



Schlussbericht 1. März 2013

Geothermische Ressourcenanalyse im Bereich des Kongresszentrums

2. und 3. Projektphase: Erkundungsbohrung, Bohrlochmessungen und -versuche

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Geothermie
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Landschaft Davos Gemeinde
<http://www.gemeinde-davos.ch/>

Auftragnehmer:

GEOTEST AG
Birkenstrasse 15
CH-3052 Zollikofen
davos@geotest.ch
www.geotest.ch

Autoren:

Dr. Ch. Regli
Dr. P. Kleboth
St. Bolay

BFE-Bereichsleiter: Gunter Siddiqi

BFE-Programmleiter: Rudolf Minder

BFE-Vertragsnummer: SI/500'258-02

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Gemeinde Davos, 7270 Davos Platz

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern

Geothermische Ressourcenanalyse Kongresszentrums Davos

Pilot- und Demonstrationsprojekt

2. und 3. Projektphase:
Erkundungsbohrung, Bohrlochmessungen und -versuche



Planet view: P. Nyfeler

Davos Platz, 1. März 2013
Bericht Nr. G0939.3

Bearbeiter: Dr. Ch. Regli
Dr. P. Kleboth
St. Bolay

Inhaltsverzeichnis	Seite
Zusammenfassung	6
1. Einleitung	7
1.1 Projekt	7
1.2 Auftrag	8
1.3 Untersuchungsablauf	8
1.4 Unterlagen	9
2. Methodik	10
2.1 Spülbohrung	10
2.2 Bohrlochmessungen	10
2.3 Grundwasserüberwachung	11
2.4 Auslauf- und Pumpversuch	12
2.5 Hydro(geo)chemie	12
3. Bohrtechnische Aspekte	13
3.1 Bohrstandort	13
3.2 Zeitlicher Ablauf der Bohrarbeiten	13
3.3 Bohrdurchmesser und Verrohrung	15
3.4 Ausbau der Verrohrung und Zementation	16
4. Geologische Übersicht	16
4.1 Paläogeographie	16
4.2 Tektonik	17
4.3 Metamorphose	17
4.4 Hydrogeologie	17
5. Lithologie und Hydrogeologie der durchteuften Schichten	19
5.1 Quartär	19
5.2 Aroser Dolomit	19
5.3 Hydrogeologie	19
6. Bohrlochgeophysikalische Messungen	21
6.1 Kaliber-Log	21
6.2 Gamma-Ray-Log	22
6.3 Flowmeter-Log	22
6.4 Temperatur/Leitfähigkeits-Log	22
6.5 Bohrlochvermessung	23
6.6 Fazit Bohrlochgeophysik	24
7. Strukturgeologische Untersuchungen	26
7.1 Optischer Bohrlochscan	26

7.2 Strukturauswertung	26
7.3 Schichtung/Schieferung und Klüftung	28
7.4 Fazit Strukturgeologie	29
8. Grundwasserüberwachung	30
8.1 Lockergestein	30
8.2 Tobelmühlequelle	31
8.3 Aroser Dolomit	32
8.4 Fazit Grundwasserüberwachung	34
9. Auslauf- und Pumpversuch	35
9.1 Versuchsanordnung	35
9.2 Auswirkungen	36
9.3 Auswertung	37
9.4 Fazit Auslauf- und Pumpversuch	41
10. Hydro(geo)chemische Untersuchungen	42
10.1 Isotopengeochemie	42
10.2 Technische Wasserqualität	43
10.3 Fazit Hydro(geo)chemie	45
11. Nutzungsmöglichkeiten	46
11.1 Grundwasserdargebot	46
11.2 Fliesswege	48
11.3 Anlagekonfigurationen	48
11.4 Beurteilungskriterien	48
11.5 Grobbeurteilung	49
12. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	51

Abbildungen	Nr.
Projektorganisation	1
Untersuchungsablauf	2
Situation Bohrstandort	3
Bohrfortschritt	4
Verrohrungsschema	5
Zementation	6
Übersichtsprofil	7
Bohrlochhorizontalverlauf	8
Bohrlochvertikalverlauf	9

