Rüdlingen-Tössegg sehr rasch bis mindestens auf das heutige Niveau erfolgt sein bzw. diese Schotter sind, was wir eher glauben möchten, nicht als Rückzugsschotter des Rüdlinger Standes, sondern als Vorstoßschotter des Altener (bzw. Schlieren-) Stadiums zu betrachten. Wenn dies zutrifft, dann sind sowohl im unteren Glattal als auch im Gebiet Marthalen die mit diesem Stadium verknüpfbaren Niederterrassen-Schotter vom Gletscher mehrere Kilometer weit überfahren worden, was der Feststellung von HANTKE (1978, S. 370), dass das Schlieren-Stadium nur einen kurzfristigen Halt mit geringem Wiedervorstoß darstellt, widersprechen würde. Ähnlich wie von MOSER (1958) und ANNAHEIM, BÖGLI & MOSER (1958) im Reussgletscher-Gebiet beschrieben, sind unseres Erachtens auch hier im Thur- und Glattal die Schotter im Vorfeld und unter der Schlieren-Moräne als Vorstoßschotter zu betrachten. Im Gegensatz zu diesen Autoren sehen wir allerdings mit JÄCKLI (1959) keine Veranlassung, das Schlieren-Stadium selbst als überfahren zu betrachten.

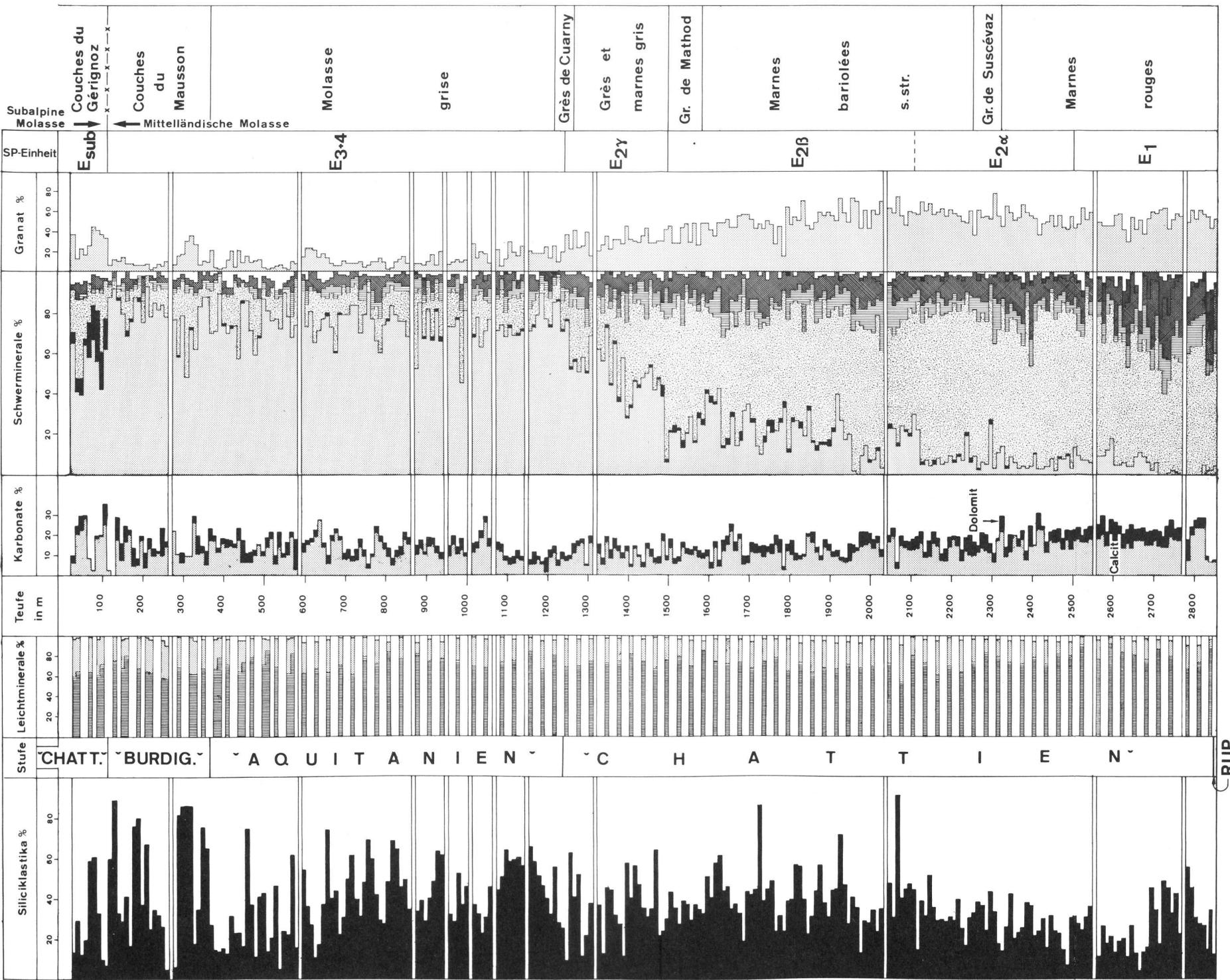
Verdankungen

Die hydrogeologischen Untersuchungen sind im Auftrag des Amtes für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich ausgeführt worden. Wir danken dem Vorsteher dieses Amtes, Ch. Maag, für die Erlaubnis, über deren geologische Aspekte hier berichten zu dürfen. Unterlagen über Sondierergebnisse im Gebiet Rheinau stellte uns freundlicherweise Herr Prof. E. Trüb zur Verfügung. Dr. A. von Moos und Dr. C. Schindler haben dankenswerterweise das Manuskript kritisch durchgesehen. Der Dr. von Moos AG sind wir für die grosszügige Unterstützung bei der Reinschrift und bei den Zeichenarbeiten, die zum überwiegenden Teil von Herrn E. Blöchliger ausgeführt wurden, zu Dank verpflichtet.

LITERATURVERZEICHNIS

- ANNAHEIM, H., BÖGLI, A., & MOSER, S. (1958): *Die Phasengliederung der Eisrandlagen des würmeiszeitlichen Reussgletschers im zentralen schweizerischen Mittelland.* – Geographica helv. 13.
- CADISCH, J. (1959): *Geologische Ergebnisse der Mineralquellenbohrung Eglisau II.* – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., 26/70.

