

23. März 2023



Wasserkirche in Zürich mit Grundwasser-Aufstoss aus dem Züricher Aquifer

Energetische Nutzung des Zürcher Aquifers

Diskussionsbeitrag

Autoren

Arthur Huber, Huber Energietechnik AG, Zürich

Ueli Schärli, Dr. U. Schärli Geologie + Geophysik, Zürich

Adressen

Huber Energietechnik AG, Jupiterstrasse 26, CH-8032 Zürich

Tel. 044 227 79 78, arthur.huber@hetag.ch, <https://www.hetag.ch>

Dr. U. Schärli Geologie + Geophysik, Giblenstrasse 3, CH-8049 Zürich

Tel. 044 341 12 27, u.schaerli@geophysik.ch, <https://www.geophysik.ch>

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	4
1.1	Der Zürcher Aquifer	4
1.2	Wissenschaftliche Grundlagen zur Aquifernutzung	4
1.3	Energetische Nutzung des Zürcher Aquifers	4
2	Hydrogeologie des Zürcher Aquifers	5
2.1	Was ist der Zürcher Aquifer	5
2.2	Temperaturen im Zürcher Aquifer	9
2.3	Historische „Belege“ für die Grundwasser-Zirkulation im Zentrum Zürichs	10
2.4	Lithologie der Schichten im nutzbaren Bereich	11
2.4.1	Bohrung Rämistrasse 42.....	11
3	Technik der Aquifernutzung.....	12
3.1	Bisher angewandte Technologien	12
3.2	Bohrlochausbau.....	13
3.2.1	Klassische Lösung als Brunnenfassungen	13
3.2.2	Diskussion der klassischen Brunnenlösung.....	14
3.2.4	Ergiebigkeit.....	15
3.3	Neue Lösungsvorschläge für den Brunnenbau	16
3.4	Hydraulische Einbindung der Brunnen / Systematische Einordnung.....	17
3.4.1	Brunnen in Singletten-Ausführung	17
3.4.2	Doublette zur Direktnutzung.....	18
3.4.3	Doublette zur indirekten Nutzung mit Wärmepumpen	19
3.4.4	Doublette zur indirekten Nutzung mit Wärmepumpen (Heizen und Kühlen)	20
3.4.5	Doublette, im Winkel gebohrt	21
4	Ausblick.....	21
5	Literaturverzeichnis.....	22
6	Anhang: Geologische Bohrprofile	23
6.1	Bohrung Talstrasse 66 Zürich	23
6.2	Bohrung Tödistrasse 23 Zürich	26
6.3	Bohrung Alfred-Escher-Strasse 10, Zürich.....	27
6.4	Bohrung Schulhausstrasse 35, Meilen	28

1 Zusammenfassung

1.1 Der Zürcher Aquifer

Der Zürcher Aquifer ist ein verbundenes Wassersystem unter dem Zentrum von Zürich, in dem eine tiefe Quartär-Rinne mit Lockergestein die Grundwasserstockwerke des Schottergrundwassers mit dem Tiefengrundwasser in der Oberen Meeresmolasse natürlich und seit Jahrhunderten verbindet (=„Anbiss“). Dies ist zum Beispiel daran ersichtlich, dass die unterschiedlichen „Grundwasserstockwerke“ bei Messungen den praktisch gleichen Druckspiegel aufweisen und die Temperaturen im Untergrund der Stadt Zürich um 2 K bis 2.5 K tiefer liegen als erwartet, was auf eine vorhandene, thermisch induzierte Grundwasserzirkulation hindeutet.

Dieser noch wenig erforschte Aquifer könnte sich ideal für eine thermische Nutzung und energetische Saisonspeicherung von Wärme eignen und teilweise die Erstellung eines teuren Wärmeverteilnetzes überflüssig machen. Die Druckverhältnisse lassen die Wärme mit wenig Energie kostengünstig aus der Tiefe fördern oder zurückgeben, wenn die Förderung im Randbereich des Aquifers erfolgt.

1.2 Wissenschaftliche Grundlagen zur Aquifernutzung

An der ETH Zürich wurden unter Prof. L. Rybach die Möglichkeiten zur geothermischen Energienutzung in der Schweiz systematisch untersucht. Im Rahmen dieses Lehrstuhles entstand unter anderem die Dissertation von Dr. Th. Mégel zur „Aquifer-Bewirtschaftung bei der geothermischen Energienutzung“ (1996) [14]. In dieser Arbeit wurden auf wissenschaftlicher Basis unter anderem die Grundwasserbrunnen von Bassersdorf, Tiefenbrunnen und Aquifer untersucht und mit numerischen Modellen verglichen. Dabei wurden die folgenden Axiome zugrunde gelegt:

- Bohrungen zur Erschliessung von Tiefengrundwässern sind sehr teuer
- Die Transmissivität des Aquifers ist eine entscheidende Grösse
- In Zürich gibt es keinen Anbiss des Aquifers

Bei allen 3 Axiomen sind zwischenzeitlich erhebliche Zweifel angebracht. Leider wurde mit der Aufhebung des Lehrstuhles von Prof. Rybach im Jahr 2000 die wissenschaftliche Forschung auf diesem Gebiet in der Schweiz faktisch eingestellt. Erst 2015 wurde ein neuer Lehrstuhl „Geothermische Energie und Geofluide“ eröffnet, wobei der Schwerpunkt bei der „Erforschung des geotechnisch nutzbaren Untergrunds weltweit und in der Schweiz“ liegen soll (www.erdw.ethz.ch). Immerhin wird die Schweiz noch kurz erwähnt. Grundsätzlich lag ja die Schwäche der bisherigen Untersuchungen nicht in der Wissenschaftlichkeit (die bereits bei Prof. Rybach auf einem sehr hohen Stand war), sondern in der ungenügenden Kenntnis der Randbedingungen und des Untergrundes in der Schweiz.

1.3 Energetische Nutzung des Zürcher Aquifers

Im vorliegenden Bericht wird die Möglichkeit zur technischen Nutzung des Zürcher Aquifers aufgezeigt. Dabei werden auch neue Ideen vorgestellt, wie Brunnen aussehen, die diesen Aquifer kostengünstig erschliessen könnten. Durch die gezielte Erbohrung der hydraulisch gut leitenden Schichten am Rande der „Anbiss-Stelle“ im Festgestein mit konventioneller Hammerbohrtechnik und einem „Brunnenausbau“ mit Verzicht auf die „Filterstrecke“, d.h. Wassersammlung im offenen Bohrloch mit hohem Pumpeneinbau im Brunnen (möglich, weil der Zürcher Aquifer subartesisch gespannt ist), können kostengünstige Brunnen erstellt werden. Damit kann selbst bei reduzierter Ergiebigkeit ein tiefer Grundwasserbrunnen wirtschaftlich

erstellt und betrieben werden. Werden die Bohrlöcher im Winkel gebohrt, so kann damit sogar eine Saisonspeicherung von Wärme in Tiefen von ca. 300m realisiert werden.

In einer 2. Phase sollten mehr hydrogeologische Grundlagendaten im Bereich des Zürcher Aquifers erhoben werden. Am kostengünstigsten ist dies erreichbar, wenn laufende Bohrungen begleitet und ausgewertet werden und ev. auch einmal tiefer als geplant gebohrt wird. Parallel dazu wäre die im vorliegenden Bericht vorgeschlagene Brunnenbautechnik zu testen.

2 Hydrogeologie des Zürcher Aquifers

2.1 Was ist der Zürcher Aquifer

In einer Tiefe von ca. 280-300m unterhalb des Zentrums der Stadt Zürich befindet sich in der Oberen Meeresmolasse OMM eine Schicht mit erhöhter, hydraulischer Leitfähigkeit. Die Schicht steigt nach Norden an und erreicht in Zürich Altstetten eine Tiefe von ca. 200-220m. Diese leicht geneigt gelagerte Schicht wird im Zentrum des Limmattals von einer tiefen Quartär-Rinne (mit Lockergestein) angeschnitten.

Der erwähnte Lockergesteinstrog zieht vom Bürkliplatz her in nordwestlicher Richtung zur Sihlporte, weiter zur Hardbrücke und dann entlang des Limmattals. Die V-förmige Übertiefung der Molasse beträgt bis zu 250 m (Abb 1). Das darin abgelagerte Lockergestein besteht aus Moränen, darin eingelagerten Schottervorkommen und stellenweise aus Seeablagerungen. Im Gebiet zwischen Bahnhof Enge und Talstrasse wurden mehrere Grundwasserstockwerke bis 110 m Tiefe vorgefunden (Abb 2 und Abb 3). Diese scheinen eine hydraulische Verbindung zu haben, da deren Ruhewasserspiegel etwa gleich hoch liegt, d.h. zwischen ca. 401 und 403 m.ü.M (Schärli, 2015 [19]).

Erdsondenbohrungen bei der Alfred-Escherstrasse 10 (Abb 19) sowie an der Tödistrasse 23 (Abb 18) zeigen deutliche grössere Tiefen der Felsoberfläche als in der GIS-Karte dargestellt (www.gis.zh.ch). So wurde die Felsoberfläche bei der Tödistrasse 23 bei 280 m immer noch nicht erreicht (Abb 2). Daraus kann man vermuten, dass die Felsrinne noch deutliche tiefer als 250 m ist und damit den Aquifer der Oberen Meeresmolasse dort anschneiden könnte.

Die Obere Meeresmolasse wird als regionaler Aquifer eingestuft. Dabei wurde bisher hauptsächlich Grundwasser im oberen Bereich der OMM innerhalb von Konglomeratschichten festgestellt. Die Oberfläche der Oberen Meeresmolasse liegt beim Bürkliplatz ca. 100 m.ü.M und steigt gegen Nordwesten mit ca. 2% bis 4% Steigung an (www.gis.zh.ch). Im Bereich von der Hardbrücke kommt die OMM mit dem Lockergestein des Limmattals in Verbindung. Gegen Westen und Norden kommt der OMM-Aquifer immer näher an die Oberfläche und die Schnittflächen mit den quartären Talfüllungen werden grösser. Dieser Trend ist noch stärker im Furttal bei Affoltern, Regensdorf, Dällikon nachgewiesenermassen vorhanden. Dadurch ergibt sich auch eine Vermischung von Felsgrundwasser mit Schottergrundwasser.

Einige vertikale Temperaturmessungen zeigen unterschiedliche Werte im Bereich des Lockergesteins (Abb 4). Daraus kann auf Wärmetransport durch zirkulierendes Grundwasser geschlossen werden. Der Verlauf solcher Strömungen müsste genauer untersucht werden. Unterhalb von 150 m ist der Gradient in allen Messungen nahezu konstant mit 33 °C/km. Im obersten Bereich (0 – 100 m) werden die Temperaturen zum Teil durch das Klima und urbane Wärme beeinflusst (Bohrung Talstrasse 66). Dieser Einfluss kann durch Grundwasserströmungen verwischt werden. (Bohrung Gutenbergstr. 15).

Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet sind komplex, vielschichtig und bisher nur lokal untersucht worden. Für weitere Untersuchungen müsste mindestens eine Kernbohrung am tiefsten Punkt der Felsrinne bis in den OMM-Aquifer gemacht werden.

Mit einem geeigneten Rechenprogramm müsste abgeklärt werden, bei welchen geologischen, hydrogeologischen und geothermischen Bedingungen Wasserkonvektionen auftreten können, insbesondere auch in Verbindung mit dem Felsaquifer in der OMM.

