Geologie der Thermalquelle von Vals (Graubünden)

Autor(en): **Nabholz, Walter K.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **78 (1985)**

Heft 2

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-165654

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Eclogae geol. Helv.	Vol. 78	Nr. 2	Seiten 235–248	Basel, August 1985

Geologie der Thermalquelle von Vals (Graubünden)

Von WALTER K. NABHOLZ[1])

Mit einem Anhang von HANS OESCHGER und ULRICH SCHOTTERER[2])

ZUSAMMENFASSUNG

In Ergänzung einer vor kurzem in dieser Zeitschrift erschienenen Publikation über hydrogeochemische Untersuchungen an der mineralisierten Thermalquelle von Vals (VUATAZ et al. 1983) werden Resultate beschrieben, die aus einer neuen Refraktionsseismikkampagne, aus neuen $\delta^{18}O$-Untersuchungen und aus der geologischen Feldaufnahme hervorgehen. Hinzu kommt das Profil der Neubohrung 1980, durch welche die Quellader des Thermalwassers angeschnitten wurde. Aus der Kombination dieser verschiedenen neuen Resultate mit den bisher bekannten Daten der Wasserchemie und -physik wird es möglich, ein konkretes, mit Profilschnitt versehenes Bild des unterirdischen Thermalwasserkreislaufs zu entwerfen (Fig. 7).

RÉSUMÉ

Pour compléter une publication sur les recherches hydrogéochimiques de la source thermale de Vals, parue récemment dans ce périodique (VUATAZ et al. 1983), l'auteur décrit des résultats livrés par une nouvelle campagne de sismique de réfraction, par de nouvelles analyses $\delta^{18}O$ et par ses levés géologiques du terrain. Combinant le profil du forage 1980 qui a coupé la veine d'eau thermominéralisée dans un banc de Trias avec tous les autres résultats nouveaux ou antérieurement connus (chimie et physique de l'eau, etc.) il était possible d'esquisser une coupe géologique concrète qui montre le circuit souterrain de l'eau (fig. 7).

Einleitung

In Vol. 76/2 (1983) dieser Zeitschrift haben VUATAZ et al. eingehend über ihre hydrogeochemischen Untersuchungen berichtet, die sie im Bereich der mineralisierten Thermalquelle von Vals vorgenommen haben. Als Grundlage ihrer instruktiven Studie dienten die chemischen und physikalischen Parameter (inkl. Isotopenmessungen), die an einem Oberflächengewässer (Leisalpbach), am kalten Grundwasser aus drei weniger als 19 m tiefen Bohrungen und am Thermalwasser aus drei mehr als 39 m tiefen Bohrungen in den Jahren 1977–1982 erhoben worden waren.

Aus der Sicht des Geologen und als Ergänzung zu der obengenannten hydrogeochemischen Publikation, die hier als bekannt vorausgesetzt wird, soll im folgenden über neueste Untersuchungsergebnisse berichtet werden, durch welche die rein geologischen Kenntnisse über die Mineraltherme von Vals verfeinert und erweitert worden sind.

[1]) Geologisches Institut der Universität, Baltzerstrasse 1, CH-3012 Bern.

[2]) Physikalisches Institut der Universität, Abteilung Low-level-counting und nukleare Geophysik, Sidlerstrasse 5, CH-3012 Bern.

Neubohrung 1980

Gegen Ende des Jahres 1980 wurde an der oberen Südwestecke des Kurhotels auf 1280 m Höhe eine Spülbohrung angesetzt, die während des Abteufens von Dr. H. Kapp (St. Gallen) geologisch betreut wurde. Sie lieferte höchstens 1–3 cm grosse Gesteinssplitter, die nach jedem Laufmeter entnommen wurden. Im Januar 1981 bat Dr. Kapp den Autor, der schon seit vielen Jahren mit der geologischen Aufnahme des Blattes Vals 1:25000 beschäftigt ist, ein Bohrprofil zu erstellen (vgl. Fig. 1). Diese Bohrung ist von Bedeutung, weil sie erstmals im Bereich des Kurhotels und des Abfüllwerkes den Felssokkel erreicht, darin gleichzeitig aber auch die Quellader des mineralisierten Thermalwassers angeschnitten hat. Letztere entspringt einem Triaszug, der in 85–95 m Tiefe aufgefah-

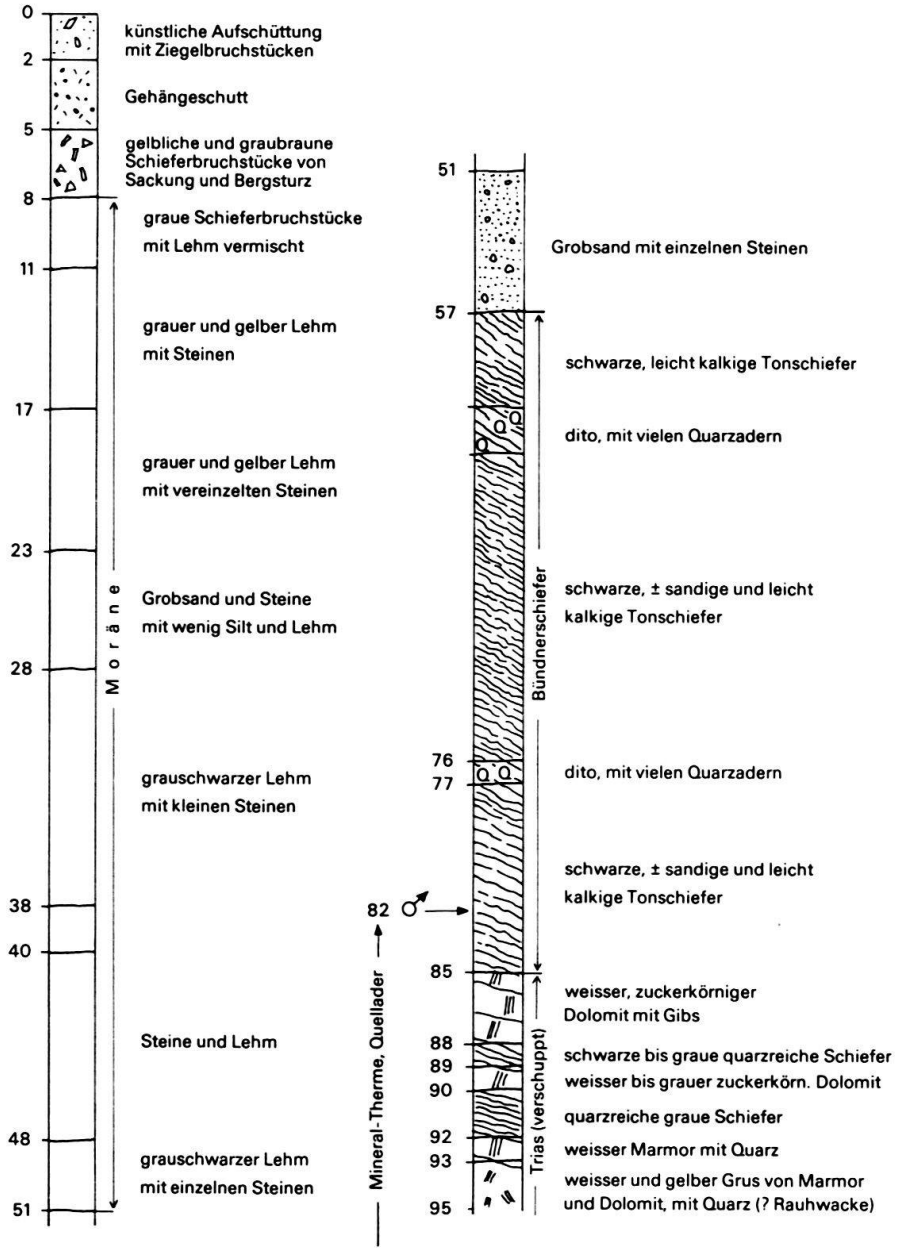

Fig. 1. Profil der Neubohrung 1980 (Spülbohrung) der mineralisierten Thermalquelle von Vals (733.410/164.910/1280 m), rekonstruiert aus den Gesteinssplittern, die nach jedem Meter entnommen wurden.

