

Programm
Geothermie

EF Nr. 197153

Geothermie-Sondierbohrung Schinznach Bad S3

Schlussbericht

ausgearbeitet durch

Markus O. Häring
Häring Geo-Project
Im untern Tollacher 2
CH- 8162 Steinmaur

Pilot- und Demonstrationsanlage finanziell gefördert vom
Bundesamt für Energiewirtschaft

Mai 1997

Zusammenfassung

Die Geothermie-Bohrung Schinznach Bad S3 wurde vom 8.1. 1996 bis zum 12.3. 1996 auf eine Tiefe von 891.2 m im Auftrag der Bad Schinznach AG gebohrt. Das Ziel war die Erschliessung von Thermalwasser zur Nutzung geothermischer Energie. Das Bundesamtes für Energiewirtschaft unterstützte die Bohrung als Pilot- und Demonstrationsanlage für erneuerbare Energien und gewährte eine Risikodeckung im Falle die geothermische Leistung der Fassung 755 kWth nicht erreichen sollte. Der Kanton Aargau gewährte eine finanzielle Unterstützung.

Ziel der Bohrung war die Erschliessung von Thermalwasser des Oberen Muschelkalkes in der Hauptüberschiebungszone des Faltenjura. Aus der Reflexionsseismik und Aufgrund des tektonischen Stils der Umgebung wurde eine Verschuppung des Oberen Muschelkalkes vermutet, so dass am gewählten Bohrstandort eine mehrfache Durchteufung des Aquifers möglich sein sollte.

Die Bohrung fand den Oberen Muschelkalk dreimal, wobei in der obersten Schuppe auf einer Tiefe von 362.5 - 379.3 m ein qualitativ gutes Wasser gefunden wurde, das mit einer Temperatur von 44.5°C aus 3 Klüften zufließt. Die geothermische Leistung am Brunnenkopf beträgt 1'046 kWth. Die unteren Stockwerke sind unergiebig, zudem weisen die Wässer für eine Direkteinleitung zu hohe Salinitätswerte auf.

Lage:	Koord. 654 769.60 / 256 187.46	
OKT:	344.59 m ü.M.	
Endtiefen:	891.20 m	
Wasserzuflüsse:	3 Klüfte im Hauptmuschelkalk des Oberen Muschelkalkes (A1)	(A1) zwischen 362.5 - 379.3 m
Wassertemperatur:	44.5 °C	
Nachhaltiger Volumenstrom:	8.3 l/s (500 l/min)	bei 15 m Absenkung
Maximaler Volumenstrom:	21 l/s	bei 72 m Absenkung
Wassertyp:	Calcium-Natrium-Sulfat-Chlorid-Wasser (2'154 mg gelöste feste Stoffe/l)	
Schwefelwasserstoff:	56 mg/l	
Thermische Leistung:	1'046 kW (bei Referenztemperatur 14°C)	

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG.....	1
1.1 Ziel und Zweck.....	1
1.2 Vorgeschichte	1
1.3 Bauherrschaft.....	2
1.4 Projektablauf.....	2
2 GEOLOGIE	3
2.1 Regionale Situation	3
2.2 Lokale Vorabklärungen	3
2.3 Lithostratigraphie.....	4
2.4 Struktur	5
2.5 Hydrogeologische / geothermische Situation.....	5
3 BOHRUNG	6
3.1 Lage	6
3.2 Bohrfortschritt	6
3.3 Probenahme.....	6
3.4 Aufzeichnungen.....	7
3.5 Verrohrung.....	9
3.6 Komplettierung	9
4 LOGGING.....	10
4.1 Messprogramm	10
4.2 Auswertung.....	10
5 ZUFLÜSSE	12
6 PUMPVERSUCHE	13
6.1 Kurzpumpversuche	13

6.2 Druckverhältnisse	14
6.3 Langzeitpumpversuch A1	14
7 ANALYTIK.....	16
7.1 Hydrochemie	16
7.2 Stabile Isotopen	17
7.3 Edelgase	17
8 GEOTHERMIE.....	18
8.1 Leistung.....	18
8.2 Nachhaltige Nutzung	18
9 NUTZUNG	19
9.1 Betrieb / Ausbau.....	19
9.2 Bewirtschaftung	19
9.3 Überwachung	19
10 VERDANKUNGEN	20
11 REFERENZVERZEICHNIS	21

Figuren

1. Regionale geologische Situation
2. Lage der Seismik Linien 89AA02, 89AA01 und 83NF15
3. Regionaler geologischer N-S Schnitt
4. Lokale Übersicht 1:5'000 mit Fassungsstandorten und Seismikspur
5. Geologische Interpretation der Seismik Linien 89AA02, 89AA01 und 83NF115
6. Geologische Interpretation für Bohrprognose
7. Bohrprognose
8. Geologischer N-S Schnitt
9. Neuinterpretation von Seismiklinie 89AA02 nach der Bohrung
10. Bohrfortschritt
11. Übersicht Bohrprofil
12. Bohrstandort und Bohrlochspur projiziert 1:1'000
13. Ablenkungsmessungen mit Horizontalprojektion
14. Ablenkung in Vertikalprojektion nach Azimut 180°
15. Flowmeter: Interpretation der Zuflussstrecken
16. Temperatur / Leitfähigkeitslog 320 - 520 m
17. Temperatur / Leitfähigkeitslog 700 - 900 m
18. Druckverhältnisse / Ruhewasserspiegel
19. Langzeitpumpversuch A1: Gesamtübersicht
20. Wiederanstiegskurven im Langzeitpumpversuch
21. Hydraulische Kapazität Aquifer A1
22. Räumliche Absenkung während des Langzeitpumpversuchs
23. Übersicht Analytikresultate (Analysen VSB, Dr. H. Senften)
24. Schöllerdiagramm der Muschelkalkwässer
25. Isotopen Diagramme
26. Erfolgs- / Misserfolgsdefinition

1 Einleitung

1.1 Ziel und Zweck

Die Bad Schinznach AG (BSAG) hat 1988 zum ersten Mal die Frage erörtert, in wie weit der Wärmebedarf ihres Betriebs mit geothermischer Energie gedeckt werden kann. Die Idee war eine lokale, umweltfreundliche Energie zu nutzen, um im Bereich des Erholungsgebietes des Bad Schinznach ein Beitrag zur Verminderung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe zu leisten.

Die Zielsetzung für die vorliegende Geothermiebohrung war eine thermische Leistung von mindestens 755 kWth zu erreichen. Dieses Ziel wurde vollumfänglich erreicht. Bis zu Realisierung der Bohrung war eine Reihe von Vorarbeiten notwendig, die im folgenden Kapitel summarisch erwähnt sind.

1.2 Vorgeschichte

Die weitere Umgebung des Unteren Aaretals ist charakterisiert durch eine „Wärmebeule“, d.h. dass dieses Gebiet einen Wärmefluss ($> 120 \text{ mW/m}^2$) aufweist, was rund dem doppelten des schweizerischen Durchschnitts ($\sim 65 \text{ mW/m}^2$) entspricht (siehe Figur 1). Diese Verhältnisse manifestieren sich in der Häufung von Thermalquellen wie diejenigen von Zurzach, Baden, Schinznach und Lostorf. Diese Beobachtung war das Ziel mehrerer wissenschaftlicher Untersuchungen, wovon hier nur das Forschungsprojekt des Nationalen Energie-Forschungs Fonds (NEFF) im Jahre 1980 erwähnt sei. Die Untersuchungen ermöglichten unter anderem die Sondierbohrung S2 auf dem Gelände des Bad Schinznach, die auf einer Tiefe von 72 Metern einen ergiebigen Zufluss von Thermalwasser im Oberen Muschelkalk erschloss. Das Bad bezieht seither das Thermalwasser aus dieser Fassung.

Zur geothermischen Nutzung dieses Vorkommens, hat H. Schmassmann 1989 im Auftrag der BSAG ein Erschliessungskonzept erarbeitet. Die Abklärung der geologischen Verhältnisse beinhaltete reflexions-seismische Untersuchungen der Firma CGG im Jahr 1990 (Figur 2). Die Daten interpretierte P. Diebold. Aufgrund dieser Daten wurde 1992 ein Vorprojekt für eine 1'500 Meter tiefe Bohrung ausgearbeitet, das dem Bundesamt für Energiewirtschaft mit einem Gesuch zur Risikodeckung und einen Förderbeitrag eingereicht wurde. Vorgesehen war eine 1500 Meter tiefe Bohrung, welche den Oberen Muschelkalk in verschuppter Lage mindestens zweimal durchfahren sollte und bis ins Permokarbon vorstossen sollte. Der dazu vorgesehene Standort befand sich rund 600 Meter südlich des Bades im Wald.

Eine finanzielle Unterstützung durch den Kanton Aargau, der verfassungsmässig dem Erhalt der Pflege der Thermalbäder verpflichtet ist, konnte damals nicht entsprochen werden, da das dazu notwendige Energiegesetz noch nicht rechtskräftig war.

Mit der Gültigkeit des neuen Energiegesetzes hat sich die BSAG 1994 für eine Unterstützung des Projekts erneut an den Kanton gewandt. Das Projekt wurde wohlwollend aufgenommen, doch wurde von Seiten der Fachleute des Umweltschutzes auf gewisse geologische Risiken aufmerksam gemacht. Insbesondere wiesen die Umweltfachleute des Kantons darauf hin, dass die Förderung stark mineralisierten Wassers zusätzlich eine Verpressbohrung notwendig machen würde und empfahlen nur die Aquifere des mesozoischen Schichtstapels zu prüfen. Dieser Einwand hat die BSAG erwogen, das Projekt noch einmal zu überdenken, da zwischenzeitlich auch bekannt wurde, dass mit einer finanziellen Unterstützung von Seiten des NEFF nicht mehr zu rechnen war.

Die Redimensionierung des Projekts hatte zur Aufgabe

- a) das thermische Potentials des Projekts zu erhalten
- b) die Gefahr einer zu hohen, unbrauchbaren Mineralisation aus dem Permokarbon zu vermeiden,
- c) und das Kosten / Nutzen Verhältnis wesentlich zu verbessern.

Die wesentlichsten Änderungen des überarbeiteten Projekts waren schliesslich:

- a) Verzicht auf die Erbohrung des Permokarbons
- b) Standort 200 Meter näher beim Bad.

Damit verringerte sich die geplante Endtiefen auf 850 Meter. Für dieses Projekt wurde schliesslich vom BEW eine Risikodeckung und ein Förderbeitrag, und vom Kanton Aargau eine finanzielle Unterstützung gewährt.

1.3 Bauherrschaft

Bauherr ist die Bad Schinznach AG. Das Bundesamt für Energiewirtschaft gewährt einen Förderbeitrag von 25 % an die anspruchsberechtigten Bohr- und Testkosten. Zusätzlich gewährt der Bund für den Fall eines Misserfolges eine Risikogarantie in der Höhe von 60% der anrechenbaren Bohr- und Test-Restkosten. Als Experte des Bundes wurde Herr Professor Lukas Hauber eingesetzt.

Der Kanton Aargau leistet einen finanziellen Beitrag abhängig vom Erfolg und den nachfolgenden Realisierungskosten.

1.4 Projektablauf

- 11. Juli 95 • Ausschreibung der Bohrarbeiten
- 21. Sept. 95 • Vergabe der Bohrarbeiten an die Foralith AG
- 11. Aug. 95 • Vertrag zu Förderbeitrag des Kanton Aargau.
- 24. Okt. 95 • Bewilligung für Geothermie-Sondierbohrung des Baudepartementes des Kt. AG enthaltend:
 - Bewilligung zur Einleitung von Grundwassers in ein öffentliches Gewässer während der Pumpversuche.
 - Fischereirechtliche Bewilligung
- 7. Nov. 95 • Vertrag zu Förderbeitrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft
- Vertrag zu Risikodeckung des Bundesamtes für Energiewirtschaft
- 13. Nov. 95 • Baubewilligung der Gemeinde Schinznach-Bad
- 14. Nov. 95 • Beginn des Bohrplatzbaus
- 11. Dez. 95 • Installation des Bohrgerätes
- 15. Dez. 95 • Standrohr gesetzt
- 8. Jan 96 • Bohrbeginn. Bohrfortschritt siehe Figur 10.
- 12. März 96 • Endtiefen erreicht
- 27. März 96 • Bohranlage abgebaut
- 28. Aug. 96 • Aufnahme der Komplettierungsarbeiten
- 30. Okt. 96 • Beginn der Langzeitpumpversuche
- 10. Dez. 96 • Abschluss der Langzeitpumpversuche und Testphase

2 Geologie

2.1 Regionale Situation

Figuren 1, 3

Das Gebiet um Schinznach Bad liegt im Bereich der geologischen Nahtstelle von Tafel- und Kettenjura. Ein Teil des abgescherten mesozoischen Deckgebirges überschiebt nach Norden eine flach südwärts einfallende Schichtserie des angrenzenden Tafeljuras. Im Überschiebungsbereich wird das abgescherte Deckgebirge steilgestellt und verschuppt. Auch Teile des überfahrenen Deckgebirges werden durch diesen Vorgang zerschert und gefaltet. Der darunterliegende Sockel besteht aus permokarbonischen Sedimenten die ein kristallines Grundgebirge überlagern. Nord-Süd gerichtete Dehnungsbewegungen im Oberkarbon und Perm führten zu einem WSW-ONO streichenden Graben, der bis zu mehreren tausend Metern mit klastischen Sedimenten aufgefüllt ist. Aufgrund regionaler Daten wird eine zum südlichen Grabenrand gehörende Abschiebungszone im Gebiet von Schinznach vermutet. Die Daten der Reflexionsseismik vermögen nur einen unsicheren Hinweis auf die Existenz dieser Abschiebung zu geben.

Eine tektonische Zerklüftung im Bereich solcher Störungen ist denkbar und könnte eine vertikale Zirkulation heißer Tiefenwässer begünstigen. Auffallend ist, dass sich auch andere Thermalquellen der Nordschweiz im Bereich vergleichbarer Randstörungen befinden. Ein weiteres Indiz, welches eine vertikale Zirkulation von Tiefenwässern vermuten lässt, besteht in einer Affinität der Muschelkalkwässer von Baden und Bad Schinznach zu den Natrium-Chlorid-Wässern der Buntsandstein-, Perm- und Kristallin-Aquifere (unveröffentlichter Bericht NAGRA vom Geologischen Institut Dr. Schmassmann AG; Juli 1991).

Beim Bad Schinznach taucht der Obere Muschelkalk in einer überschobenen Schuppe unter den quartären Aareschottern auf. Die ursprüngliche Badquelle (QS) fasst das Thermalwasser an dieser Stelle. Durch die Oberflächennähe vermischt sich das Muschelkalkwasser mit den kühlen, schwach mineralisierten Grundwasser. Die Fassung S2 fasst das Thermalwasser auf 90 Meter Tiefe im abtauchenden Bereich des Oberen Muschelkalkes. In Abhängigkeit von der Förderrate ist eine Vermischung mit Aaregrundwasser zu beobachten.

2.2 Lokale Vorabklärungen

2.2.1 Geophysik

Figuren 2, 4, 5

Die wichtigste Vorarbeit zur Abklärung eines geeigneten Bohrstandortes waren die reflexionsseismischen Untersuchungen im Jahre 1989. Die Lage der beiden seismischen Linien wurde so gewählt, dass ein Quer- und ein Längsschnitt durch die Überschiebungszone aufgenommen wurde und gleichzeitig eine Verbindung zur regionalen Seismiklinie der Nagra geschaffen wurde (Figur 2). Die geologische Interpretation der Seismik von P. Diebold (Figur 5) nimmt starken Bezug auf seine eigenen geologischen Kartierungen, die Interpretation der Nagra Seismik und die Bohrlochdaten der Sondierbohrung P5356.2, sowie natürlich der Fassung S2. Die geologische Interpretation der Linie 89AA02 bildet die Grundlage für die Bohrprognose.

2.2.2 Geologische Prognose

Figur 6, 7

Die prognostizierte Tiefe der Formationsgrenzen beruht auf der Tiefenumwandlung der auf Seismik interpretierten Schichtgrenzen. Da in der näheren Umgebung keine Messungen aus Aufzeitbohrungen zur Verfügung standen, bezieht sich die Tiefenumwandlung auf Werte der Bohrung Riniken, gerechnete Stapelgeschwindigkeiten der Nagra für Linie 83 NF15 und Stapelgeschwindigkeiten für die Linie 89AA02, ermittelt von der Aufnahmefirma CGG. Da die drei Quellen stark unterschiedliche Laufzeit - Tiefen Funktionen zeigen, war die Tiefenprognose mit einer Unsicherheit von $\pm 10\%$ im Oberen Abschnitt der Bohrung und $\pm 15\%$ im tieferen Abschnitt der Bohrung behaftet. Als weitere Erschwerung kommt die Steilstellung der Schichten, eine migrierte Version der Seismik stand nicht zur Verfügung. Die Interpretation der Geologie unterhalb der Hauptüberschiebung ist weitgehend spekulativ, da seismische Signale aus Bereichen unterhalb der Überschiebungszone stark gestreut werden und keine eindeutige Zuordnung mehr erlauben. Diesem Umstand wurde im prognostischen geologischen Profil (Figur 6) Rechnung getragen und sämtliche Angaben unterhalb 450 Meter Tiefe, insbesondere was die Verschuppung des Oberen Muschelkalkes und das Bruchmuster im Permokarbon betrifft, als spekulativ erachtet.

Im Gegensatz zur Tiefenstruktur ist die Lithostratigraphie des mesozoischen Schichtstapels gut bekannt und detailliert beschrieben. Die detailliertesten Beschreibungen finden sich in den Technischen Berichten der Nagra zu den Bohrungen Riniken, 6 km nord-nordöstlich und Schafisheim, 9 km südlich vom Bad Schinznach gelegen.

2.3 Lithostratigraphie

Figur 11

Die Beschreibung der Lithostratigraphie beruht auf einer systematischen Probennahme im Abstand von 2 Metern. Die Beschreibung des Bohrkleins erfolgte während des Bohrvorgangs vor Ort. Provisorische Schichtgrenzen wurden mit Hilfe der kontinuierlichen Aufzeichnung des Bohrfortschritts festgelegt, die definitive Festlegung der Schichtgrenzen erfolgte mit Hilfe der bohrlochgeophysikalischen Aufzeichnungen, insbesondere dem GR und dem Sonic-Log.

Abweichend von der Prognose ist das vollständige Fehlen von quartären Schottern. Unter der Humusdecke stehen direkt die Murchisonae-Schichten an. Der Opalinuston ist vollständig vorhanden. Der Lias ist mit 33 Metern 17% geringer mächtig als prognostiziert (50 m). Ebenfalls geringmächtiger als prognostiziert ist der Keuper (eff. 134 m, prog. 210). Da der Gipskeuper, insbesondere in einer tektonisch stark beanspruchten Zone, ein inkompetentes Schichtglied ist, überraschen Mächtigkeitsvariationen in diesem Ausmass nicht. Aufgrund der unsicheren Zeit-Tiefenkonversion, wurde diese geringere Tiefe des Top Muschelkalk auf der Seismik nicht erkannt.

Eine weitere Untergliederung des Hauptmuschelkalk in Plattenkalk und Trochitenkalk war mit dem verfügbaren Bohrklein nicht möglich. Die Mächtigkeit des gesamten Oberen Muschelkalkes entsprach in der obersten Schuppe den Erwartungen.

Innerhalb des Keupers erwies sich der glimmerführende Schilfsandstein sowohl im Bohrklein, als auch vor allem im GR Log als zuverlässig erkennbarer Marker. Die deutliche erkennbare Repetition des Schilfsandsteins ermöglichte erst die Interpretation der Überschiebungszonen.

Die Lithostratigraphie entspricht der Prognose und zeigt aufgrund der Bohrkleinbeschreibungen keine markanten Unterschiede zu den Beschreibungen in den Bohrungen Riniken und Schafisheim. Für eine detailliertere, wissenschaftliche Auswertung stehen sowohl gewaschene wie ungewaschene Proben noch zur Verfügung.