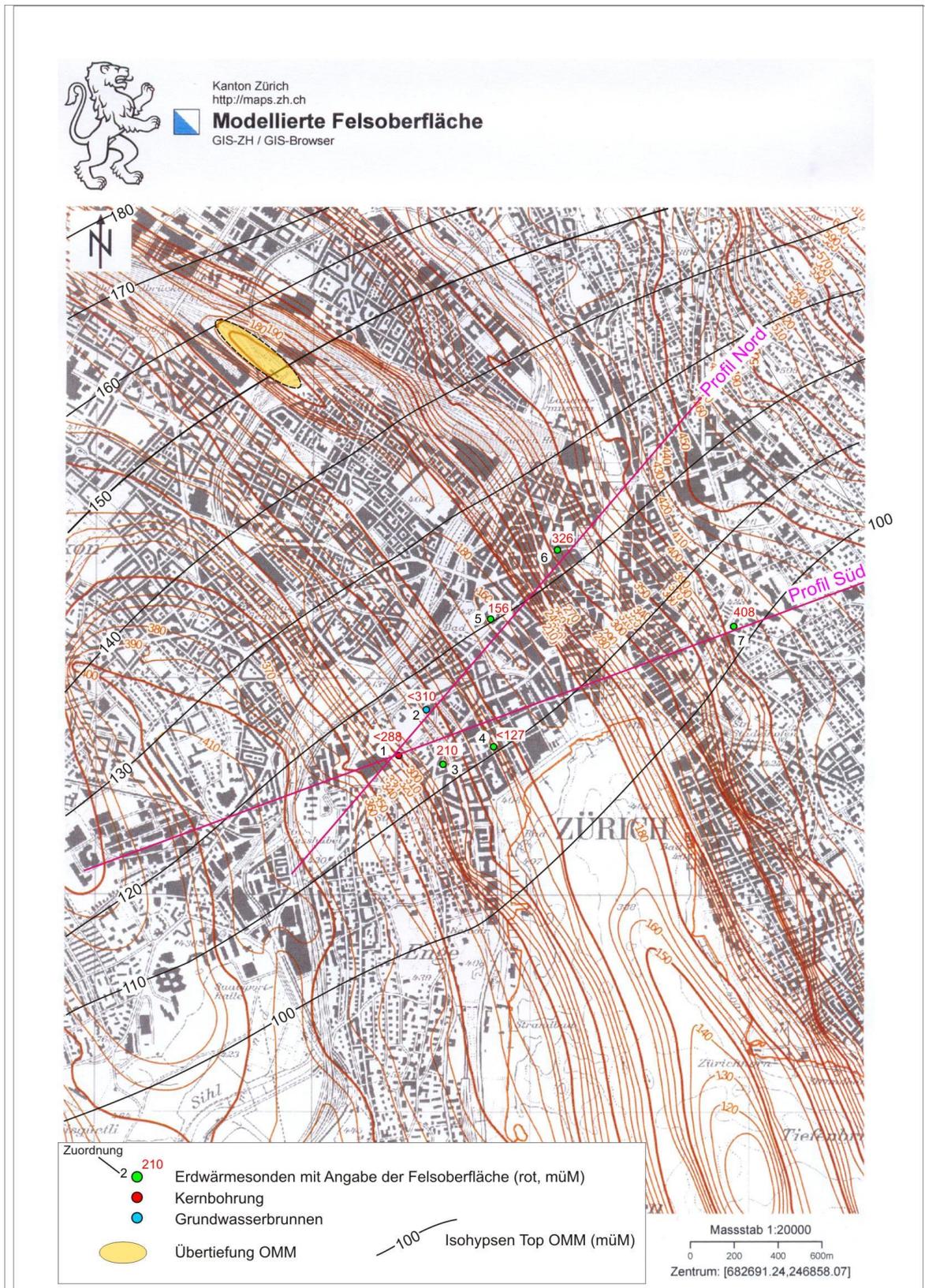


Abb 1: Zürcher Grundwasser, Karte der Felsoberfläche und Schnitt mit Top OMM

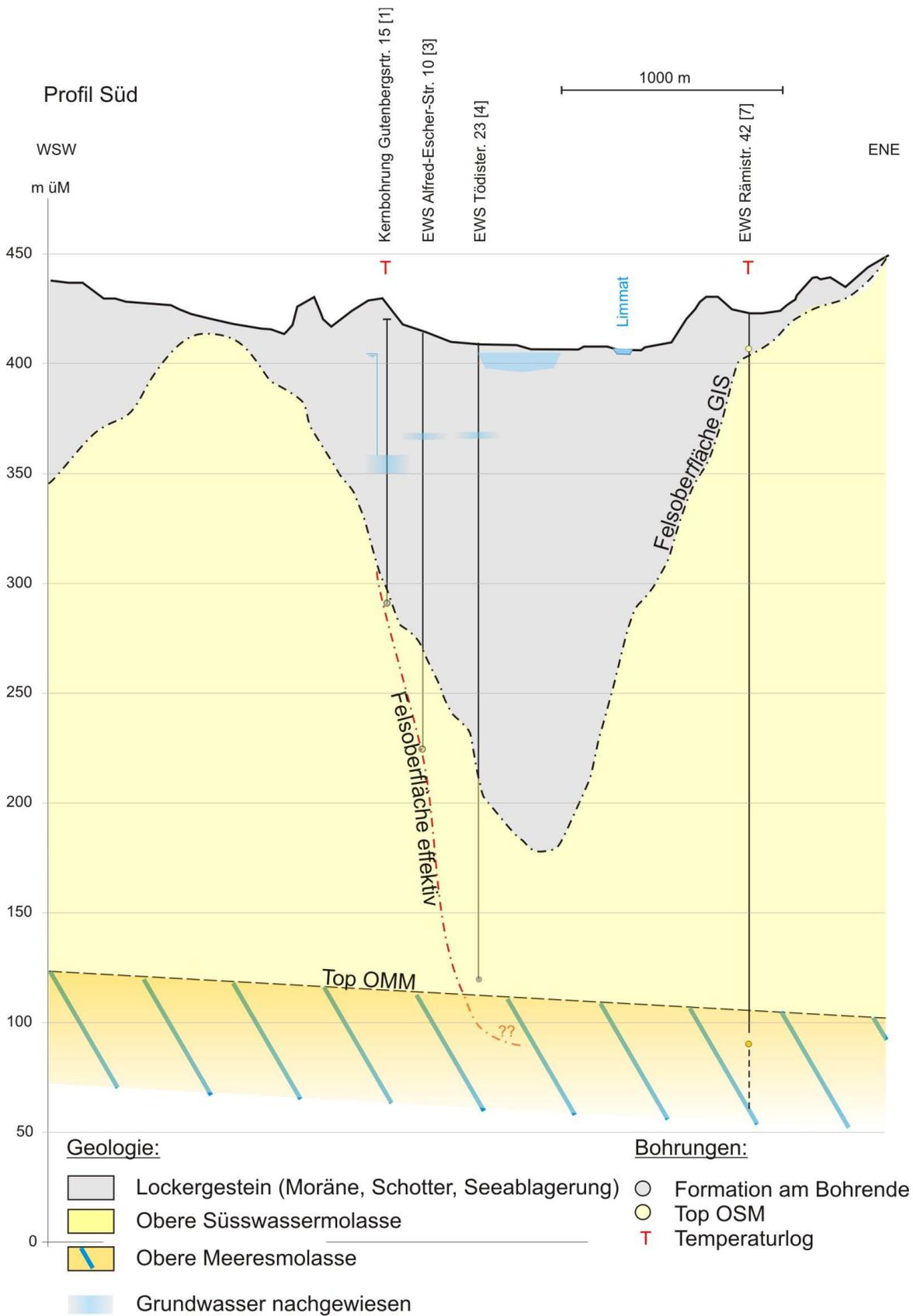


Abb 2: Zürcher Grundwasser, geologischer Schnitt Profil Süd. Die Nummerierung der Bohrungen entspricht der Nummerierung in Abb 1.

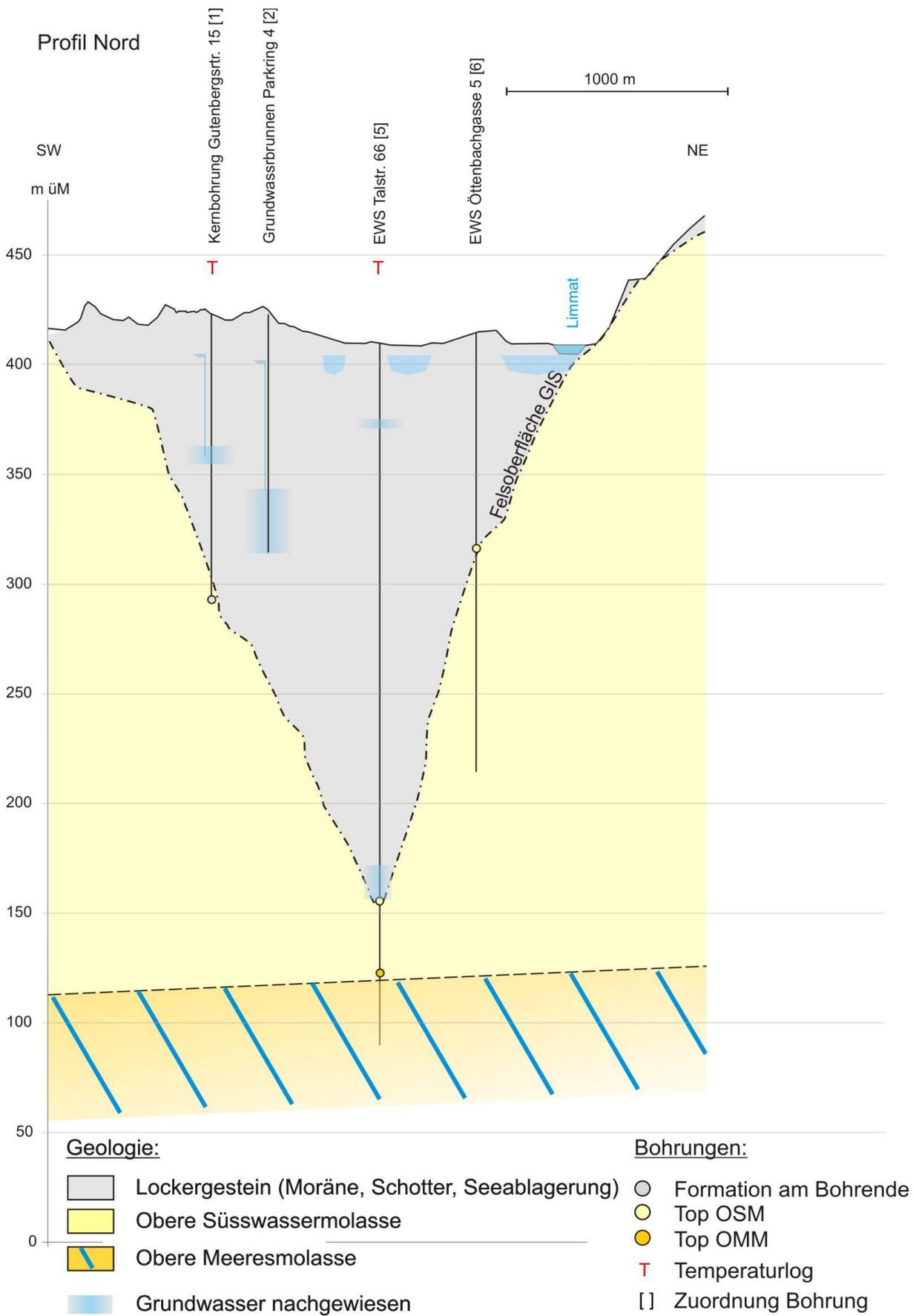


Abb 3: Zürcher Grundwasser, geologischer Schnitt Profil Nord. Die Nummerierung der Bohrungen entspricht der Nummerierung in Abb 1.

