

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 63 (1970)
Heft: 2

Artikel: Grundwasservorkommen im Klettgau, Kanton Schaffhausen
Autor: Moos, Armin von / Nänny, Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-163854>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

Grundwasseruntersuchungen im Klettgau, Kanton Schaffhausen

Von ARMIN VON MOOS und PAUL NÄNNY¹⁾

Geotechnisches Büro Zürich, bzw. EAWAG Zürich

ZUSAMMENFASSUNG

Das westlich Schaffhausen liegende Klettgau bildet eine breite, mit Schottern aufgefüllte Niederung im Tafeljura, die relativ geringe oberflächliche Abflüsse aufweist. Das Gebiet wurde geoelektrisch und durch Bohrungen untersucht. Die Mächtigkeit der Schotter, die Rinnen folgen, ist über 100 m und damit für schweizerische Verhältnisse relativ gross. Das Grundwasser, welches die Rinnen bis zu 45 m auffüllt, weist Spiegelschwankungen bis zu 13 m auf. Der Grundwasserabfluss wird auf 400 l/sec geschätzt, von welchen heute im Mittel weniger als $\frac{1}{10}$ genutzt werden. Das Klettgau kann deshalb in Zukunft für die Wasserversorgung vermehrt herangezogen und auch als Anreicherungs- und Speichergebiet genutzt werden.

1. Einleitung

Rund 5 km westlich Schaffhausen öffnet sich nach einem 20–40 m breiten Trockental, der sog. Enge, unvermittelt das Klettgau. Es weist eine Breite von 2–3 km und eine Länge von 16 km auf und setzt sich auf dem deutschen Gebiet, nach Vereinigung mit dem Wutachtal, bis gegen den Rhein oberhalb Waldshut fort. Diese alte Talung ist in den Tafeljura eingesenkt, dessen Schichten teilweise von Verwerfungen durchsetzt sind und mit 2–4°, selten 7°, gegen SSE einfallen.

Während der Glazialzeit haben Gletscherabflüsse, aus dem Gebiet von Schaffhausen kommend, diese Talung teilweise wieder aufgefüllt. Die vorherrschenden Schotter sind postglazial von Bachschuttkegelmateriale, Gehängeschutt, Löss und Verlandungssedimenten bedeckt worden. Während die Bäche im oberen Teil des schweizerischen Klettgaus von rund 24 km² heute oberflächlich versickern, wird der untere Teil durch einen kleinen Bach Richtung Deutschland zur unteren Wutach und mit derselben zum Rhein entwässert.

Bis 1966 hatte man über die Mächtigkeit dieser Schotterauffüllung im Klettgau nur unsichere Angaben, so u. a. aus einer 1921 abgeteuften Rotarybohrung auf Salz südlich der Station Wilchingen (Koordinaten 676.900/281.000, ca. OKT 415, Felsvermutlich – 65 m, J. MEISTER 1927). Die bisherigen Grundwasserfassungen waren aus ökonomischen Gründen jeweils nur wenige Meter unter den Grundwasserspiegel abgeteuft worden und hatten deshalb, mit Ausnahme eines randlichen, später wieder aufgegebenen Schachtes S Gächlingen, den Felsuntergrund nicht erreicht.

¹⁾ Erweitertes Referat, gehalten anlässlich der Sitzung der SGG in St. Gallen im Herbst 1969.

Im Rahmen einer neueren Untersuchung der Grundwasserverhältnisse des Klettgaus wurden in den Jahren 1966–1967 total 8 Rotarybohrungen von 624 m Totallänge abgeteuft. Sie waren zur Hauptsache auf Grund von geoelektrischen Untersuchungen angesetzt worden. Zusätzlich wurden chemische Wasseruntersuchungen, Durchlässigkeitsbestimmungen und regelmässige Grundwasserspiegelmessungen ausgeführt. Diese Untersuchung wurde durch Beiträge der Gemeinden, des Kantons und des Bundes finanziert. Initiant der Untersuchung war Herr Kantonsingenieur K. Suter, Schaffhausen; ihm und seinen Mitarbeitern sei auch hier gedankt.

2. Geophysikalische Untersuchungen

Die von der GEOTEST, Zollikofen bei Bern, in 2 Etappen ausgeführten geoelektrischen Untersuchungen ergaben, wie erwähnt, die Grundlage für die Platzierung der Bohrungen 1–7, wobei Bohrung 4 aus technischen Gründen ausserhalb des geotechnisch untersuchten Gebietes angesetzt werden musste. Mit Ausnahme dieser Bohrung stimmten alle übrigen relativ gut mit den Voraussagen der Geoelektrik überein. Auf Grund einer nach Beendigung der Bohrungen erfolgten nochmaligen Auswertung der Geoelektrik liegen im Klettgau vermutlich 2 grundwasserführende Schotterrinnen (siehe Fig. 1).

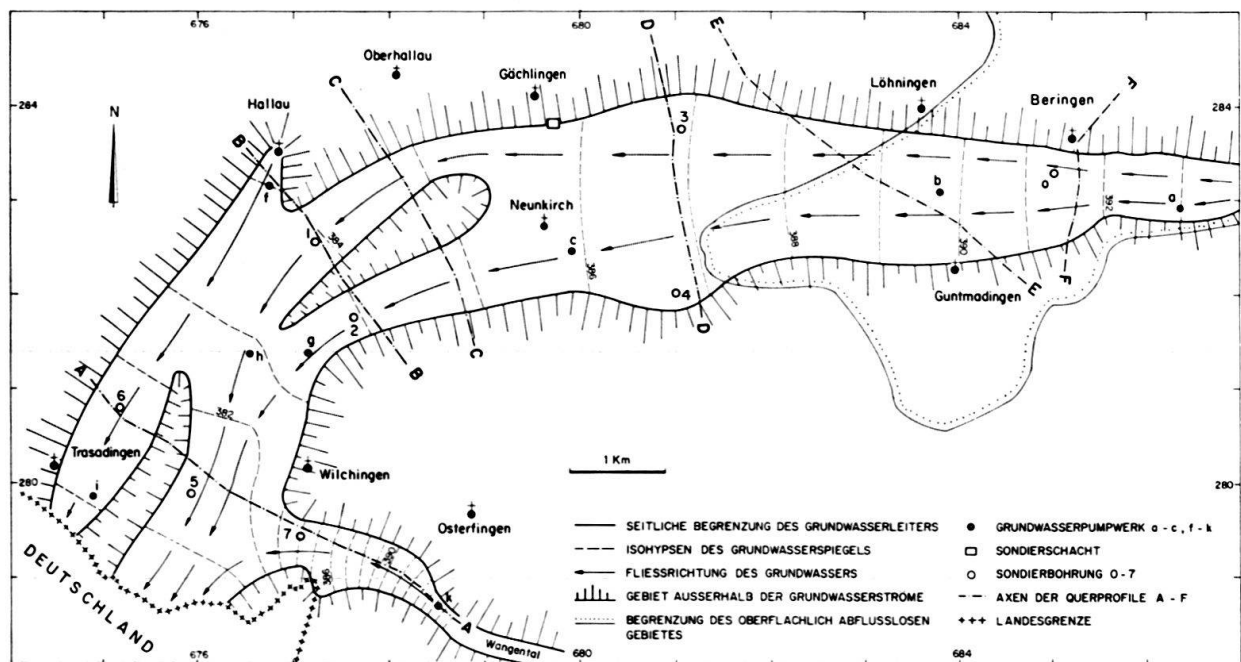


Fig. 1. Situation der Grundwasserströme im Klettgau und Wangental bei relativ hohem Stand im Sommer 1966.