2.4 Struktur

Figur 8,9

Die Hauptüberschiebung wurde in prognostizierter struktureller Position, jedoch 60 Meter höher als erwartet auf 470 Meter durchfahren. Der Abscherhorizont liegt wie erwartet in den Sulfat-schichten des mittleren Muschelkalkes. Da sich die Sulfatschichten lithologisch kaum vom überfahrenen Gipskeuper unterscheiden ist selbst mit den Logs nur eine ungefähre Identifikation der Überschiebungszone möglich. Im Gegensatz zur Prognose wurde nur eine unvollständige zweite Schuppe des Oberen Muschelkalkes durchfahren. In wie weit es sich auch nur um eine isolierte Scholle von Muschelkalk innerhalb des Überschiebungs-Mélange handeln könnte, ist aus den verfügbaren Daten nicht schlüssig zu beurteilen. Überraschend war die Verdoppelung des Schilfsandstein unterhalb einer weiteren Überschiebungsfläche. Diese Tatsache gab den Ausschlag die Bohrung noch weiter als projektiert abzuteufen, um den Oberen Muschelkalk ein drittes Mal, sehr wahrscheinlich in autochthoner Position anzufahren, was sich schliesslich auch bestätigte. Auf Figur 8 ist unterhalb der Hauptüberschiebung der Lias in einer überfahrenen Synkinalform dargestellt. Diese Interpretation beruht auf der Beobachtung überkippter Liaskalkbänke im Bereich des westlichen Habsburg-Tunnel Portals. Figur 9 zeigt eine Neuinterpretation der Seismik.

2.5 Hydrogeologische / geothermische Situation

Der geothermische Gradient im Bereich des Bad Schinznach wird stark von einer Tiefengrundwasserkonvektion beeinflusst. Dies führt zu sehr lokalen Anomalien, wie im Falle der Fassung S2 mit einer Wassertemperatur von ursprünglich 37°C in einer Tiefe von 72 Metern. Dies entspricht einem thermischen Gradienten von 36°C/100 m, was sich sicherlich nicht auf die weitere Umgebung extrapolieren lässt. Die Annahme eines noch stets überdurchschnittlich hohen thermischen Gradienten von 5°C/100 m in der weiteren Umgebung (Unteres Aaretal-Baden - Schinznach) und die Annahme einer stark konvektionsbeinflussten Anomalie bei S2 führte zum Isothermenmodell im prognostischen geologischen Schnitt (Figur 6). Die Messungen mit den Temperaturlogs (Figuren 16, 17), sowie die Pumpversuche bestätigen weitgehend diese Annahme.

Die unergiebigen Kurzpumpversuche in der zweiten Muschelkalkschuppe (A2) und dem basalen Oberen Muschelkalk (A3) legen die Vermutung nahe, dass es sich um nahezu isolierte Wasservorkommen mit einer sehr beschränkten Durchlässigkeit handelt. Bezeichnend für eine sehr geringe Zirkulation sind nicht nur die unterschiedlichen Druckverhältnisse (siehe Kapitel 6) und unterschiedliche Mineralisation (siehe Kapitel 7), sondern auch der deutlich geringere thermische Gradient zwischen A1 und A3 von rund 5.5 °C/100 m.

3 Bohrung

3.1 Lage

Figur 4, 12

Die Bohrung befindet sich auf dem Gelände der Bad Schinznach AG rund 400 m südlich des Gebäulichkeiten des Bades.

Koordinaten: 654 769.60 / 256 187.46 (Zentrum Standrohr)

Kote OKT: 344.59 m ü.M. (Oberkante Terrain = Betonoberkante Bohrkeller)

3.2 Bohrfortschritt

Figur 10

Die Bohrzeit nach dem Setzen des Standrohrs bis zum Erreichen der Endtiefen von 891 m betrug 64 Tage, geplant waren 57 Tage zur Erreichung einer Endtiefen von 850 m. Der effektive Bohrfortschritt war sogar schneller als geplant, zeitintensiv erwiesen sich hingegen die Verrohrungsarbeiten und die Pumpversuche.

3.3 Probenahme

3.3.1 Bohrklein

Alle zwei Meter Bohrfortschritt wurde vom Schütteltisch eine 2 kg Probe des Bohrgutes genommen und in angeschriebenen Plastiksäcken aufbewahrt. Diese Proben sind systematisch in Kernkisten abgepackt und zur Zeit noch auf dem Bohrgelände gelagert.

Teilmengen der meisten Proben wurde vor Ort gewaschen, getrocknet, beschrieben und als aufbereitete Proben abgepackt. Diese Probensammlung mit den Originalbeschreibungen befindet sich bei Häring Geo-Project, Steinmaur. Die Beschreibungen bilden die Grundlage zur geologischen Identifikation (Figur 11).

3.3.2 Wasserproben

Wasserproben wurden am Ende jeden Kurzzeitpumpversuchs und beim Langzeitpumpversuch zu verschiedenen Zeiten genommen:

Probe	Datum	Aquifer	Tiefe	Temp	LF	Analyse-programm			Rst.pr
						°C	mS/cm	Chem.-phys.	
						VSB Journal Nr.	Programm	Hydroisotop Labor Nr.	
1	7.2.96	A1	321 - 409 m	42.0	1.9	W201	erweitertes P.*	83177*	ja
2	27.2.96	A2	482 - 811 m	44.5	14.0	W213	erweitertes P.*	83178*	ja
3	15.3.96	A3	719 - 891 m	-	-	-	-	-	ja
4	16.3.96	A3	719 - 891 m	-	-	-	-	-	ja
5	17.3.96	A3	719 - 891 m	-	38.4	W233	erweitertes P.*	83179*	ja
6	17.3.96	A3	719 - 891 m	-	-	-	-	-	ja
7	23.3.96	A3	719 - 891 m	-	-	-	-	-	ja
8	24.3.96	A3	719 - 891 m	-	-	-	-	-	ja
9	1.11.96	A1	321 - 415 m	44.0	3.0	-	-	-	ja
10	8.11.96	A1	321 - 415 m	43.6	2.8	-	-	-	ja
11	11.11.96	A1	321 - 415 m	43.8	2.9	W298	Basisprogramm	86695	ja
12	15.11.96	A1	321 - 415 m	44.1	2.5	-	-	-	ja
13	19.11.96	A1	321 - 415 m	44.1	2.2	-	-	-	ja
14	22.11.96	A1	321 - 415 m	44.1	2.2	W299	Basisprogramm	86696	ja
15	3.12.96	A1	321 - 415 m	43.9	2.5	W297	erweitertes P.	86694	ja

* Im Auftrag des Baudepartements des Kt. AG, Abteilung Umweltschutz, siehe Bericht geoform vom 16.10.1996.

Die Rückstellproben der nicht analysierten Proben befinden sich bei Häring Geo-Project, Steinmaur; diejenigen der analysierten Proben beim Vertrauenslabor für Spezialanalytik und Betriebshygiene (VSB).

3.4 Aufzeichnungen

Die Firma GEMAG AG war zuständig für die Registrierung folgender Bohrparameter:

- Bohrfortschritt
- H₂S-Konzentration in der Spülung
- Kohlenwasserstoffkonzentration in der Spülung
- Durchflussmenge der Bohrspülung
- Eintrittstemperatur der Spülung

- Austrittstemperatur der Spülung

Alle Parameter wurden mit Messsonden in 10 Sekundenintervallen registriert. Ein Controller zeichnete im Minutenintervall den Mittelwert der in diesem Zeitraum registrierten Daten digital auf. Die Werte wurden während der gesamten Bohrphase auf einem Monitor graphisch dargestellt.

3.4.1 Bohrfortschritt

Markante relative Veränderungen des Bohrfortschritts geben direkte Hinweise auf Formationswechsel. Positive „Drilling breaks“, also eine sprunghafte Zunahme des Bohrfortschritts ohne Veränderung der Bohrparameter (weight on bit, Drehzahl), deutet auf eine, für den spezifischen Bohrmeissel, einfacher zu bohrende Formation hin. Grössere Klüfte manifestieren sich oft durch eine sehr abrupte, kurzfristige Erhöhung des Bohrfortschritts.

Einer der grössten Bohrfortschritte wurde zwischen den Tiefen 356 - 362 m registriert. Ab diesem Tiefenintervall traten auch grössere, aber kontrollierbare Spülverluste ($\sim 9 \text{ m}^3/\text{h}$) auf. Erst die Flowmetermessung am Ende der Pumpversuche bestätigte das Vorkommen wasserführender Klüfte in diesem Tiefenbereich. Stark erhöhter Bohrfortschritt bei 372 m und 381 m wurde als Klüftung interpretiert.

3.4.2 Gas

Die H_2S - und Kohlenwasserstoffkonzentration wurde in der Spülrinne gemessen. Die H_2S Sonde war gekoppelt mit einem Alarmgerät, das Konzentrationen $> 10 \text{ ppm}$ unverzüglich gemeldet hätte.

Der H_2S -Wert überstieg in keinem Moment die 10 ppm Marke. Die Empfindlichkeit des Messgerätes liegt bei 1 ppm.

Die Kohlenwasserstoffkonzentration überstieg in keinem Moment die 0.1% Marke, was ungefähr der Messgenauigkeit entspricht. Messbare Werte, jedoch durchwegs $< 0.1\%$, wurden im Bereich der Sulfatschichten, dem Gipskeuper und dem Trigonodus Dolomit der zweiten Schuppe registriert. Während der gesamten Bohrphase wurden keine Kohlenwasserstoffvorkommen registriert.

3.4.3 Spülungstemperatur

Die Eintrittstemperatur der Spülung wurde im Saugtank, und die Austrittstemperatur in der Spülrinne gemessen. Da die Eintrittstemperatur stark von der Aussentemperatur, aber auch von der Spültanktemperatur und von der Beimischung von Frischwasser abhängt, lassen sich über den gesamten Bohrvorgang keine Vergleiche herstellen. Die Austrittstemperatur wiederum ist abhängig von der Bohrtiefe, der Durchflussgeschwindigkeit und der Eintrittstemperatur. Weder die Austrittstemperatur selbst, noch die Differenz zwischen Ein- und Austrittstemperatur ermöglichen deshalb eine quantifizierbare Aussage über die Formationstemperatur. Diese Messung dient hauptsächlich zum Erkennen von Veränderungen während des Bohrens selbst.

3.4.4 Spülungsverluste / Zuflüsse

Leichte Spülungsverluste traten erstmals bei 351 m auf ($\sim 1.1 \text{ m}^3/\text{h}$). Sie steigerten sich ab 361 m auf rund $2 \text{ m}^3/\text{h}$ und ab 372 m auf 5 - 30% der Zirkulation bei 1800 l/min (Verlust = $20 \text{ m}^3/\text{h}$). Die Verlustzone konnte nach dem Pumpversuch mit Muschelschrott abgedichtet werden.

Schleichende Verluste traten beim Bohren von 409 - 811 m wiederholt auf, doch liessen sich die Verlustzonen nicht eindeutig definieren (siehe Figur 11).

3.4.5 Ablenkung

Figuren 12, 13, 14

Während der Bohrphase wurde die Ablenkung 20 mal mit einem single shot tool gemessen. Die grösste Ablenkungszuwachs gegen die Formation nach Norden entstand im Gipskeuper bei einer Tiefe von 230 - 270 m. Zur Korrektur wurde der Bohrstrang mit einem zusätzlichen Stabiliser verstieft, worauf sich der Ablenkungsaufbau verringerte und ab 350 m nicht mehr veränderte.

Eine leichte Abnahme der Ablenkung nach Norden erfolgt aber einer Tiefe von 670 m, was auf eine flachere Lagerung der Schichtung deutet (vgl. Figur 8).

3.5 Verrohrung

Figur 11

Die wichtigste Abweichung gegenüber dem Verrohrungsprogramm ist, dass nach dem Durchfahren der zweiten Muschelkalkschuppe (A2) nicht wie geplant die 7“ Verrohrung gesetzt wurde, sondern mit dem 8 1/2“ Bohrdurchmesser weitergebohrt wurde. Dies war möglich, nachdem der Kaliber-Log im Gipskeuper weder Auswaschungen noch Verengungen aufwies. Mit dem 8 1/2“ Durchmesser wurde bis 811.5 m ins Dach des dritten Muschelkalkvorkommens gebohrt. Daraufhin gelang es jedoch nicht die 7“ Verrohrung bis auf Sohle, sondern nur bis 719.5 m einzubauen. Um einen späteren Rohrschnitt unter dem Aquifer A1 zu ermöglichen wurde nur eine Stufenzementation bis ca. 410 m eingebbracht.

Zur Sicherung der Strecke von der Endtiefe bis zum 7“ Rohrschuh wurde eine 4 1/2“ Hilfsverrohrung auf Sohle gestellt, wovon die Strecke von 819 - 854 m perforiert war.

Zu Beginn der Komplettierungsarbeiten wurde zuerst die Hilfsverrohrung ausgebaut. Danach wurde bei 430 m im 7“ Rohr ein bohrbarer Bridge Plug gesetzt. Das Rohr wurde bei 418 geschnitten und gezogen. Da während der Ruhephase eine geringe Zirkulation von A2 im Ringraum bis zur Oberfläche registriert wurde, versuchte man nach dem Schnitt eine Druckzementation zur Abdichtung von A2. Einpressversuche zeigten, dass eine Verpressung von Zement gar nicht möglich wäre. Man entschloss sich daher bei 415 m einen wiederziehbaren Packer einzubauen.

3.6 Komplettierung

Das gegenwärtige Verrohrungsschema ist in Figur 11 dargestellt. Der Endausbau sieht zwei Varianten vor:

- a) Komplettierung zur Erschliessung von A1 mit einer 7“ Filterverrohrung über das Hauptzuflussintervall von 360 - 380 m und einer Förderpumpe auf rund 40 Meter Tiefe. Detaillierte Dimensionierung und Materialwahl abhängig von Oberflächeninstallationen (in Projektierung).
- b) Einbau einer Hybridsonde zur Umleitung des Wassers von A1 nach unten zur zusätzlichen Wärmeaufnahme. Die Ausführung dieser Option wird abhängig gemacht von der finanziellen Unterstützung durch den Bund und Kanton im Rahmen eines Pilotprojekts.

4 Logging

4.1 Messprogramm

Figur 11

Die bohrlochgeophysikalischen Messungen wurden von der Firma Geotest, Zollikofen durchgeführt. Gemessen wurde in 5 Kampagnen:

1. 14.2.96 300 - 525 m Kaliber
 0 - 525 m Leitfähigkeit, Temperatur
 0 - 525 m Gamma Ray, Neutron
 321 - 510 m Sonic
2. 24.2.96 500 - 625 m Kaliber
 500 - 625 m Leitfähigkeit - Temperatur
 500 - 625 m Gamma Ray, Neutron
3. 8.3.96 0 - 890 m Gamma Ray, Casing Collar Log
4. 13.3.96 700 - 890 m Kaliber
 700 - 890 m Leitfähigkeit, Temperatur
 700 - 890 m Gamma Ray, Neutron
 700 - 890 m Sonic
5. 10.12.96 321 - 398 m Kaliber
 321 - 398 m Leitfähigkeit, Temperatur
 321 - 398 m Flowmeter

4.2 Auswertung

4.2.1 Lithologie

Figur 11

Eine eindeutige Gliederung und Festlegung der Formationsgrenzen war nur dank dem Vorliegen der Standardlogs wie Gamma Ray (GR) und Sonic möglich. Sie erlaubten eine exakte Korrelation mit den Bohrungen Riniken und Schafisheim.

- Opalinuston: Typisch monotoner Verlauf, für Ton zu niedrige Werte GR Werte, allerdings durch Casing aufgenommen. Charakteristischer neg. Peak bei 29 m.
- Posidonienschifer: Typischer hoher GR Peak bei 155 m.
- Schlifsandstein: Charakteristische Kurvenform hoher bis sehr hoher GR Werte mit Peak unterhalb der Mitte der Formation: Vorkommen von 195.6 - 215.35, 1. Repetition bei 587.75 - 604.85, 2. Repetition 651.4 - 670.1 m.
- Lettenkohle: Charakteristischer positiver GR Peak bei 316 m, 1. Repetition bei 517 m, 2. Repetition bei 807 m.
- Oberer Muschelkalk: Deutlich erhöhte Sonic Geschwindigkeit des Hauptmuschelkalk gegenüber Trigonodus Dolomit. Charakteristische Verlangsamung im untersten Viertel des Hauptmuschelkalkes (Mergel). Erkennbar in A1, A2 und A3. Die

Wasserzuflüsse äussern sich weder im Sonic noch im Neutron Log. Das Kaliber Log zeigt auf der Tiefe des Hauptzuflusses bei 378 m einen minimalen Peak. Ohne Flowmeter sind die Klüfte nicht zu erkennen.

- Überschiebungen: Die Hauptüberschiebung bei 470 m ist auf den Logs schlecht erkennbar. Geringe positive Abweichungen (Auskesselung im cm-Bereich) im Kaliber Log zwischen 470 und 475 m sind die einzigen Indikatoren.
- Grosse Auskesselungen von 574 - 582 m und eine signifikante Verlangsamung beim Sonic über das gleiche Intervall charakterisieren die Überschiebungsfläche an der Basis von A2.
- Die dritte Überschiebung im Gipskeuper ist nicht vollständig vermessen, da die Instrumente infolge einer Verengung des Bohrlochs nicht tiefer abgesenkt werden konnten. Der GR Log über dieses Intervall konnte erst nachträglich durch die 7“ Verrohrung aufgezeichnet werden.

4.2.2 Porosität

Der Neutron Log misst die Porosität in indirekter Weise. Quantitative Aussagen sind jedoch nur in tonfreien Sandsteinen möglich. In den vorliegenden Kalken und Mergeln zeigt der Neutron Log über weite Strecken ein ähnliches Bild wie der Sonic Log. In der vorliegenden Schichtenfolge sind keine Porengrundwasserleiter vorhanden. Die Aquifere beschränken sich auf die verkartsteten und zerklüfteten Kalke. Eine Berechnung der Porosität ist nicht gegeben.

4.2.3 Klüftung

Figur 15

Wasserführende Klüfte waren erst mit dem Flowmeter zu identifizieren. Der Kaliperlog zeigt grössere Auskesselungen im Bereich der Überschiebungen und im Gipskeuper, die jedoch auf Auswaschung aufgelockerter Formation und nicht auf Klüfte zu deuten sind. Zwischen 410 m und 440 m zeigt der Kaliper Log im oberen Teil des mittleren Muschelkalkes Anzeichen diskreter Vergrösserungen des Kalibers, was mit Klüften in Verbindung gebracht werden kann. Über diesen Bereich registrierte man beim Durchteufen schlechende Verluste.

4.2.4 Temperatur

Figuren 16, 17

Der Temperatur Log über das Intervall 0 - 525 m verzeichnet im untersten Meter eine markante Temperatursteigerung. Die maximal registrierte Temperatur beträgt 45.5°C. Das Thermometer ruhte dort für ein paar Minuten auf der Bohrsohle. Dieser Wert ist einer minimalen Formationstemperatur auf dieser Tiefe gleichzusetzen. Die übrigen von der Sonde gemessenen Werte repräsentieren nur die Temperatur der Bohrspülung.

Im Temperatur Log über das Intervall 700 - 891 m wird der höchste Wert mit 63°C bei einer Tiefe von 874 m registriert. An dieser Stelle handelt es sich um einen Zufluss im basalen Hauptmuschelkalk. Auf identischer Tiefe wird mit 34 mS/cm auch die höchste Leitfähigkeit registriert, was deutlich über der Leitfähigkeit der Spülung liegt.

5 Zuflüsse

Figur 15

Aus den Leitfähigkeits und Temperaturlogs ist nur bei der Tiefe 874 m im Oberen Muschelkalk A3 ein Zufluss identifizierbar.

Im Oberen Muschelkalk A1 deuten geringe Temperaturänderungen im Log mögliche Zuflüsse bei 345 m, 376 m und 395 m, sowie im Mittleren Muschelkalk bei 440 m an. In den gleichen Bereichen wurden beim Bohren auch Verluste registriert.

Mit dem Flowmeter liessen sich in diesem Abschnitt nach der Ansäuerung allerdings nur 3 deutliche, auf diskrete Klüfte beschränkte, Zuflüsse registrieren welche den gesamten Volumenstrom liefern.

Die Hauptzuflüsse sind: gemessen bei konstantem Volumenstrom von 7.4 l/s

- a) 362.5 - 364.1 m (1.6 m) 17 % des Volumenstroms
 - b) 377.3 - 377.8 m (0,5 m) 38 % des Volumenstroms
 - c) 378.4 - 379.3 m (0.9 m) 45 % des Volumenstroms

6 Pumpversuche

6.1 Kurzpumpversuche

6.1.1 A1

Der erste Kurzpumpversuch über das Intervall 321 - 409 m wurde nach Erreichen des mittleren Muschelkalkes am 6.2.1996 durchgeführt. Die Pumpe wurde auf 138.3 m eingebaut, die Drucksonde auf 129.3 m.