ren wurde. Mit einem artesischen Druck, der dieser Tiefe entspricht, mit einer Temperatur von 30 °C und mit einer Schüttung von etwa 600 l/min läuft seither das Mineralwasser (Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Wasser mit deutlich erhöhtem Magnesium-, Strontium- und Eisengehalt, Totalmineralisation rund 1925 mg/l) gleichmässig aus dem Bohrloch aus[3]). Wie Figur 1 zeigt, ist die Quellader in einem Triaszug eingebettet, eine Erscheinung, die man im Valser Tal und im Lugnez regional beobachten kann. Die eigentlichen Wasserleiter sind die zur Trias gehörigen Rauhwackenzüge, die mit Gips bzw. Anhydrit verknüpft sind. Die gesamte Mineralisation des Thermalwassers kann zwanglos mit Lösungserscheinungen an den verschiedenen Gesteinen der Trias erklärt werden (Gips, Rauhwacke, Kalk, Dolomit, quarzitische und tonige Schiefer). Der Triaszug, in welchem von 85–95 m Tiefe das untere Ende der Bohrung liegt, ist offensichtlich recht mächtig, doch kennen wir seine Gesamtmächtigkeit unter dem Kurhausareal nicht. Aus der geologischen Aufnahme der weiteren Umgebung lässt sich schliessen, dass er die Grenze zwischen den Oberen Valser Schuppen im Hangenden (vorwiegend Bündnerschiefer) und den Gneisen der Unteren Valser Schuppen im Liegenden bildet.

Refraktionsseismische Messungen

Im Auftrag der Valser St. Petersquelle führte die Firma Prakla-Seismos (Hannover) im Oktober 1980 refraktionsseismische Messungen durch, die in der Umgebung der Mineralquellen den Untergrund der westlichen Talflanke erkundeten. Nach den gemessenen Geschwindigkeiten liessen sich im Untergrund vier verschiedene Formationen ausscheiden:

— oberflächennahe Verwitterungschicht: 450–650 m/s
— Talschotter: 1600–1850 m/s
— wahrscheinlich vorwiegend Moräne: 2100–2600 m/s
— Felssockel (quarzitische Gneise und Glimmerschiefer, Bündnerschiefer): rund 4000 m/s

Die Prakla-Seismos konstruierte einen Isohypsenplan der Felssockeloberfläche, der in Figur 3 wiedergegeben ist. Interessant ist der Vergleich mit der nebenstehenden Situation (Fig. 2), auf der die 20-m-Isohypsen der Terrainoberfläche eingezeichnet sind. Im Bereich der ehemaligen Quellaustritte und der Vertikalbohrungen zeichnet sich im Felssockel, etwa 50 m unter der Terrainoberfläche, deutlich ein kleines Seitental ab, das von Südwesten her ins Haupttal einmündet. In die Lockergesteine, die dieses kleine Seitental füllen (vorwiegend Moräne), ist das mineralisierte Thermalwasser aufgestiegen und an verschiedenen, nahe beieinander liegenden Stellen ausgetreten (siehe die ehemaligen Quellaustritte auf Fig. 2). Nur die Neubohrung 1980 hat die Quellader im Triaszug erreicht, alle früheren Fassungen, wie auch die beim Kurhotel gelegene Obere und Untere Fassung, lagen im Lockermaterial über dem Felssockel.

Nach den Resultaten der Refraktionsseismik wurden die Profile in den Figuren 4 und 5 gezeichnet. Sie zeigen den Felssockel unter dem Kurhotelareal mit vielen Details, die man aus dem Höhenlinienplan der Figur 3 nicht herauslesen kann. Das quer zum

[3]) Seit einiger Zeit wird nur noch das aus der Neubohrung austretende Wasser genutzt. Die Analyse des Kantonalen Laboratoriums Graubünden vom 19. April 1982 ist auf jeder Flasche Valserwasser aufgeklebt.