Die eine Rinne verläuft von der Senke zwischen Beringen und Guntmadingen gegen W über Neunkirch–Station Hallau–Wilchingen und von dort gegen SW bis zur Landesgrenze. Die andere Rinne zieht wenig südlich Löhningen und Gächlingen gegen Bohrung 1 südöstlich Hallau. Diese letztere spaltet sich dann in 2 Äste auf, wovon der eine in südwestlicher Richtung gegen Bohrung 6 und die Landesgrenze bei

Trasadingen, der andere aber gegen SSW zieht und sich NW Wilchingen mit der von Neunkirch kommenden Rinne vereinigt. Im Wangental existieren gemäss den geoelektrischen Untersuchungen zwei sekundäre Rinnen, wovon die eine im Wangental von Osten nach Westen, die andere – im schweizerischen Gebiet nur noch schwach ausgeprägt – in südwestlicher Richtung gegen die Landesgrenze verläuft (siehe Fig. 1 und 2).

Es muss hier einschränkend betont werden, dass Beweise für die Existenz der die Rinnen trennenden Rücken durch Bohrungen aus finanziellen Gründen nicht erbracht werden konnten.

3. Bohrungen

Die Daten der bestehenden Grundwasserfassungen im Klettgau finden sich in Tabelle 1.

Tabelle 1. Daten der bestehenden Grundwasserfassungen in Klettgau. Lage siehe Fig. 1

Grundwasser- fassung	Gysel Beringen	Löh- ningen	Neun- kirch	Hero Hallau	Wilchin- gen	Hablützel U.-Neuhaus	Trasa- dingen
Nr.	a	b	c	f	g	h	i
Koord.	282,90	283,12	282,46	283,16	281,37	281,48	279,85
Koord.	676,38	673,78	669,89	666,74	667,13	666,55	664,91
Terrain	440,75	433,15	426,4 ^{a)}	419,62	411,08 ^{b)}	396,08	404,07 ^{c)}
Bohrlochende	– 59,10	– 65,72	– 55,65	– 52,50	– 39,35 ^{b)}	– 29,61	– 31,8 ^{c)}
Bau	1957	1933	1924/1950	1934	1946	1937/1950	1934
Konz. l/min	300	450	2000	2000	780	250	200

a) Nach HÜBSCHER 425,4; nach MEISTER 426,2.

b) Nach HÜBSCHER 417,0 bzw. – 49,05.

c) Nach HÜBSCHER OKT 407, – 34,0.

Ein Schacht, ausgeführt 1921/22 in Gächlingen (Koord. 629.72/283.70, OKT ca. 446) kam nach J. MEISTER (1927) nach 25 m Randenschutt in Schotter, die bei – 62,2 m dunklem Mergel (mittl. Keuper) auflagen, über welchem damals nur 0,2 m Grundwasser lag.

Die 1966–1967 abgeteuften Rotarybohrungen, von denen 7 im Klettgau und 1 im Wangental plaziert wurden, konnten mit Ausnahme von Bohrung 3 alle bis in den Fels vorgetrieben werden. Darüber lagen teils Kiese, teils Nagelfluh, lokal mit siltigen Einlagerungen. Die wichtigsten Daten dieser Bohrungen folgen in Tabelle 2.

Aus diesen Bohrungen ergibt sich eine ziemlich mächtige Lockergestein-Auffüllung mit durchlässigem kiesigem Material (von 46 bis über 100 m), eine relativ tiefe Lage des Grundwasserspiegels von 21–52 m ab OKT und eine bedeutende Mächtigkeit des Grundwasserleiters von 28–53 m.