- ELLENBERG, L. (1972): *Zur Morphogenese der Rhein- und Tössregion im nordwestlichen Kanton Zürich*. - Diss. Univ. Zürich (Juris Druck + Verlag Zürich).
- GRAUL, H. (1962): *Geomorphologische Studien zum Jungquartär des nördlichen Alpenvorlandes, Teil I: Das Schweizer Mittelland*. - Heidelb. geogr. Arb. 9.
- HALDIMANN, P.A. (1978): *Quartärgeologische Entwicklung des mittleren Glattals (Kt. Zürich)*. - Eclogae geol. Helv. 71/2.
- HANTKE, R. (1959): *Zur Altersfrage der Mittelterrassenschotter*. - Vjschr. natf. Ges. Zürich 104/1.
- (1963): *Chronologische Probleme im schweizerischen Quartär*. - Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. [N.F.] 45.
- (1978): *Eiszeitalter I*. - Ott AG Thun.
- HANTKE, R., & Mitarbeiter (1967): *Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete 1:50000*. - Vjschr. natf. Ges. Zürich 112/2.
- HOFMANN, F. (1977): *Neue Befunde zum Ablauf der pleistozänen Landschafts- und Flussgeschichte im Gebiet Schaffhausen-Klettgau-Rafzerfeld*. - Eclogae geol. Helv. 70/1.
- (1979): *Untersuchungen über den Goldgehalt tertiärer, eiszeitlicher und rezenter Ablagerungen im Hochrhein- und Bodenseegebiet*. - Mitt. natf. Ges. Schaffhausen XXXI (1978-1980).
- HUG, J., & BEILICK, A. (1934): *Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich*. - Beitr. Geol. Schweiz, Hydrol. 1.
- JÄCKLI, H. (1959): *Wurde das Moränenstadium von Schlieren überfahren?* - Geographica helv. 2.
- (1964): *Geologie von Kloten mit einer geologischen Karte 1:25000*. In: Kloten, Vom Bauerndorf zur Flughafenstadt. - Orell Füssli, Zürich.
- KELLER, W.A. (1977): *Die Rafzerfeldschotter und ihre Bedeutung für die Morphogenese des zürcherischen Hochrheingebietes*. - Leemann AG, Zürich.
- Kraftwerk Rheinau (1957): *Grundwasserverhältnisse im Gebiet vom Rheinfallbecken bis Ellikon am Rhein*. - Bericht der Grundwasserkommission über den Zustand vor dem Aufstau des Rheins. Zürich, 10. Juli 1957.
- LEEMANN, A. (1958): *Revision der Würmterrassen im Rheintal zwischen Diessenhofen und Koblenz*. - Geographica helv. 13.
- LEEMANN, A., & ELLENBERG, L. (1972): *Die Würmschotter im Hochrheinabschnitt von Lottstetten bis Koblenz*. - Festschr. Gletschergarten Luzern.
- LEMCKE, K. (1974): *Vertikalbewegungen des vormesozoischen Sockels im nördlichen Alpenvorland vom Perm bis zur Gegenwart*. - Eclogae geol. Helv. 67/1.
- LONGO, V. (1978): *Geologie des Hagenholztunnels bei Kloten*. - Eclogae geol. Helv. 71/1.
- MAZURCZAK, L. (1976): *Prähochwürmzeitliche Moräne unter den Schottern des Killwangen-Stadiums*. - Vjschr. natf. Ges. Zürich 121/2.
- MOSER, S. (1958): *Studien zur Geomorphologie des Zentralen Aargaus*. - Diss. Univ. Basel (Bopp & Co., Basel).
- RICHTER, W., & LILICH, W. (1975): *Abriss der Hydrogeologie*. - Schweizerbart, Stuttgart.
- SCHINDLER, C. (1968): *Zur Quartärgeologie zwischen dem untersten Zürichsee und Baden*. - Eclogae geol. Helv. 61/2.
- (1974): *Zur Geologie des Zürichsees*. - Eclogae geol. Helv. 67/1.
- (1978): *Zur Geologie von Baden und seiner Umgebung*. - Bad. Njbl. 53.
- SCHREINER, A. (1968): *Eiszeitliche Rinnen und Becken und deren Füllung im Hegau und westlichen Bodenseegebiet*. - Jh. geol. Landesamt Bad.-Württemb. 10.
- SCRIBA, H. (1973): *Geoelektrische und seismische Untersuchungen im Gebiet zwischen Flaach und Rheinau (Kanton Zürich)*. - Diss. ETH Zürich, Nr. 5180.
- SOMMERHALDER, E.R. (1968): *Glazialmorphologische Detailuntersuchungen im hochwürm-eiszeitlich vergletscherten unteren Glattal (Kanton Zürich)*. - Diss. Univ. Zürich.
- SUTER, H. (1944): *Glazialgeologische Studien im Gebiet zwischen Limmat, Glatt und Rhein*. - Eclogae geol. Helv. 37/1.
- WEBER, A. (1928): *Die Glazialgeologie des Tösstales und ihre Beziehungen zur Diluvialgeschichte der Nordostschweiz*. - Mitt. natw. Ges. Winterthur 17/18.
- (1934): *Zur Glazialgeologie des Glattals*. - Eclogae geol. Helv. 27/1.
- WYSSLING, L., & WYSSLING, G. (1978): *Interglaziale See-Ablagerungen in einer Bohrung bei Uster (Kanton Zürich)*. - Eclogae geol. Helv. 71/2.



Bohrung Romanens 1
Sedimentpetrographische Daten der Molasse