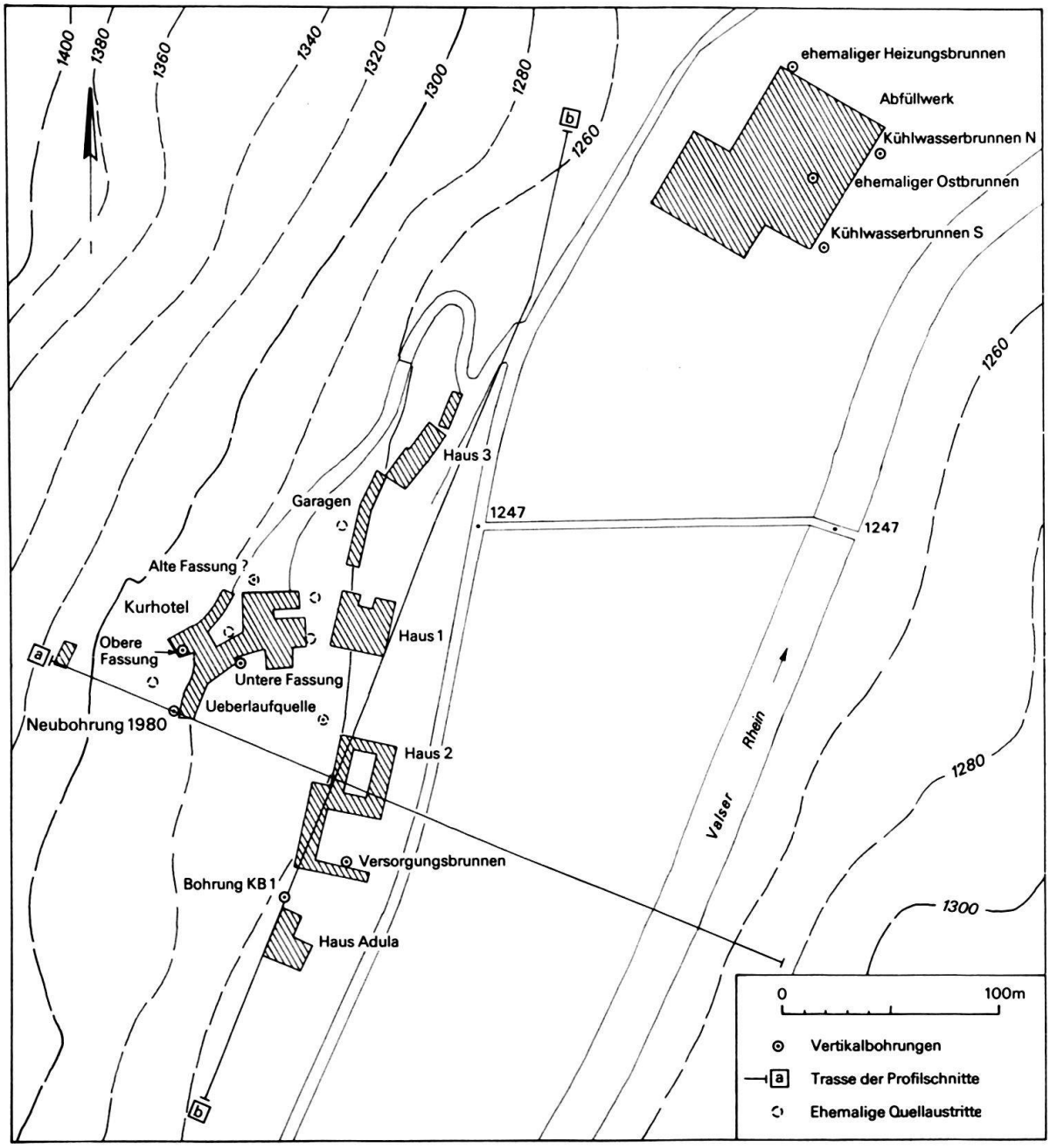

Fig. 2. Situationsplan der Valser St. Petersquelle und der zugehörigen Gebäude, mit Eintrag der Vertikalbohrungen, der ehemaligen Quellaustritte und den Trassen der Profilschnitte (*a* = Fig. 4, *b* = Fig. 5).

Haupttal gelegte Profil in Figur 4 lässt die ausserordentlich steile Bergflanke des kleinen Seitentals erkennen, in welchem die Neubohrung 1980 niedergebracht wurde. Parallel zur Achse des Haupttals verläuft der in Figur 5 wiedergegebene Schnitt. Links erkennt man den Trog, den die 1967/68 abgeteufte Bohrung KB 1 in trocken liegenden Sanden usw. erschlossen hat, unter Haus 1 zeichnet sich die Einmündung des kleinen Seitentals ins Haupttal ab. Im Felsuntergrund ist der Triaszug, der die Grenze bildet zwischen Unteren und Oberen Valser Schuppen und bergeinwärts vom Profilschnitt die Thermalwasserader beherbergt, mit seinem Einfallen von 27° gegen NNE eingetragen. Der letztgenannte

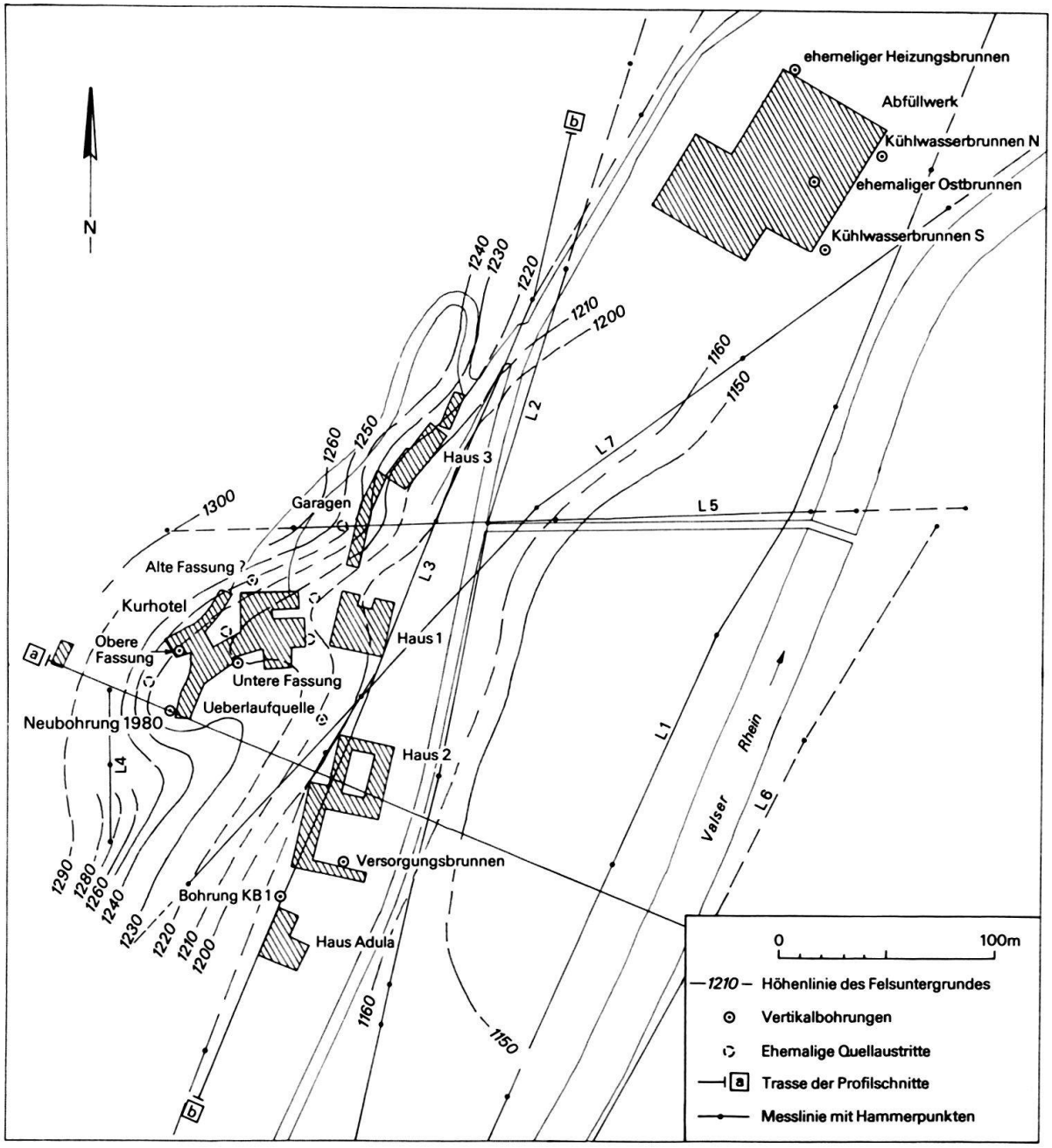

Fig. 3. Plan der Höhenlinien auf der Felsoberfläche im Bereich der Valser St. Petersquelle, nach Anlage 2 des Berichts Prakla-Seismos GmbH vom 27. April 1981 über refraktionsseismische Messungen in Vals/GR, erstattet an die Valser St. Petersquelle.

Wert geht aus der geologischen Feldaufnahme, über die weiter hinten zu berichten sein wird, hervor.

Unter dem Flusslauf des Valser Rheins erscheint der Felssockel mehr als 100 m unter der heutigen Terrainoberfläche und bildet hier eine vom ehemaligen Gletscher ausgehobelte übertiefte Wanne, die bis unter 1150 m hinunter reicht. Der heutige Valser Rhein fliesst auf dem Felssockel erst mehr als 2 km nördlich Vals, wo er auf dem Niveau 1160 m bei der Hohbrüggen in ein geschlossen im anstehenden Fels liegendes Talquerprofil einmündet.