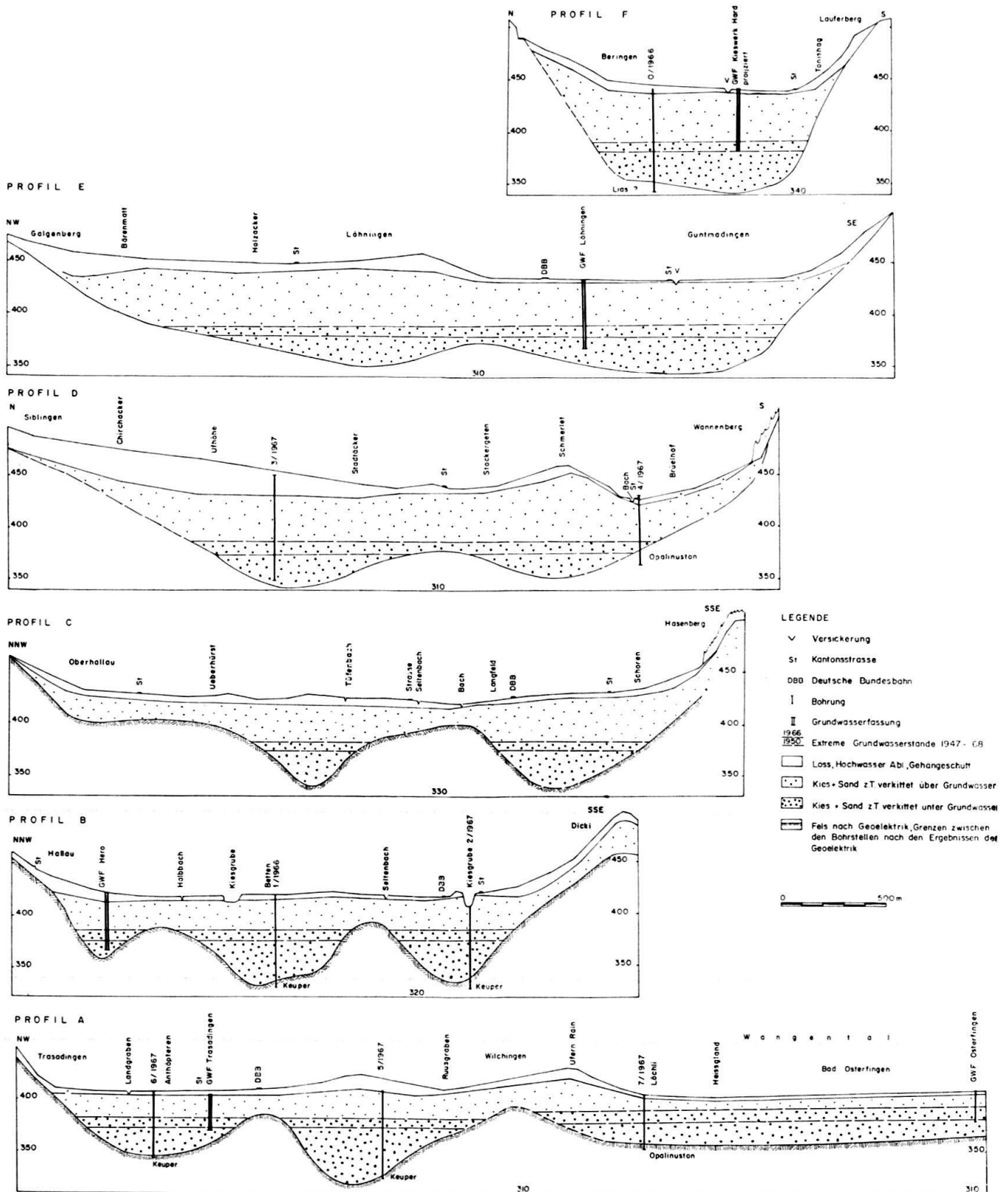


Fig. 2. Hydrologische Querprofile durch das Klettgau SH (Lage der Profile siehe Fig. 1).

Tabelle 2. Daten der Rotarybohrungen, 1966/67.

Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7
	Beringen	Hallau	Unter- neuhaus	Neun- kirch	Neun- kirch	Wil- chingen	Trasa- dringen	Wil- chingen
Lokalität	nörtl. DBB Betten		Kiesgr.	Widen	Brüelh.	Russgr.	Anthöpt	Löchli
Koord.	283,31	282,57	281,75	283,75	282,0	279,89	280,81	279,45
Koord.	685,02	667,24	667,62	671,06	671,00	665,93	665,18	667,06
Terrain	440,47	418,40	408,50	448,91	430,35	408,35	406,35	403,62
Tiefe in m	95,0	86,0	79,0	100,0	68,0	82,0	64,0	50,0
Fels in m	88,0	81,1	67,4	> 100	53,9	75,0	58,4	46,0
OK Fels	352,47	337,30	341,10	–	376,45	333,35	347,95	357,62
OK Piez.	440,25	418,09	408,69	449,51	430,34	407,94	406,34	403,59
GW Sp.								
11.12.1967	52,10	35,93	26,74	64,70	45,63	28,40	26,32	21,45
GW Höhe								
11.12.1967	388,15	382,16	381,95	384,81	384,71	379,54	380,02	382,14

4. Grundwasserlagen und -schwankungen

Aus den Messungen der Grundwasserspiegellagen in den bestehenden Fassungen und den Wasserstandsbeobachtungsrohren der neuen Bohrungen ergibt sich, dass die Ganglinien des Grundwasserspiegels im Klettgau mehr oder weniger parallel laufen, sich aber von denjenigen im Wangental (Osterfingen) etwas unterscheiden. Beide Grundwasservorkommen sind durch bemerkenswerte Schwankungen gekennzeichnet (Fig. 3); auf diese hat GUYAN (1938) hingewiesen, der auch die Ganglinien der Fassung HERO Hallau 1921–1937 dargestellt hat. Die Extremwerte für 7 Grundwasserfassungen in den Jahren 1947–1968 finden sich in Tabelle 3 zusammengestellt.

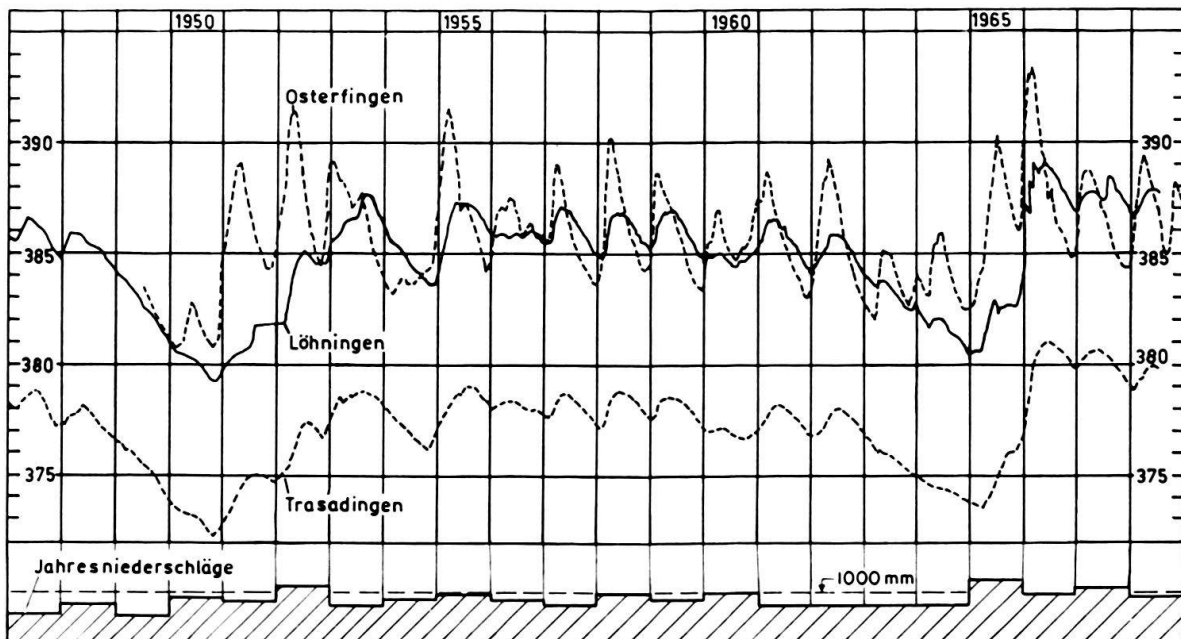


Fig.3. Grundwasserganglinien im Klettgau (Löhningen und Trasdadingen) und Wangental (Osterfingen) 1947–1968.