2.2 Temperaturen im Zürcher Aquifer

Ein höchst aufschlussreiches Bild ergibt die Gegenüberstellung verschiedener Temperaturmessungen in Bohrlöchern im Bereich des Zürcher Aquifers (Abb 4). Die Messungen wurden mehrheitlich aus wissenschaftlichem Interesse, ohne finanzielle Unterstützung, durch Dr. U. Schärli und H.J. Schäppi [23] in den Jahren 2013-2015 durchgeführt:

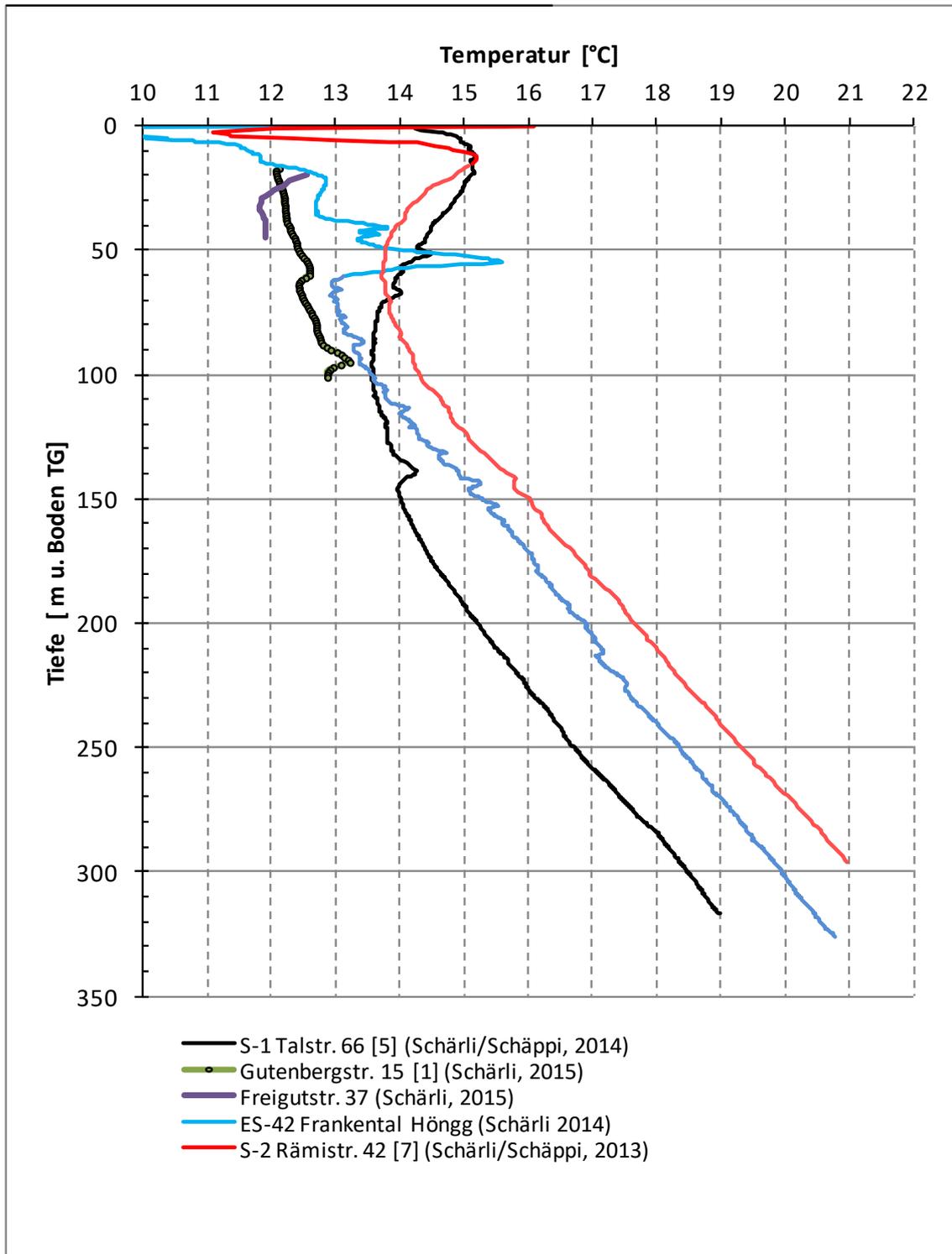


Abb 4: Zürcher Grundwasser, Temperaturlogs [23], erstellt durch Dr. U. Schärli und H.U. Schäppi, gemessen zwischen 2013-2015.

Die Messung in der Bohrung Rämistrasse 42 (Abb 6) zeigt das typische Temperaturbild von Bohrungen, die nicht, oder nur wenig durch Grundwasser beeinflusst sind. Ähnliche Temperaturbilder sind viele dokumentiert (z.B. [20]). Höchst interessant ist im Vergleich dazu die Temperaturmessung an der Talstrasse 66 in 8001 Zürich (cf. Abb 17). Sie zeigt, dass die Temperaturen tief **unter dem Zentrum von Zürich um 2 - 2.5K kälter** sind als in den Vergleichsmessungen ausserhalb des Lockergesteins. Eine sehr bemerkenswerte Situation. Einzig in den obersten Schichten sind die Temperaturen etwas wärmer als in den Vergleichsmessungen. In der Gegend der Kantonsschule Freudenberg (Gutenbergstrasse 15) andererseits sind die Temperaturen auch in den oberflächennahen Schichten tiefer als erwartet. Die naheliegendste Erklärung für diese Messergebnisse liegt in einer thermisch induzierten Grundwasser-Zirkulation. Diese Grundwasserzirkulation verbindet offensichtlich auf natürliche Weise die oberflächennahen Schotter-Grundwasser mit den tiefen Grundwasserschichten, die mit grosser Wahrscheinlichkeit sogar im Zentrum der Stadt Zürich den Felsaquifer der OMM anschneidet.

2.3 Historische „Belege“ für die Grundwasser-Zirkulation im Zentrum Zürichs

Es ist interessant, dass in den Legenden das kulturhistorische (vorchristliche) Zentrum der Stadt Zürich ein heute noch zugänglicher Findling-Stein in der Krypta der Wasserkirche bildet, der mit einer Thermal-Quelle (=warmes, aufsteigendes Wasser) auf einer ehemaligen Limmat-Insel in Verbindung gebracht wird, die jeweils bei niedrigem Wasserstand des Zürichsees / Limmat zu beobachten gewesen sei (nicht zu verwechseln mit dem später im Vorbau / Helmhaus errichteten Sod-Brunnen). Wie so oft wurde eine vorchristliche Kultstätte später mit einer Heiligen-Legend in Verbindung gebracht (Märtyrerstein = Enthauptungsort von St. Felix & Regula). Gemäss dem Ausgrabungsleiter Dr. Vogt sei es „wohl nicht zu verkennen, dass wir hier eine heidnische Quell/ und Kultstätte vor uns haben, die dann später entsühnt und zu einem christlichen Heiligtum umgewandelt wurde.“ [17]. Mit der Reformation wurden jegliche Besuche zu dieser Kultstätte unterbunden. Wir können aber sicher davon ausgehen, dass unsere Vorfahren, als sehr gute Naturbeobachter, sehr wohl eine warme Quelle von einer konventionellen Quelle unterscheiden konnten, denn nicht jede Quelle wurde zum Heiligtum.



Abb 5: Märtyrer-Stein in der Krypta der Wasserkirche der Stadt Zürich. Bilder: A. Huber.

2.4 Lithologie der Schichten im nutzbaren Bereich

2.4.1 Bohrung Rämistrasse 42

Die Bohrung an der Rämistrasse 42 zeigt exemplarisch die Lithologie, die Bereich der Hochschulen bis zum neuen Schauspielhaus anzutreffen sind:

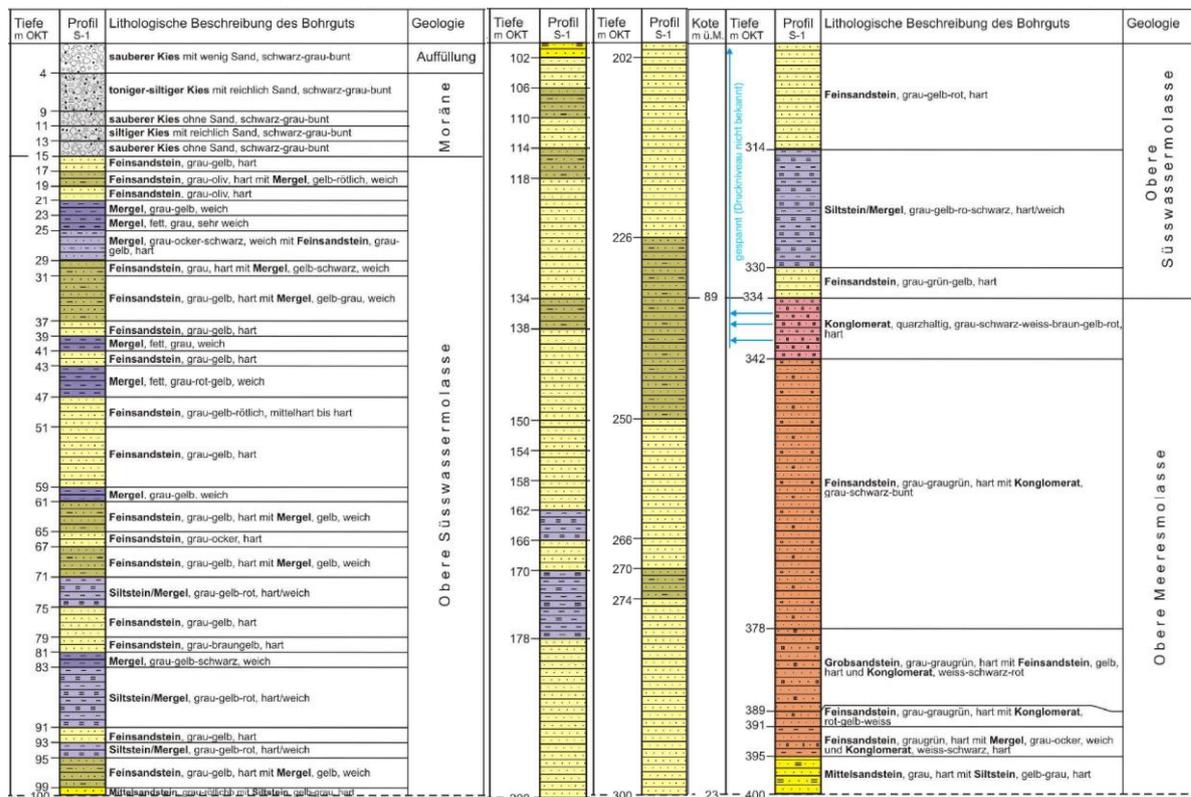


Abb 6: Bohrprofil an der Rämistrasse 42 in Zürich (683°963 / 247°252 / Kote 423 m.ü.M). Bis 370m Imlochhammer-Bohrung, ab 370m Spülbohrung. Bei 334m stark subartesisch gespanntes Grundwasser. Bohrprofilaufnahme: Dr. U. Schärli, Zürich.

Bohrungen können mit entsprechendem Bohrgerät und Bohrerfahrung ohne grössere Probleme bis auf eine Tiefe von 350m als Imlochhammer-Bohrungen abgeteuft werden. Die Bohrung ist an dieser Stelle bis auf 334m trocken. In einer Tiefe von 334m wird eine stark wasserführende Schicht angeschnitten, die aus Konglomerat besteht und mehrheitlich der Oberen Meeresmolasse zugeordnet wird. Die wasserführende Sicht ist ca. 8m mächtig. Das Wasser ist stark subartesisch gespannt. Da es rechts der Limmat praktisch an keiner Stelle oberes Schottergrundwasser gibt, sind auch im schlechtesten Fall keine Vermischungen von verschiedenen Grundwasserschichten zu befürchten (wo es kein Wasser gibt, kann es sich auch nicht vermischen). Die zu durchbohrenden Sichten bestehen aus Wechsellagerungen von Feinsandstein, Siltstein und geringmächtigen weichen Mergeln (teilweise auch als Tonstein bezeichnet). Das Bohrloch ist recht stabil. Es gibt in diesem Gebiet etliche Erdwärmesonden-Bohrungen, die zwischen 400 und 500m abgeteuft wurden. Von keiner dieser Bohrungen sind bohrtechnische Probleme in den ersten 400m bekannt.

3 Technik der Aquifernutzung

3.1 Bisher angewandte Technologien

Es galt bisher als Axiom in der Schweiz, dass die Brunnenbohrung und der Brunnenausbau der wesentliche Kostenposten bei den Investitionskosten darstellt. Erst wenn es gelingt, die Bohrungen wesentlich kostengünstiger zu erstellen, können neue Lösungen bei der Nutzung von Aquifern gefunden werden.



Abb 7: Bohrturm der Dubletten-Anlage zur Nutzung des Tiefengrundwassers Riehen [18].