Bohrloch-Logs	10
Strukturauswertung	11
Schichtung/Schieferung/Klüftung	12
Situation Grundwasserüberwachung	13
Grundwasserüberwachung Piezometer 28A+B und 29	14
Grundwasserüberwachung Tobelmühlequelle	15
Grundwasserüberwachung Piezometer 28A und Anlage 210'459	16
Ablauf Auslauf- und Pumpversuch	17
Auswirkungen Auslauf- und Pumpversuch	18
Log-Log-Plot, Auslaufversuch Stufe 1, Erkundungsbohrung	19
Theis Methode, Auslaufversuch Stufe 1, Erkundungsbohrung	20
Cooper-Jacob Methode, Auslaufversuch, Erholungsphase, Erkundungsbohrung	21
Cooper-Jacob Methode, Auslaufversuch, Erholungsphase, Piezometer 28A	22
Idealisierte Drucklinie, Pumpversuch, Erkundungsbohrung	23
Theis Methode für Stufentests, Pumpversuch, Erkundungsbohrung	24
Cooper-Jacob Methode, Pumpversuch, Erholungsphase, Erkundungsbohrung	25
Schoeller-Diagramm, Aroser Dolomit, Lockergestein, Tobelmühlequelle	26
Anstehender Aroser Dolomit, Raum Davos	27
Schematisches Profil Gross Schiahorn – Jakobshorn	28

Tabellen	Nr.
Tektonische Einheiten	1
Bohrlochgeophysikalische Messungen	2
Wasserzuflüsse/-verluste im Aroser Dolomit	3
Strukturauswertung	4
Isotopengehalte	5
Grundwasserneubildung	6
Grobbeurteilung möglicher Anlagekonfigurationen	7

Beilagen	Nr.
Bohrprofil 1:100	1
Kaliber-Log	2
Gamma-Ray-Log	3
Flowmeter- und Temperatur/Leitfähigkeits-Log, Teil 1	4

Flowmeter- und Temperatur/Leitfähigkeits-Log, Teil 2	5
Kellerhals + Häfeli AG, Bericht Nr. 7904 vom 31.08.2012	6
Hydroisotop GmbH, Schweitenkirchen, Bericht Nr. 242849-242850 vom 13.02.2013	7
Bachema AG, Schlieren, Bericht Nr. 20124464 vom 09.07.2012, Bericht Nr. 20127931 vom 27.11.2012 und Bericht Nr. 20127807 vom 28.11.2012	8

Verteiler

Gemeinde Davos, Davos Platz	1 Expl.
Bundesamt für Energie BFE, Bern	1 Expl.
Amt für Natur und Umwelt, Chur	1 Expl.
Archiv GEOTEST AG, Davos Platz	1 Expl.

Zusammenfassung

Im Rahmen der 2. und 3. Projektphase der geothermischen Ressourcenanalyse KGZ Davos wurden eine 400 m tiefe Erkundungsbohrung abgeteuft sowie bohrlochgeophysikalische Messungen und Versuche ausgeführt.

Die Bohrung schliesst bis in eine Tiefe von 100 m quartäre Lockergesteine und danach den Aroser Dolomit auf. Die Basis des Dolomits wurde nicht erreicht. Das dominante Einfallen der Schichtung im Dolomit beträgt $130^{\circ}/35^{\circ}$. Die Klüftung fällt mit 55 bis 65° deutlich steiler ein mit einer Einfallrichtung nach NNE, NNW und nach E. Der optische Bohrlochscan visualisiert den Aroser Dolomit im erbohrten Tiefenbereich als Kluftaquifer.