Tabelle 3. Grundwasserschwankungen 1947–1968

Ort	Nr.	Min. 1950	Max. 1966	in m
GWF Trasadingen	i	372,3	381,0	8,7
GWF Kieswerk Unterneuhaus	h	373,5	382,7	9,2
GWF Wilchingen	g	374,0	383,5	8,5
GWF HERO Hallau	f	375,2	383,8	8,6
GWF Neunkirch	e	376,5	385,9	9,4
GWF Löhningen	b	379,3	389,1	9,8
GWF Osterfingen	k	380,6	393,5	12,9

Die Schwankungen zwischen diesen beiden Extremwerten in den beobachteten 22 Jahren ergeben somit im Klettgau 8,5–9,8 m, im Wangental 12,9 m. Aus der Zusammenstellung geht ferner hervor, dass im Klettgau die Schwankungen talaufwärts zunehmen. Ursache dieser Schwankungen sind einerseits für die Maxima vorangehende längere Regenperioden oder Schneeschmelzen, für die Minima vorangehende niederschlagsarme Zeiten (Fig. 3).

5. Chemische Wasseruntersuchungen

Sowohl im Mai 1968 wie auch im Oktober 1968 wurden gleichzeitig aus allen Grundwasserfassungen und aus den Piezometern der Bohrungen Wasserproben entnommen und durch das Kantonale Chemische Laboratorium Schaffhausen untersucht.

Die untersuchten Wasserproben unterscheiden sich in ihrer chemischen Zusammensetzung in erster Linie durch einen unterschiedlichen Sulfatgehalt, der mit einer unterschiedlichen Leitfähigkeit einhergeht. Durch relativ hohen Sulfatgehalt zeichnen sich die Proben aus den Grundwasserfassungen der HERO in Hallau (545 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$) aus; etwas kleiner ist der Sulfatgehalt bei Bohrung 6 NE Trasadingen (125 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$) und bei der Grundwasserfassung von Trasadingen (71 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$). Bei allen übrigen Proben wurden dagegen niedrige Sulfatgehalte (unter 24 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$) festgestellt.

Den hohen Sulfatgehalten gehen auch hohe Leitfähigkeiten (710 bis 1315 mikro-S/cm), den tiefen Sulfatgehalten entsprechend tiefe Leitfähigkeiten (489–635 mikro-S/cm) parallel.

Die Wässer mit hohem Sulfatgehalt finden sich alle am nordwestlichen Talrand des Klettgaus. Sie hängen offensichtlich mit Auslaugungen aus dem Gipskeuper, eventuell auch aus dem mittleren Muschelkalk zusammen.

Die übrigen Analysenkomponenten geben zu keinen besonderen Bemerkungen Anlass. In Tabelle 4 sind die Resultate der beiden erwähnten Typen dargestellt.

6. Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und Ergiebigkeit bei den Bohrstellen

Problemstellung und Definition der wichtigsten Begriffe

Für die Beurteilung der Nutzbarkeit des in einer Bohrung angetroffenen Grundwassers sind einerseits der mittlere Durchlässigkeitskoeffizient k_m in m/sec und andererseits die Mächtigkeit H in m der grundwasserführenden, d.h. produktiven Bodenschicht von Bedeutung.

Tabelle 4. Analysen des Klettgaugrundwassers. Entnahme 20. 5. 1968

Herkunft		GW Fassung Löhningen SH	GW Fassung HERO Hallau SH
Temperatur	°C	10,4	12,5
pH-Wert		7,2	7,0
elektr. Leitfähigkeit	mikro-S/cm	504	1315
Gesamthärte	frz. H°	29,5	89,5
Karbonathärte	frz. H°	25,8	29,0
permanente Härte	frz. H°	3,7	60,5
Calciumhärte	frz. H°	25,0	71,0
Magnesiumhärte	frz. H°	4,5	18,5
freie Kohlensäure	mg CO ₂ /l	14,7	36,1
Sauerstoffgehalt	mg O ₂ /l	10,1	8,7
O ₂ -Sättigungsindex	%	99	89
Eisen	mg Fe/l	0,04	0,01
Mangan	mg Mn/l	neg.	neg.
Sulfat	mg SO ₄ /l	12	545
Chloride	mg Cl/l	10	10
Nitrit	mg N/l	0,02	neg.
Nitrat	mg N/l	5,0	6,3
Ammonium	mg N/l	neg.	neg.
Oxydierbarkeit	mg KMnO ₄ /l	1,5	1,3
Phosphat	mg P/l	neg.	neg.

Die Faktoren k_m und H geben Auskunft darüber, welche Wassermenge Q unter bestimmten Pumpbedingungen aus einem Bohrloch oder einem Filterbrunnen kurzfristig gefördert werden kann. Eine charakteristische Verhältniszahl für die quantitativen Verhältnisse ist das Produkt $k_m \cdot H$, die sogenannte Transmissibilität T . Unter bestimmten Untersuchungsbedingungen (gleichartige Versuchsbrunnen) entspricht die Transmissibilität näherungsweise dem aus Pumpversuchen gewonnenen Wert $Q/\Delta H$, der sog. spezifischen Ergiebigkeit. Die Ergiebigkeit, bzw. die maximale Entnahmemenge eines bei einer Bohrstelle zu errichtenden vertikalen Filterbrunnens mit einem bestimmten Bohrdurchmesser D kann aus den Pumpversuchsergebnissen durch Rechnung approximativ ermittelt werden.

Für die Beurteilung des Problems, ob eine bestimmte Wassermenge Q nicht nur kurzfristig, sondern während langer Zeit bzw. dauernd gefördert werden kann, sind die «Umweltbedingungen» der Bohrung von entscheidender Bedeutung. Diese können einerseits durch den Zufluss zum Grundwasservorkommen, andererseits durch das zusammenhängende Gesamtvolumen des im Grundwasserleiter gespeicherten Wassers charakterisiert werden.

Aus diesen Ausführungen geht hervor, dass für die quantitative Beurteilung eines Grundwasservorkommens die erwähnten Faktoren möglichst genau studiert und abschliessend zusammenfassend gewürdigt werden müssen.

Bestimmung der punktförmigen k -Werte

Es wurde verlangt, dass während der Abteufung der Sondierbohrungen die lokalen Durchlässigkeitskoeffizienten des Grundwasserleiters, die sog. punktförmigen k -Werte, in verschiedenen Tiefen bestimmt werden sollten. Die zuverlässigste Methode für die Bestimmung der punktförmigen k -Werte ist diejenige mittels Kleinpumpversuchen aus der Sohle des Bohrrohrs. Leider war es nicht möglich, bei den im Klettgau herrschenden sehr tief liegenden Wasserspiegeln diese Bestimmungen mit der oben erwähnten Methode durchzuführen. Sie wurden statt dessen mit Einspülungsversuchen, d. h. mit der Einregulierung der in das Bohrloch eingespülten Wassermenge bis zur Erreichung eines Beharrungszustandes des Wasserspiegels ab OK Rohr durchgeführt.