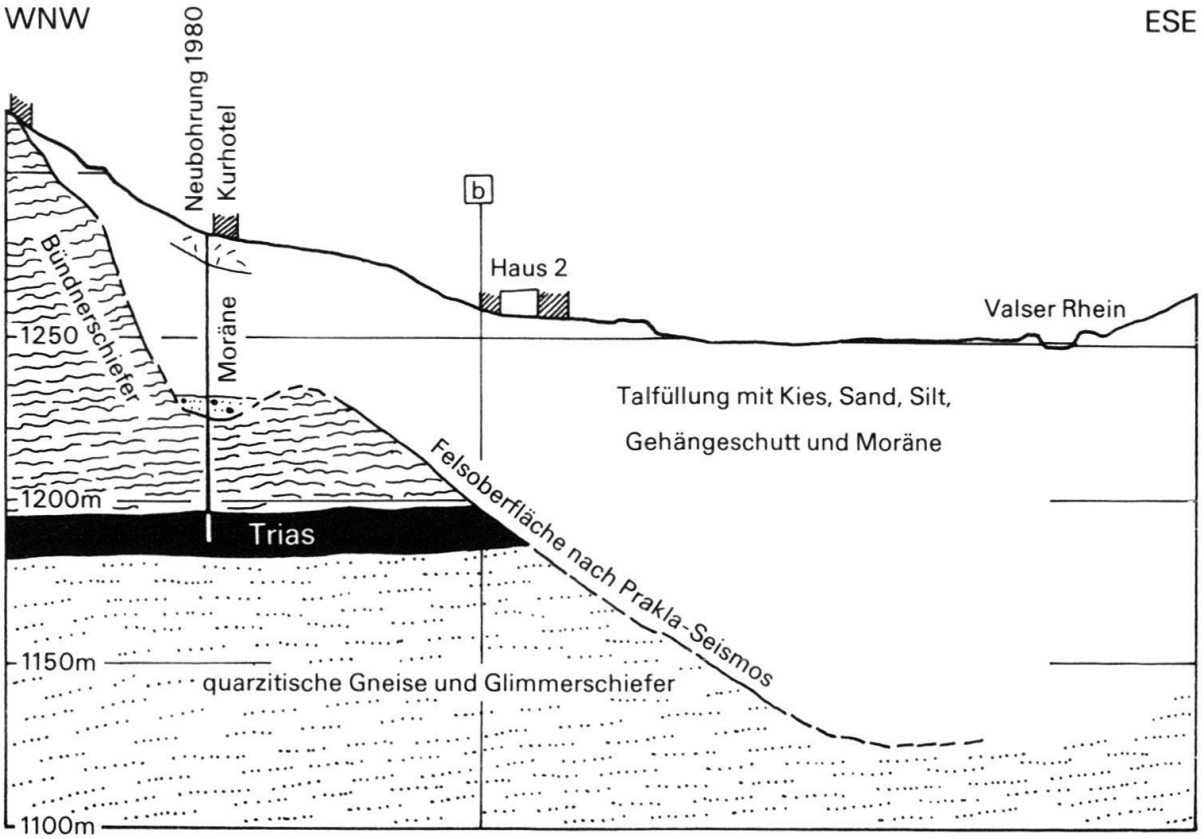

Fig. 4. Geologisches Profil quer zur Richtung des Valser Rheins durch die Neubohrung 1980 (= Trasse *a* auf Fig. 2 und 3). Nicht überhöht.

Sauerstoffisotope und Tritium

VUATAZ (1982) und VUATAZ et al. (1983) haben als erste an den Quellen von Vals δ^{18}O-Messungen ausführen lassen und publiziert. Diese Werte geben ein Indiz über die Höhe des Einzugsgebietes, aus welchem das Wasser stammt. Damit bilden sie für den Geologen, der die unterirdischen Wege des Quellstranges studiert, ein wichtiges Hilfsmittel. Nun haben VUATAZ et al. δ^{18}O-Werte erhalten und in ihre hydrogeochemischen Berechnungen eingesetzt, die auf eine Höhe des Einzugsgebietes von rund 1400 m schliessen lassen (VUATAZ et al. 1983, S. 440, 443 und 446). Sucht man ein Einzugsgebiet auf 1400 m Höhe, so lässt sich dies mit den geologischen Gegebenheiten in keine plausible Übereinstimmung bringen.

Um nun in der Frage, wie die δ^{18}O-Werte geologisch auszuwerten seien, mehr Gewissheit zu haben, war die «Abteilung Low-level-counting und nukleare Geophysik» (Prof. H. Oeschger) des Physikalischen Instituts der Universität Bern so freundlich, an Wasserproben aus der Neubohrung 1980 Isotopenbestimmungen vorzunehmen. Im Anhang wird hierüber berichtet. Für den Geologen wichtig sind die Rückschlüsse auf die Höhe des Einzugsgebietes. Geht man von der Annahme aus, das Thermalwasser stamme von der gleichen Höhe wie der ihm beigemischte Anteil von Frischwasser, so kommen OESCHGER & SCHOTTERER auf eine mittlere Höhe des Einzugsgebietes von knapp 1800 ± 200 m. Diese Höhe wurde in die Modellvorstellung (Fig. 7) eingebaut, doch sei schon hier darauf hingewiesen, dass diese Höhenangabe im Anhang näher diskutiert

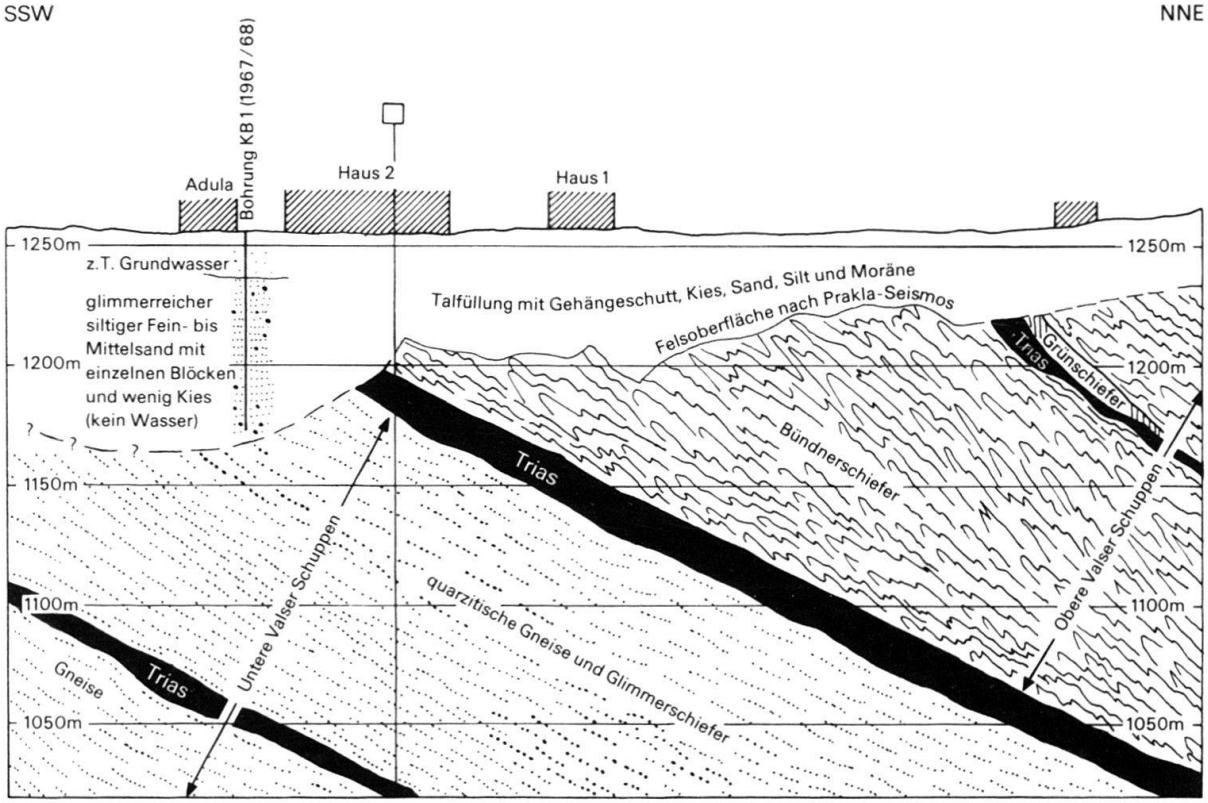

Fig. 5. Geologisches Profil parallel zur Richtung des Valser Rheins durch den Untergrund des Kurhotelareals (= Trasse *b* auf Fig. 2 und 3). Nicht überhöht.