Ausserdem wurde versucht, eine möglichst grosse Abkühlung des Grundwassers zu erreichen [19], um ohne zusätzliche Bohrungen aus einem einzigen Bohrloch eine möglichst grosse thermische Entnahmekapazität \dot{Q}_c zu erreichen, selbst unter Inkaufnahme einer sehr grossen Grundwasserpegelabsenkung h . Dabei ist die Pumpenleistung $P_{el,Pumpe}$ zu berücksichtigen:

$$\frac{P_{el,Pumpe}}{\dot{Q}_c} = \frac{g \cdot h}{\eta_{Pumpe} \cdot c_{p_w} \cdot \Delta T} \quad \text{Gl. 3.1}$$

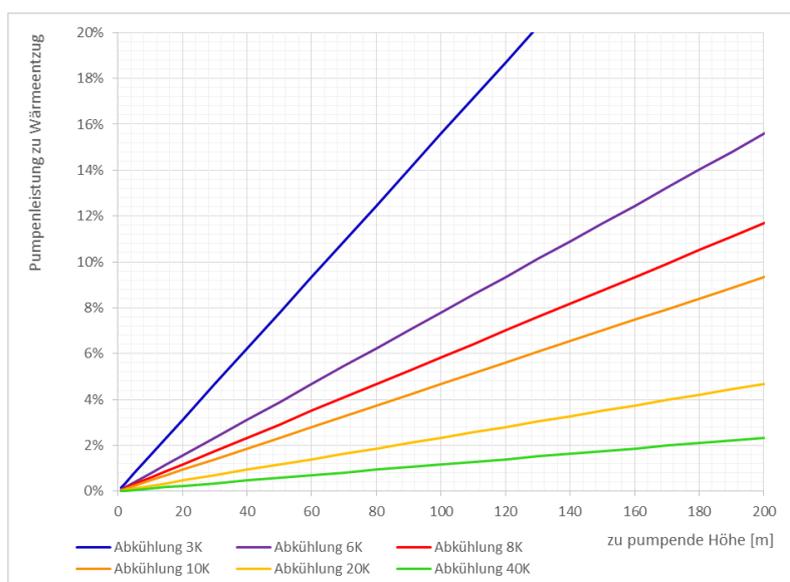


Abb 8: Spezifischer Pumpenstrom in Abhängigkeit von der Netto-Förderhöhe gemäss Gl. 3.1

Pumpe problemlos angehoben werden, ohne dass die Ergiebigkeit dadurch leidet. Dies wurde zur Lösung des Abrasions-Problems dann auch erfolgreich gemacht.

In Zukunft empfiehlt es sich, mit Flowmeter-Tests die durchlässigen Schichten genauer zu identifizieren um die Brunnen im Tiefengrundwasser besser planen zu können.

3.2.2 Diskussion der klassischen Brunnenlösung

Die Brunnentechnik der Brunnen „Bächli“ in Bassersdorf, Tiefenbrunnen und Aqi in Zürich entspricht im Wesentlichen der Brunnentechnik, wie sie für Trinkwassergewinnung in tiefen Schotter-Grundwasserbrunnen eingesetzt wird. Es wird eine Stufenverrohrung bis in die wasserführende Schicht eingebracht, wobei das innerste Rohr ein Stahl-Vollrohr bis zur wasserführenden Schicht darstellt. Es folgt ein sehr langer Filterteil, der mit Quarzsand hinterfüllt ist. Dies war gemäss dem damaligen Kenntnis-Stand die Methode mit dem geringsten Risiko, entwickelt primär für Bohrungen im Lockergestein. Die Unsicherheit über die genaue Lage der grundwasserführenden Schichten wird offensichtlich mit einem sehr langen Filterteil ausgeglichen. Die Hinterfüllung mit Quarzsand z.B. beim Brunnen „Bächli“ in Bassersdorf entspricht weniger der optimalen Brunnentechnik (üblich ist Filterkies 4/8), sondern der technischen Machbarkeit bei der Einbringung. Entsprechend muss dann der Filter recht engmaschig ausgeführt werden, was die Ergiebigkeit der Brunnen entsprechend reduziert oder alternativ zu starker Abrasion in den Pumpenschaufeln führt. Die gewählte Stufenverrohrung erfordert oben einen sehr grossen Bohrdurchmesser. Die Bohrung Tiefenbrunnen, die im Auftrag der Stadt Zürich durchgeführt wurde, dauerte gemäss Kempf [1] vom 25. Oktober 1979 bis 19. Dezember 1979 (Bohrung bis auf 736m Tiefe). Bei allen 3 Brunnen wurde auf eine Wasser-Rückgabe in die wasserführende Schicht verzichtet. Zum Vergleich: Die Bohrung an der Rämistrasse 42 in Zürich (550m) wurde in weniger als einem Zehntel der Zeit durchgeführt. Entsprechend dürfte auch das Kostenverhältnis liegen.

In der Anfangsphase wurde bei allen 3 Brunnen „altes“, stark mineralisiertes Wasser gefördert. Die entsprechenden Werte sind dokumentiert. Leider gibt es keine Publikationen über die entsprechende Entwicklung der Mineralisation über die Zeit. Es ist anzunehmen, dass durch das Pumpen und das Nachfliessen von Wasser aus dem Schotter-Grundwasser die Mineralisation mit der Zeit abgenommen hat (das Aqi-Mineralwasser wird heute nicht mehr im Aqi-Brunnen der Stadt Zürich gefördert, sondern im Züricher Oberland). Sowohl beim Aqi-Brunnen, als auch beim Tiefenbrunnen lag der Ruhewasserpegel bei ca. 397 m.ü.M. [1], was etwa dem Schotter-Grundwasserspiegel im Industriequartier von Zürich entspricht.

Die klassische Brunnentechnik zeichnet sich also durch die folgenden Punkte aus:

- Sehr hohe Erstellungskosten
- Grosse Bohrdurchmesser
- Lange Bohrzeit / Erstellungszeit der Brunnen
- Lange Filterstrecken
- Ungünstige Hinterfüllungen, nicht optimale Ergiebigkeit
- Sehr tief eingebaute Pumpen

Es stellt sich die Frage, ob diese Brunnentechnik nicht sogar zur Verbindung von unterschiedlichen, grundwasserführenden Schichten führen kann (dokumentiert z.B. für den Brunnen in Bassersdorf [15]). Auch die Rückführung des Tiefengrundwassers in den gleichen Grundwasserleiter wurde bei keinem dieser Bohrungen realisiert, was vermutlich zu einer Verdünnung des mineralhaltigen Tiefengrundwassers durch nachfliessendes Wasser aus dem „Anbiss“ führt.

3.2.4 Ergiebigkeit

Aufgrund der Beobachtung in mehreren Bohrlöchern scheint die Ergiebigkeit primär von der Distanz zur Quartär-Rinne abzuhängen. Je näher die Bohrung bei dieser Rinne lag, umso mehr Grundwasser wurde in der OMM rapportiert. Dies dürfte auch der Grund für die relativ gute Ergiebigkeit des Brunnens Tiefenbrunnen sein [13]. Die Bohrung relativ nahe dazu im Zürichsee ist auch auf einer Tiefe von 174 m.ü.M. noch nicht auf Fels gestossen, was die Vermuten zulässt, dass auch in diesem Bereich die Quartär-Rinne die OMM erreicht. Allerdings gibt es in diesem Bereich direkt keine vertikale Zirkulation mit Zürichsee, die Seeablagerungen sind unten dicht (Ruhewasserspiegel 397 m.ü.M. / Zürichsee 406 m.ü.M.).



Abb 10: Geologischer Atlas der Schweiz im Bereich der Tiefenbohrung Tiefenbrunnen. Bohrung im Zürichsee erreichte auch auf einer Tiefe von 174 m.ü.M. den Fels noch nicht.

Aufgrund der neusten Beobachtungen in diversen Bohrlöchern (z.B. Abb 6) muss davon ausgegangen werden, dass die hydraulische Leitfähigkeit in den ersten 10m der OMM im Bereich des Zürcher Aquifers unterschätzt wurde (und in den darunter liegenden Schichten überschätzt wurde). Im Bericht von Keller und Mégel [13] wird die hydraulische Leitfähigkeit in der OMM mit $2 \cdot 10^{-7}$ m/s angegeben (Mittelwert), dies bei einer rechnerischen Mächtigkeit von 250m. Der effektive Wert in den ersten 10-20 Metern der OMM dürfte aber bis zu 100 mal grösser sein [14]. Es liegt somit nahe, primär diese ersten 10-20 m zu nutzen. Diese hydraulische Leitfähigkeit gilt für die OMM. In der Quartärrinne ist die hydraulische Leitfähigkeit sehr unterschiedlich, je nach Schicht. Es gibt aber Schichten mit wesentlich höherer hydraulischer Leitfähigkeit.

Des weiteren ist die Ergiebigkeit des Brunnens Tiefenbrunnen (zwischenzeitlich durch ein geschlossenes Erdwärmesondensystem ersetzt) durch den fehlenden Rückgabebrunnen beschränkt. Dies äussert sich durch ein starkes Absinken des Grundwasserspiegels im Pumpbetrieb (bis zu 200m bei 500 Liter/Min). Für eine sinnvolle Nutzung des Zürcher Aquifers sollten Grundwasserbrunnen somit als Dubletten ausgeführt werden. Der optimale Abstand zwischen Entnahmebrunnen und Rückgabebrunnen wär noch zu ermitteln. Je näher an der Quartär-Rinne die Brunnen sind, umso grösser wäre der mögliche Abstand zwischen Entnahme- und Rückgabebrunnen.

Der von Keller und Mégel [13] postulierte Einfluss der Wasserentnahme im Aquibrunnen auf die Wasserentnahme im Brunnen Tiefenbrunnen scheint doch eher unwahrscheinlich, da zwischen diesen beiden Brunnen die Quartärrinne liegt, die die hauptsächlich wasserführende Schicht nahe dem TOP OMM durchschneidet.

3.3 Neue Lösungsvorschläge für den Brunnenbau

Um verglichen mit den oben erwähnten Brunnen (Aqui, Tiefenbrunnen, Bassersdorf) wirtschaftlichere Tiefen-Grundwasserbrunnen erstellen zu können, gibt es grundsätzlich 2 Wege:

1. Brunnen-Ausbau so verbessern, dass mehr Wasser gesammelt werden kann
2. Bohrungen und Ausbau massiv kostengünstiger durchführen

Der 2. Weg scheint den Autoren bedeutend erfolgversprechender zu sein. Aufgrund der speziellen Situation des Zürcher Aquifers können Bohrungen am Rande der Quartär-Rinne nach dem kurzen Durchstechen des mehrheitlich trockenen Quartärs durch ca. 300m Fels der Oberen Süsswassermolasse (OSM) gebohrt werden. Die OSM ist in diesem Bereich sehr stabil und besteht mehrheitlich aus Sandstein und Siltsteinschichten. Eine solche Bohrung kann im trockenen Hammerbohrverfahren in ca. 2 Tagen abgeteuft werden und kostet ein Bruchteil der bestehenden Tiefen-Grundwasserbrunnen (Aqui, Tiefenbrunnen, Bassersdorf). Nur im obersten Teil (bis zur Pumpe) ist ein klassischer Brunnenausbau mit Festverrohrung und Tonhinterfüllung erforderlich. Die Bohrung an der Rämistrasse 42 hat gezeigt, dass das Grundwasser in der Oberen Meeresmolasse (OMM) keineswegs gleichmässig vorkommt. Das Grundwasser konzentriert sich mehrheitlich auf die obersten 10 Meter der OMM, die zu grossen Teilen aus Konglomerat (Nagelfluh) besteht. Das Wasser kann im offenen Bohrloch gesammelt werden, der Einbau von (nutzlosen, wie Bassersdorf gezeigt hat) Filtern kann vermutlich verzichtet werden. Dafür sollte ein ca. 10m tiefer Sack als Sammler unter der Wasserschicht gebohrt werden:

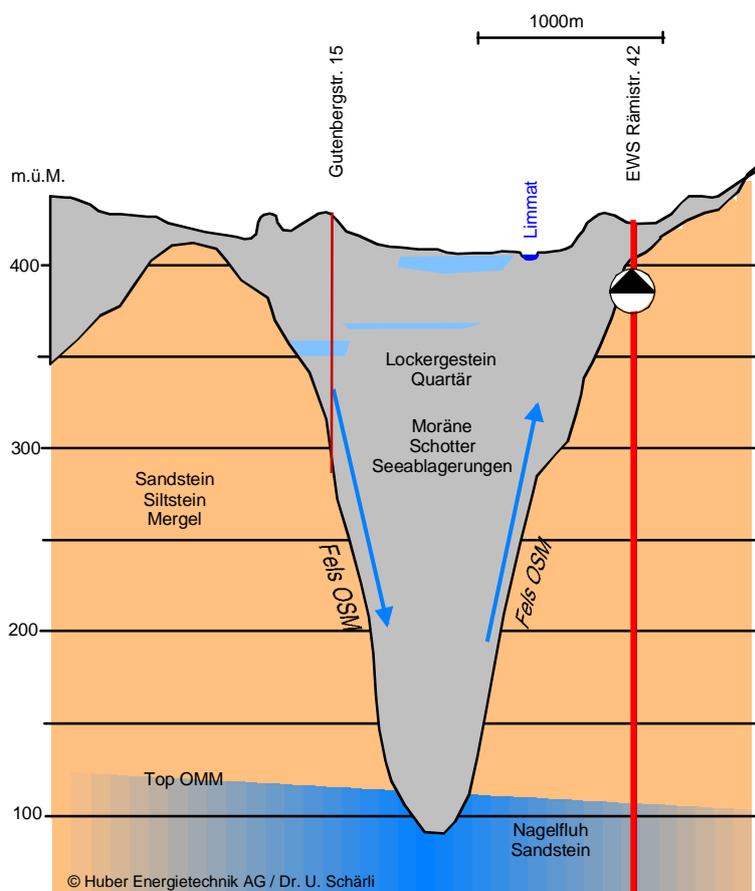


Abb 11: Bohrungen mehrheitlich im trockenen Fels der OSM bis auf die grundwasserführende Schichten der OMM. Bohrtiefe: ca. 400m. Bohrzeit: ca. 2 Tage. Bohrart: Hammerbohrung.