Die Bestimmungen bei den Bohrungen 2–7 führten auch mit dieser Methode zu interessanten, grundsätzlich brauchbaren Ergebnissen. Diese bestätigen in Form von Verhältniszahlen den geologischen Befund, nämlich den Aufbau des Grundwasserleiters aus einer Wechsellagerung von gut und mittelmässig bis schlecht durchlässigen Schichten. Bei der rechnermässigen Auswertung der Versuchsergebnisse mit Hilfe der einschlägigen Formeln hat es sich indessen gezeigt, dass die resultierenden punktförmigen k -Werte offensichtlich zu klein sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Berechnungsformeln für Pumpversuche mit bescheidenen ΔH konzipiert sind; bei den Einspülversuchen im Klettgau mussten jedoch relativ grosse ΔH in diese Formeln eingesetzt werden (ΔH = Abstand OK Rohr/Ruhewasserspiegel, dies entspricht bei den Bohrungen 2–7 Werten zwischen 21,5 und 64,1 m). Bemühungen, eine für Einspülversuche mit grossen ΔH modifizierte Berechnungsformel aufzustellen, sind bis heute leider ohne Erfolg geblieben. Da angenommen werden darf, dass die mit Hilfe der Formel für Pumpversuche mit kleinen ΔH berechneten punktförmigen k -Werte einerseits reelle Verhältniszahlen der unterschiedlichen Durchlässigkeit der einzelnen Schichten darstellen, andererseits jedoch wegen der nicht auf die speziellen Untersuchungsbedingungen angepassten Berechnungsformel einen bestimmten, systematischen Fehler enthalten, wurde eine empirische Umrechnung der punktförmigen k -Werte vorgenommen. Dabei wurde das Mittel der gewichteten Einzelwerte der punktförmigen k -Werte (k'_m) dem aus dem späteren Pumpversuch aus dem Piezometerrohr berechneten mittleren k -Wert k_m gegenübergestellt bzw. gleichgesetzt. Durch Multiplikation der Einzelwerte k' mit dem Korrekturfaktor k_m/k'_m resultieren in dieser Weise schliesslich die u. E. in der richtigen Grössenordnung liegenden punktförmigen k -Werte (siehe Fig. 4).

Bestimmung der mittleren k -Werte

Das Wasserwerk Winterthur hat 2mal systematische Kleinpumpversuche in den 4"-Piezometerrohren der Sondierbohrungen durchgeführt und auf Grund der Resultate der Kleinpumpversuche sowie der Daten der Bohrprofile die in Tabelle 5 aufgeführten Werte berechnet.

In Figur 4 sind die Ergebnisse der ausgeführten Durchlässigkeitsbestimmungen graphisch zusammengestellt. Daraus können folgende Schlüsse gezogen werden:

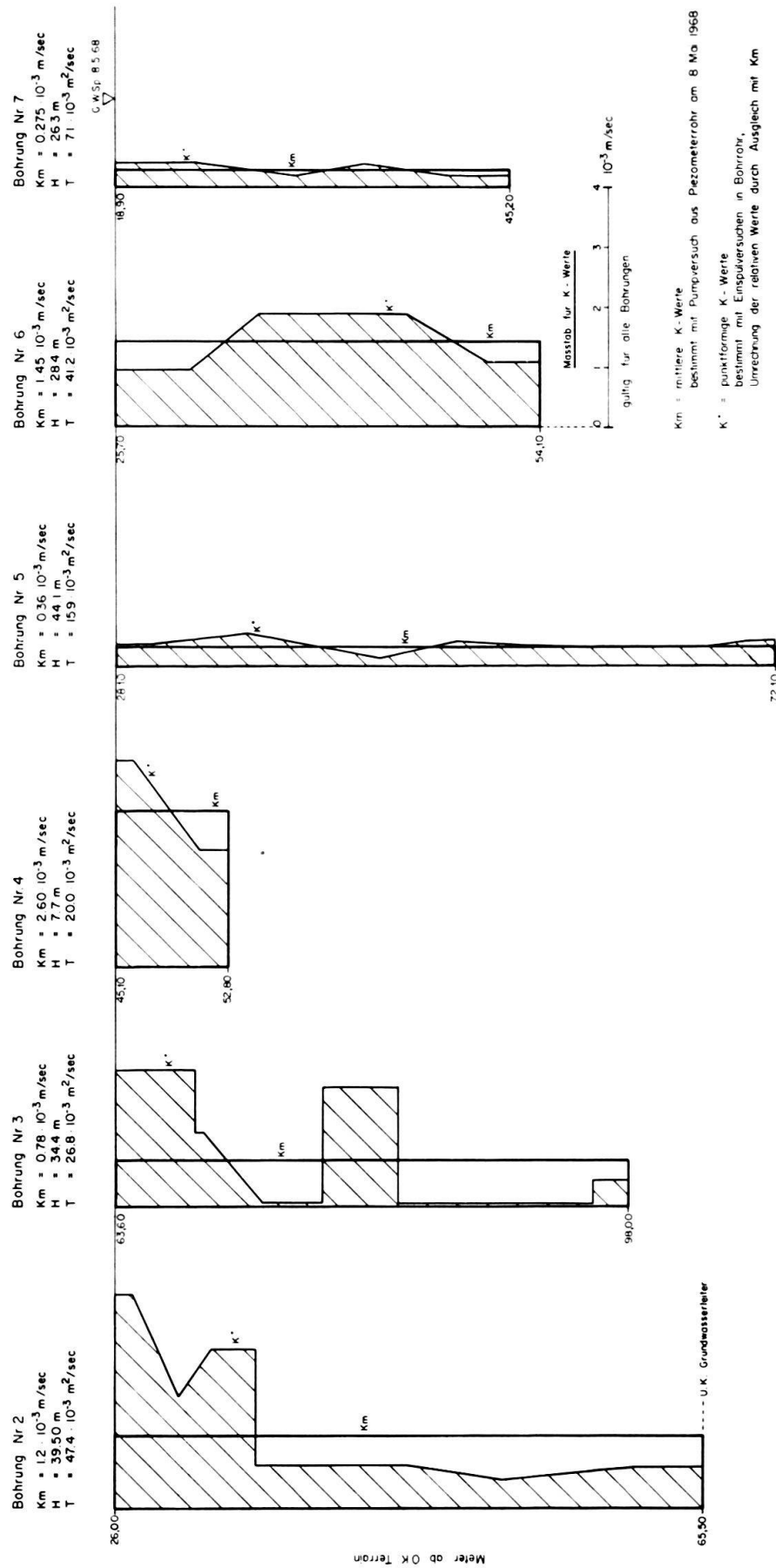


Fig. 4. Graphische Darstellung der Ergebnisse der Durchlässigkeitsuntersuchungen in 6 Sondierbohrungen im Klettgau SH.