Die Bohrlochmessungen dokumentieren einen artesisch gespannten Kluftaquifer mit einem Wasserdruck am Bohrstandort von rund 2.6 bar, einer Mischwassertemperatur von 11.4°C und einem geothermischen Gradienten von rund $2.7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Die berechnete Transmissivität für den Grundwasser führenden Bereich des Aroser Dolomits in einer Tiefe zwischen 100 bis 270 m beträgt rund 2 bis $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Die rasche Reaktion des Druckspiegels auf Änderungen in der Versuchsanordnung beim Auslauf- und Pumpversuch dokumentiert die hohe Konnektivität der Klüfte.

Die Proben aus unterschiedlicher Tiefe dokumentieren ein $\text{Ca} - \text{Mg} - \text{Na} - \text{SO}_4$ - Wasser mit einer verhältnismässig geringen Gesamtmineralisation von $< 600 \text{ mg/l}$. Das Wasser besteht aus einer Tritium-freien und einer Tritium-führenden Jungwasserkomponente. Aufgrund der Kohlenstoffisotopensignatur ergibt sich in erster Näherung ein Wasseralter von ca. 5'000 bis 10'000 Jahren. Die hauptsächliche Grundwasserneubildung erfolgt aufgrund der gemessenen stabilen Isotope in einer Höhe zwischen 2300 und 2600 m ü. M.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse dokumentieren, dass der Aroser Dolomit im Raum Davos ein nutzbarer und ergiebiger Grundwasserleiter ist. Hinsichtlich der Beurteilung von Nutzungsmöglichkeiten bestehen noch offene Fragen bezüglich Mächtigkeit und Ausdehnung des Aroser Dolomits unterhalb der Silvretta-Decke, der Hydrogeologie der Quellen im Aroser Dolomit der weiteren Umgebung, dem natürlichen, unbeeinflussten Grundwasserfliessfeld im Aroser Dolomit und der Auswirkungen auf bestehende Anlagen bei langandauernden, grossen Entnahmeraten.

Eine erste Grobbeurteilung zeigt die Vor- und Nachteile verschiedener Anlagekonfigurationen unter der Voraussetzung der Nutzung der Erkundungsbohrung als Entnahmefountain auf. Eine Nutzung ohne Rückführung in den Aroser Dolomit kann bei einer noch zu definierenden Entnahmerate nachhaltig betrieben werden.

Hinsichtlich der Optimierung der geothermischen Nutzung des (mitteltiefen) Untergrundes im Raum Davos wird vorgeschlagen, die noch offenen Fragen im Hinblick auf die Erstellung eines hydraulisch-thermischen Modells für den Dolomit-Aquifer anzugehen und die bestehende Erkundungsbohrung im Aroser Dolomit zu nutzen.

1. Einleitung

1.1 Projekt

Die geothermische Ressourcenanalyse KGZ Davos umfasst drei Projektphasen:

- 1. Projektphase:** Seismische Untersuchungen zur Identifikation der tektonischen und strukturellen Verhältnisse im Bereich des Kongresszentrums, Verbesserung des bestehenden geologisch-hydrogeologischen Modells, Beurteilung der Voraussetzungen für eine geothermische Nutzung des mitteltiefen Untergrundes (Aroser Dolomit), Festlegung eines möglichen Bohrstandortes.
- 2. Projektphase:** Abteufen einer 400 m tiefen Erkundungsbohrung, geologische Bohrbegleitung, geophysikalische Bohrlochmessungen, strukturgeologische Untersuchungen, Grundwasser- und Quellüberwachung, Verifikation des geologisch-hydrogeologischen Modells.
- 3. Projektphase:** Durchführung eines mehrwöchigen Auslauf- und Pumpversuchs, geophysikalischen Bohrlochmessungen, Grundwasser- und Quellüberwachung, Ermittlung der aquiferspezifischen Parameter und des potentiellen Grundwasserdargebots, Aufzeigen von Nutzungsmöglichkeiten.

Die ausgeführten Arbeiten und Ergebnisse der 1. Projektphase sind in [11] dokumentiert.