wird. Nicht völlig auszuschliessen ist nämlich eine wesentlich höhere Lage des Einzugsgebietes; nicht nur im Anhang, sondern auch im Abschnitt «Modellvorstellungen zum Thermalwasserkreislauf» weiter hinten wird diese Möglichkeit erwähnt.

Die Tritiumwerte stimmen mit den in VUATAZ et al. (1983) angegebenen Messresultaten überein und passen auch gut zu ihrer Schlussfolgerung, dass das in der Neubohrung 1980 austretende Thermalwasser eine Mischung sei, die zu 69 ± 12 % aus mineralisiertem eigentlichem Thermalwasser besteht (VUATAZ et al. 1983, S. 449). Dieses ist wohl mehr als 30 Jahre alt. Der Rest der Mischung besteht aus kaltem oberflächennahem Grundwasser, das jung ist.

Geologie des Thermalwasserleiters

Das Profil der Neubohrung 1980 (Fig. 1) hat den Beweis erbracht, dass die Quellader des mineralisierten Thermalwassers von Vals aus dem Triaszug austritt, der von 85 m Tiefe abwärts erbohrt wurde. Die chemische Zusammensetzung des Wassers lässt klar erkennen, dass die Mineralisation in den Gesteinen des Triaszuges erfolgt, wobei beachtliche Gesteinsmengen herausgelöst werden, nämlich pro Jahr fast 250 m^3 Festgestein (gerechnet mit der eingangs angegebenen Totalmineralisation 1925 mg/l, einer Schüttung von 600 l/min und einem spezifischen Gewicht des Festgesteins von 2,5). Läuft die Thermalquelle seit gut 2000 Jahren – und dies darf man annehmen –, so hat sie bereits etwa 500000 m^3 Festgestein im Berginnern herausgelöst. Offensichtlich muss also der Triaszug mit der darin eingelagerten Rauhwacke, in welcher die Quellader fliesst, recht mächtig sein.

In der näheren Umgebung des Kurhotelareals ist dieser Triaszug wegen seiner Lage tief im Untergrund nirgends an der Terrainoberfläche aufgeschlossen, wohl aber gibt es hier zwischen dem Gehängeschutt, den Moränen und den Bergsturzablagerungen einige Aufschlüsse im anstehenden Fels der Gesteinsabfolgen, die das Hangende des Triaszuges bilden. Mit den gemessenen Schichteinfallen lässt sich die Fortsetzung des in der Neubohrung erschlossenen Triaszuges auf beide Talflanken des Valser Tals ohne Schwierigkeiten konstruieren.

Auf der westlichen Talflanke gelangt man in etwas mehr als 2 km Distanz südwestlich des Kurhotels – einer Strecke, die durchwegs von Moränenablagerungen, Gehängeschutt und Bergsturzablagerungen bedeckt ist – zu einem Triaszug, der in den beiden kleinen Tobeln 200 m südlich Stafelti auf 1870 m und 1900 m Höhe (731.400/163.900) aufgeschlossen ist. In seinem Liegenden sind die Gneise der Unteren Valser Schuppen, in seinem Hangenden die Bündnerschiefer der Oberen Valser Schuppen in durchlaufendem Profil anzuschlagen. Vom Tobel bei Stafelti zieht dieser Triaszug gegen WSW weiter hinauf, ist durch die Alpweiden verdeckt und befindet sich in Höhen über 2000 m.

Auf der östlichen Talflanke des Valser Tals ist die Fortsetzung des Triaszuges, der durch die Neubohrung 1980 angefahren worden ist, weit spektakulärer im Gelände aufgeschlossen. Aus dem Untergrund des Kurhausareals steigt der Triaszug auf dem tiefgründig von Bergsturztrümmern bedeckten Hang östlich Vals Platz gegen Süden allmählich in die Höhe (vgl. Fig. 6) und streicht in das ganz aus Triasgesteinen bestehende Felsband der Wissflue, die als bis 100 m hohe Felswand im Gelände hell hervortritt. Das untere Nordende der Wissflue liegt 800 m ESE der Kirche von Vals Platz auf 1550 m Höhe, ihr oberes Südende 1,4 km SSE auf 1900 m.

Wer sich über die Geologie der ganzen Schichtreihen im Hangenden und im Liegenden des Wissflue-Triaszuges ins Bild setzen möchte, sei auf das lange Profil 1:25000 in NABHOLZ (1945, Tf. V) verwiesen oder auf einen kleinen Ausschnitt hievon, der in

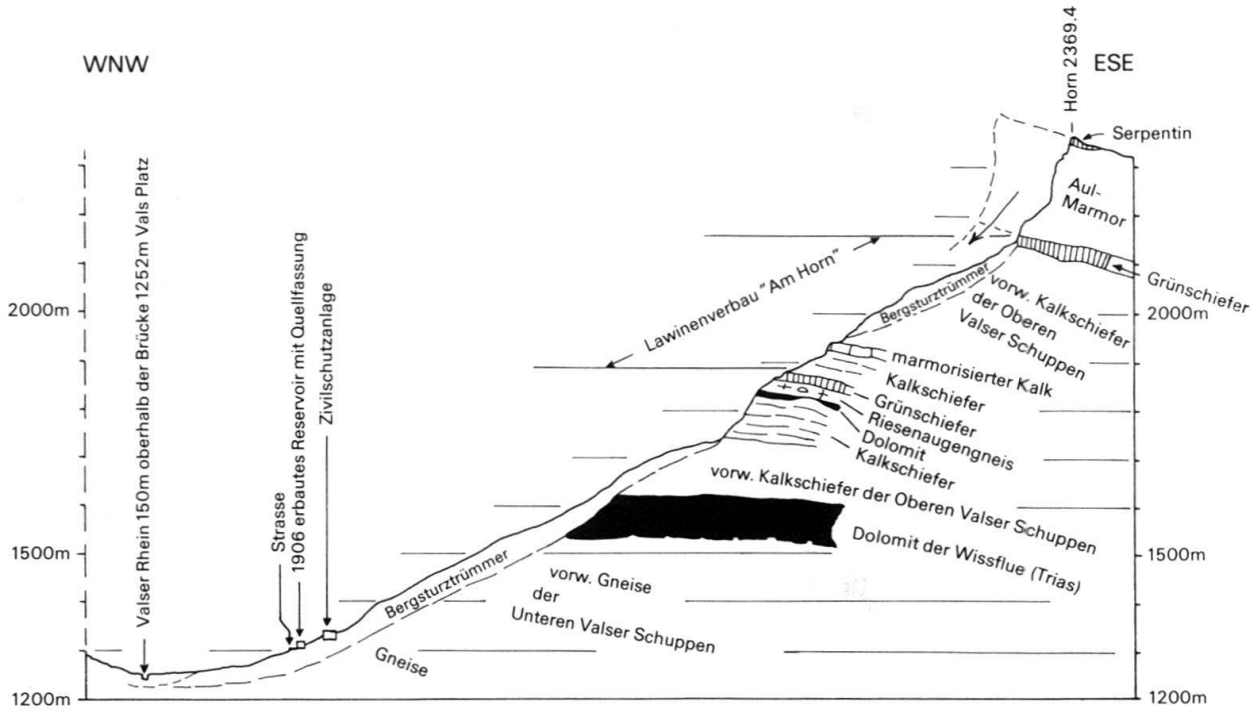

Fig. 6. Geologisches Profil durch die Talflanke von Vals Platz zum Horn hinauf. Nicht überhöht.