Tabelle 5. Berechnungen an den Kleinpumpversuchen

Bohrung	k_m m/sec	H m	$T = k_m \cdot H$ m ² /sec	Q_s l/sec	Q_z l/sec
2	$1,2 \cdot 10^{-3}$	39,50	$47,4 \cdot 10^{-3}$	320	160
3	$7,8 \cdot 10^{-4}$	34,40	$26,8 \cdot 10^{-3}$	200	100
4	$2,6 \cdot 10^{-3}$	7,70	$20,0 \cdot 10^{-3}$	46	23
5	$3,6 \cdot 10^{-4}$	44,10	$15,9 \cdot 10^{-3}$	160	80
6	$1,45 \cdot 10^{-3}$	28,40	$41,2 \cdot 10^{-3}$	230	115
7	$2,75 \cdot 10^{-4}$	26,30	$7,1 \cdot 10^{-3}$	56	28

k_m = mittlerer Durchlässigkeitswert k_m

H = Wassersäule (Grundwassermächtigkeit)

$T = k_m \cdot H$ = Transmissibilität

Q_s = grösstzulässige Entnahmemenge nach SICHARDT für Vertikalbrunnen mit 1,5 m Bohrdurchmesser

$Q_z = Q_s/2$ = im praktischen Wasserwerksbetrieb zulässige Entnahmemenge für Vertikalbrunnen mit 1,5 m Bohrdurchmesser

- Die in den Sondierbohrungen angetroffenen mittleren k -Werte entsprechen ungefähr dem Durchschnitt der in den kiesig-sandigen Grundwasserleitern unseres Landes herrschenden Durchlässigkeiten.
- Bei den Bohrungen 2 und 3 zeigt sich eine deutliche Gliederung des wasserführenden Profils in einen oberen, gut durchlässigen, und einen unteren, schlecht durchlässigen Abschnitt. Die Bohrungen 5, 6 und 7 weisen dagegen gemäss den punktförmigen k -Werten einen bezüglich Durchlässigkeit nahezu homogenen Aufbau des Grundwasserleiters auf.
- Die in den Sondierbohrungen angetroffenen Mächtigkeiten H des Grundwassers dürfen, im Vergleich mit den durchschnittlichen Verhältnissen der Grundwasservorkommen unseres Landes, als gross bis sehr gross bezeichnet werden. Dazu ist allerdings zu bemerken, dass die Sondierbohrungen mit Absicht an denjenigen Stellen abgeteuft wurden, bei denen gemäss den geoelektrischen Messungen die grössten Grundwassermächtigkeiten erwartet werden konnten. Bei Bohrung 4, die ausserhalb der durch die Geoelektrik erfassten Gebiete liegt, betrug H nur 7,7 m; es muss angenommen werden, dass die in diesem Abschnitt vorhandene alte Talrinne nur im Gebiet nördlich der Bohrung 4 die von der Geophysik erwartete grosse Grundwassermächtigkeit aufweist.

7. Schätzung der zur Verfügung stehenden Grundwassermenge

Art des Vorgehens

Die im Klettgau zur Verfügung stehende Grundwassermenge kann mit Hilfe der hydrologischen Bilanzformel $\Delta R = N - V - A$ berechnet werden, wobei N = Niederschlag, V = Verdunstung, A = Abfluss und ΔR = Zu- oder Abnahme der Reserve, d.h. des in Form von Schnee und Eis sowie im Untergrund als Grundwasser gespeicherten Wassers bedeuten. Der Wert ΔR kann bei der Berechnung weggelassen werden, wenn:

- a) die Bilanz in einem Zeitpunkt abgeschlossen wird, in dem vom Vorwinter her kein Schnee mehr vorhanden ist,
- b) für N , V und A langfristige Mittelwerte, wenn möglich Mittelwerte einer grösseren Jahresreihe, verwendet werden.

Diese Bedingungen können im Klettgau erfüllt werden, so dass die Bilanzformel nun vereinfacht lautet: $A = N - V$. N , V und A werden in mm Wassersäule pro Jahr angegeben. Ein Wert von 1000 mm entspricht daher einem m³ Wasser pro m² Bodenfläche und Jahr. Der Abfluss A in mm entspricht der sogenannten spezifischen Abflussmenge eines hydrologisch umgrenzten Flusseinzugsgebietes, ausgedrückt in l/sec/km².

Für die Ermittlung der im Klettgau langfristig zur Verfügung stehenden Grundwassermenge muss der Abfluss A wie folgt aufgegliedert werden:

$$A = A_o + Au_1 + Au_2 ,$$

$$Au_1 = A - A_o - Au_2 .$$

Dabei bedeuten: A = Gesamtabfluss, A_o = oberirdischer Abfluss, Au_1 = unterirdischer Abfluss im Grundwasservorkommen an der Landesgrenze bei Trasadingen, Au_2 = unterirdischer Abfluss durch eventuelle Wasserverluste des Grundwasservorkommens infolge Versickerungen in die an die Schottermassen angrenzenden Festgesteine.

Durch Multiplikation von A bzw. Au_1 , ausgedrückt als spezifische Abflussmenge in l/sec.km², mit der Fläche F des hydrologischen Einzugsgebietes in km² erhält man schliesslich die totale Abflussmenge, bzw. die im Grundwasservorkommen zur Verfügung stehende Wassermenge in l/sec.

Ermittlung der spezifischen Abflussmenge

Die Niederschlagsmenge im Untersuchungsgebiet beträgt gemäss den Messungen der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt rund 850 mm pro Jahr. Die Verdunstung schätzen wir auf rund 500 mm pro Jahr. Für den Abfluss A verbleibt damit eine Wassersäule von rund 350 mm pro Jahr. Dies entspricht einer mittleren spezifischen Abflussmenge von 11,1 l/sec.km².

Aus dem hydrographischen Jahrbuch der Schweiz ergeben sich für die beiden nachfolgend erwähnten, bezüglich der Niederschlagsverhältnisse mit unserem Untersuchungsgebiet einigermaßen vergleichbaren Flusseinzugsgebiete folgende mittlere spezifische Abflussmengen:

Aach bis Salmsach, Kt. Thurgau = 16,5 l/sec.km² ,

Biber bis Ramsen, Kt. Schaffhausen = 7,35 l/sec.km² .

Das Mittel der beiden Vergleichsgebiete beträgt 11,9 l/sec.km² und stimmt gut mit dem angegebenen Betrag für das Klettgau von 11,1 l/sec.km² überein.

Ermittlung der Gesamtabflussmenge aus dem Klettgau

Das orographische, d.h. das durch die topographischen Wasserscheiden begrenzte Einzugsgebiet des Klettgaus beträgt, unter der Annahme der Untergrenze des Einzugsgebietes an der Landesgrenze bei Trasadingen, rund 71 km². Für unsere Betrachtung

tungen müssen wir indessen das hydrologische Einzugsgebiet, das 73 km² beträgt, verwenden, wenn wir im Wutach- und Schleithemertal die Keuper-Oberfläche benützen.