Da das Tiefengrundwasser bis vermutlich auf eine Höhe von ca. 397 m.ü.M. subartesisch gespannt ist (dies entspricht dem Ruhewasserstand der Brunnen Tiefenbrunnen und Aqvi), muss die Grundwasserpumpe auch nicht sehr tief im Bohrloch abgeteuft werden. Es ist allerdings im Betrieb mit mehreren Metern Absenkung des Grundwasserspiegels zu rechnen. Entsprechend muss die Grundwasserpumpe auf eine Tiefe von ca. 380 m. ü. M. herunter gelassen werden. Bis auf diese Tiefe wird ein klassischer Grundwasserbrunnen erstellt.

Ob das Bohrloch im restlichen Teil bis auf die grundwasserführende Schicht im Betrieb gestützt werden muss, müsste noch geklärt werden. Auf alle Fälle sollte in einem Versuch einmal die Stabilität eines ungestützten Bohrloches untersucht werden.

Diese Vorschläge müssten sich in der Praxis erst bewähren. Allen gemein ist aber, dass sich diese Art des Brunnenbaus auf bekannte Techniken im Brunnenbau und Erdsondenbau abstützt, was mit relativ geringen Kosten realisierbar ist. Selbst wenn die Ergiebigkeit dieser Art des Brunnenbaus deutlich geringer ist, so wird dies durch die wesentlich geringeren Kosten doch mehr als kompensiert. Auf keinen Fall sollte man aber auf Messungen im Bohrloch (Flowmeter, Temperatur, el. Leitfähigkeit, Kaliber, etc.) verzichten, um die Ergiebigkeit zu ermitteln und die Wasserzutritte festzustellen.

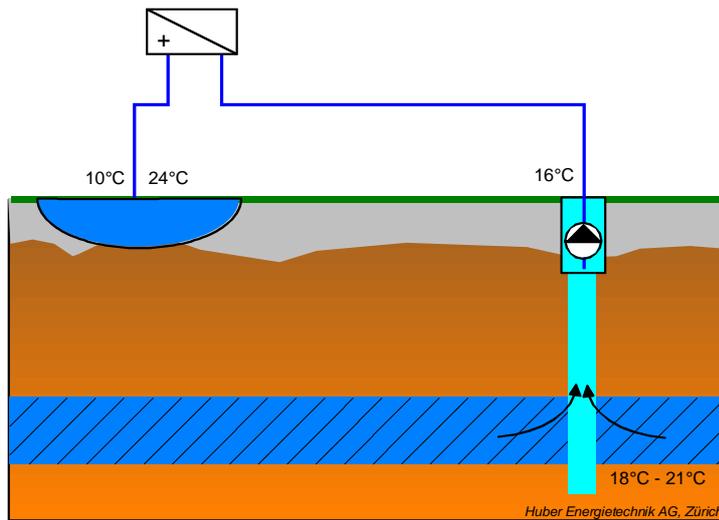
Die gesamte, erforderliche Bohrtiefe ist mit ca. 400m relativ gering und wurde in dieser Gegend schon mehrfach erfolgreich durchgeführt -> keine Tiefen-Bohrtechnik erforderlich!

3.4 Hydraulische Einbindung der Brunnen / Systematische Einordnung

Nachfolgend wird versucht, eine Möglichkeit für die Realisation von kostengünstigen Brunnen im Randbereich des Zürcher Aquifers, sowie dessen mögliche, hydraulische Einbindung aufzuzeigen und systematisch gegen Alternativlösungen abzugrenzen. Gemeinsam ist allen, dass durch die gezielte Erbohrung der hydraulisch gut leitenden Schichten am Rande der „Anbiss-Stelle“ im Festgestein mit konventioneller Hammerbohrtechnik und einem „Brunnenausbau“ mit Verzicht auf die „Filterstrecke“, d.h. einer Wassersammlung im offenen Bohrloch mit hohem Pumpeneinbau eine kostengünstige Brunnenlösung angestrebt wird. Dank dem kostengünstigen Brunnenbau sind viele, pro Brunnen eher kleine Entzugsleistungen wirtschaftlich realisierbar, was auch der hydraulischen Leitfähigkeit der wasserführenden Schichten in der Oberen Meeresmolasse besser entspricht als grosse Brunnenprojekte. Damit kann unter Umständen auch auf ein grosses Wärmenetz verzichtet werden, weil bei jedem Verbraucher ein eigener Brunnen erstellt werden kann. Am idealsten ist ein Wärme- und Kältebezüger, der das Grundwasser als Jahreszeitspeicher nutzt.

3.4.1 Brunnen in Singletten-Ausführung

Der grosse Vorteil einer Singletten-Ausführung besteht darin, dass mit den Brunnen ein Grundwasserstrom im Aquifer induziert werden kann und damit ein grössere Umgebung thermisch aktiviert werden kann. Dies wird allerdings durch eine stärkere Absenkung des Grundwasserspiegels beim Pumpen erkauft. Ausserdem kann der Saugeffekt des Rückgabebrunnens (bis zu 9.8m Saughöhe) nicht genutzt werden.



Eine Singletten-Lösung zur Nutzung des Zürcher Aquifers kann allenfalls in der Nähe des Anbisses der OMM zum Lockergestein oder direkt im Quartär in Betracht gezogen werden. Dafür wären aber weitere, bis heute fehlende Kenntnisse der genauen Ausdehnung und des Aufbaus der Grundwasserträger im Lockergestein zwingend notwendig.

Der grosse Vorteil eines kostengünstigen Brunnenbaus wäre dabei eher fraglich.

Abb 12: Brunnen in Singletten-Ausführung

3.4.2 Doublette zur Direktnutzung

Bei einer Direktnutzung des Grundwassers (ohne Wärmepumpe) muss sich das Grundwasser auf einem minimalen Temperaturniveau befinden, dass höher sein muss als der Rücklauf aus der Nahwärmeverbund. Diese Voraussetzung ist mit dem angetroffenen Temperaturniveau des Zürcher Aquifers nicht gegeben.

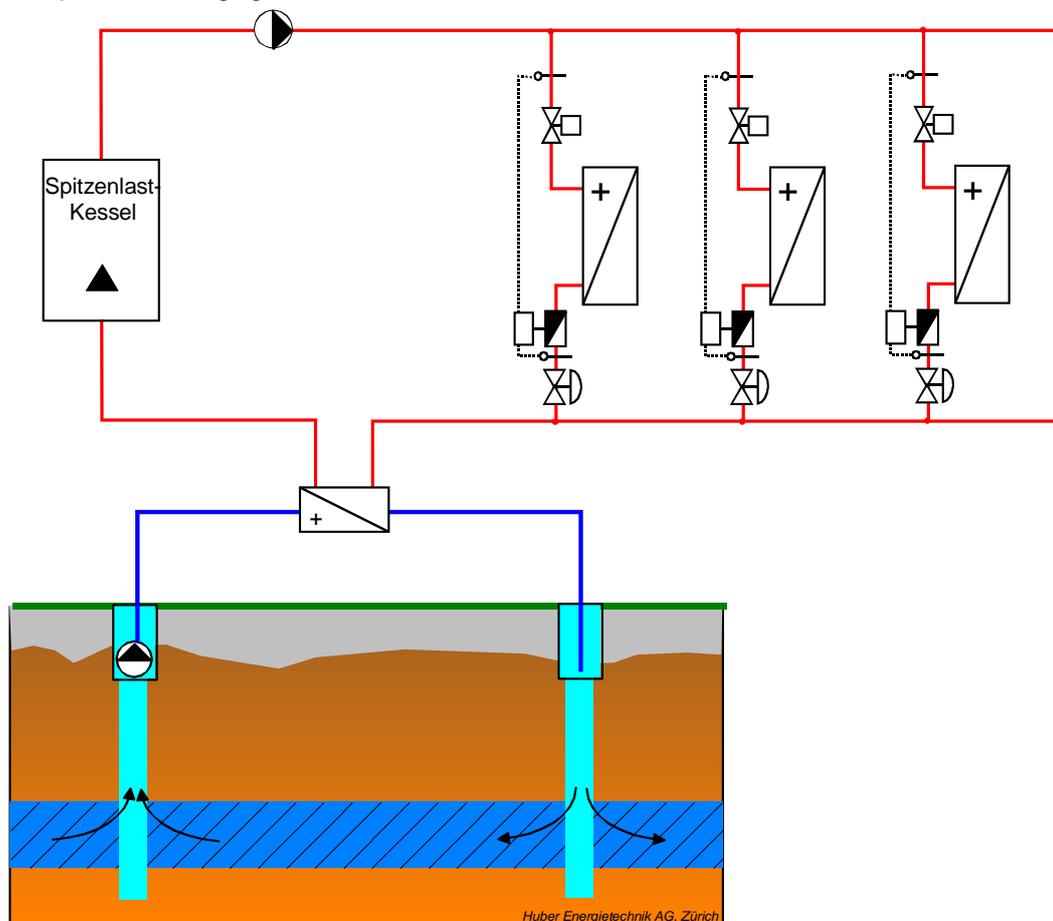


Abb 13: Brunnen in Doubletten-Ausführung für die Direktnutzung des Grundwassers

3.4.3 Doublette zur indirekten Nutzung mit Wärmepumpen

Für die indirekte Nutzung des Grundwassers wird dieses über einen Zwischenkreislauf in einer Wärmepumpe abgekühlt. Dabei ist eine Abkühlung des Grundwassers um 6-8K realistisch. Damit lässt sich eine Wärmepumpe mit einem COP von mehr als 5 betreiben, sofern der Nahwärmeverbund nicht über 37°C betrieben wird. Unter Berücksichtigung der Hilfsenergien (Pumpen, cf. Abb 8) kann damit eine Jahresarbeitszahl von über 4 erreicht werden. Um die Leistungsfähigkeit des Verbundes zu erhöhen kann ein Spitzenlastkessel integriert werden.