Projektorganisation

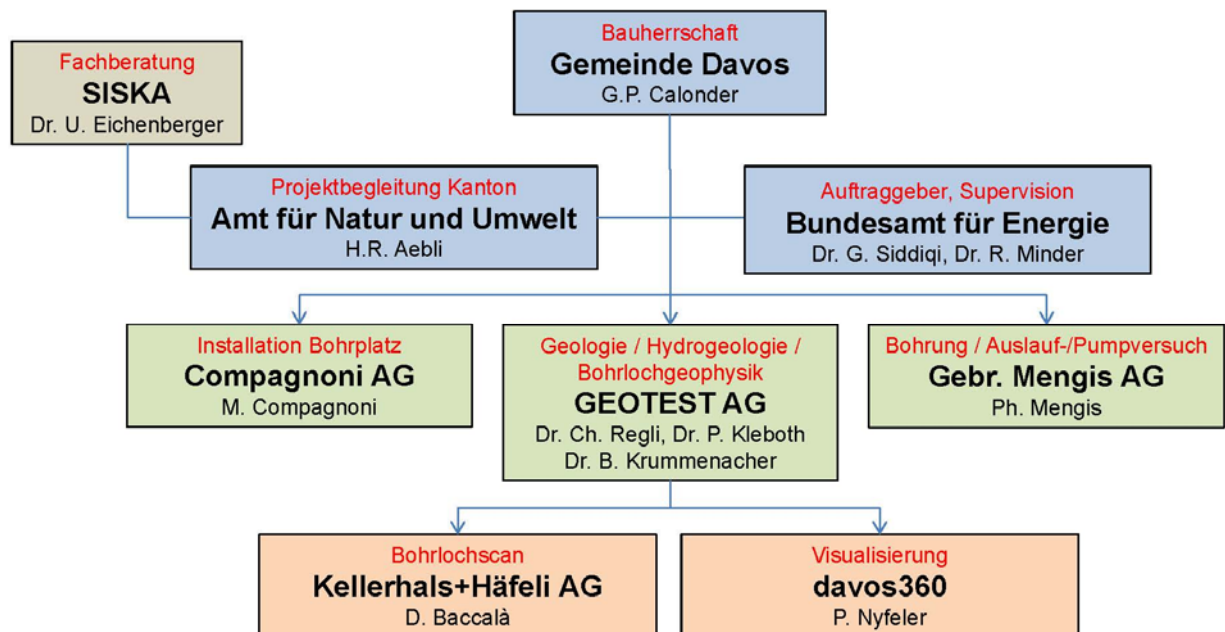


Abbildung 1: Projektorganisation der 2. und 3. Projektphase, SISKA: Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung.

1.2 Auftrag

Der Auftrag umfasst die 2. und 3. Projektphase.

Objekt: Erkundungsbohrung KGZ Davos

Bauherrschaft: Gemeinde Davos

Projektverfasser: Gemeinde Davos, Beratung durch GEOTEST AG, Davos

Bauvorhaben: Erkundungsbohrung, die bei positiven Ergebnissen zu einer Produktions-
bohrung ausgebaut und/oder für die Projektierung einer Tiefbohrung ge-
nutzt werden kann

Koordinaten: 782'560 / 185'930

Offerten: 2. Projektphase: Nr. 26090390.7 vom 22.08.2011
3. Projektphase: Nr. 26090390.8 vom 20.07.2012

Aufträge: 2. Projektphase: Erteilung durch Kleiner Landrat am 27.03.2012
3. Projektphase: Erteilung durch Kleiner Landrat am 14.08.2012

Aufträge gestützt auf den Forschungsvertrag Nr. SI/500258-02 des BFE
mit der Gemeinde Davos vom 31.05.2011 und die Verfügung des BFE Nr.
SI/500640-01 vom 09.08.2011