Der Ruhewasserspiegel zu Beginn des Pumpversuchs lag bei -8.55 m (336.04 m ü.M.).

Mittlerer Volumenstrom:	3.6	l/s
Mittlerer Absenkspiegel im Verharrungszustand:	- 84.35	m (260.24 m ü.M.)
Mittlere Absenkung im Verharrungszustand:	- 75.80	m (268.79 m ü.M.)
Mittlere Wassertemperatur an der Messsonde:	44	°C
Mittlere Leitfähigkeit:		nicht gemessen; Sonde defekt
Ergiebigkeit:	0.047	$\times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Auf eine weitere Absenkung wurde verzichtet, da man die Formation nicht zu weit stimulieren wollte, um beim Weiterbohren keine unnötigen Verluste zu haben. Nach dem Pumpversuch wurde die Formation mit Muschelschrott abgedichtet.

6.1.2 A2

Der zweite Kurzpumpversuch über das Intervall 482 - 811 m wurde nach Erreichen der Lettenkohle im Dach des dritten Oberen Muschelkalkes (A3) am 26.2.1996 durchgeführt

Zu Beginn des Pumpversuchs lief das Wasser mit einem geringen Strom (ca 3 l/min) frei aus.

Mittlerer Volumenstrom:	0.9	l/s
Mittlerer Absenkspiegel im Verharrungszustand:	- 123.5	m (221.09 m ü.M.)
Mittlere Absenkung im Verharrungszustand:	- 165.8	m* (178.79 m ü.M.)
Mittlere Wassertemperatur an der Messsonde:	45.1	°C
Mittlere Leitfähigkeit:	12.2	mS/cm
Ergiebigkeit:	0.0054	$\times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

* bezogen auf Druck von 4.23 bar gemessen am 4.4.94.

6.1.3 A3

Der dritte Kurzpumpversuch über das Intervall 719.5 - 891.2 m wurde nach Erreichen der Endtiefe durchgeführt. Im ersten Versuch konnte kein Wasser bis zur Oberfläche gefördert werden. Am 20.3.96 wurden 5'800 Liter 20% Salzsäure in die Formation gepumpt und über Nacht stehen gelassen. Nach Auszirkulation der neutralisierten Spülung wurde am 22.3.96 ein weiterer Pumpversuch gestartet. Trotz Säuerung konnte kein Volumenstrom an die Oberfläche erreicht werden. Man beschränkte sich auf ein kontinuierliches Schockpumpen, mit jeweiliger Absenkung bis 250 m und anschliessendem Wiederanstieg bis 150 m. Der Versuch wurde nach 68 Stunden am 25.3.96 abgebrochen, nach dem keine Steigerung des Zuflusses zu erkennen war.

6.2 Druckverhältnisse

Nach Abschluss der Bohrarbeiten war im Ringraum zwischen der 9 5/8“ und der 7“ Verrohrung ein Druckaufbau zu beobachten. Da in A1 hydrostatische Verhältnisse herrschen, und nur in A2 und A3 Überdrücke zu beobachten waren, konnte dieser Druckaufbau nur mit einer unvollständigen Zementation über A2 erklärt werden. Zur Überwachung wurde die Druckentwicklung in A2 und A3 über die Zeitdauer von 5 Monaten aufgezeichnet.

Die Druckentwicklung in A2 war im ersten Monat ungefähr stabil bei 4.2 bar, sank dann aber innerhalb eines Monats auf 3.3 bar ab, gefolgt von unregelmässigen, sprungartigen Druckanstiegen mit anschliessend kontinuierlich verlaufenden Druckabfällen. Der generelle Druckabfall ist mit der Einstellung eines neuen Gleichgewichtes, möglicherweise einer Leckage in A1, zu erklären. Die Drucksprünge sind möglicherweise auf sporadisches Aufsteigen von Gasblasen zurückzuführen.

Die Druckentwicklung in A3 zeigt eine sehr langsame Druckerholung nach dem Pumpversuch über einen Zeitraum von 4 Monaten. Der langsame Druckanstieg ist ein Hinweis auf die geringe Durchlässigkeit in A3. Die geringen rhythmischen Druckveränderungen sind ein Gezeiteneffekt.

6.3 Langzeitpumpversuch A1

Am 28.8.96 wurden mit der kleineren Bohranlage AGBO 750 die Vorbereitungsarbeiten für die Testphase aufgenommen. Zum Langzeittest wurde mit einem Rohrschnitt und Entfernung der 7“ Verrohrung das Intervall 321 m - 415 freigelegt und mit einem Packer nach unten abgeschlossen. Der offengelegte Obere Muschelkalk A1 wurde in zwei Schritten angesäuert. Nachfolgende Lufthebetest und Wiederanstiegsmessungen ergaben eine sprunghafte Verbesserung des Zuflusses.

Die Tauchpumpe wurde auf 182.28 m eingebaut.

Der Langzeitpumpversuch gliedert sich in 4 Teile (Figur 19):

1. Maximaler Volumenstrom über 5 Tage, danach Wiederanstieg
2. 1/3 des maximalen Volumenstrom über 5 Tage, danach Wiederanstieg
3. 2/3 des maximalen Volumenstroms über 9 Tage, danach Wiederanstieg
4. Bedarfsgerechter Volumenstrom über 10 Tage, danach Wiederanstieg

6.3.1 Hydraulik

6.3.1.1 Zeitliche Absenkung

Der Verharrungszustand wurde bei jedem Versuch schon nach weniger als einer halben Stunde erreicht und variierte danach bei gleicher Pumpenleistung kaum. Über 75% des Wiederanstiegs nach jedem Versuch erfolgte innerhalb weniger Minuten, eine vollständige Erholung wurde nach rund drei Tagen erreicht, wobei der Erholungsrühewasserspiegel über 1 Meter variierte (Figur 20).

6.3.1.2 Ergiebigkeit

In einem gespannten Aquifer sollte die Absenkung gegenüber dem Volumenstrom in einem linearen Verhältnis stehen. Wie Figur 21 zeigt, nimmt die Ergiebigkeit mit zunehmender Absenkung jedoch leicht ab. Für den Dauerbetrieb der von einem Volumenstrom von 500 l/min (8.3 l/s) kann von folgenden Richtwerten ausgegangen werden:

Volumenstrom : 8 l/s
 Absenkspiegel: -18 m (= 326 m ü.M)
 Absenkung: 15 m (= 326 m ü.M)
 Ergiebigkeit: $0.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

6.3.1.3 Räumliche Absenkung

Figur 22

Während des gesamten Langzeitpumpversuchs wurden die Pegel der Fassung 2 und des Piezometers P. 5356.2 in Schinznach Dorf aufgezeichnet.

Eine Unterbrechung der Förderung aus S2 kam nicht in Frage. Die Aufzeichnungen beschränken sich auf zwei Messungen pro Tag, die unabhängig von der jeweiligen Fördermenge gemessen wurden. Über die Dauer des Langzeitpumpversuchs war keine Veränderung gegenüber den üblichen betrieblich bedingten Spiegelschwankungen festzustellen.

Der Piezometer wurde mit einem Pegelschreiber kontinuierlich aufgezeichnet. Gegenüber den Versuchen wurde keinerlei Beeinflussung festgestellt. Über die gesamte Periode stieg der Pegel langsam um rund einen halben Meter an.

6.3.2 Temperatur

Figur 19

Die Wassertemperatur erreichte bei jeder Pumpphase innerhalb weniger Stunden eine konstante Temperatur von 44°C. Bei geringer Pumpmenge (6 l/s) blieb die an der Oberfläche gemessene Temperatur knapp unter 44°C. Dies ist mit einem geringen Abkühlungseffekt während der langsameren Aufstiegsphase zu erklären. Die Temperatursonde befand sich am Flansch der Steigleitung, rund zwei Meter über dem Boden des Bohrkellers und unterlag somit einer Beeinflussung durch die Lufttemperatur.

6.3.3 Leitfähigkeit

Figur 19

Die Leitfähigkeit war im ersten Versuch noch nicht konstant. Der Grund dafür liegt in der Kontamination des Formationswassers durch die Ansäuerung. Gegen Ende des ersten Versuchs stellte sich dann erstmals mit 2.75 mS/cm ein Wert ein, der auch im nachfolgenden Versuch gemessen wurde.

Der ungewöhnliche Anstieg der Leitfähigkeit jeweils nach Abbruch der Förderung ist das Resultat eines Konzentrationseffekt durch Verdampfung der Flüssigkeit im Messgefäß. Beim zweiten Versuch mit einem gemittelten Volumenstrom von 5.9 l/s stabilisierte sich die Leitfähigkeit bei 2.59 mS/cm. Beim dritten Versuch mit einem gemittelten Volumenstrom von 11.6 l/s war eine lineare Abnahme der Leitfähigkeit über den Zeitraum der 9 Tage des Versuches zu beobachten. Nach einem kurzen Messunterbruch zeichnete die Sonde um 0.2 mS/cm verminderte Werte auf. Die relative Veränderung der Leitfähigkeit über die Zeit, ist also etwas geringer als die absoluten Werte.

Im letzten Versuch mit einem gemittelten Volumenstrom von 7.9 l/s stabilisierte sich die Leitfähigkeit bei rund 2.3 mS/cm.

7 Analytik

7.1 Hydrochemie

Vergleiche Liste der Wasserproben in Kapitel 3.3.2. Die hydrochemischen Analysen wurden beim Vertrauenslabor für Spezialanalytik und Betriebshygiene von Herrn Dr. H. Senften durchgeführt. Zur Diskussion werden nachfolgend die Proben mit den VSB Journal Nummern bezeichnet.

7.1.1 Untersuchungsprogramm

Figuren 23, 24

7.1.2 A1

Die Probe W201 wurde am Ende des ersten Pumpversuchs nach einer Gesamtfördermenge von 270 m³ Wasser aus A1 entnommen. Während der Bohrarbeiten zuvor gingen in dieser Formation insgesamt rund 500 m³ Spülung verloren.

Es erstaunt deshalb, dass das geförderte Wasser trotzdem eine ausgesprochene Ähnlichkeit mit dem Thermalwasser aus S2 ausweist. Mit 24 mg/l ist der Schwefelwasserstoffgehalt wesentlich geringer als in S2.

Die Probe kann als Calcium-Natrium-Sulfat-Chlorid-Wasser bezeichnet werden.

Wesentlich aussagenkräftigere Proben stammen vom Langzeitpumpversuch. Die Probe W298 wurde 12 Tage, die Probe W299 23 Tage und die Probe W297 34 Tage nach Beginn der Langzeittestphase genommen. Insbesondere bei der letzten Probe, die kurz vor Abschluss der Testarbeiten genommen wurde, dürfte keine Spülungskontamination mehr vorliegen. Allerdings deuten die sinkende Leitfähigkeit während der Tests eine zunehmende Verdünnung durch schwächer mineralisiertes Wasser an. In der Probenreihe ist dies nicht klar erkennbar.

Im Schöllerdiagramm zeigt sich eine sehr grosse Ähnlichkeit des S3-A1 Wassers mit dem ursprünglichen Wassertyp in S2.

7.1.3 A2

Bei dieser Probe handelt es sich um ein Natrium-Calcium-Chlorid-Sulfat-Wasser. Der hohe Natriumchlorid- und Sulfatgehalt, sowie der relativ geringe Schwefelwasserstoffgehalt deuten auf ein Mischwasser aus dem Oberen Muschelkalk und dem Keuper oder älteren Formationen hin. Es handelt sich wahrscheinlich um ein Wasser mit einer sehr beschränkten Zirkulation.

7.1.4 A3

Das Wasser ist mit 23.7 g/l das am höchsten mineralisierte Wasser des Oberen Muschelkalkes in der Umgebung. Übertragen wird es nur von den Wässern aus den Bohrungen Riniken und Schafisheim. Wie der geringe Zufluss und die erfolglose Ansäuerung andeuten handelt es sich um ein stagnierendes Wasser. Auffallend ist die Abwesenheit von Schwefelwasserstoff.

7.2 Stabile Isotopen

Figur 25

Eine erste Messung des Tritiumgehalts wurde an den Proben W201 (A1), W213 (A2) und W233 (A3) im Auftrag der Abteilung Umweltschutz des Baudepartements des Kanton AG vorgenommen.

Drei weitere Messungen wurden an Proben im Laufe des Langzeitpumpversuchs vorgenommen. Sie entsprechen den Proben W298 (A1), W299 (A1) und W297 (A1).

Alle 4 Proben aus A1 zeigen eine deutliche Komponente an jungem Wasser. In der ersten Probe (W201) ist der Anteil Spülung gegenüber „echtem“ jungem Mischwasser nicht unterscheidbar. Nicht berücksichtigt sind der Anteil Wässer mit einem Alter von 10 - 40 Jahren, welche den Anteil an jungem Wasser stark übervertreten würden. Aus diesem Grund sind die aufgezeigten Jungwasseranteile an der obersten Grenze anzusiedeln. Rund ein Drittel in A1 ist demnach junges Wasser.

A2 ist nahezu Tritiumfrei. Der kleine Anteil mag ein Hinweis auf eine geringe Vermischung mit A1 Wasser sein.

A3 ist Tritiumfrei und enthält kein junges Wasser.

Diese Resultate decken sich mit der Interpretation anhand der hydrochemischen Analysen, dass A2 ein Mischwasser von A1 und A3 darstellt und A3 ein stagnierendes altes Wasser ist.

7.3 Edelgase

Am Ende des Langzeitpumpversuches wurden von der Nagra Gasproben zur Edelgasanalyse extrahiert. Zur Zeit liegen noch keine Resultate vor.

8 Geothermie

8.1 Leistung

Figur 26

Die bereitgestellte geothermische Leistung beträgt bei einem Volumenstrom von 500 l/min und einer Wassertemperatur, gemäss der Definition (Vertrag BEW) bezogen auf einer Referenztemperatur von 14°C: **1'046 MW_{th}**.

Können bei der geothermischen Nutzung dieses Wassers auch die Einleitungsbedingungen mit einem vertretbaren Aufwand erfüllt werden, ist die Bohrung im Sinne der Risikodeckung des BEW, in welcher als Erfolgsdefinition eine minimale Leistung von 755 kW_{th} gefordert wird, als **Erfolg** zu bezeichnen.

8.2 Nachhaltige Nutzung

Die im Langzeitpumpversuch gewonnenen Daten zeigen, dass die Fassung einen Volumenstrom von 500 l/min im Dauerbetrieb liefern kann, ohne umliegende Fassungen, insbesondere S2 hydraulisch nachteilig zu beeinflussen.

Während des gesamten Pumpbetriebes war in S3 keine Absenkung der Temperatur zu verzeichnen. Variationen der Temperatur waren auf äussere Witterungseinflüsse zurückzuführen.

Die Leitfähigkeit hat sich bei 2.35 mS/cm stabilisiert.

9 Nutzung

9.1 Betrieb / Ausbau

Die vorliegenden Daten bilden die Basis für den Endausbau der Fassung und Anschluss an die Badwasserversorgung der BSAG. Die entsprechenden Ingenieursleistungen werden zur Zeit in Auftrag gegeben.

9.2 Bewirtschaftung

Die BSAG wird in einer ersten Phase, in welcher das Wasser zu balneologischen Zwecken genutzt wird, nicht auf die volle konzessionierte Leistung der BSAG von 500 l/min angewiesen sein. Bei einer nachfolgenden Nutzung mit Wärmerückgewinnung wird auf eine möglichst gleichmässige Förderung zu achten sein.

9.3 Überwachung

Um die Fassung schonend und nachhaltig zu nutzen, wird eine laufende digitale Überwachung und Aufzeichnung der wichtigsten Parameter wie Volumenstrom, Absenkung, Temperatur und Leitfähigkeit notwendig sein.

10 Verdankungen

Dem Projekt wurde seit Beginn der Planung und während der ganzen Ausführungsphase von allen involvierten Behörden auf Bundes-, Kantons- und Gemeindebene, nicht nur grosses Interesse entgegengebracht, sondern mit konstruktiven Anregungen und speditiver Behandlung der Gesuche auch eine tatkräftige Unterstützung geboten.

Im Namen der Bauherrschaft ist selbstverständlich dem Kanton Aargau und dem Bund für ihre finanzielle Unterstützung sowie letzterem für die zusätzliche Risikodeckung zu danken. Erst mit diesen Beiträgen wurde die Realisierung möglich.

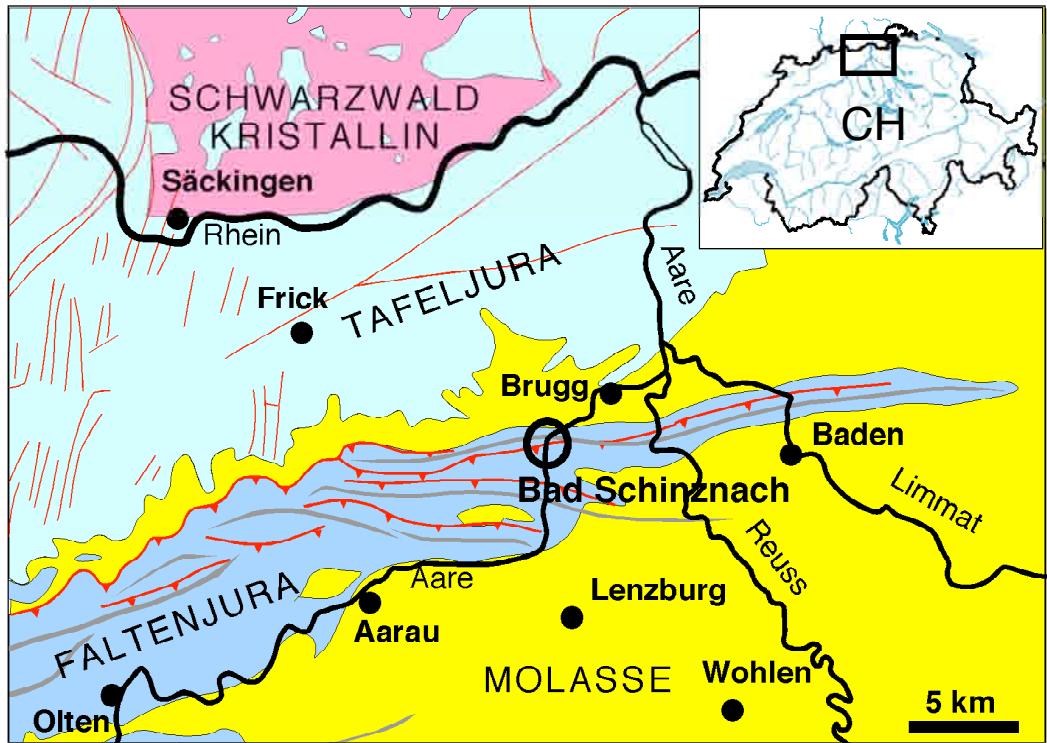
Für die wohlwollende Behandlung des Projekts zu danken ist namentlich Herrn M. Brunner des Bundesamtes für Energiewirtschaft und im Auftrag desselben Amtes Herrn Dr. H. Gorhan, sowie Herrn Professor L. Hauber für seine sachkundige, kollegiale Begleitung und Beratung.

Bei den kantonalen Behörden namentlich zu danken ist Herrn Dr. P. Hess der Abteilung Energiewirtschaft für die Befürwortung des Projekts als förderungswürdiges Vorhaben und Herrn Dr. W. Kanz der Abteilung Umweltschutz für seine hilfreichen und konstruktiven Ratschläge, welche mehrfach den rechten Weg wiesen.