Durch Multiplikation von F mit der mittleren spezifischen Abflussmenge von 11,5 l/sec.km² ergibt sich die mittlere Gesamtabflussmenge A des schweizerischen Klettgaus zu 840 l/sec.

Schätzung der «Grundwassermenge»

Eine die Qualifikation «Berechnung» verdienende Ermittlung der «Grundwassermenge», d.h. des unterirdischen Abflusses des Grundwasservorkommens an der Landesgrenze bei Trasadingen nach der Formel $Au_1 = A - Ao - Au_2$ ist, mindestens im heutigen Zeitpunkt, nicht möglich.

Der im vorangehenden Abschnitt für den Gesamtabfluss A in Rechnung gestellte Wert darf mindestens grössenordnungsmässig als richtig betrachtet werden. Leider fehlen jedoch zurzeit stichhaltige Daten für eine Bezifferung der beiden Korrekturglieder Ao und Au_2 . Es können deshalb heute in dieser Hinsicht nur Schätzungen (betr. Ao) und allgemeine geologisch-hydrologische Betrachtungen (betr. Au_2) angestellt werden.

Für die systematische Messung der *Abflussmenge* des einzigen den Klettgau verlassenden Oberflächengewässers ist auf unseren Antrag hin eine Abflussmengen-Meßstation am Klingengraben, wenig unterhalb der Landesgrenze bei Erzingen erstellt worden. Die Messungen an dieser Station sind vor kurzer Zeit aufgenommen worden. Es stehen deshalb heute noch keine verwertbaren Resultate zur Verfügung. Für eine Berechnung des oberirdischen Abflusses Ao sind lückenlose Messungen über mindestens ein volles hydrologisches Jahr an der sorgfältig geeichten Station erforderlich. Bis zum Zeitpunkt, in dem diese Messreihe vorliegen wird, müssen wir uns somit bezüglich des Wertes Ao mit einer groben Schätzung begnügen. Auf Grund der Bewertung der geologisch-hydrologischen Verhältnisse im Klettgau schätzen wir den oberirdischen Abfluss Ao approximativ auf 50% des Gesamtabflusses A , d.h. auf 5,75 l/sec.km² bzw. 420 l/sec.

Theoretisch muss die Möglichkeit von *Wasserverlusten* auf beiden Talseiten, d.h. sowohl an der nordwestlichen als auch an der südöstlichen Felsflanke der Klettgau-Rinne in Erwägung gezogen werden. Gemäss den tektonischen Verhältnissen – Abfallen des Schichtpaketes der Festgesteine von NW nach SE – erscheinen Versickerungen Richtung SE grundsätzlich eher denkbar als Richtung NW. Gegen das Auftreten von Versickerungen in nordwestlicher Richtung, d.h. gegen das Wutachtal, spricht neben dem Gefälle der Festgesteinsschichten auch die lithologische Zusammensetzung der Felsschichten im Rücken zwischen Klettgau und Wutachtal, nämlich die starke Beteiligung schlecht bis undurchlässiger Gesteine, vor allem des Keupers und des Lias. Grundsätzlich günstiger liegen die geologischen Verhältnisse bezüglich der Möglichkeit von Versickerungen Richtung SE, gegen das Gebiet des Rheins etwa im Abschnitt zwischen Rheinfall und Rafzerfeld. Eine Abströmung von Grundwasser aus dem Klettgau gegen SE könnte theoretisch in Schichtfugen, Klüften, Spalten und Lösungshohlräumen stattfinden. Dabei muss man sich jedoch bewusst sein, dass die einigermaßen durchlässigen Schichten der Juraformation gegen SE mehr und mehr

von praktisch undurchlässigen Molassegesteinen überdeckt werden. Die günstigsten geologischen Voraussetzungen für eine Durchsickerung des Festgesteins bestehen zwischen dem oberen Klettgau (Beringen–Neunkirch) und dem Rhein im Abschnitt Rheinfall–Rheinau, weil der theoretische Sickerweg auf dieser Strecke ausschliesslich in klüftigen Malmkalken liegt. Bei der Beurteilung der Möglichkeiten von Durchsickerungen der Festgesteine vom Klettgau Richtung SE ist zu bedenken, dass der Gesteinssockel in den topographisch tiefsten Lagen sowohl entlang des Rheins zwischen Rheinfall und Ellikon als auch im Rafzerfeld von grundwasserführenden Schottern überlagert wird. Dieser Umstand verunmöglicht die Feststellung von Grundwasseraustritten, welche ihr Wasser aus dem Klettgau beziehen könnten, gerade in den für die Beurteilung wichtigsten Zonen. Die nicht von Schottern bedeckten Partien der Felsflanken des Rheintals, in denen grössere Grundwasseraustritte leicht von Auge festgestellt werden könnten, liegen andererseits im ganzen Abschnitt Rheinfallbecken–Rafzerfeld so hoch, dass dort ein Austritt von Sickerwasser aus dem Grundwasservorkommen Klettgau aus hydraulischen Gründen unmöglich ist.

Tabelle 6 orientiert schliesslich noch über die Höhenlage der Fluss- und Grundwasserspiegel im Klettgau sowie in den aus geologischen Erwägungen hinsichtlich Durchsickerungen des Festgesteins diskutierten Gebieten. Sie vermittelt ein Bild von den rein hydraulischen Möglichkeiten solcher Durchsickerungen.

Tabelle 6

Gebiet	Ort	Wasserspiegel m ü. M.
Klettgau	Löhningen	379 –384
	Trasadingen	372 –381
Rheintal	Rheinfallbecken	359
	Rheinau (Unterwasser)	346 –348
	Ellikon	345,5–347,5
	Rüdlingen	343,5–344,5
	Eglisau	342,5
Wutachtal	Wunderklingen	416

Wir stellen somit fest, dass die Frage bezüglich allfälliger Wasserverluste des Grundwasservorkommens im Klettgau durch Versickerung in die an den Schotter angrenzenden Festgesteine nicht mit Sicherheit beantwortet werden kann. Aus geologischen und hydraulischen Gründen wäre ein Verlust aus dem Oberklettgau Richtung Rheinfallbecken–Rheinau am ehesten möglich.

Wir neigen zurzeit zur Auffassung, dass gewisse Wasserverluste im erwähnten Abschnitt zwar denkbar sind, dass dieselben jedoch für die Wasserbilanz des Grundwasservorkommens kaum ins Gewicht fallen dürften. Wenn man diese Frage später allenfalls noch genauer abklären wollte, müsste u.E. vor allem im oberen Klettgau eine detaillierte Isohypsenkarte des Grundwasserspiegels mit Hilfe einer grösseren Anzahl von Piezometerrohren erstellt werden. Die Existenz wesentlicher Wasserverluste Richtung SE müsste sich durch ein Quergefälle des Grundwasserspiegels (Gefälle nach SE) manifestieren.