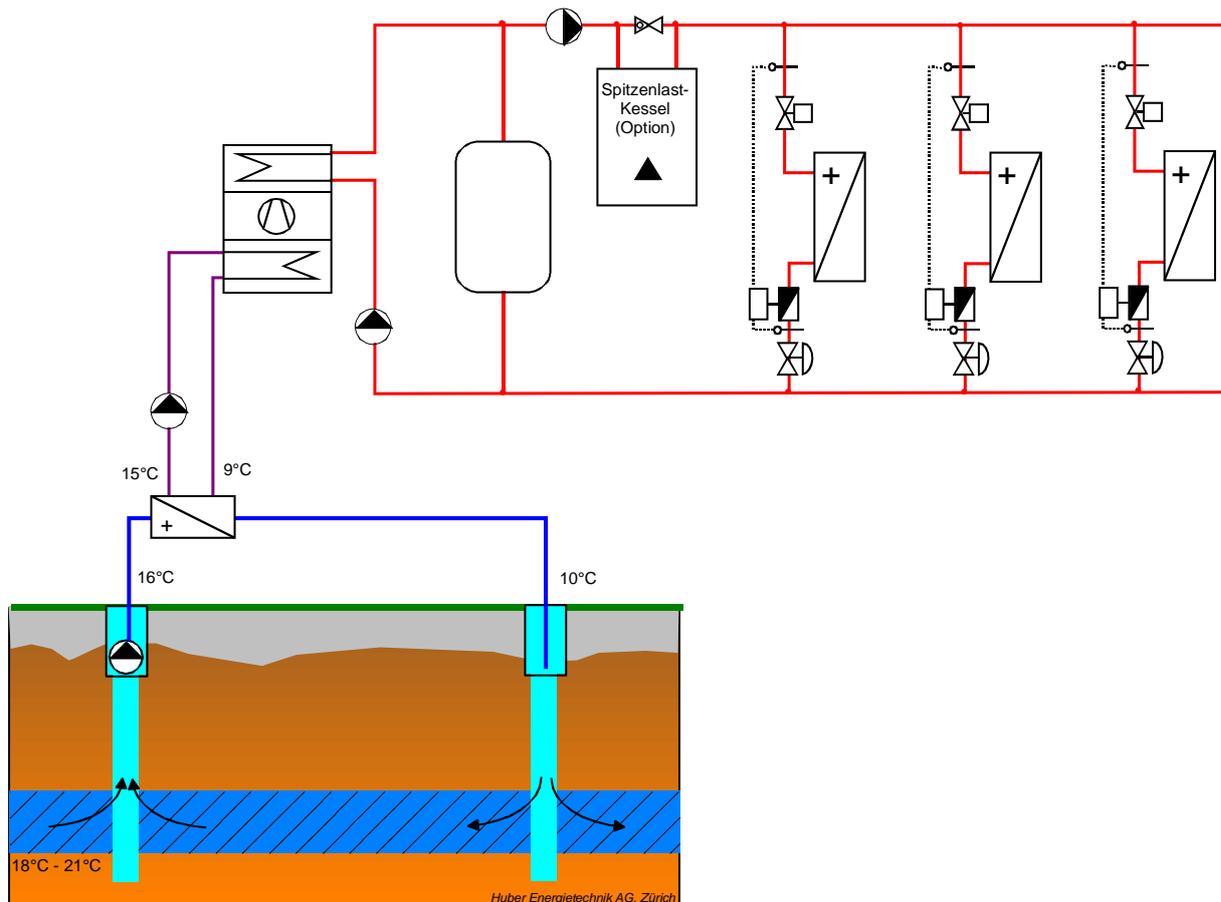


Abb 14: Brunnen in Doubletten-Ausführung für die indirekte Nutzung des Grundwassers mit einer Wärmepumpe.

Bei einer Nutzung des Zürcher Aquifers im Randbereich gemäss Abb 11 muss davon ausgegangen werden, dass sich das Grundwasser vermutlich nicht stark bewegt. Dies dürfte die Leistungsfähigkeit der Anlage reduzieren, selbst wenn Entnahme- und Rückgabeburgen genügend weit auseinander liegen. Je näher die Brunnen beim „Anbiss“ der OMM durch die Quartär-Rinne liegen, umso grösser dürften die natürlichen Wasserbewegungen sein.

3.4.4 Doublette zur indirekten Nutzung mit Wärmepumpen (Heizen und Kühlen)

Eine wesentliche Erhöhung der Kapazität zur Nutzung des Zürcher Aquifers dürfte sich dann ergeben, wenn er im Jahreszeitenverlauf sowohl zum Heizen, als auch zum Kühlen verwendet wird. Dies führt zu einer energetischen Saisonspeicherung von Wärme im Grundwasser. In diesem Fall ist der fehlende, natürliche Grundwasserfluss kein Nachteil, sondern ein Vorteil. Je nach Energiebilanz stellt sich dann eine höhere oder tiefere Speichertemperatur ein. Nachfolgend ist eine mögliche, hydraulische Anbindung für eine solche Lösung dargestellt:

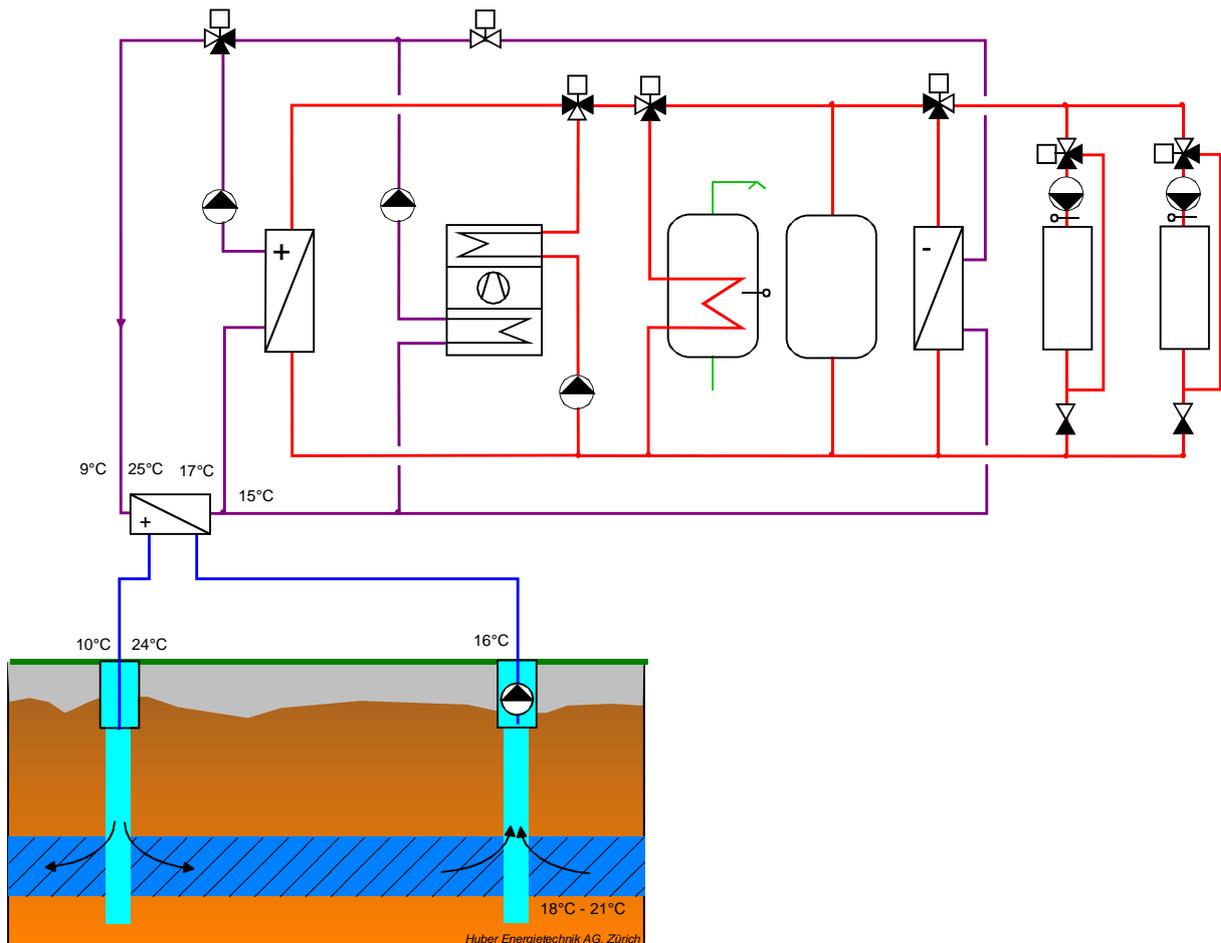


Abb 15: Brunnen in Doubletten-Ausführung für die indirekte Nutzung des Grundwassers mit einer Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen.

Diese Art der Nutzung des Zürcher Aquifers steht sicher im Vordergrund. Für die Abschätzung der Kapazitäten einer möglichen Saisonspeicherung sind die aktuellen Grundlagenkenntnisse bezüglich der Hydrogeologie allerdings noch zu gering.

Das Positive am Untersuchungsgebiet liegt darin, dass sich im möglichen Nutzungssperimeter genügend Abwärmequellen befinden (ETH, UNI, Kantonsspital, Banken, Kantonsverwaltung, etc.).

Ebenfalls optimal liegt das natürliche Temperaturniveau, das sich sowohl für eine indirekte Wärmenutzung, als auch für eine Rückkühlung ideal eignen.

3.4.5 Doublette, im Winkel gebohrt

Als weitere Optimierungsvarianten bieten sich Doublette (oder sogar Mehrfachbrunnen) an, die im Winkel aus einem Punkt gebohrt werden. Bei einem 5°-Winkel könnte bei 2 Bohrungen a 400m damit sogar ein Abstand von 70m realisieren. Diese Lösung wurde bei 2 Erdwärmesonden in Zürich-Witikon auf je eine tiefe von 400m mit einem Winkel von 3° bereits realisiert, wobei das Hauptproblem nicht in der Winkelbohrung bestand, sondern im Einbringen der Sondenrohre (Reibung). Dadurch entfällt die unter Umständen teure Verbindungsleitung zwischen Entnahme- und Rückgabebrunnen.

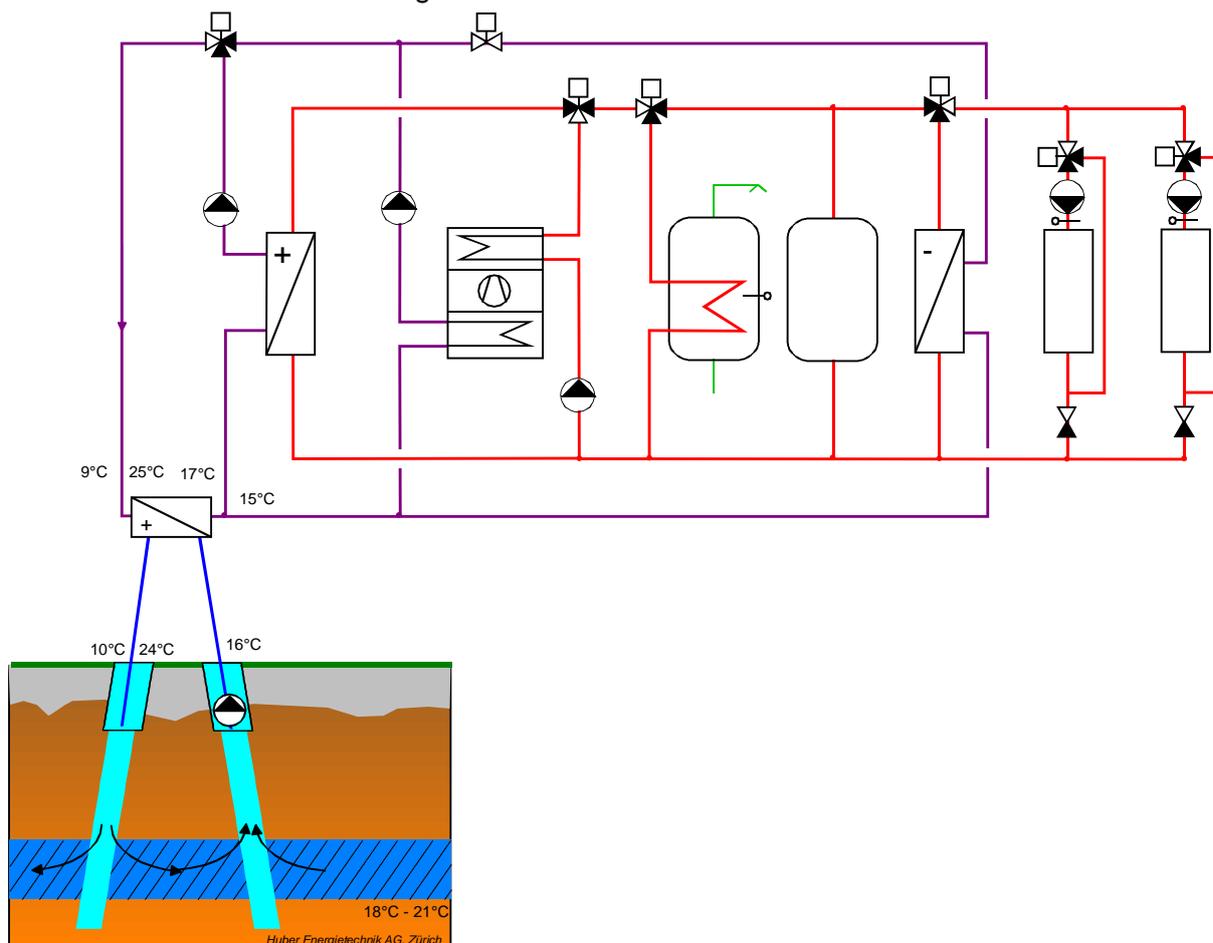


Abb 16: Brunnen in Doubletten-Ausführung für die indirekte Nutzung des Grundwassers mit einer Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen und im Winkel gebohrten Brunnen.