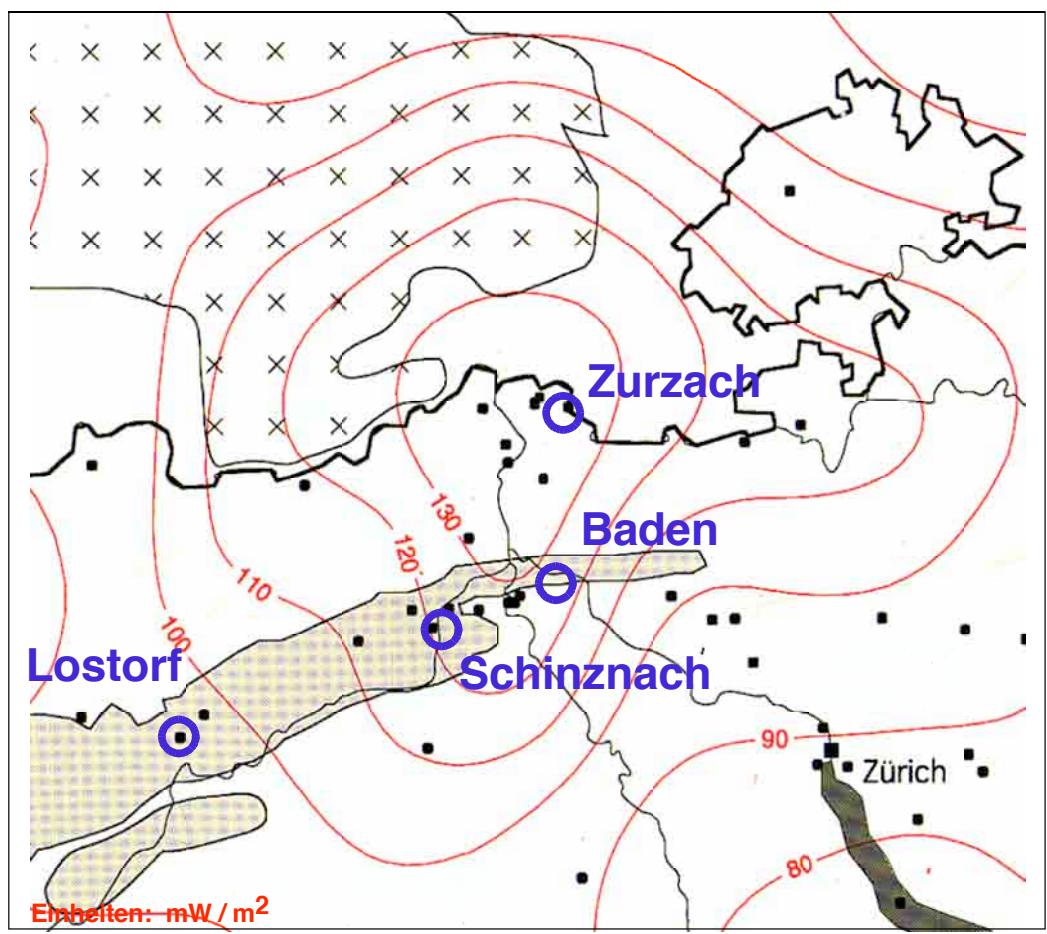
Schliesslich möchte ich als Projektleiter der Bauherrschaft für das entgegengebrachte Vertrauen danken, das mich die Arbeit mit Freude machen liess. Insbesondere gilt mein Dank den Herren H.R. Wyss, O. Staubli, P. Linder und P. Fehr.

11 Referenzverzeichnis

- NATIONALER ENERGIEFORSCHUNGS FONDS (NEFF): Forschungsprojekt geothermische Energie und unterirdische Wärmespeicherung. Teilprojekt I: Geothermische Prospektion im Raume Koblenz - Wildegg - Dielsdorf. Schlussbericht, November 1980.
- SCHNEIDER, J.F.: Zur Mineraltherme von Bad Schinznach.- Bericht zu Handen der Bad Schinznach AG, Dezember 1982.
- SCHMASSMANN H.: Studie über das Vorgehen zur Erschliessung geothermischer Energie in Bad Schinznach.- Bericht zu Handen der Bad Schinznach AG, April 1989.
- DIEBOLD, P.: Die geologischen Resultate der Reflexions-seismischen Untersuchungen im Raume Bad Schinznach.- Bericht zu Handen der Bad Schinznach AG, Dezember 1990.
- HÄRING, M.: Geothermiebohrung Bad Schinznach S3. Technischer Bericht.- Bericht des Geologischen Institutes Dr. H. Schmassmann AG zu Handen der Bad Schinznach AG, August 1991.
- HÄRING, M.: Zustand der Thermalwasserfassung S2, Vergleich der Perioden April -Mai 1991 und 1992.- Bericht des Geologischen Institutes Dr. H. Schmassmann AG zu Handen der Bad Schinznach AG, September 1992.
- BAD SCHINZNACH AG: Gesuch um Risikodeckung der Geothermiebohrung Bad Schinznach S3 und Gesuch um Förderungsbeitrag von Pilot- und Demonstrationsanlagen.- Gesuch zu Handen des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Oktober 1991.
- BAD SCHINZNACH AG: Ergänzung zu Gesuch um Risikodeckung und Förderungsbeitrag zur Geothermie-Sondierbohrung in Bad Schinznach S3.- Bericht zu Handen des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Juni 1995.
- GREBER, E.: Der Muschelkalk-Aquifer im Raum Schinznach Bad. Phase 1: Kurzinterpretation der Schinznach-S3 Wässer.- Bericht zu Handen Baudepartement des Kanton Aargau, Abteilung Umweltschutz. Oktober 1996.

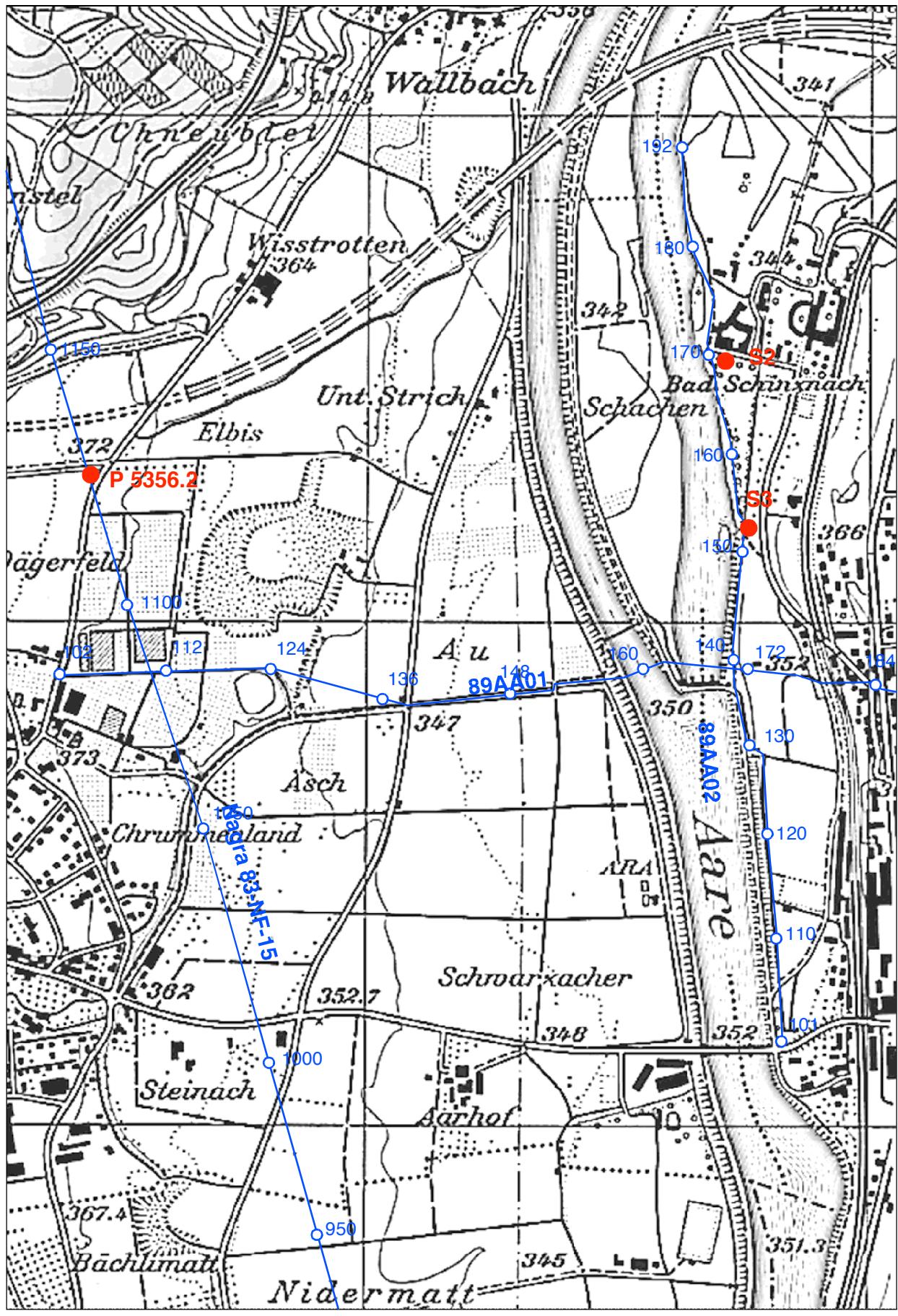


Regionale geologische Übersicht

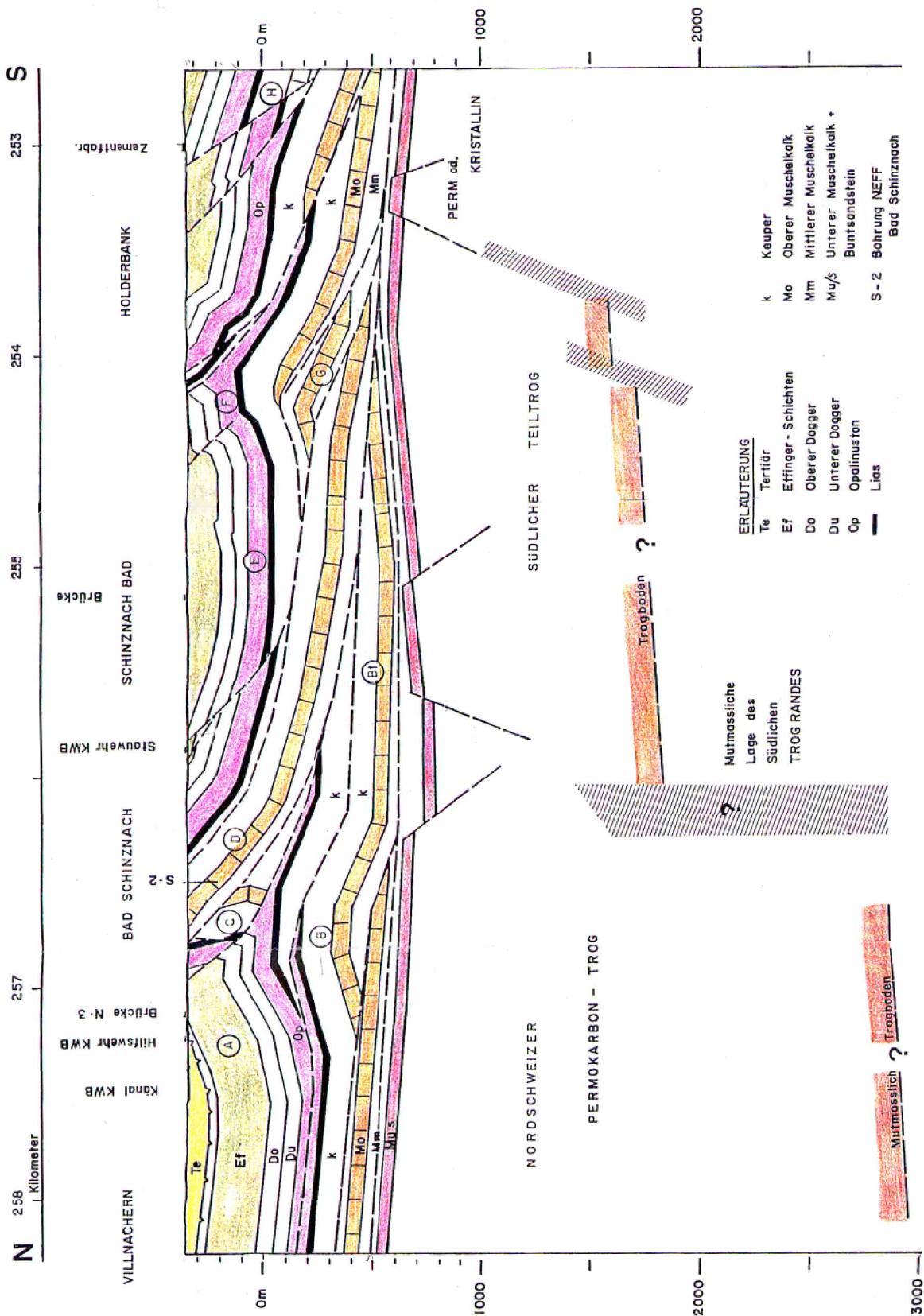


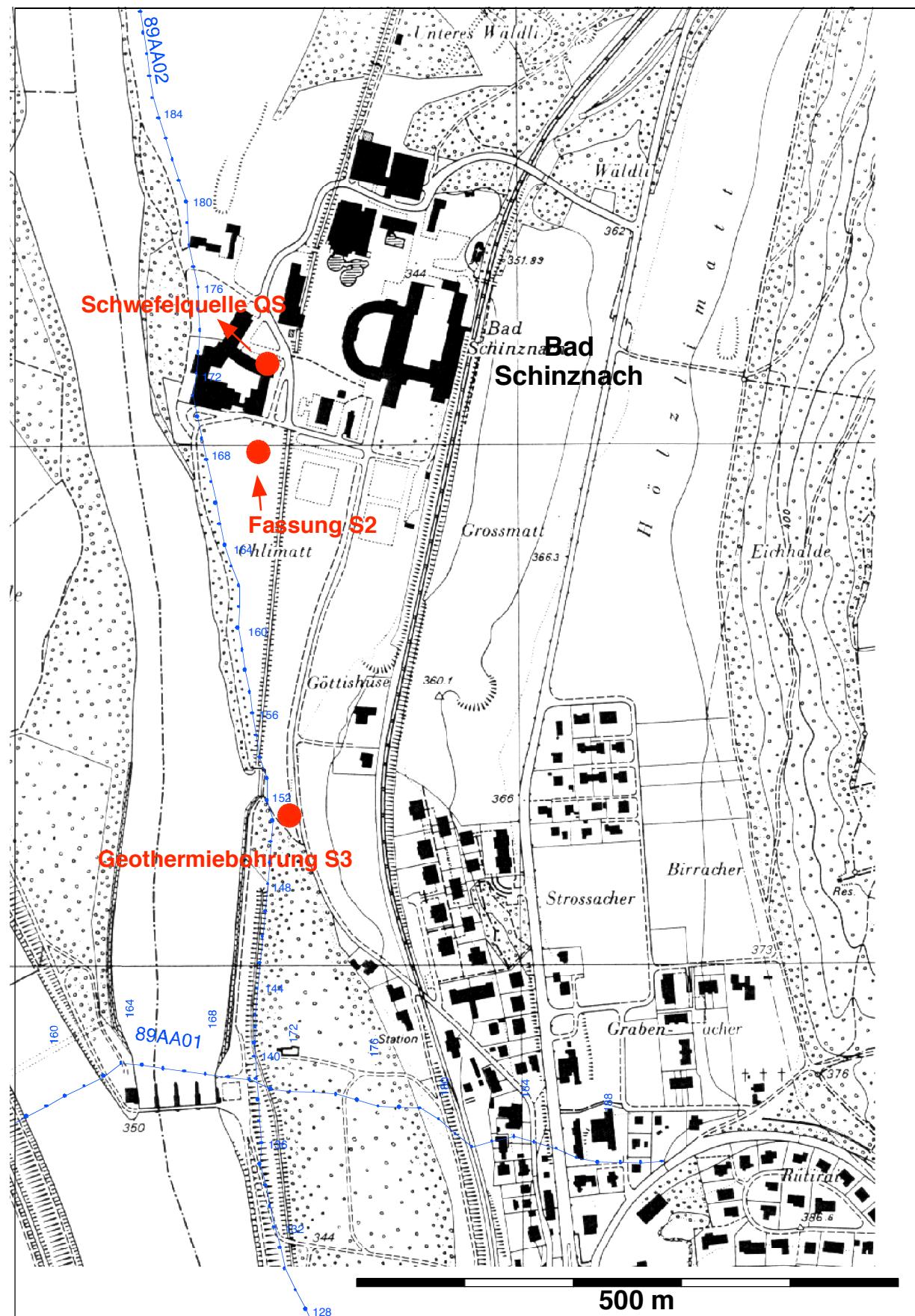
Wärmefluss

 HÄRING GE - RJECT	Geothermiebohrung Bad Schinznach S3 Regionale geologische Situation	 BAD SCHINZNACH THERMALQUELLE
Autor: M. O. Häring, Mai 97 HD MOH: BSAG/Geol. Übersicht		Figur 1

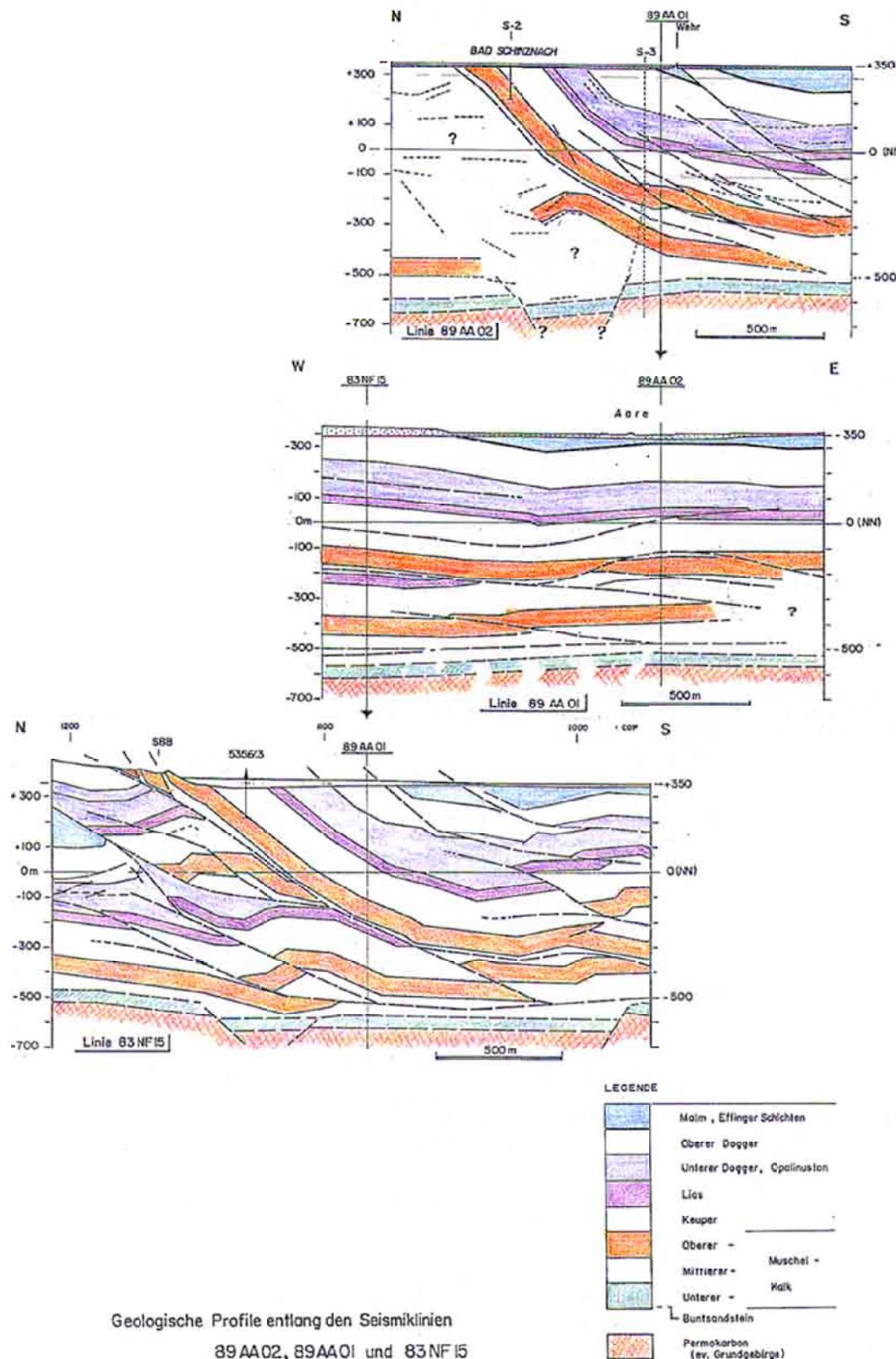


 HÄRING GE - RJECT	Geothermiebohrung Bad Schinznach S3 Lage der Seismik Linien 89 AA02, 89AA01 und 83NF15	 BAD SCHINZNACH THERMALQUELLE
Autor: M.O. Häring, Mai 97 HD MOH: BSAG/SP Seismik		Figur 2