NABHOLZ (1967, S. 773) abgebildet ist. Vom oberen Südende der Wissflue lässt sich dieser Triaszug, stets im Hangenden der Gneise der Unteren Valser Schuppen und im Liegenden der Bündnerschiefer der Oberen Valser Schuppen, durch die östlichen Steilhänge des Peiler Tals in zahlreichen Aufschlüssen nach Süden verfolgen, und 500 m östlich der Alphütten von Walletsch entspringt ihm auf 2000 m Höhe eine kalte Quelle (735. 870/160.230). Ihre Mineralisierung entspricht einem typischen Triaswasser, ist aber wesentlich geringer als diejenige der Thermalquellen von Vals.

Nach diesem Exkurs über den Triaszug, der durch beide Flanken des Haupttals verfolgt werden kann, kommen wir zur Frage, von welcher Talseite die Quellader stammt. Dass es nur die westliche sein kann, wird dadurch belegt, dass die ehemaligen natürlichen Thermalwasseraustritte aus dem Lockermaterial im Kurhotelareal erfolgten, das 20–30 m höher im westlichen Talfuss liegt als der Talboden (vgl. Fig. 2), ferner durch die Beobachtung, dass aus diesem Triaszug auf der östlichen Talflanke nirgends Thermalwasser entspringt.

Temperatur des Mineralwassers

Der eigentliche Thermalwasseranteil des heute mit 30 °C aus der Neubohrung 1980 austretenden Mineralwassers muss aus einem tief im Berginnern gelegenen Reservoir stammen, wo die Gesteinstemperatur das Wasser auf 35–42 °C aufheizt. Die letztgenannte Zahl ist den Berechnungen in VUATAZ et al. (1983, S. 448) entnommen. Der Wärmegradient in der Region Vals ist nicht besonders hoch, wie aus den Beobachtungen im Wasserüberleitungsstollen Peil–Wanna (Safiental) entnommen werden kann (NABHOLZ 1959). Für das Hauptreservoir des eigentlichen Thermalwasseranteils muss darnach mit einer Überlagerung von mindestens 1000 m gerechnet werden.

Das kalte oberflächennahe Grundwasser, das dem aus der Neubohrung 1980 austretenden Thermalwasser beigemischt ist, stammt entweder aus dem Hang, der vom Kurhotelareal zur Leisalp hinaufführt, oder aus den Schottern und Sanden, die das benachbarte Haupttal von Vals füllen (vgl. Fig. 7 und 4).

Modellvorstellung zum Thermalwasserkreislauf

Auf der Grundlage der geologischen Feldaufnahme und in Berücksichtigung der in den voranstehenden Abschnitten geschilderten Untersuchungsresultate ist das Profil in Figur 7 konstruiert worden. Es zeigt eine plausible und alle Bedingungen kohärent erfüllende Modellvorstellung, wie man sich das Einzugsgebiet, das natürliche Hauptreservoir und die unterirdischen Wasserwege des mineralisierten Thermalwassers von Vals entsprechend den heutigen Kenntnissen vorstellen kann.

Was das *Einzugsgebiet* anbelangt, muss folgendes berücksichtigt werden: Falls die im Thermalwasser festgestellten Sauerstoffisotope (siehe Anhang) dem in der Schweiz beobachteten Trend für normale Quell- und Oberflächenwässer gehorchen und wenn sowohl der eigentliche Thermalwasseranteil wie auch der Frischwasseranteil aus einer ähnlichen Höhe stammen, so wäre es in einer Höhe von 1800 ± 200 m zu suchen, und zwar in einem Gebiet, das an den Profilschnitt der Figur 7 südlich anschliesst. Gegen Süden gewinnen nämlich die in diesem Profil dargestellten Strukturen und geologischen Formationen in gleichbleibender Form allmählich an Höhe. – Demgegenüber sollte ein anderer Gedanke nicht völlig ausser acht gelassen werden: Sollten die Sauerstoffisotope des Thermalwas-