Auf Grund der obigen Betrachtungen schätzen wir heute die im Klettgau zur Verfügung stehende mittlere Grundwassermenge gemäss nachstehender Auflösung der Formel auf $Au_1 = A - A_o - Au_2 = 840 - 420 - 20 = 400 \text{ l/sec}$.

Der für Au_2 in die Formel eingesetzte Wert von 20 l/sec ist gemäss den obigen Erläuterungen nicht berechnet; er dient lediglich zur Erinnerung an die Möglichkeit von Versickerungen sowie zur Abrundung des Schlussresultats. Sobald die Berechnung der mittleren Abflussmenge des Klingengrabens vorliegt, ist die Bilanz durch Einsetzung des berechneten Wertes für A_o in die Formel zu modifizieren.

8. Gegenwärtige und zukünftige Nutzung des Grundwassers

Aus den Erhebungen des Strassen- und Wasserbau-Inspektorates des Kantons Schaffhausen ergibt sich folgendes:

a) Die totale Förderleistung der in den Grundwasserpumpwerken des Klettgaus installierten Pumpen (exkl. Reservepumpen) beträgt heute 7030 l/min bzw. 117 l/sec.

b) Die maximale Wasserentnahme pro Tag aus dem Grundwasservorkommen im Klettgau ergibt, unter Annahme eines 24stündigen Betriebes sämtlicher installierter Pumpen, 10 100 m³/Tag, bzw. 117 l/sec im Durchschnitt.

c) Die mittlere Wasserentnahme aus dem Grundwasservorkommen des Klettgaus während eines Jahres beträgt rund 3140 m³/Tag, bzw. 36 l/sec (1966 = grösste Entnahmemenge in der Periode 1960–1968).

d) Hinsichtlich der Wasserbilanz des Grundwasservorkommens kann approximativ angenommen werden, dass von der unter c) erwähnten mittleren Entnahmemenge die eine Hälfte wieder in den Untergrund versickert und die andere Hälfte oberirdisch abfließt.

9. Schlussfolgerungen

a) Zur Untersuchung der Grundwasserverhältnisse des Klettgaus wurden 1966/67 8 Bohrungen von 574 m Totallänge abgeteuft und Grundwasserbeobachtungsrohre eingesetzt, welche zeigten, dass im Klettgau der Fels in einer Tiefe von 50–100 m ab Terrainoberfläche liegt und dass darüber zum Teil durchlässige Kiese folgen.

b) Zu den seit vielen Jahren durchgeführten Wasserspiegelmessungen in den Grundwasserfassungen wurden ab 1967 auch die Grundwasserstände der neuen Piezometer in den Bohrungen 0–7 beobachtet. Dabei wurde festgestellt, dass die Schwankungen im Klettgau über Jahre zwischen 8,5 m und 9,8 m, im Wangental bis zu 12,9 m betragen.

c) Die geoelektrischen Untersuchungen ergaben, dass im Klettgau das Grundwasser einzelnen Rinnen folgt. Mit den Bohrungen konnte die Existenz dieser Rinnen im Prinzip bestätigt werden, wenn auch Sondierungen auf dem trennenden Buckel fehlen. Die zur Hauptsache mit Schottern aufgefüllten Rinnen sind bis zu 45 m mit Wasser erfüllt.

d) Die chemischen Analysen ergaben, dass am Nordwestrand des Klettgaus als Folge von Gipsauslaugungen aus dem anstehenden Gestein relativ hohe Sulfatgehalte

auftreten, während im übrigen Gebiet wesentlich kleinere Sulfatgehalte festgestellt wurden.

e) Die in den Bohrungen bestimmten mittleren k -Werte entsprechen ungefähr dem Durchschnitt der in den kiesig-sandigen Grundwasserleitern unseres Landes herrschenden Durchlässigkeiten.

f) Die in den Sondierbohrungen ermittelten, für die Beurteilung der Ergiebigkeit von Filterbrunnen massgebenden T -Werte (Transmissibilität) dürfen im Vergleich mit den durchschnittlichen Verhältnissen der Grundwasservorkommen unseres Landes als gut taxiert werden.

g) Die im Klettgau zur Verfügung stehende mittlere Grundwassermenge wird auf Grund der heutigen unvollständigen Daten (Messergebnisse über den oberirdischen Abfluss stehen noch aus) vorläufig auf rund 400 l/sec geschätzt. In den letzten Jahren wurden maximal 117 l/sec, normal im Mittel 36 l/sec genutzt.

h) Die Nutzung des Grundwasservorkommens im Klettgau kann noch beträchtlich gesteigert werden.

i) Das Grundwasser im Klettgau ist wegen der grossen Mächtigkeit und günstigen Zusammensetzung der Deckschichten gut geschützt gegen Verunreinigungen, u. a. auch gegen solche durch Kampfstoffe von ABC-Waffen. Diese letztere Eigenschaft ist von Bedeutung für die Wasserversorgung der Region im Katastrophenfall.

k) Die qualitativen, quantitativen und wirtschaftlichen Voraussetzungen für eine grossmaßstäbliche künstliche Anreicherung des Grundwasservorkommens sind als günstig zu bezeichnen.

LITERATUR

- GUYAN, W. U. (1938): *Mitteilung über den Grundwasserhaushalt im Kanton Schaffhausen*. Jahresber. der Kantonsschule Schaffhausen 1938 (Kuhn & Cie., Schaffhausen).
- HÜBSCHER, J. (1956, 1966): *Grundwasserkarte des Kantons Schaffhausen und der benachbarten Gebiete*. Karte 1:75000 und Beilage, herausgegeben vom Kt. Schaffhausen.
- (1951): *Über Quellen, Grundwasserläufe und Wasserversorgungen im Kanton Schaffhausen*. Neujahrsblatt der Naturforsch. Gesellsch., Schaffhausen 1951.
- MEISTER, J. (1927): *Die Wasserversorgung im Kanton Schaffhausen*. Jahresber. Kantonsschule 1926/27 (Kuhn & Cie., Schaffhausen).
- SCHALCH, F. (1922): *Geologische Spezialkarte von Baden 1:25000, Blatt 144, Stühlingen 1912, Blatt 145, Wiechs-Schaffhausen 1916, Blatt 157, Griessen 1922, Blatt 158, Jestetten-Schaffhausen*, mit Erläuterungen.
- UTTINGER, U. (1965): *Klimatologie der Schweiz, Niederschlag, 1.–3. Teil 1965, 4. Teil 1966*. Herausg. von der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt, Zürich.