1.3 Untersuchungsablauf

2012	Wo	In-/Deinstallation Bohrplatz	Erkundungs- bohrung	Bohrloch- geophysik	Auslauf-/ Pumpversuch	Probenahme Analyse	Grundwasser- überwachung	Auswertung Dokumentation
APR	16 17	20 x 30 m					<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"> Lockergestein: Piezometer 26, 28A+B, 28, 29 Festgestein: Anlage 210459, Piezometer 28A, Tobelmühlequelle </div> <div style="margin: 0 10px;">↑</div> </div>	
MAI	18 19 20 21 22		Spülbohrung 400 m: Lockergestein 100 m Festgestein 300 m					
JUN	23 24 25 26							
JUL	27 28 29 30			Kal, T/Lf, Flow, GR, oBs		TW		Bohrung, Logs, GW-Überwachung
AUG	31 32 33 34 35			Kal, T/Lf, Flow	Auslaufversuch: 2-stufig, 650, 1150 l/min Pumpversuch: 3-stufig 1380, 1690, 1760 l/min			Strukturen
SEPT	36 37 38 39			T/Lf, Flow				
OKT	40 41 42 43 44			Kal, T/Lf, Flow				Logs, Auslaufversuch, GW-Überwachung
NOV	45 46 47 48			Kal, T/Lf, Flow		TW, $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}/$ $^{18}\text{O}/^3\text{H}/^2\text{H}$		Pumpversuch
DEZ	49 50	teilweiser Rückbau						

Abbildung 2: Untersuchungsablauf; Kal: Kaliber-Log, T/Lf: Temperatur/Leitfähigkeits-Log, Flow: Flow-
meter-Log, GR: Gamma-Ray-Log; oBs: optischer Bohrlochscan, TW: Technische Wasserqualität, ^{18}O :
Sauerstoff-18, ^{14}C : Kohlenstoff-14, ^{13}C : Kohlenstoff-13, ^3H : Tritium, ^2H : Deuterium.

1.4 Unterlagen

- [1] Amt für Natur und Umwelt (2012): Karsthydrogeologie der Aroser Dolomiten - Konsequenzen für die geothermische Bohrung Kongresszentrum Davos. Bericht ISSKA, Version vom 16.01.2013.
- [2] Amt für Natur und Umwelt und Landschaft Davos Gemeinde (2009): Grundwasserstudie – Grundwassermodell Davos. GEOTEST AG, Bericht Nr. G0740.1.
- [3] Amt für Umweltschutz Graubünden (1993): Grundwasser Davos, Hydrogeologisches Gutachten. Büro für technische Geologie und Hydrogeologie, Bericht Nr. 3319.
- [4] Bernoulli D., Manatschal G. and Müntener O. (2007): An ancient ocean-continent transition in the Alps: The Totalp unit (Graubünden). 8th Workshop on Alpine Geological Studies Davos, Excursion Guide-Book, 10-24.
- [5] Bundesamt für Energiewirtschaft, Amt für Umweltschutz Graubünden, Gemeinde Landschaft Davos (1986): Pilotprojekt geothermische Bohrung Phase II, Schlussbericht. Büchi und Müller AG, Bericht Nr. 2063.
- [6] Cadisch J. und Leupold W. (1929): Geologische Karte von Mittelbünden, 1:25'000, Blatt B: Davos. Schweiz. Geol. Komm.
- [7] Cooper H.H. and Jacob C.E. (1946). A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. Am. Geophys. Union Trans., Vol. 27, 526-534.
- [8] Elektrizitätswerk Davos AG (2008): Potentialstudie Wasserkraft. GEOTEST Bericht Nr. G0729.1.
- [9] Eugster H. und Leupold W. (1930): Geologische Karte von Mittelbünden, 1: 25'000, Blatt D: Landwasser. Schweiz. Geol. Komm.
- [10] Flisch M. und Streckeisen A. (1986): Nutzung geothermischer Energie in Davos, Geologie und Tektonik.
- [11] Gemeinde Davos und Bundesamt für Energie (2010): Geothermische Ressourcenanalyse Kongresszentrum Davos, 1. Projektphase: Seismische Untersuchungen. GEOTEST Bericht Nr. G0939.2.
- [12] Gemeinde Davos (1999): Schutzzonenausscheidung für die Tobelmühlequelle. Hydrogeologischer Bericht. Büro für Technische Geologie, Bericht Nr. 4627-1.
- [13] Manatschal G., Müntener O., Desmurs L. and Bernoulli D. (2003): An ancient ocean-continent transition in the Alps: The Totalp, Err-Platta, and Malenco units in the eastern Central Alps (Graubünden and northern Italy). Eclogae geol. Helv. 96, 131-146.
- [14] Pfiffner A. (2009): Geologie der Alpen. Haupt Verlag Bern, Stuttgart, Wien.
- [15] Schwizer B. (2008): Unpublizierte geologische Originalkarte Blatt Davos. Archiv der Geologischen Landesaufnahme.
- [16] Thöni M. (1999): A review of geochronological data from the Eastern Alps. Min. Petr. Mitt. 79, 209-230.
- [17] Wexsteen P. (1987): Landschaft Davos, Pilotprojekt geothermische Bohrung – Composition chimique et isotopique des eaux des forages Davos-Dorf (SB3) et Davos-Platz (SB1).