4 Ausblick

Der vorliegende Bericht ist als Ideen-Skizze zu verstehen, wie die neuen Erkenntnisse über die Hydrogeologie des Zürcher Aquifers zu neuen, technischen Lösungen der Grundwassernutzung führen könnten. Bis es soweit ist, müssen weitere Grundlagenuntersuchungen bezüglich der Brunnenbautechnik (offenes Bohrloch im Festgestein) einerseits, und der hydrogeologischen Randbedingungen andererseits durchgeführt werden.

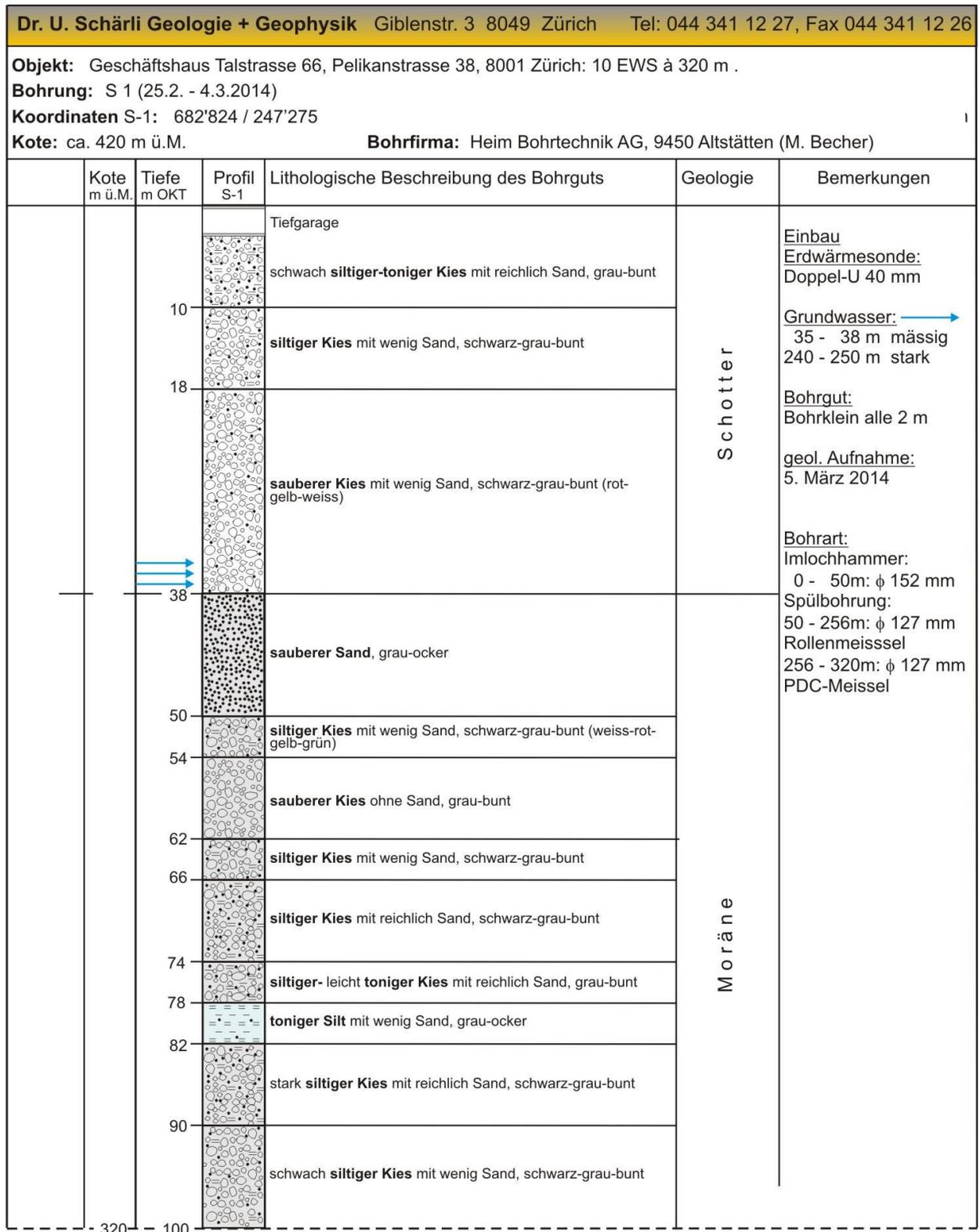
5 Literaturverzeichnis

- [1] **Kempf, Th. et al. (1986):** Die Grundwasservorkommen im Kanton Zürich. Erläuterungen zur Grundwasserkarte 1:25'000. Kümmerly & Frey AG, Bern. ISBN 3-90799701 8.
- [2] **Huber, A.; Schuler, O. (1997):** Berechnungsmodul für Erdwärmesonden. Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärmekraftkopplung (UAW). Bundesamt für Energie (BFE), Bern. ENET-Nr. 9658807/1, 1997.
- [3] **Huber, A. (1999):** Hydraulische Auslegung von Erdwärmesondenkreisläufen. Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärmekraftkopplung (UAW). Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- [4] **Huber, A.; Pahud, D. (1999):** Untiefe Geothermie: Woher kommt die Energie? Forschungsprogramm Geothermie. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- [5] **Huber, A.; Pahud, D. (1999):** Erweiterung des Programms EWS für Erdwärmesondenfelder. Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärmekraftkopplung (UAW). Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- [6] **Huber, A. (2005):** Erdwärmesonden für Direktheizung. Phase 1: Modellbildung und Simulation. Schlussbericht. Bundesamt für Energie, Bern.
- [7] **Huber A.; Ochs M. (2007):** Hydraulische Auslegung von Erdwärmesondenkreisläufen mit der Software „EWS-DRUCK“, Vers. 2.0. Schlussbericht. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- [8] **Huber A. (2008):** Erdwärmesonde „Magma Therme“. Machbarkeitsabklärungen zum Thermosyphon-Prinzip. Machbarkeit. Forschungsprogramm Geothermie. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- [9] **Huber A. (2013):** Grundsatzabklärungen für Umnutzungen von tiefen, trockenen Grundwasserbohrungen. Forschungsprogramm Geothermie. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- [10] **Huber A. (2014):** Bodentemperaturen und geothermischer Wärmefluss in der Schweiz. Huber Energietechnik AG, Zürich. <https://www.hetag.ch>.
- [11] **Huber A. (2022):** Programm EWS, Version 5.5. Berechnung von Erdwärmesonden. Benutzerhandbuch. Huber Energietechnik AG, Zürich. <https://www.hetag.ch>.
- [12] **Huber A. (2015):** Solare Saisonspeicherung von Wärme in Erdwärmesonden. bbr Sonderheft Geothermie 2015. ISSN 1611-1478.
- [13] **Keller, M.; Mégel, T. (1998):** Energetische Nutzung der Thermalwasserbohrung Tiefenbrunnen. Bundesamt für Energie, Bern. Schlussbericht.
- [14] **Mégel, Th. (1996):** Aquifer-Bewirtschaftung bei der geothermischen Energienutzung. Diss. ETH Nr. 11983.
- [15] **Blaser, P.; Gubler, T.; Küpfer, T.; Marschall, P.; Matter, A.; Matyas, J.; Meier, B.P.; Müller, W.H.; Schlanke, S.; Schlunegger, F.; Sieber, N.; Wyss, E. (1994):** Geothermiebohrung Bassersdorf. Charakterisierung der Oberen Meeresmolasse und Unteren Süsswassermolasse. NAGRA. Technischer Bericht 94-01.
- [16] **Jäckli, H. et al. (1989):** Geologie von Zürich. Von der Entstehung der Landschaft bis zum Eingriff des Menschen. Orell Füssli Graphische Betriebe AG Zürich. ISBN 3 280 01964 8.
- [17] **Ribi, A. (1942):** Ein zeitgenössisches Zeugnis zum Umbau der Zürcher Wasserkirche von 1479-1484. Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte, Band 4 (1942).
- [18] **Schädle, K.-H. (2014):** Erfolgsgeschichte Riehen. Gruner Gruneko AG, Basel. Referat an der IGC Freiburg 2014. Download www.trion-climate.net.
- [19] **Schädle, K.-H. (2015):** Fernwärme und Geothermie. Praxisbeispiel Riehen. Gruner Gruneko AG, Basel. Referat an der Fachtagung der SVG am 1. 10. 2015. Download www.geothermie.ch.
- [20] **Schärli, U.; Ernst Rohner, E.; Signorelli, S.; Wagner, R. (2007):** Thermische Leitfähigkeit: Eichung von in-situ Messungen (d.h. „kabellose Temperatursonde“) mit Laborbestimmungen als Grundlage für die geothermische Kartierung des Kanton ZH und der umliegenden Kantone. Schlussbericht, BFE, Bern.
- [21] **Schärli, U. (2015):** Brandschenkenstrasse – Bleicherweg, 8002 Zürich, Erkundung von tiefen Grundwasservorkommen im Lockergestein, AWEL Abteilung Gewässerschutz, interner Bericht.
- [22] **Schärli, U (2014):** Wohnsiedlung Bombach, Zürich-Höngg, geothermische Messungen.
- [23] **Schärli, U. & Schächli, H.J.(2013/2014):** Temperaturmessungen in Erdwärmesonden, unveröffentlicht.
- [24] **Norm SIA 384/6:2021:** Erdwärmesonden. Sachbearbeitung Huber, A.; Rohner, E. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Zürich (2021).

6 Anhang: Geologische Bohrprofile

6.1 Bohrung Talstrasse 66 Zürich

Aufgrund der Bohrung Talstrasse 66 in 8001 Zürich wurde die Isohypsenkarte der Felstiefe 2014 überarbeitet (cf. Abb 1) und der Bohrort kurzerhand zur tiefsten Stelle des Quartärs ernannt, was doch eher unwahrscheinlich ist:



Dr. U. Schärli Geologie + Geophysik Giblenstr. 3 8049 Zürich Tel: 044 341 12 27, Fax 044 341 12 26

Objekt: Geschäftshaus Talstrasse 66, Pelikanstrasse 38, 8001 Zürich: 10 EWS à 320 m .

Bohrung: S 1 (25.2. - 4.3.2014)

Koordinaten S-1: 682'824 / 247'275

ch

Kote: ca. 420 m ü.M.