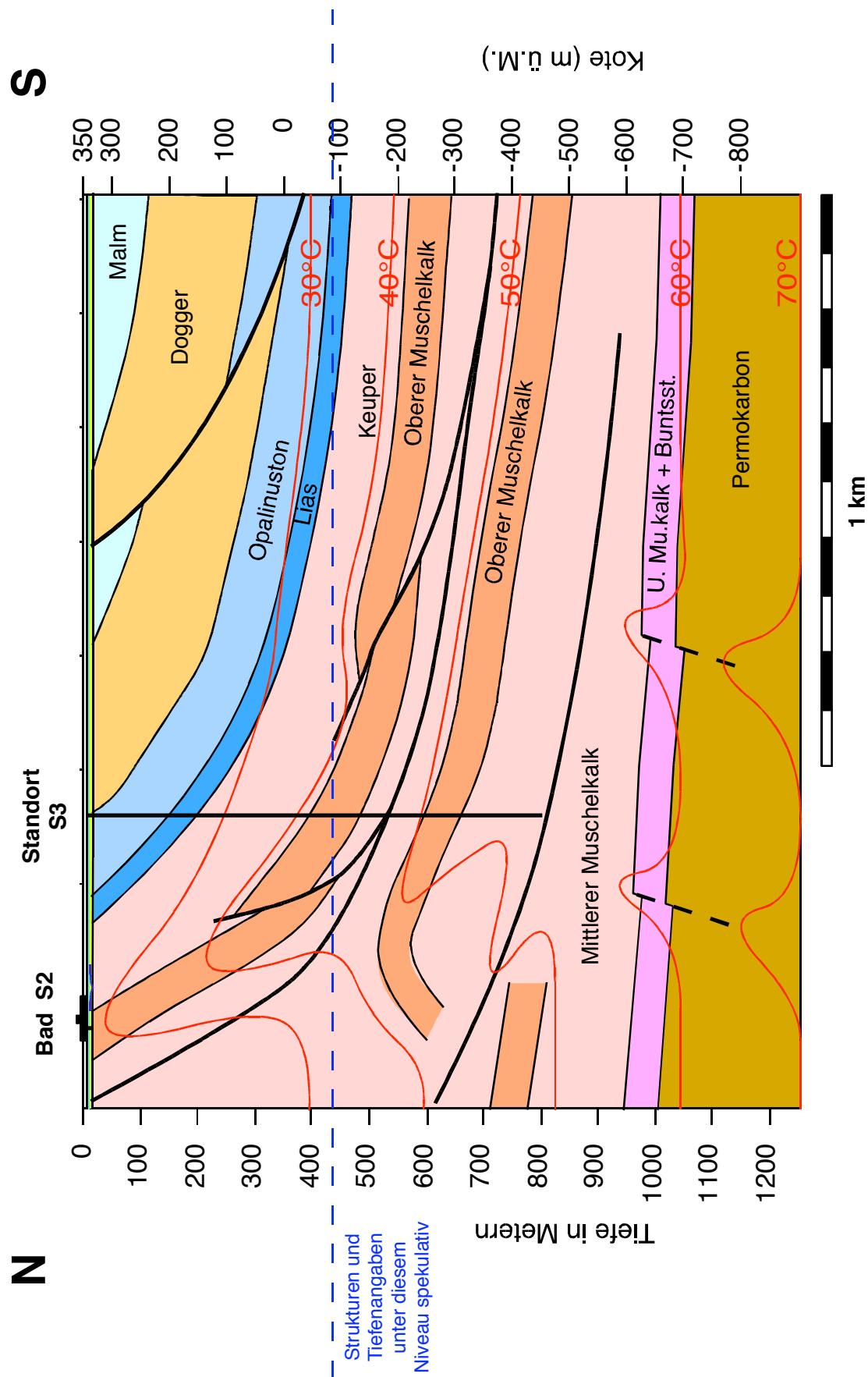


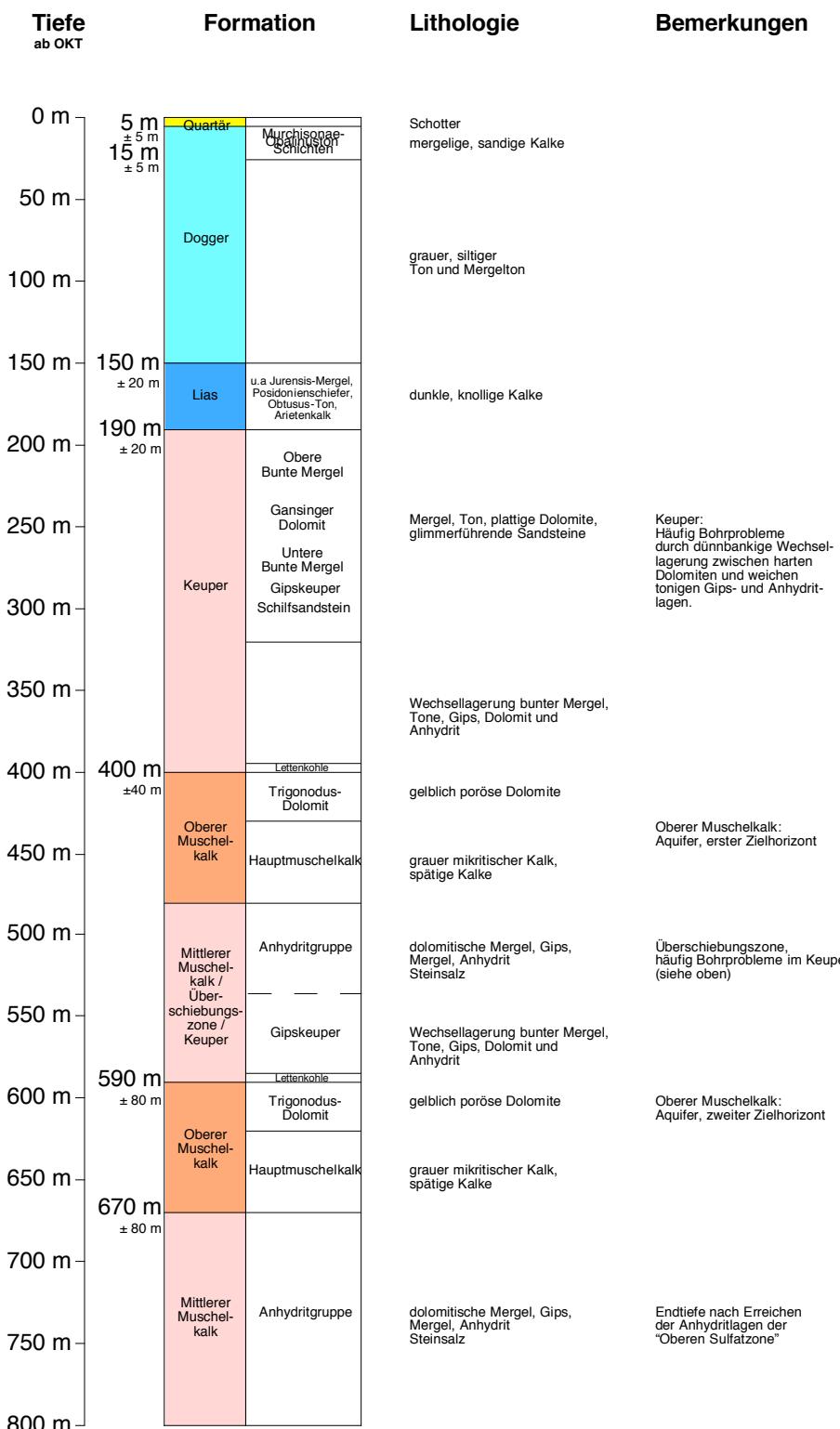
<p>HÄRING GE - RJECT</p>	<p>Geothermiebohrung Bad Schinznach S3 Lokale Übersicht 1: 5'000 mit Fassungstandorten und Seismikspur</p>	<p>BAD SCHINZNACH THERMALQUELLE</p>
<p>Autor: M.O. Häring, Mai 97 HD MOH: BSAG/ Detailkarte</p>		<p>Figur 4</p>

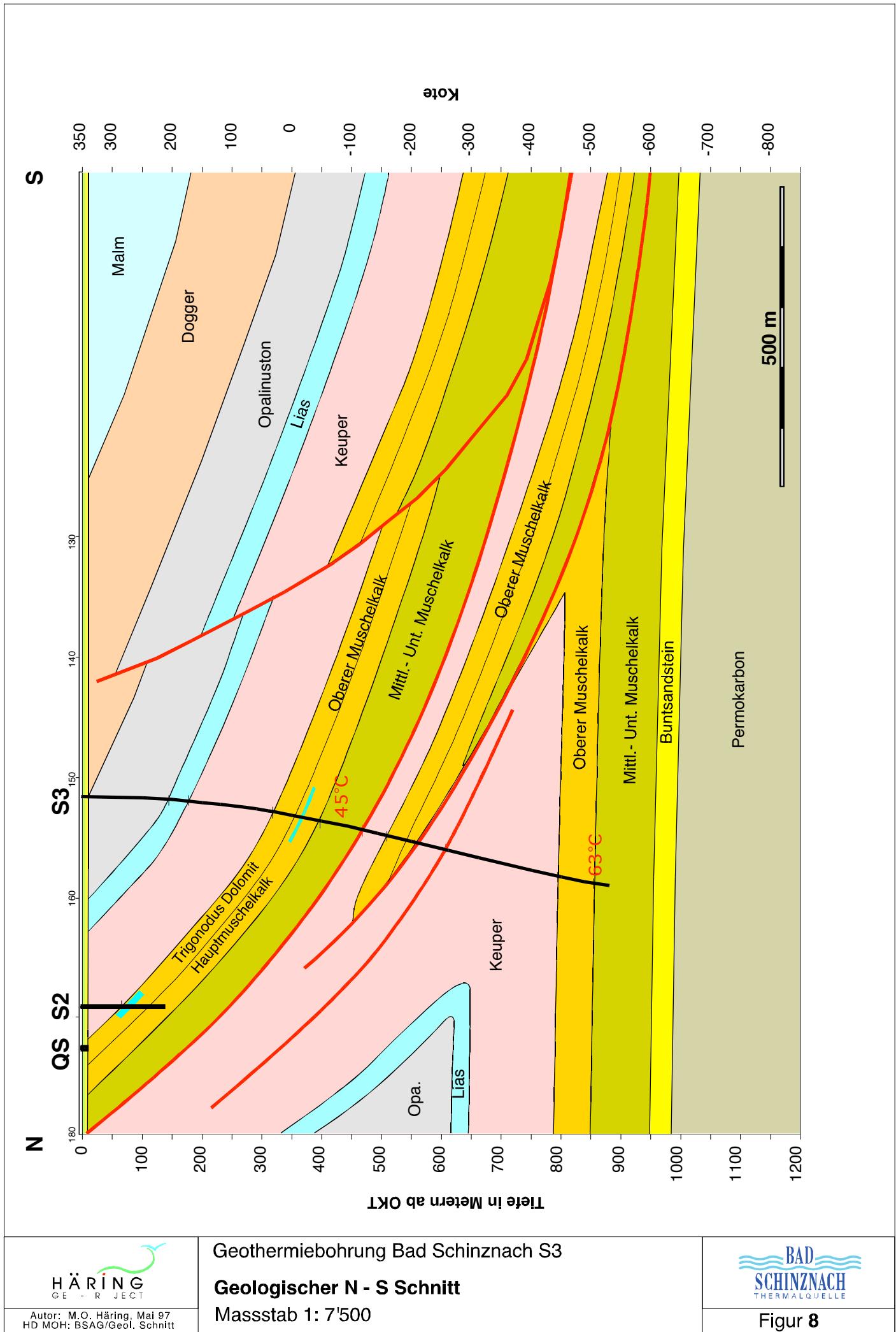


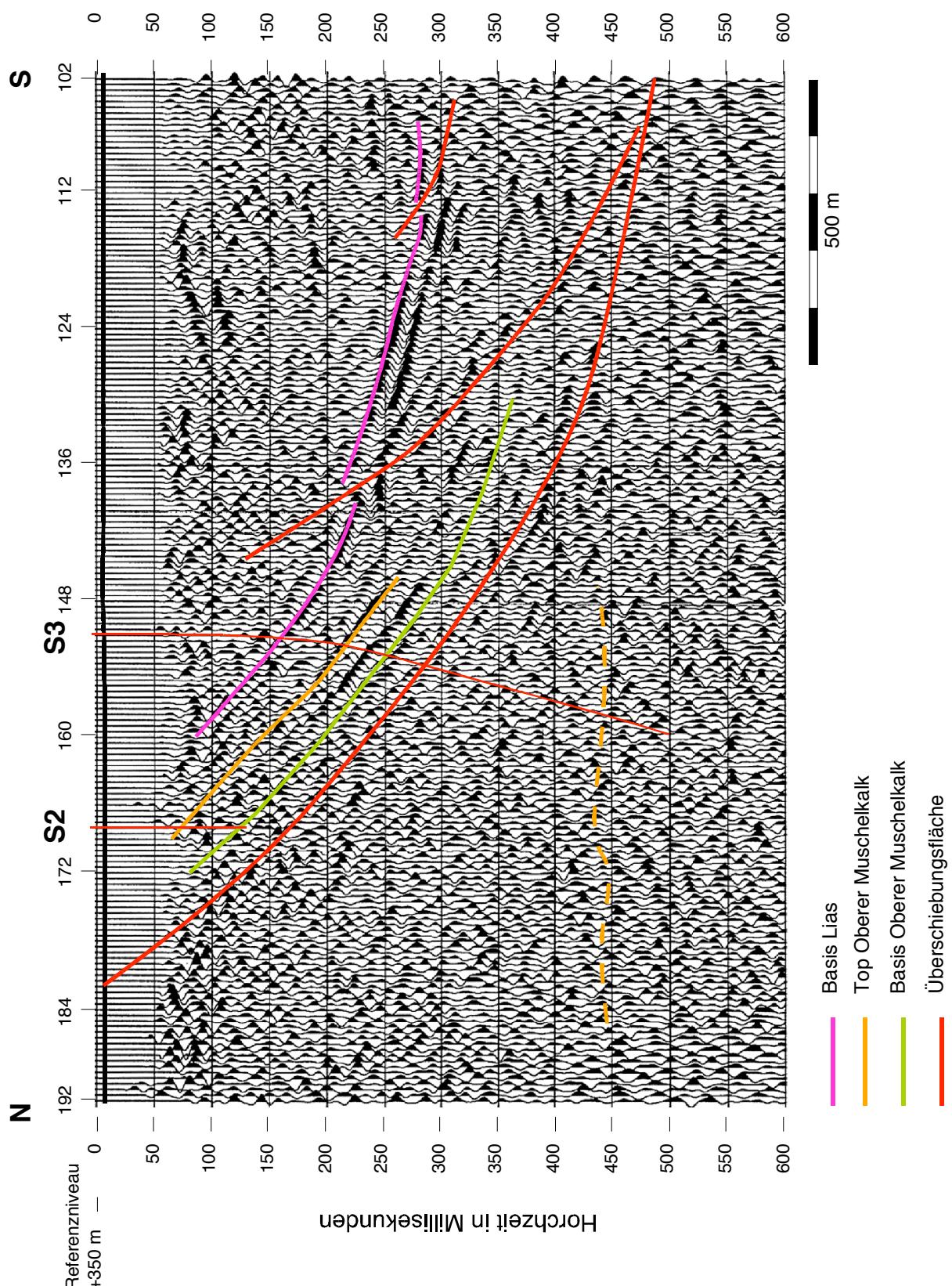
Interpretation von P. Diebold, 1990

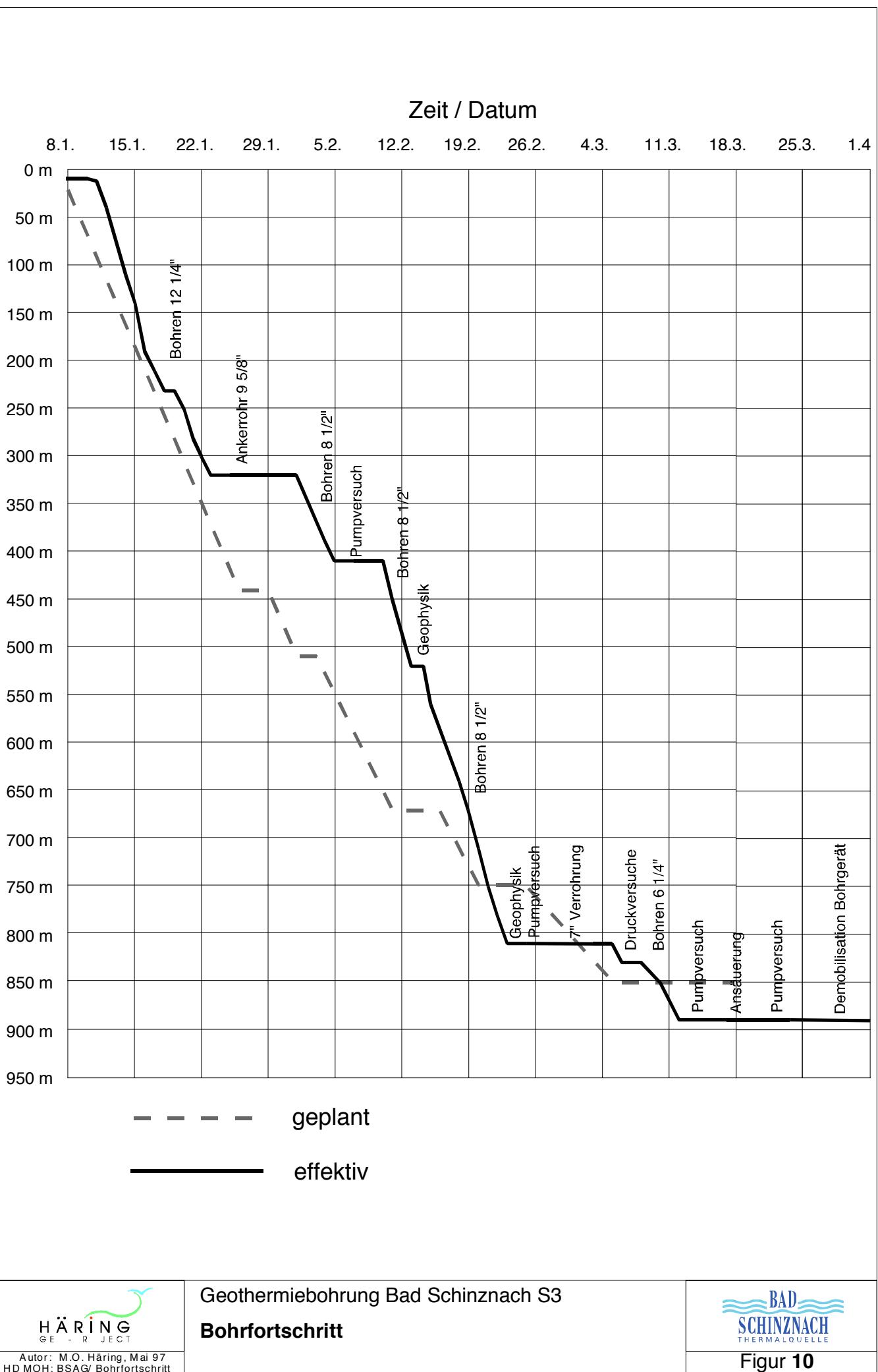
<p>Autor: M.O. Häring, Mai 97 HD MOH: BSAG/Interp. Diebold</p>	<p>Geothermiebohrung Bad Schinznach S3 Geologische Interpretation der Seismik Linien 89 AA02, 89AA01 und 83NF15</p>	<p>Figur 5</p>
--	---	----------------