2. Methodik

2.1 Spülbohrung

Die Spülbohrverfahren lassen sich in Abhängigkeit von ihrem Antrieb in drehende (Rotary) und dreh Schlagende (Imlochhammer) Verfahren unterteilen. Das Rotary-Verfahren ist in Sanden und Kiesen, das Imlochhammer-Verfahren im Festgestein und im harten, bindigen Untergrund vorteilhaft. Für die Spülung wird beim Rotary-Verfahren Wasser (Formationswasser oder Brauchwasser), z.T. mit Zusätzen (Bohrspülung), beim Imlochhammer-Verfahren Luft und Wasser verwendet.

Das vom Bohrwerkzeug gelöste Bohrgut (Cuttings) wird vom aufsteigenden Spülstrom über den Ringraum ausgetragen und gelangt ins Auffangbecken. Unmittelbar davor, noch aus dem Spülstrom, erfolgt die Probenahme für die geologische Aufnahme der Bohrung. Die Stabilität der Bohrlochwand wird im Lockergestein durch eine mitgeführte Rohrtour gewährleistet, die aufgrund der Mantelreibung mit der Tiefe kleiner werdende Durchmesser aufweist (Teleskop-Verrohrung).

2.2 Bohrlochmessungen

Bohrlochmessungen (Borehole-Logs) sind Verfahren zur Bestimmung der Bohrlochdimension und des -verlaufs, der petrophysikalischen Eigenschaften der durchörterten Formation, des Trennflächengefüges sowie der Ortung der Grundwasserzutritte und der Temperatur- und Leitfähigkeitsverhältnisse der Formationswässer (Fluid-Logging). Folgende Messungen wurden im Bohrloch vorgenommen:

Kaliber-Log

Messung des Durchmessers in einer Bohrung: Die Bohrlochwand wird von mehreren Messarmen abgetastet, wodurch Unregelmässigkeiten des Durchmessers, Wandausbrüche und das lokale Spannungsfeld lokalisiert werden können. Das Kaliber-Log dient als Korrekturgrösse und Grundlage für die Interpretation anderer Bohrlochmessverfahren.

Gamma-Ray-Log

Messung der natürlichen Radioaktivität in einer Bohrung: Die natürliche Gamma-Strahlung der Gesteine wird vor allem durch den radioaktiven Zerfall des ^{40}K -Isotops und der radioaktiven Elemente der Uran- und Thoriumreihe verursacht. Das Gamma-Ray-Log zeigt die gesamte natürliche Radioaktivität an. Es wird zur lithologischen Gliederung der durchteuften Schichten genutzt (Lithologieindikator). Die Radioaktivität in Sedimenten korreliert i.d.R. mit dem Anteil des Tongehalts. Dies ist auf den erhöhten Kaliumgehalt der Tonminerale und die hohe Adsorptionskapazität von feinkörnigem Material für Thorium und Uran zurückzuführen. Das Gamma-Ray-Log liefert wichtige Basisinformationen zur lithologischen Gliederung des Bohrprofils und wird als Bezugsmessung für die anderen Bohrlochmessverfahren herangezogen.