Bohrfirma: Heim Bohrtechnik AG, 9450 Altstätten (M. Becher)

	Kote m ü.M.	Tiefe m OKT	Profil S-1	Lithologische Beschreibung des Bohrguts	Geologie	Bemerkungen
				schwach siltiger Kies mit wenig Sand, schwarz-grau-bunt	Moräne	Fortsetzung (Teil 2)
		118		siltiger Kies mit reichlich Sand, schwarz-grau-bunt		
		122		sauberer Kies mit wenig Sand, schwarz-grau-bunt (rot-gelb-weiss)		
		126		stark siltiger Kies mit reichlich Sand, schwarz-grau-bunt		
		138		siltiger- leicht toniger Kies mit reichlich Sand, grau-bunt		
		150		toniger Silt mit Sand, grau		
		154		toniger Silt mit Sand und wenig Kies, grau		
		158		siltiger Kies mit wenig Sand, schwarz-grau-bunt (weiss-rot-gelb-grün)		
		162		toniger Silt mit Sand, grau		
		178		stark siltiger-toniger Kies mit wenig Sand, schwarz-grau-bunt		
		182		stark siltiger Kies mit reichlich Sand, schwarz-grau-bunt		
		186		siltiger Sand mit reichlich Kies, grau		
		190		siltiger-toniger Sand mit reichlich Kies, grau		
		194		toniger Silt mit reichlich Sand, grau		
		198		siltiger Kies mit reichlich Sand, schwarz-grau-bunt		
	220	200				

Dr. U. Schärli Geologie + Geophysik Giblestr. 3 8049 Zürich Tel: 044 341 12 27, Fax 044 341 12 26						
Objekt: Geschäftshaus Talstrasse 66, Pelikanstrasse 38, 8001 Zürich: 10 EWS à 320 m .						
Bohrung: S 1 (25.2. - 4.3.2014)						
Koordinaten S-1: 682'824 / 247'275						:h
Kote: ca. 420 m ü.M.			Bohrfirma: Heim Bohrtechnik AG, 9450 Altstätten (M. Becher)			
	Kote m ü.M.	Tiefe m OKT	Profil S-1	Lithologische Beschreibung des Bohrguts	Geologie	Bemerkungen
				siltiger Kies mit reichlich Sand, schwarz-grau-bunt	Moräne	Fortsetzung (Teil 3)
		218		sauberer Kies mit wenig Sand, schwarz-grau-bunt (rot-gelb-weiss)		
		226		schwach siltiger Kies mit wenig Sand, schwarz-grau-bunt		
		238		siltiger Kies mit reichlich Sand, schwarz-grau-bunt		
166		254		Feinsandstein , grau-gelb mit Mergel , gelb, weich	Obere Süßwassermolasse	
		258		Feinsandstein , grau-ocker, hart		
		266		Siltstein/Mergel , grau-gelb, hart/weich		
		274		Feinsandstein , grau-ocke-gelb, hart		
134		286		Feinsandstein , grau-gelb, hart mit Konglomerat , schwarz-weiss-rot-gelb	Obere Meeresmolasse	
		298		Mittelsandstein , grau, hart mit Konglomerat , schwarz-weiss-bunt		
		306		Feinsandstein , grau-ocker, hart mit Konglomerat , schwarz-weiss-rot-gelb		
		310		Konglomerat , querzführend, schwarz-grau-weiss-rot-gelb		
		318		Feinsandstein , grau-grünlich, hart mit Konglomerat , schwarz-weiss-rot-gelb		
100		320		Feinsandstein , grau-grünlich, hart mit Konglomerat , schwarz-weiss-rot-gelb		

Abb 17: Bohrprotokoll der Bohrung Talstrasse 66 in 8001 Zürich. Aufnahme: Dr. U. Schärli.

6.3 Bohrung Alfred-Escher-Strasse 10, Zürich

Auch an der Alfred-Escher-Strasse 10 liegt der Felsuntergrund tiefer als prognostiziert (Abb 2).

Dr. U. Schärli Geologie + Geophysik Giblenstr. 3 8049 Zürich Tel: 044 341 12 27, Fax 044 341 12 26						
Objekt: MFH Alfred-Escher-Strasse 10, Zürich; 3 Erdwärmesondenbohrungen à 200 m.						
Bohrung: S 1-3 (22.4. - 22.5.2013)						
Koordinaten S-1: 682'605 / 246'584						
Kote: ca. 410 m ü.M. Bohrfirma: e-therm ag, Leebernstrasse 9, 5646 Abtwil (M. Arnet/P. Rogg)						
	Kote m ü.M.	Tiefe m OKT	Profil S-1	Lithologische Beschreibung des Bohrguts	Geologie	Bemerkungen
				sauberer Kies mit viel Feinsand, grau-bunt	Sihlschotter	Einbau Erdwärmesonde: Doppel-U 40 mm Grundwasser: → Eintritte bei 46 m festgestellt Bohrgut: Bohrklein alle 2 m geol. Aufnahme: Angaben von Bohr- meister
		56		siltiger Ton mit Sand und Kies, grau	kompakt Moräne	Bohrart: Hammerbohrung 0 - 56m: φ 178mm 56 - 200m: φ 152mm
		80		Ton, grau	Seeabla- gerung	Hinterfüllung: Bentonit 250 kg Zement 500 kg Wasser 1500 kg Küchler 750 kg
		102		siltiegr-toniger Kies mit Sand d, grau-bunt	Moräne	Suspension 3000 kg
		124		Wechsellagerung von Ton, Silt und Sand, grau	eizzeitliche See- und Schmelzwasser- ablagerungen	
	210	200		Bunter Mergel, grau-gelb-rot, weich	OSM	

Abb 19: Bohrprofilaufnahme durch Dr. U. Schärli an der Alfred-Escher-Strasse 10 in Zürich

6.4 Bohrung Schulhausstrasse 35, Meilen

Entgegen der öfters geäusserten Meinung, dass im Kanton Zürich in der Oberen Meeresmolasse (OMM) in der Regel Grundwasser anzutreffen sei, ist doch die Mehrheit der Bohrungen in die OMM trocken, sofern diese Schichten in der Nähe nicht durch eine Quartär-Rinne angeschnitten sind (=“Anbiss“). Exemplarisch dazu ist nachfolgend die Bohrung an der Schulhausstrasse 35 in Meilen aufgeführt, die in der Nähe des Zürichsees abgeteuft wurde:

Dr. U. Schärli Geologie + Geophysik Giblenstr. 3 8049 Zürich Tel: 044 341 12 27, Fax 044 341 12 26						
Objekt: MFH Schulhausstrasse 35, 8706 Meilen; 2 Erdwärmesondenbohrungen à 300 m Tiefe						
Bohrung: S-1/2 (2. - 5.6.2014)						
Koordinaten S-1: ca.691'146 / 235'950						
Kote: ca. 412 m ü.M. Bohrfirma: Geotherm AG, Niederlassung Ost, 8806 Bäch (P. Huckenbeck)						
	Kote m ü.M.	Tiefe m OKT	Profil S-1	Lithologische Beschreibung des Bohrguts	Geologie	Bemerkungen
		3		saubere Kies (Auffüllung)	Bach- schutt	Einbau Erdwärmesonde: Doppel-U 40 mm 210 m
		5		siltiger-toniger Kies mit wenig Sand, -grau-bunt		
		7		schwach siltiger Kies mit wenig Sand, schwarz-grau-bunt		
		9		siltiger-toniger Kies mit reichlich Sand, schwarz-grau-bunt		
		11		siltiger Kies mit wenig Sand, schwarz-grau-bunt		
		13		sauberer Kies ohne Sand, schwarz-grau-bunt		
		15		schwach siltiger Kies mit reichlich Sand, schwarz-grau-bunt		
	397			Feinsandstein, grau-gelb, hart	Obere Süs swasser molasse	Grundwasser: → keine Eintritte festgestellt
		21		Siltstein/Mergel, gelb-grau, hart/weich		Bohrgut: Bohrklein alle 2m
		31		Feinsandstein, grau-gelb, hart mit Mergel, gelb-grau, weich		geol. Aufnahme: 9. Juni 2014
		33		Siltstein/Mergel, gelb-grau, hart/weich		Bohrart: Imlochhammer, Luft / Wasser
		35		Siltstein/Mergel, gelb-grau, hart/weich		0 - 24m: ϕ 161 mm 24 - 300m: ϕ 135 mm
				Feinsandstein, grau-gelb, hart		
		53		Siltstein, gelb-rot-grau, hart		
		57		Siltstein/Mergel, rot-gelb-grau, hart/weich		
		61		Feinsandstein, grau-gelb, hart		
				Feinsandstein, grau-gelb, hart		
		93		Siltstein/Mergel, grau-gelb, hart/weich		
		97		Mergel, grau-gelb, weich		
		99		Siltstein/Mergel, grau-gelb, hart/weich		
	312	100				

Dr. U. Schärli Geologie + Geophysik Giblenstr. 3 8049 Zürich Tel: 044 341 12 27, Fax 044 341 12 26

Objekt: MFH Schulhausstrasse 35, 8706 Meilen; 2 Erdwärmesondenbohrungen à 300 m Tiefe
Bohrung: S-1/2 (2. - 5.6.2014)
Koordinaten S-1: ca.691'146 / 235'950
Kote: ca. 412 m ü.M. **Bohrfirma:** Geotherm AG, Niederlassung Ost, 8806 Bäch (P. Huckenbeck)

	Kote m ü.M.	Tiefe m OKT	Profil S-1	Lithologische Beschreibung des Bohrguts	Geologie	Bemerkungen
		101		Feinsandstein, grau-gelb, hart	Obere Süs swasser m olasse	Fortsetzung (Teil 2)
		105		Siltstein/Mergel, gelb-grau, hart/weich		
		117		Siltstein, grau-gelb-rot, hart		
		137		Feinsandstein, grau-gelb, hart		
		163		Mergel, grau-gelb, weich		
		165		Siltstein/Mergel, grau-gelb, hart/weich		
		169		Feinsandstein, grau-gelb, hart		
		179		Siltstein, gelb-braungelb-grau, hart		
		181		Siltstein, grau-gelb, hart		
		183				
		185		Siltstein, grau-gelb, hart		
		189		Siltstein, gelb-grau, hart		
		195		Feinsandstein, grau-gelb, hart		
		199		Siltstein/Mergel, grau-gelb, hart/weich		
	212	200				

Dr. U. Schärli Geologie + Geophysik Giblestr. 3 8049 Zürich Tel: 044 341 12 27, Fax 044 341 12 26								
Objekt: MFH Schulhausstrasse 35, 8706 Meilen; 2 Erdwärmesondenbohrungen à 300 m Tiefe								
Bohrung: S-1/2 (2. - 5.6.2014)								
Koordinaten S-1: ca.691'146 / 235'950								
Kote: ca. 412 m ü.M. Bohrfirma: Geotherm AG, Niederlassung Ost, 8806 Bäch (P. Huckenbeck)								
	Kote m ü.M.	Tiefe m OKT	Profil S-1	Lithologische Beschreibung des Bohrguts	Geologie	Bemerkungen		
		205		Siltstein/Mergel, gelb-grau, hart/weich	Obere Süs swasser m olasse	Einbau Erdwärmesonde: Doppel-U 40 mm 300 m Grundwasser: keine Eintritte → festgestellt		
		213		Feinsandstein, hellgrau, hart mit Siltstein, dunkelgelb, hart				
		215		Feinsandstein, grau-gelb, hart				
		219		Siltstein/Mergel, gelb-grau, hart/weich				
		223		Feinsandstein, grau, hart				
		233		Feinsandstein, grau-grauschwarz-gelb, hart				
		235		sandiger Mergel, grau-gelb, weich				
		237		Feinsandstein, grau, hart				
		243		Feinsandstein, grau, hart mit Konglomerat, schwarz-braun-weiss-gelb, hart				
		245		Konglomerat, schwarz-weiss-gelb, har mit Feinsandstein				
		247		Siltstein/Mergel, grau-gelb, hart/weich mit Konglomerat	Obere Meer es m olasse	geol. Aufnahme: 9. Juni 2014 Bohrrart: Imlochhammer, Luft / Wasser 0 - 24m: φ 161 mm 24 - 300m: φ 135 mm		
		249		Siltstein/Mergel, grau-gelb, hart/weich				
		249		Feinsandstein, grau, hart mit Siltstein, dunkelgelb, hart und Konglomerat, schwarz-weiss-dunkelrot				
		251		Konglomerat, schwarz-weiss-dunkelrot, hart mit Feinsandstein, grau, hart				
		267		Feinsandstein, grau-dunkelgelb, hart				
		275		Feinsandstein, grau-gelb, hart mit Konglomerat, schwarz-weiss-dunkelrot, hart				
		287		Feinsandstein, grau-grauschwarz, hart				
		300		Feinsandstein, grau-grauschwarz, hart				
	175							
	112							