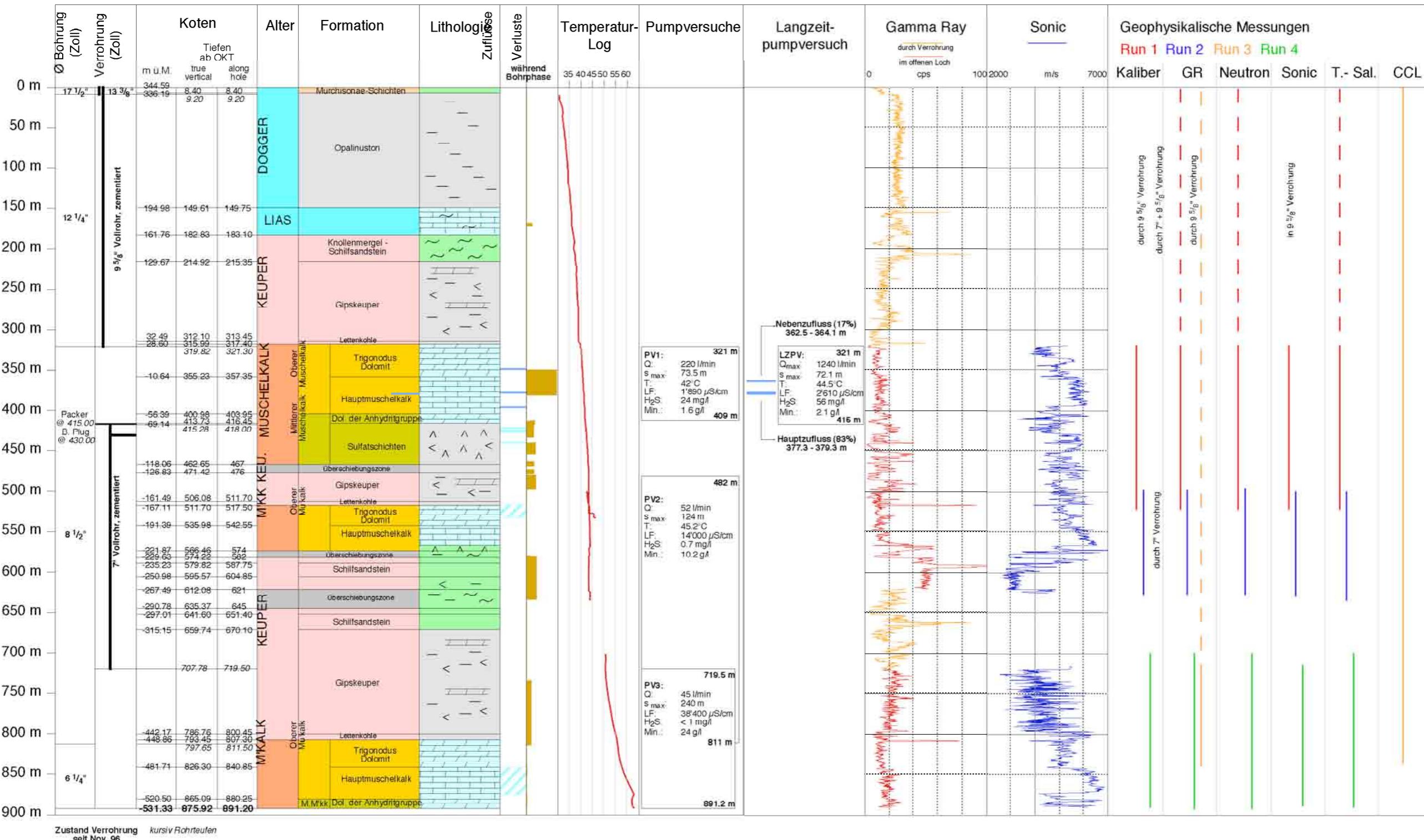


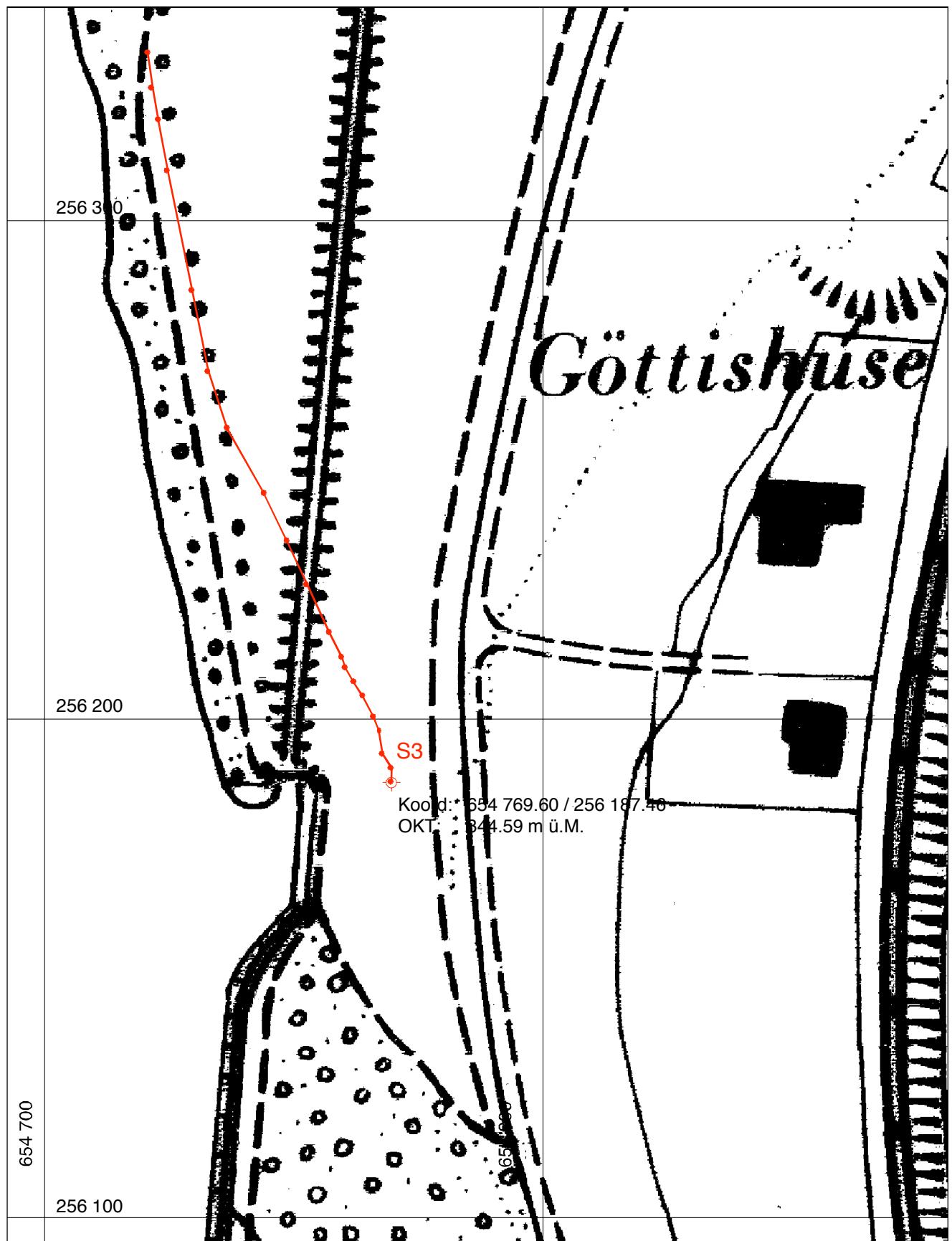








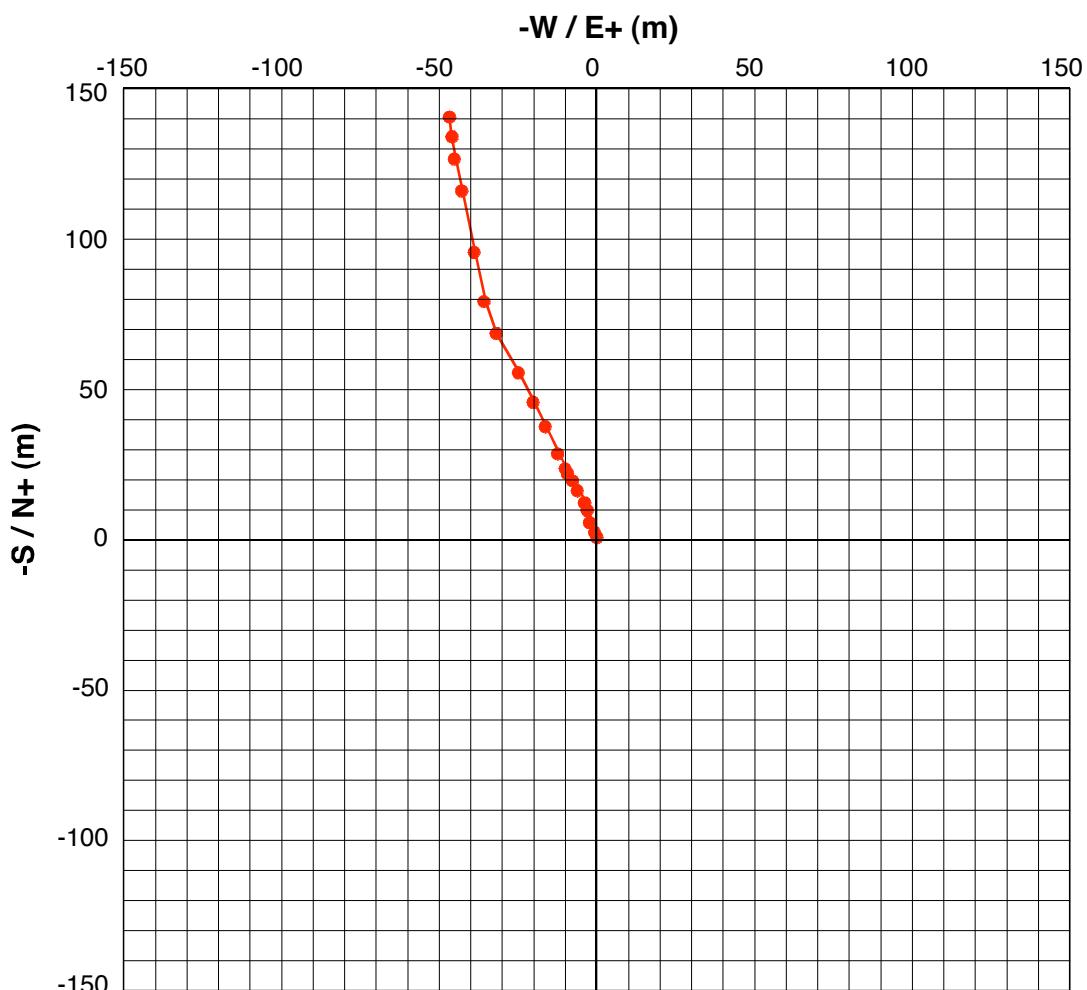


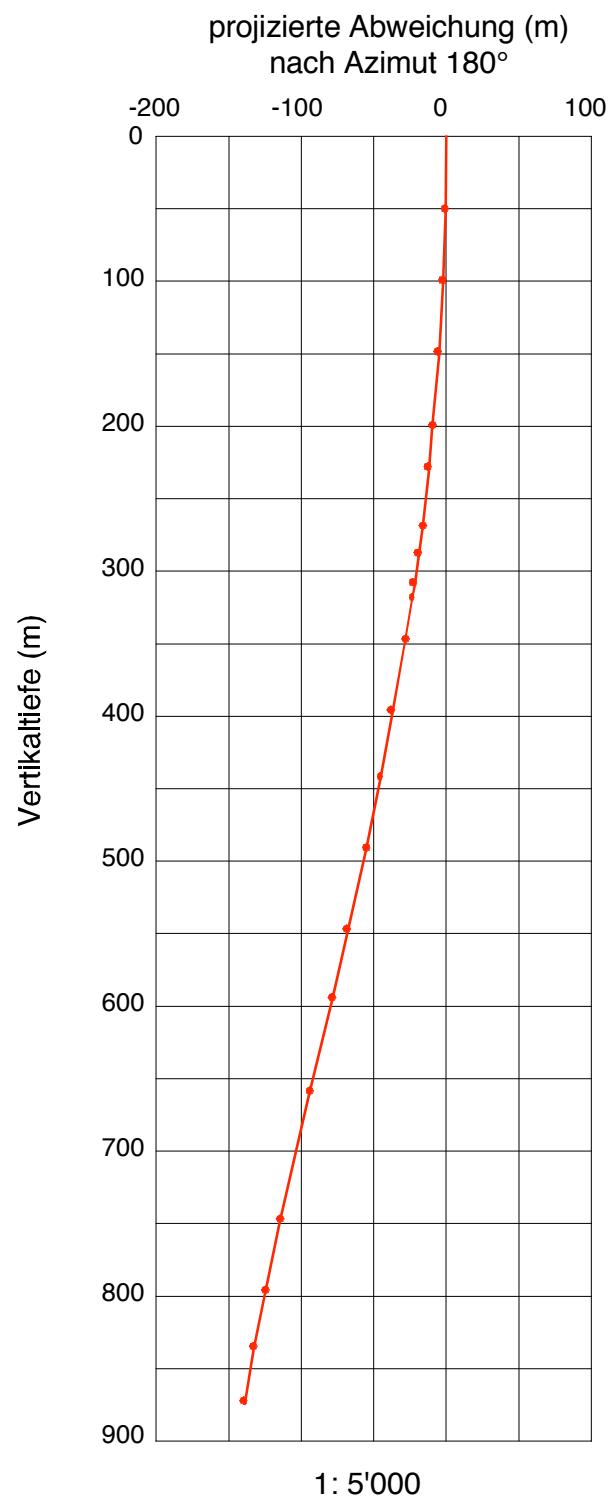


Bohrlochverlauf nach Minimum Curvature

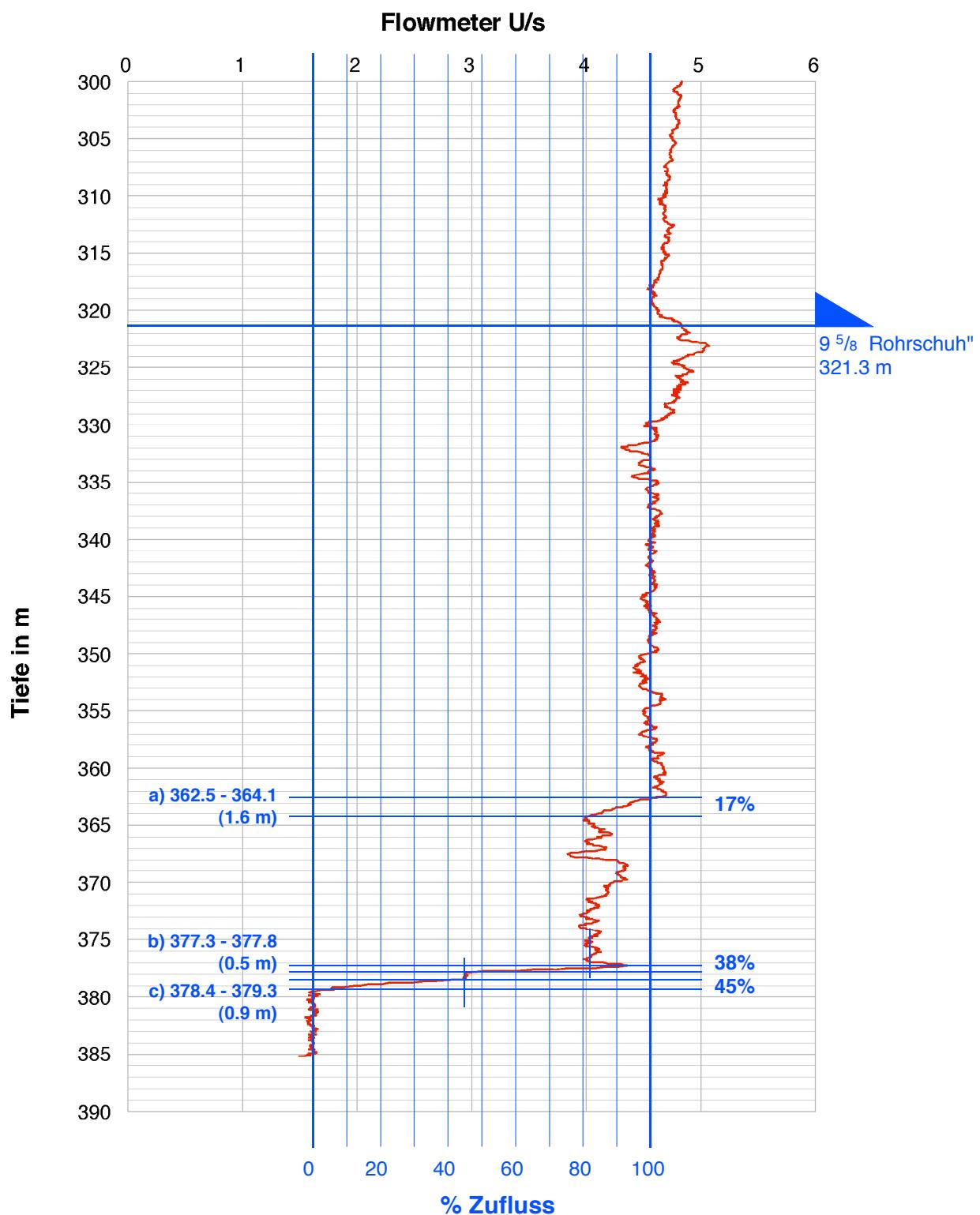
Messung mit Single-Shot

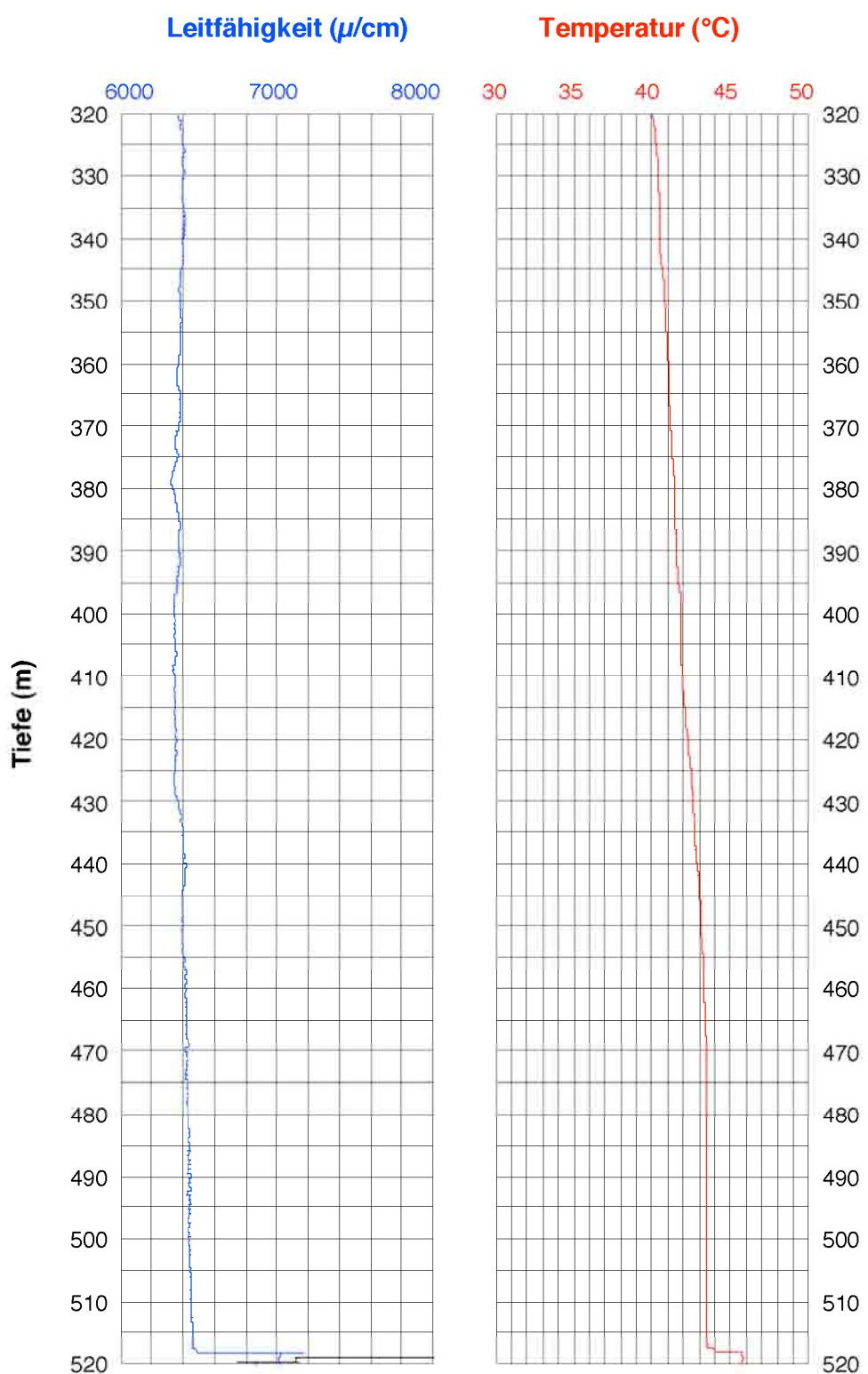
Mess- punkt	Bohr- tiefe	Vertikal- tiefe	Tiefen- verlust	Neigung (gem.)	Azimut (gem.)	Koordinaten		Gesamt- abweichung		Proj. Abw. nach AZ 180°	DLS °/10 m
						+N/-S	+E/-W	Azimut °	Betrag m		
1	50.00	50.00	0.00	1.00	349.00	0.43	-0.08	349.00	0.44	-0.43	0.20
2	100.00	99.97	0.03	2.80	344.00	2.03	-0.50	346.08	2.09	-2.03	0.36
3	150.00	149.86	0.14	4.70	339.00	5.12	-1.57	342.90	5.35	-5.12	0.39
4	200.00	199.65	0.35	5.80	354.00	9.54	-2.57	344.91	9.88	-9.54	0.35
5	230.00	229.51	0.49	5.50	330.00	12.30	-3.45	344.33	12.77	-12.30	0.79
6	270.00	269.22	0.78	8.10	330.00	16.40	-5.82	340.47	17.40	-16.40	0.65
7	290.00	289.00	1.00	9.10	330.00	18.99	-7.31	338.94	20.35	-18.99	0.50
8	310.00	308.72	1.28	10.20	332.00	21.92	-8.94	337.82	23.67	-21.92	0.57
9	320.00	318.55	1.45	10.60	335.00	23.54	-9.74	337.52	25.47	-23.54	0.67
10	350.00	348.02	1.98	11.00	335.00	28.63	-12.12	337.06	31.09	-28.63	0.13
11	400.00	397.10	2.90	11.00	335.00	37.28	-16.15	336.58	40.62	-37.28	0.00