Flowmeter-Log

Messung der vertikalen Strömungsgeschwindigkeit in einer Bohrung: Die Messung wird mit einem an der Sonde angebrachten Messflügel durchgeführt, der durch die vorbeiströmende Bohrlochflüssigkeit (Bohrspülung, Formationswasser, Brauchwasser) in Rotation versetzt wird. Flowmetermessungen müssen immer zusammen mit dem Kaliber-Log interpretiert werden, da die Strömungsgeschwindigkeit im Bohrloch massgeblich durch den Bohrlochdurchmesser bestimmt wird. Flowmetermessungen dienen der Lokalisierung von durchlässigen Zonen und Abschnitten, bei denen Wasserzuflüsse und/oder -verluste erfolgen. Des Weiteren lassen sich auch Horizonte mit unterschiedlichem piezometrischen Druckniveau feststellen (Stockwerkaufbau).

Temperatur/Leitfähigkeits-Log

Messung des Temperatur und elektrischen Leitfähigkeitsverlaufs (Salinität) in einer Bohrung: Zur Registrierung des natürlichen Temperatur- und Leitfähigkeitsverlaufs wird die Messung erst vorgenommen, wenn die Störungen des natürlichen Temperatur- und Leitfähigkeitsfeldes durch den Bohrvorgang abgeklungen sind. Um neuerliche Störungen zu vermeiden, werden die Temperatur und Leitfähigkeit gleichzeitig beim Absenken der Sonde gemessen. Des Weiteren geben Temperatur/Leitfähigkeits-Logs auch Hinweise auf Wasserzutritte und -verluste bei unterschiedlich temperierten und mineralisierten Wässern im Untergrund.

Optischer Bohrlochscan

Optische Aufnahme der Bohrlochwand: Als Grundlage für die Erfassung von Trennflächen (Schichtung, Schieferung, Klüftung) in einer Bohrung dient die optische Aufnahme der Bohrlochwand. Voraussetzung hierfür ist eine optische Sicht (je klarer das Wasser desto besser das Bild). Der gesamte Umfang der Bohrlochwand wird erfasst. Das Bild der Bohrlochwand wird abgerollt dargestellt. Ein in der Sonde integriertes Orientierungsmodul erlaubt es, die Bilddaten nach magnetisch Nord auszurichten. Trennflächen, welche eine Bohrung schneiden, zeigen im abgerollten Bild der Bohrlochwand sinusförmige Kurven und lassen sich bezüglich ihrer wahren Raumlage bestimmen. Mit dem Orientierungsmodul wird zudem der Verlauf der Bohrung in Neigung (Dip) und Richtung (Azimut) vermessen.

2.3 Grundwasserüberwachung

Die Beobachtung und Kontrolle von qualitativen und quantitativen Veränderungen im Grundwasser durch Bohrarbeiten und Bohrlochversuche erfolgt mittels Zeitreihenanalysen in verschiedenen Messstellen. Die Überwachung setzt den Vergleich von Daten mehrerer Zeitschritte voraus. Die Datenerhebung erfolgt kontinuierlich oder in definierten Zeitabständen, und zwar vor, während und nach jeglichen Tätigkeiten und Versuchen. Es ist das Ziel, durch zeitsynchrone Daten eine synoptische Übersicht über den unbeeinflussten Zustand und die Veränderungen im Grundwasser infolge der Bohrarbeiten und Bohrlochversuche zu erhalten.

2.4 Auslauf- und Pumpversuch

Bei einem Auslauf- und Pumpversuch wird zeitlich begrenzt Grundwasser aus einem Brunnen entnommen. Je nach Zielsetzung wird unterschieden zwischen Versuchen zur Bestimmung der hydraulischen Kennwerte eines Grundwasserleiters und Versuchen zur Ermittlung der Charakteristik eines Brunnens.