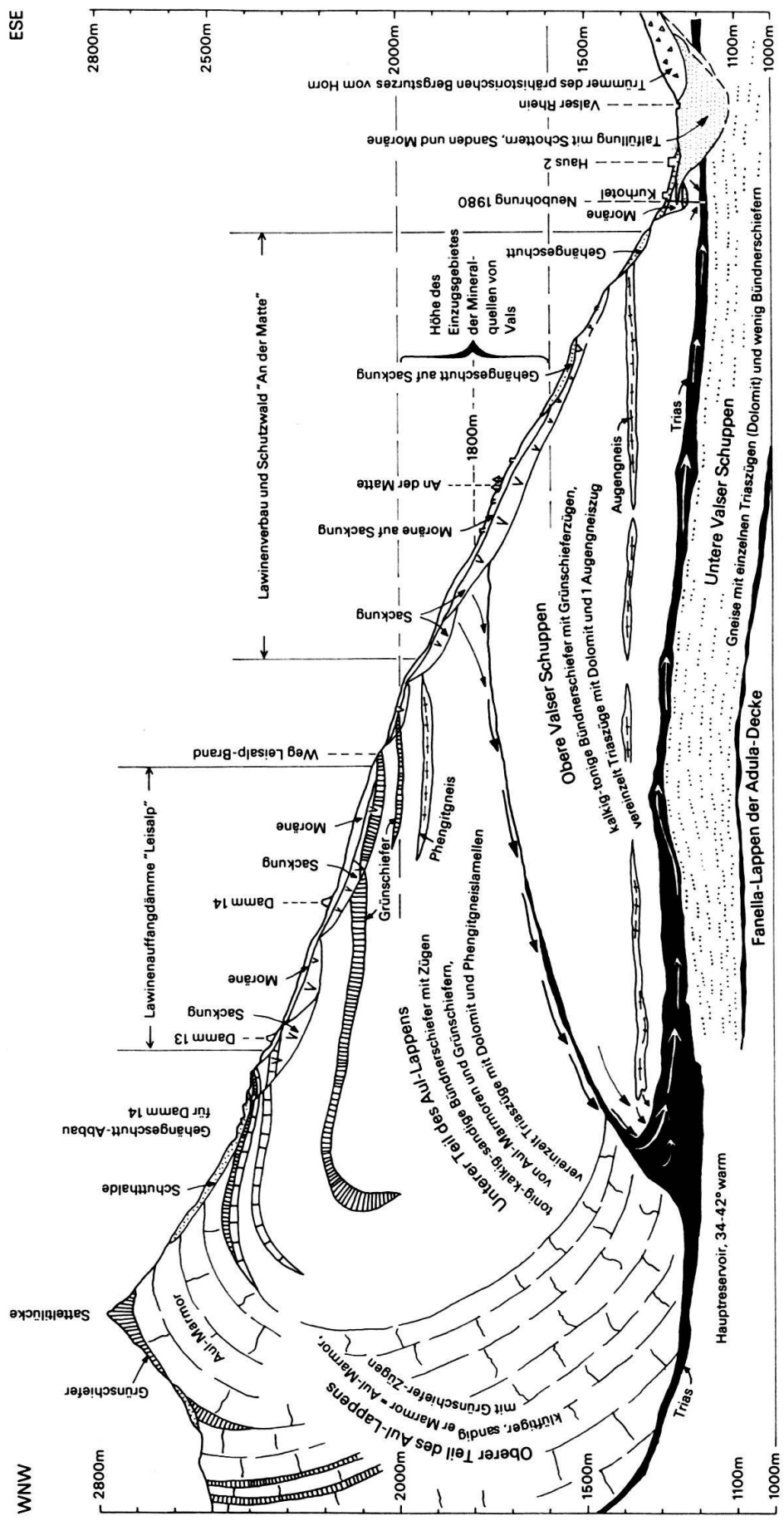

Fig. 7. Geologisches Profil Satteltilücke–Leisalp–Kurhotel Vals, mit dem unterirdischen Kreislauf des mineralisierten Thermalwassers, das in der Neubohrung 1980 unter artesischem Druck austritt. Nicht überhöht.

Wie im Text näher ausgeführt, gilt die auf der Figur angegebene Höhe des Einzugsgebietes der Mineralquellen von Vals (1800 ± 200 m) für den Fall, das Thermalwasser stamme von der gleichen Höhe wie der ihm beigemischte Anteil von Frischwasser. Nicht völlig auszuschliessen ist eine wesentlich höhere Lage des Einzugsgebietes, beispielsweise am linken oberen Profilende (Karmulde unter dem Piz-Aul-Gletscher, von wo die klüftigen Aul-Marmore direkt zum Hauptreservoir des Thermalwassers hinunterstreichen). Die zweitgenannte Möglichkeit ist auf der Figur nicht mit Pfeilen gekennzeichnet, um sie von der erstgenannten klar zu unterscheiden.

sers einem ganz anderen Trend folgen – beispielsweise weil es sich um Gletscherwasser handelt (vgl. Anhang) –, dann käme als Einzugsgebiet die Karmulde in Frage, in welcher das Profil in der Figur 7 links oben auf 2500 m endet. Diese Karmulde liegt nämlich wenig unterhalb des Piz-Aul-Gletschers, eingebettet in die klüftigen Aul-Marmore, die direkt zum Hauptreservoir des Thermalwassers hinunterstreichen (vgl. Fig. 7).

Als *Wasserleiter* wirken in der Region Vals ganz allgemein die Triaszüge mit ihren eingelagerten Rauwacken. Dies zeigt auch die in Figur 7 gewählte Darstellung. Das *Hauptreservoir* liegt bei etwas mehr als 1000 m Überdeckung tief im Berginnern und dürfte aus einer mächtigen Anhäufung von Rauhwacke bestehen, die mit Gips bzw. Anhydrit gefüllt ist. Diese Vorstellung stimmt mit der Chemie des mineralisierten Thermalwassers überein, und die Mächtigkeit der Triasanhäufung im Berginnern ist für die Valser Gegend nicht unrealistisch, wurde doch im Wasserüberleitungsstollen Peil–Wanna 5 km südöstlich Vals eine über 100 m mächtige Anhydritmasse durchörtert (NABHOLZ 1959, Tf. I).

Schliesslich sei noch der Anteil an *kaltem oberflächennahem Grundwasser* erwähnt, der sich wahrscheinlich in der Nähe der Neubohrung 1980 dem Thermalwasserstrang beimischt. Mit kleinen Pfeilen wird auf diesen Anteil in Figur 7 verwiesen.

Verdankungen

Der Autor dankt der Valser St. Petersquelle AG herzlich für die Erlaubnis zur Drucklegung dieser Arbeit und insbesondere auch dafür, dass sie alle Daten aus früheren Untersuchungen zur Verfügung gestellt hat. Dank gebührt ferner den Herren Prof. H. Oeschger und U. Schotterer vom Physikalischen Institut der Univserität Bern für die Isotopenuntersuchungen (^{18}O und Tritium) sowie für die Redaktion des Anhangs und schliesslich Herrn R. Trüssel vom Büro der Schweizerischen Geologischen Kommission für die Reinzeichnung der Textfiguren.

ANHANG

Die Bestimmung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes von Grundwasser aus seinem $^{18}O/^{16}O$-Verhältnis

Von H. OESCHGER und U. SCHOTTERER

Das stabile Isotop Sauerstoff-18 ist in das Wassermolekül eingebaut. $H_2{}^{18}O$ ist schwerer als $H_2{}^{16}O$; dementsprechend sind seine Variationen in den Niederschlägen auf den unterschiedlichen Dampfdruck zurückzuführen. Bei fortschreitender Niederschlagsbildung nimmt der zurückbleibende Wasserdampf ständig an ^{18}O ab, da das schwerere $H_2{}^{18}O$ bevorzugt kondensiert und ausregnet. Die Prozesse sind temperaturabhängig mit relativ niedrigeren $\delta^{18}O$-Werten (bezogen auf einen Meerwasserstandard) in Niederschlägen bei tiefen Temperaturen oder in höher gelegenen Gegenden und umgekehrt. Die Allgemeingültigkeit dieser Prozesse ist durch eine breitgestreute Literatur belegt (z. B. SIEGENTHALER & OESCHGER 1980). Aus dem bisher Gesagten ist ersichtlich, dass man sich die Höhenabhängigkeit von Sauerstoff-18 in den Niederschlägen zunutze machen kann, um die mittlere Einzugsgebietshöhe, beispielsweise von Thermalwasser, zu bestimmen, indem man sein $\delta^{18}O$ misst. Um die Genauigkeit der Methode nicht zu überschätzen, was

zu falschen Schlussfolgerungen führen kann, sollen folgende Voraussetzungen berücksichtigt werden:

— Die allgemeine und wenn möglich die regionale Höhenabhängigkeit des $\delta^{18}O$ in den Niederschlägen sollte über mehrere Jahre bekannt sein. Die jahreszeitlichen und klimatisch bedingten Variationen setzen lange Messreihen voraus, damit repräsentative Mittelwerte erhalten werden.
— Die Höhenabhängigkeit der Niederschläge sollte an Quellen und Flüssen mit bekanntem Einzugsgebiet geeicht werden. Der infiltrierende Niederschlag hat je nach Region und Höhenlage ein anderes jahreszeitliches Gewicht. Dies führt bei gleicher Höhe des Einzugsgebietes zu völlig unterschiedlichen Werten und anderen Höhenabhängigkeiten. Eine Quelle mit einem Sauerstoff-18-Wert von −14‰ hätte beispielsweise in manchen Gebieten des Wallis ein Einzugsgebiet auf 1300 m; im Mittelland, im Berner Oberland und offensichtlich auch in Teilen von Graubünden läge es aber um über 2000 m.
— Die untersuchten Wässer sollten mindestens eine unterirdische Verweilzeit von etwa zwei Jahren haben, damit die jahreszeitlichen Variationen aus den Niederschlägen weitgehend gedämpft sind. Die Probenentnahme sollte unter klar definierten Bedingungen erfolgen: Beispielsweise verfälschen unterschiedliche Pumpraten bei Mischwässern, Regen- oder Schmelzwasser bei schlechten Quellfassungen oder ganz allgemeine hydrologische Bedingungen (Hoch-/Niedrigwasser) Ergebnis und Interpretation beträchtlich.
— Der eventuelle Einfluss von Gletscherschmelzwasser sollte bekannt sein. Die Sauerstoff-18-Werte von altem Gletschereis und der oberflächlich abschmelzenden Schneedecke sind nicht vergleichbar.
— Besteht das Wasser aus zwei Komponenten verschiedener Herkunft, ist die angegebene Höhe eine Mischhöhe. Sind Anteile und das $\delta^{18}O$ der einen Komponente bekannt, lässt sich daraus das Einzugsgebiet der anderen Komponente berechnen. Eine zusätzliche Voraussetzung, die auch allgemein gilt, ist allerdings folgende:
Die mittlere Verweilzeit der Wässer im Untergrund sollte so weit vergleichbar sein, dass sie ähnlichen klimatischen Perioden zugeordnet werden können, damit die Temperaturabhängigkeit des $\delta^{18}O$ in den Niederschlägen nicht auf diese Weise zu falschen Schlüssen führt.

Nach diesen Punkten ist es klar, dass es sich bei der Sauerstoff-18-Höhenbeziehung nicht um einen mathematisch definierbaren Zusammenhang handelt. Je mehr Vergleichsdaten, vor allem regional, vorhanden sind, um so aussagekräftiger werden die Ergebnisse sein.

Die mittlere Höhe des Einzugsgebietes der Neubohrung Vals

Die Messungen brachten vergleichbare Isotopenwerte, und zwar:

	Sauerstoff-18 (‰ Smow)	Tritium (TU)
Probe vom 12. Februar 1982	−13,02 ± 0,04	33,0 ± 1,0
Probe vom 24. März 1982	−12,86 ± 0,04	34,1 ± 3,0

Das Exponentialmodell ergibt ein mittleres Wasseralter von mehr als 50 Jahren (Niederschlag in den Jahren vor der Probenentnahme hatte deutlich höhere Tritiumwerte). Wenn man ein Zweikomponentensystem annimmt (tritiumfrei = altes, mineralisiertes Thermalwasser und Tritiumkonzentration der letzten Jahre = junge Beimischung), so sind 40–50% des Wassers älter als 30 Jahre.

Die δ^{18}O-Höhenbeziehung unserer Eichkurve besteht aus Flüssen und Quellen des Berner Mittel- und Oberlandes. Ergänzt wurde sie durch drei Bäche aus Graubünden, und zwar Dischma, Flem und Leisalpbach, wobei letzterer als Eichpunkt im Untersuchungsgebiet liegt. Die daraus ermittelte mittlere Höhe des Einzugsgebietes der Neubohrung Vals liegt bei knapp 1800 m ü. M. mit einer Fehlergrenze von etwa ± 200 m.

Dies wäre aber im vorliegenden Fall eine Mischöhe. Dazu lassen sich folgende Überlegungen anstellen, um das mögliche Einzugsgebiet des Thermalwassers zu ermitteln:

1. Frischwasser und Thermalwasser kommen aus derselben Höhe, nämlich den erwähnten 1800 ± 200 m ü. M.
2. Das Frischwasser kommt aus etwa 2000 m mit einem δ^{18}O-Wert von −14‰ (Leisalpbach). Die Thermalwasserkomponente hat −11,5 bis −12‰, ihr Einzugsgebiet liegt zwischen 1100 und 1350 m.
3. Das Frischwasser kommt aus der Talfüllung und hat ein lokales Einzugsgebiet. Der theoretische δ^{18}O-Wert wäre ~ 11,5 bis −12‰. Das Einzugsgebiet des Thermalwassers läge in diesem Fall auf 2000–2500 m.

VUATAZ et al. (1983) haben Fall 2 aufgrund früherer Untersuchungen als den wahrscheinlichsten gehalten. Ein so tief gelegenes Einzugsgebiet ist aber für das Thermalwasser aus geologischen Überlegungen auszuschliessen.

Fall 3 wäre geologisch denkbar, widerspricht aber der von VUATAZ gefundenen Beziehung, wonach das Thermalwasser höhere δ^{18}O-Werte aufweist als das Frischwasser.

Da es in diesem Rahmen zu weit führt, die früher gewonnenen Ergebnisse im einzelnen zu diskutieren, soll nur versucht werden, die hier besprochenen Messungen an der Neubohrung Vals mit den geologischen Gegebenheiten in Einklang zu bringen. Zwei mögliche Erklärungen bieten sich an:

— Da für das Alter des Thermalwassers nur eine untere Grenze von 30 Jahren angegeben werden kann, ist es durchaus denkbar, dass es unter anderen klimatischen Bedingungen als heute in den Untergrund gelangte. Wie eingangs erwähnt, kann man in diesem Fall seinen δ^{18}O-Wert nicht mit der heute gewonnenen Höhenbeziehung vergleichen. Ein höher gelegenes Einzugsgebiet ist somit nicht auszuschliessen.

— Ein Teil des Thermalwassers wird von altem Gletscherschmelzwasser gespiesen (Piz-Aul-Gletscher). Dieses kann zum Teil wesentlich höhere δ^{18}O-Werte aufweisen, als es seinem Einzugsgebiet entsprechen würde. Systematische Untersuchungen dazu sind im Gang.

Selbstverständlich ist auch ein Zusammenspiel beider Möglichkeiten denkbar. Das mittlere Einzugsgebiet des Thermalwassers wäre in diesem Fall auf über 2000 m ü. M. zu suchen, was den geologischen Vorstellungen nicht widerspricht.

Die in Figur 7 eingetragene Höhe des Einzugsgebietes der Mineralquellen von Vals bezieht sich auf den Fall, dass Frischwasser und Thermalwasser aus derselben Höhe kommen.

LITERATURVERZEICHNIS

NABHOLZ, W. (1945): Geologie der Bündnerschiefergebirge zwischen Rheinwald, Valser- und Safiental. – Eclogae geol. Helv. *38*/1, 1–119.

— (1959): Geologie des Stollens vom Peilertal (südlich Vals) ins oberste Safiental. – Eclogae geol. Helv. *52*/2, 583–589.

NABHOLZ, W., & VAN DER PLAS, L. (1967): Exkursion Nr. 38 Chur–Reichenau–Ilanz–Vals–Zervreila. In: Geol. Führer der Schweiz (H. 8, S. 743–780). – Wepf, Basel.

SIEGENTHALER, U., & OESCHGER, H. (1980): Correlation of ^{18}O in precipitation with temperature and altitude. – Nature *285*, 314–317.

VUATAZ, F.-D. (1982): Hydrogéologie, Géochimie et Géothermie des eaux thermales de Suisse et des régions alpines limitrophes. – Matér. Géol. Suisse, Hydrol. *29*.

VUATAZ, F.-D., SCHNEIDER, J.-F., JAFFÉ, F.C., & MAZOR, E. (1983): Hydrogeochemistry and extrapolation of end members in mixed thermal water system, Vals, Switzerland. – Eclogae geol. Helv. *76*/2, 431–450.

Manuskript eingegangen am 16. Oktober 1984
Revision angenommen am 20. März 1985