12	447.00	443.15	3.85	12.10	335.00	45.81	-20.12	336.28	50.03	-45.81	0.23
13	496.00	490.86	5.14	14.20	333.00	55.82	-25.02	335.85	61.17	-55.82	0.44
14	554.00	547.09	6.91	14.20	331.00	68.38	-31.70	335.13	75.37	-68.38	0.08
15	603.00	594.65	8.35	13.90	349.00	79.42	-35.74	335.77	87.09	-79.42	0.89
16	670.00	659.68	10.32	13.90	349.00	95.22	-38.81	337.82	102.82	-95.22	0.00
17	760.00	747.30	12.70	12.50	349.00	115.39	-42.73	339.68	123.05	-115.39	0.16
18	810.00	796.12	13.88	12.50	349.00	126.01	-44.80	340.43	133.74	-126.01	0.00
19	850.00	835.31	14.69	10.50	349.00	133.84	-46.32	340.91	141.63	-133.84	0.50
20	888.50	873.28	15.22	8.60	357.00	140.16	-47.14	341.41	147.87	-140.16	0.60

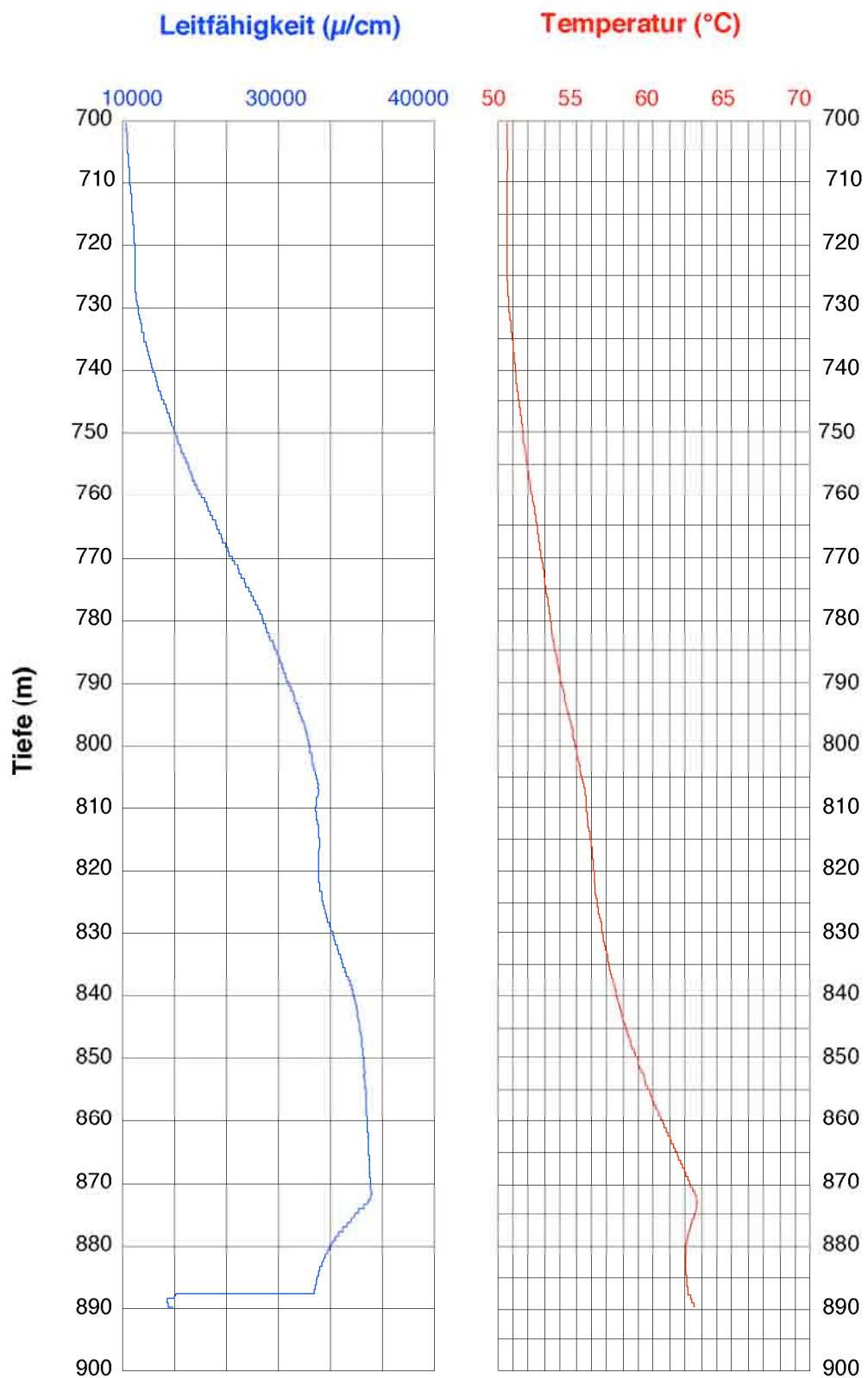


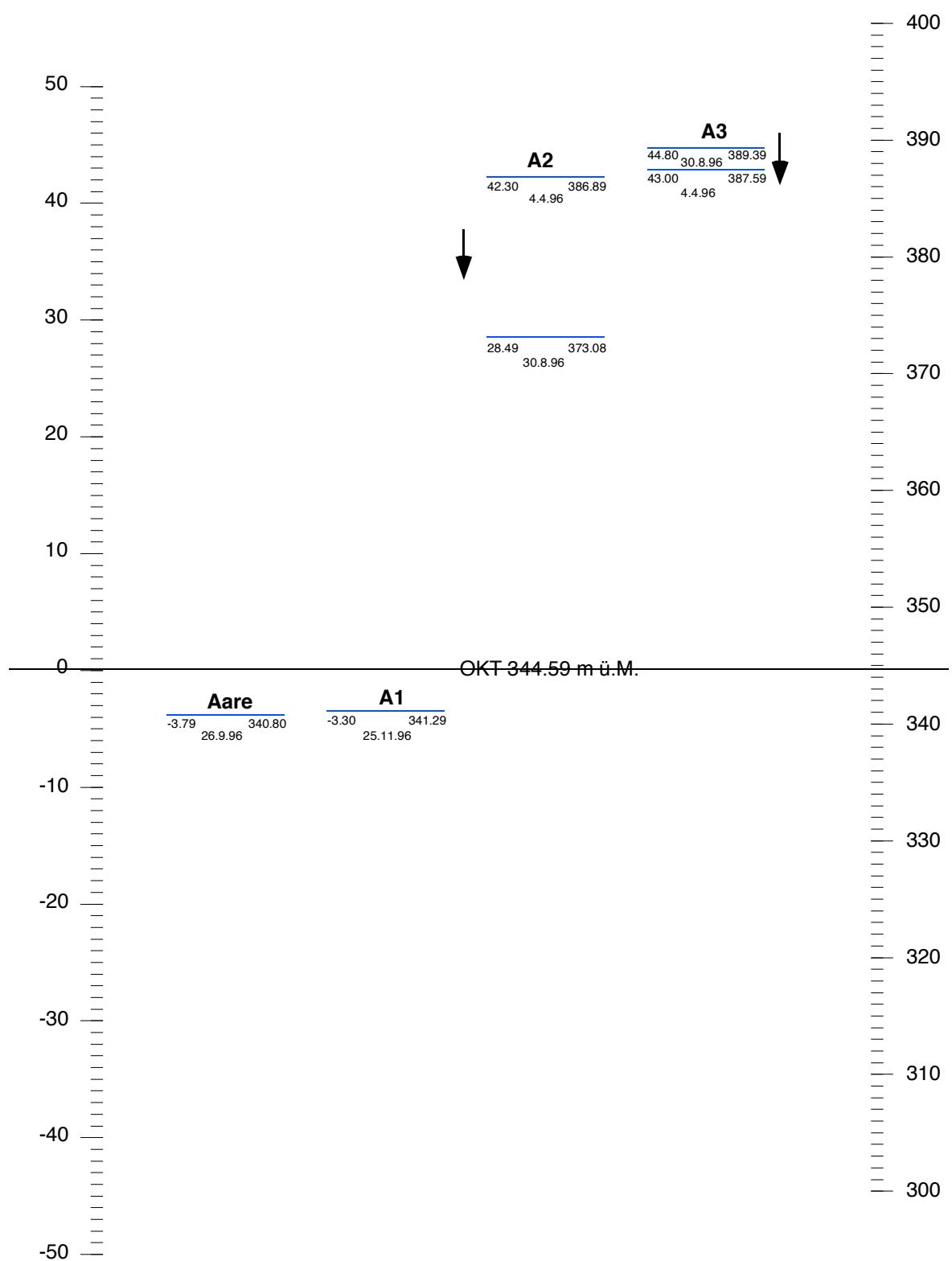


 Autor: M.O. Häring, Mai 97 HD MOH: BSAG/Ablenkung 2	Geothermiebohrung Bad Schinznach S3 Ablenkung in Vertikalprojektion nach Azimut 180°	 Figur 14
---	---	--

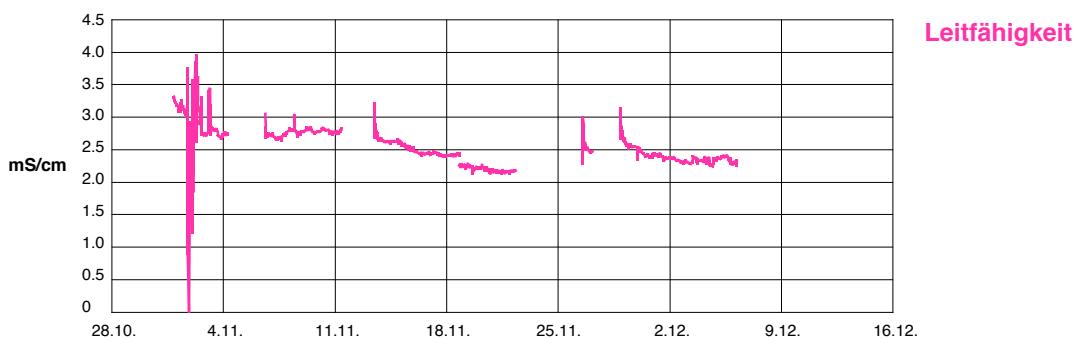
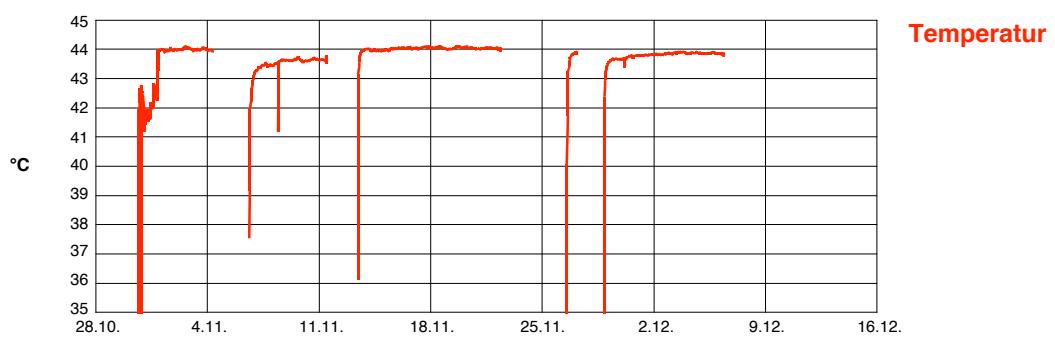
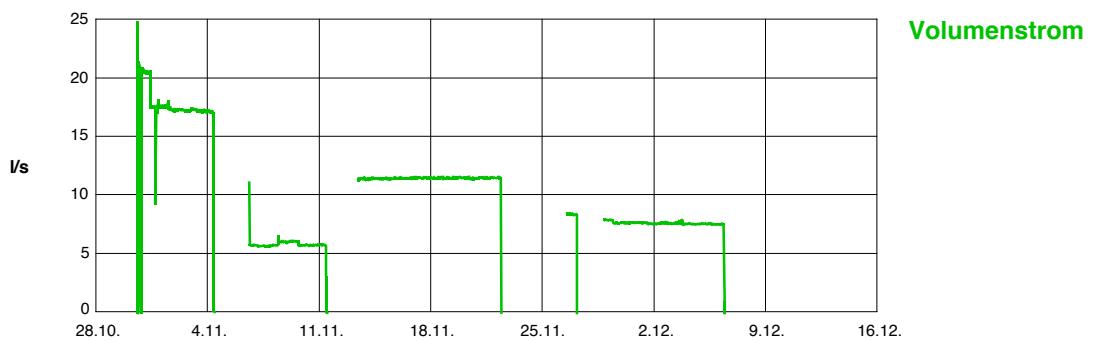
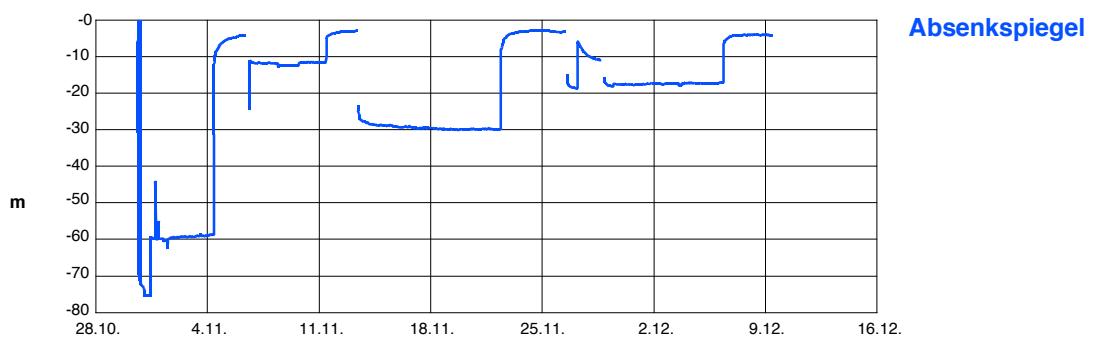




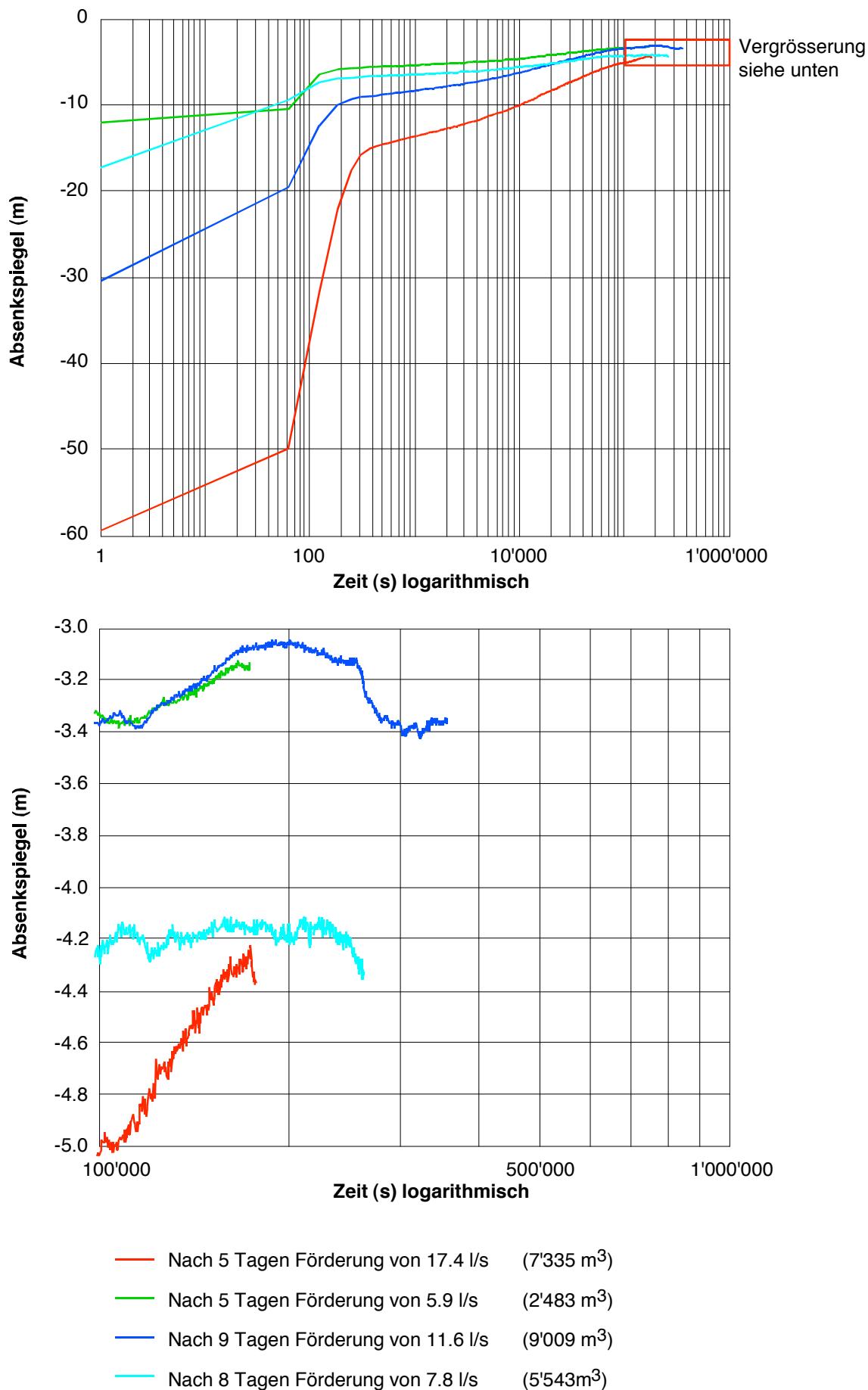




 HÄRING <small>GE - RJECT</small>	Geothermiebohrung Bad Schinznach S3 Druckverhältnisse / Ruhewasserspiegel	 BAD SCHINZNACH <small>THERMALQUELLE</small>
Autor: M.O. Häring, Mai 97 HD MOH: BSAG/Druckverh.		Figur 18

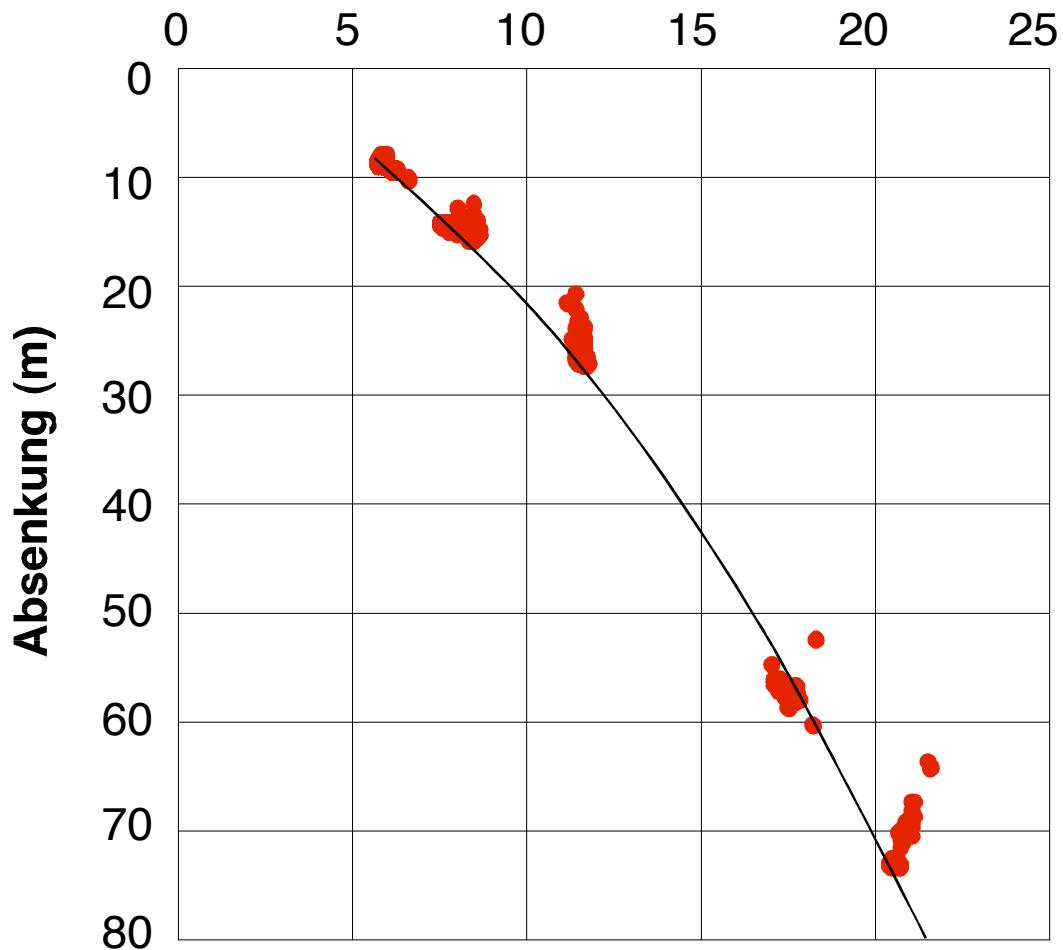


 HÄRING <small>GE - R - JECT</small>	Geothermiebohrung Bad Schinznach S3 Langzeitpumpversuch A1, Gesamtübersicht	 BAD SCHINZNACH <small>THERMALQUELLE</small>
Autor: M.O. Häring, Mai 97 HD MOH: BSAG/LZPV total		Figur 19

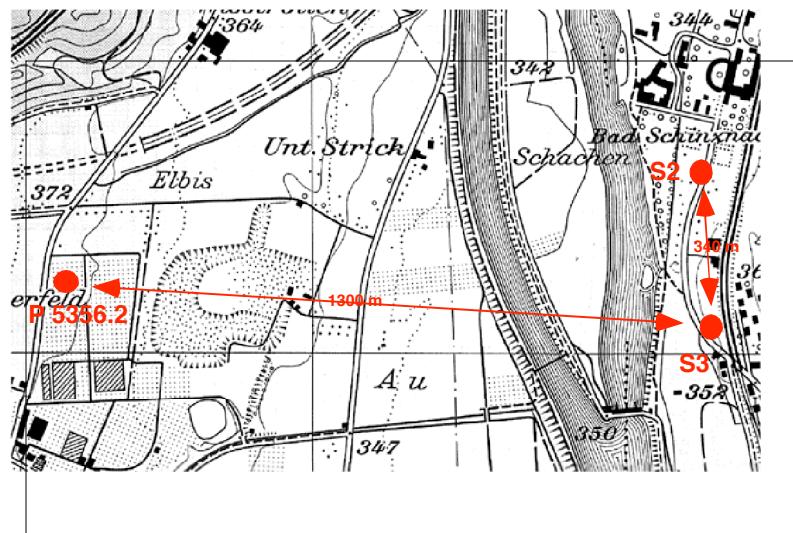
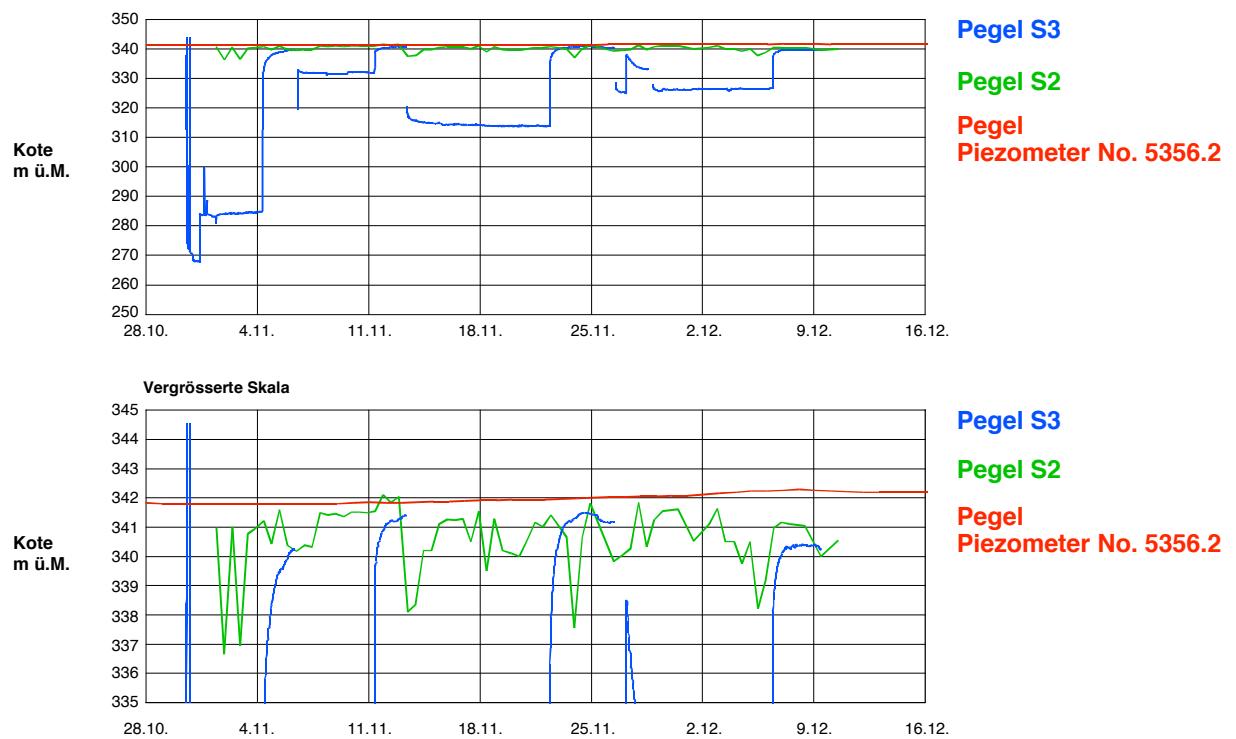


 Autor: M.O. Häring, Mai 97 HD MOH: BSAG/Wiederanst. Log	Geothermiebohrung Bad Schinznach S3 Wiederanstiegskurven im Langzeitpumpversuch	 Figur 20
--	---	---------------------

Volumenstrom Q (l/s)

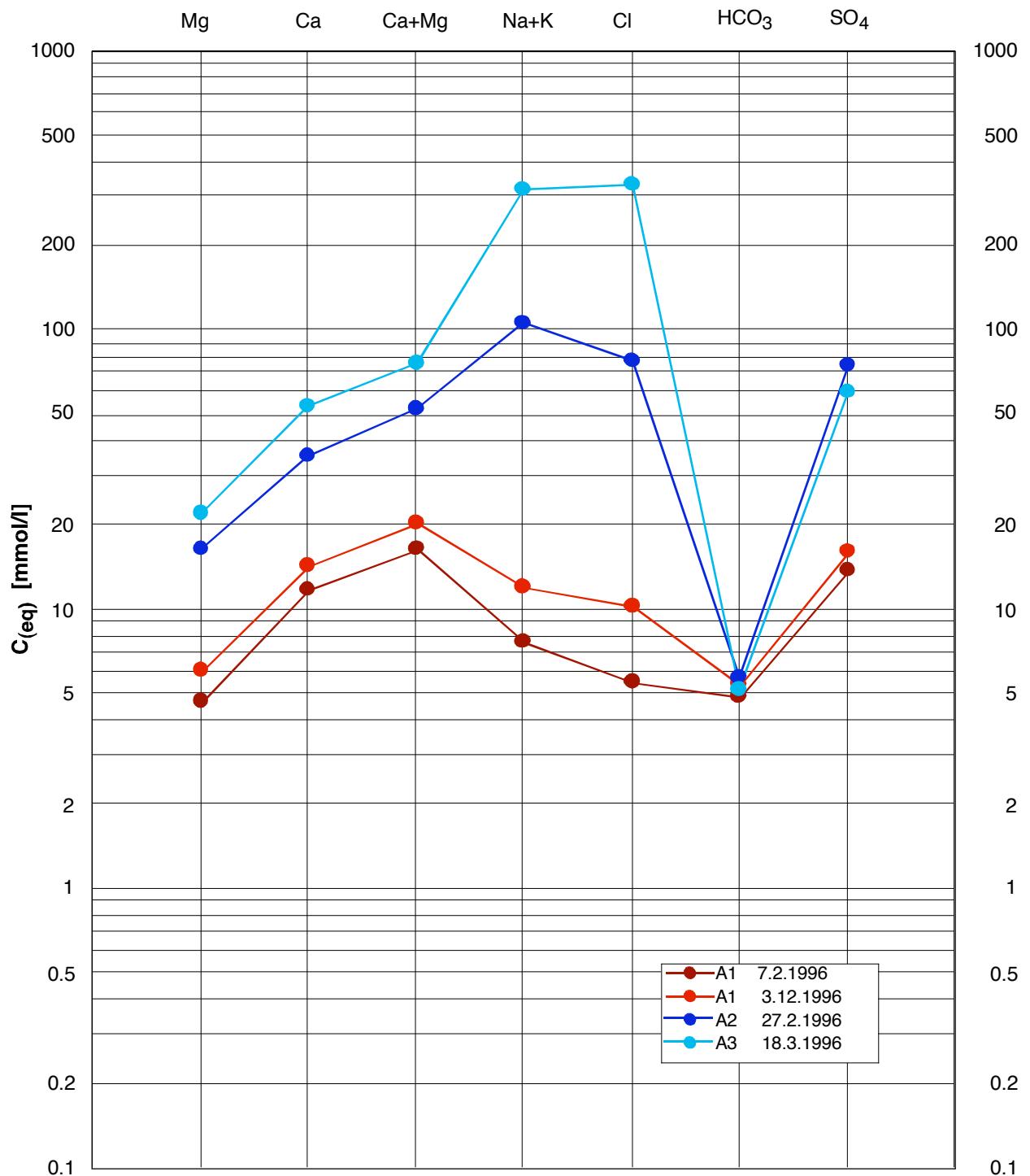


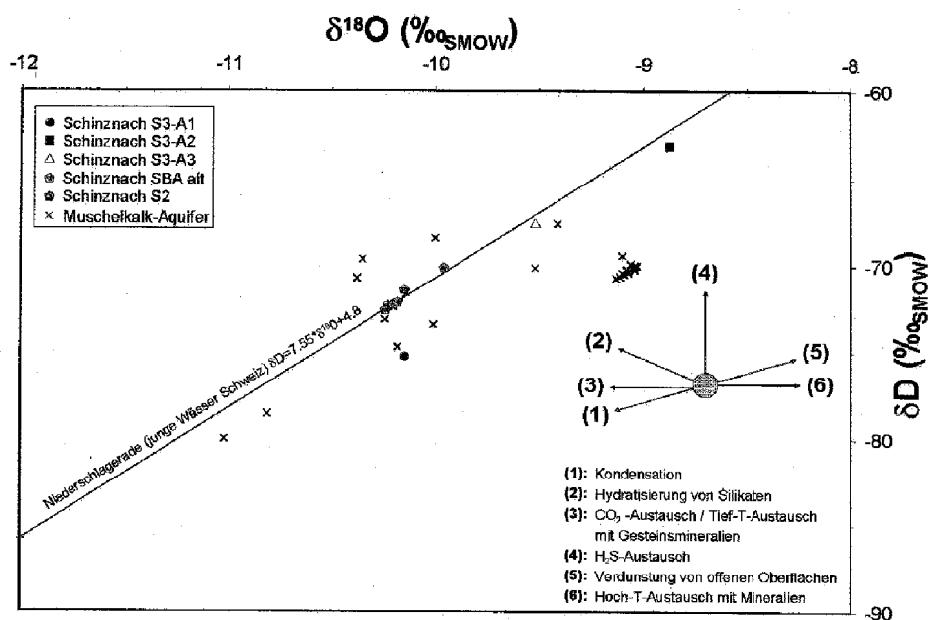
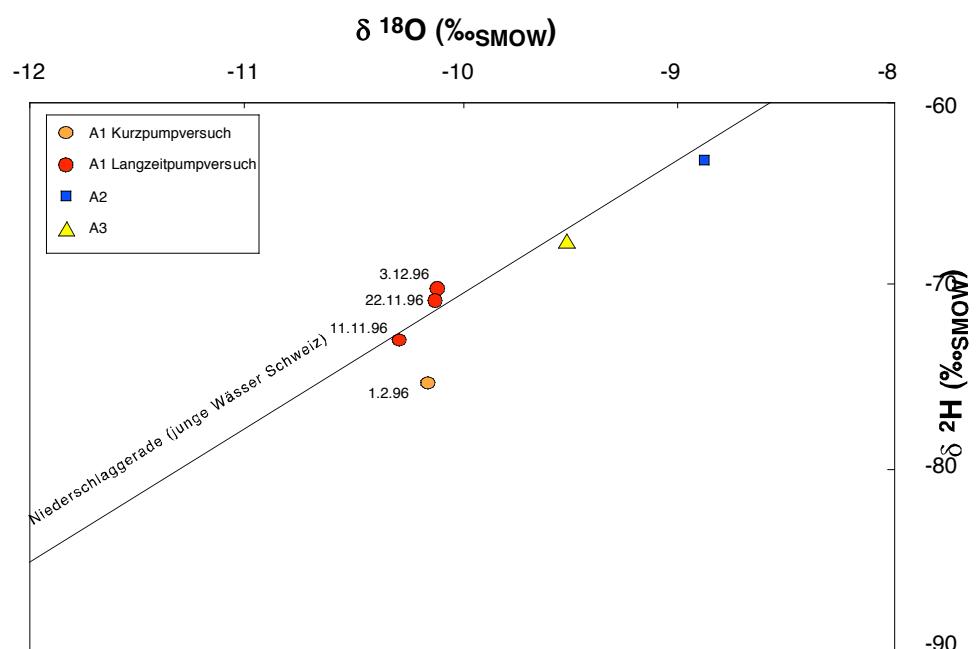
$Q_{\text{Verharrungzst.}}$ l/s	Absenkung m	Ergiebigkeit $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
20.7	-72.1	0.29
17.4	-57.0	0.31
11.6	-26.5	0.44
7.8	-14.5	0.54
5.9	-8.8	0.67



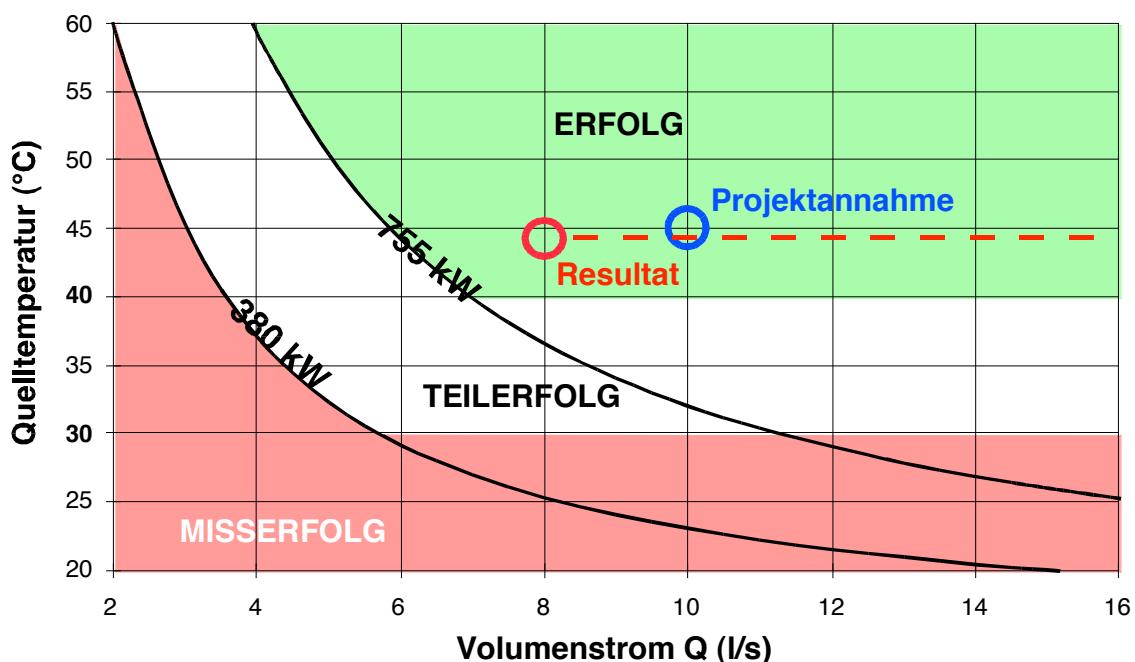
		A1	A2	A3	
Natrium	Na	270	2'322	7'400	mg/l
Kalium	K	14	200		mg/l
Magnesium	Mg	74	202	270	mg/l
Calcium	Ca	289	717	1'080	mg/l
Eisen	Fe	0.18	10.2	24.6	mg/l
Fluorid	F	2.5	6	7	mg/l
Chlorid	Cl	366	2'760	11'740	mg/l
Bromid	Br	0.30	3.8	2.6	mg/l
Nitrat	NO ₃	<0.1	<0.1	<0.1	mg/l
H'karbonat	HCO ₃	331	348	318	mg/l
Sulfat	SO ₄	772	3'610	2'900	mg/l
Schwefelw. stoff	H ₂ S	56	0.71	<1	mg/l
Leitfähigkeit	LF	2'610	14'000	38'400	µS/cm
pH	pH	6.6	7.0	6.9	
Dichte bei 20°C		1.018			g/ccm
Gesamtmin.		2.1	10.2	23.7	g/l
Temperatur (am Bohrlochaustritt)		44.5	44.5		°C
VSB Journal Nr.		W297	W213	W233	

 Autor: M.O. Häring, Mai 97 HD MOH: BSAG/Analytik	Geothermiebohrung Bad Schinznach S3 Übersicht Analytikresultate (Analysen VSB, Dr. H. Senften)	 Figur 23
--	---	--





Isotopen-Diagramm gem. Bericht geoform, 16.10.96



Referenztemperatur: 14 °C
Definition:

(gem. Risikodeckung des BEW)

- Thermische Leistung: $\geq 755 \text{ kW}_{\text{th}}$ bei einer Abkühlung bis auf 14°C
- Wassertemperatur: $\geq 40^\circ\text{C}$ am Bohrlochaustritt
- Wasserqualität: Einleitungsbedingungen können mit vertretbarem Aufwand realisiert werden

Resultate:

- Thermische Leistung: 1'046 kW_{th} (bei 500 l/min, Abkühlung bis auf 14°C)
- Wassertemperatur: 44.5°C am Bohrlochaustritt
- Wasserqualität: Vergleichbare Qualität der Fassung S2