Kenntnisse bezüglich k_f -Wert, Transmissivität und Speicherkoeffizient eines Grundwasserleiters sind wichtig für lokale und regionale Grundwasserbelange wie z.B. Grundwasserabfluss, Grundwasserneubildung, Ergiebigkeit des Grundwasserleiters, Grundwassererschließung und Grundwasserschutz. Entsprechende Versuche verlangen neben der Messung der Grundwasserentnahme die Registrierung des Grundwasserspiegels in weiteren Messstellen.

Die Brunnencharakteristik wird definiert durch die Brunnenleistung, die maximale Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen, die maximale Entnahmerate und die Beharrungszeit. Die Messungen erfolgen i.d.R. nur im Brunnen selbst.

Kurzzeitversuche dauern mehrere Tage oder Wochen, Langzeitversuche mehrere Monate bis z.T. mehrere Jahre.

2.5 Hydro(geo)chemie

Isotopengeochemie

Anhand der Verhältnisse stabiler Isotope in einer Probe kann das Einzugsgebiet, dessen mittlere Höhe sowie der Fliessweg in einem Grundwasservorkommen ermittelt werden. Die Bedeutung der radiogenen Isotope liegt darin, Wasseralter bestimmen zu können. Für die Ermittlung der Herkunft und Genese sowie des Alters des Dolomitwassers bieten sich die stabilen Isotope Sauerstoff-18 (^{18}O), Kohlenstoff-13 (^{13}C) und Deuterium (^2H) sowie die radiogenen Isotope Kohlenstoff-14 (^{14}C) und Tritium (^3H) an.

Technische Wasserqualität

Mit der Analyse auf die technische Wasserqualität werden das Korrosionspotential metallischer Werkstoffe sowie das Potential von Ablagerungen ermittelt. Sie ermöglicht die richtige Wahl von Werkstoffen bei Neuanlagen und Installationen von Wärmepumpen sowie anderer sanitärer Anlagen.

Durch den Vergleich der Ionenverhältnisse verschiedener Proben können zudem die geogen und anthropogen bedingten Unterschiede von Wässern aus unterschiedlichen Tiefen eines Grundwasserleiters und/oder von Wässern aus verschiedenen Grundwasserleitern aufgezeigt werden. Sie bilden die Grundlage für die Festlegung der hydrochemischen Randbedingungen bei der Beurteilung von Nutzungsmöglichkeiten.

3. Bohrtechnische Aspekte

3.1 Bohrstandort

Der Bohrstandort befindet sich im Kurpark auf Parzelle Nr. 556 der Davos Destination Organisation in einer Grünzone. Kriterien für die Standortevaluation waren:

- Resultate der seismischen Untersuchungen [11], insbesondere Bruch- und Störungszonen bzw. Zonen mit zerrüttetem Fels;
- maximal tolerierte, laterale Abweichung von der seismischen Linie (bei einer Tiefe von $400 \text{ m} \pm 20 \text{ m}$);
- Platzbedarf für Bohrgerät und Installation (Bohrplatz min. 600 m^2) sowie Gewährleistung der Zugänglichkeit nach der Bauausführung;
- Werkleitungen und Installationen sowie Nähe zum KGZ bzw. dessen Heizungsraum.



Abbildung 3: Situation mit Bohrstandort (roter Punkt), 1:1'800.

3.2 Zeitlicher Ablauf der Bohrarbeiten

Die Bohrarbeiten wurden vom 04.05. bis 29.06.12 durch die Gebr. Mengis AG, Luzern, ausgeführt. Die Mächtigkeit der Lockergesteine ist 100 m, diejenige der erschlossenen Festgesteine 300 m. Die Bohrung im Lockergestein dauerte 25 Tage, der Einbau des Standrohres inkl. Wartezeit 13 Tage und die Bohrung im Festgestein 19 Tage. In Abbildung 4 sind relevante Tätigkeiten und aufgetretene Ereignisse/Schwierigkeiten in Abhängigkeit des Bohrfortschrittes dargestellt.

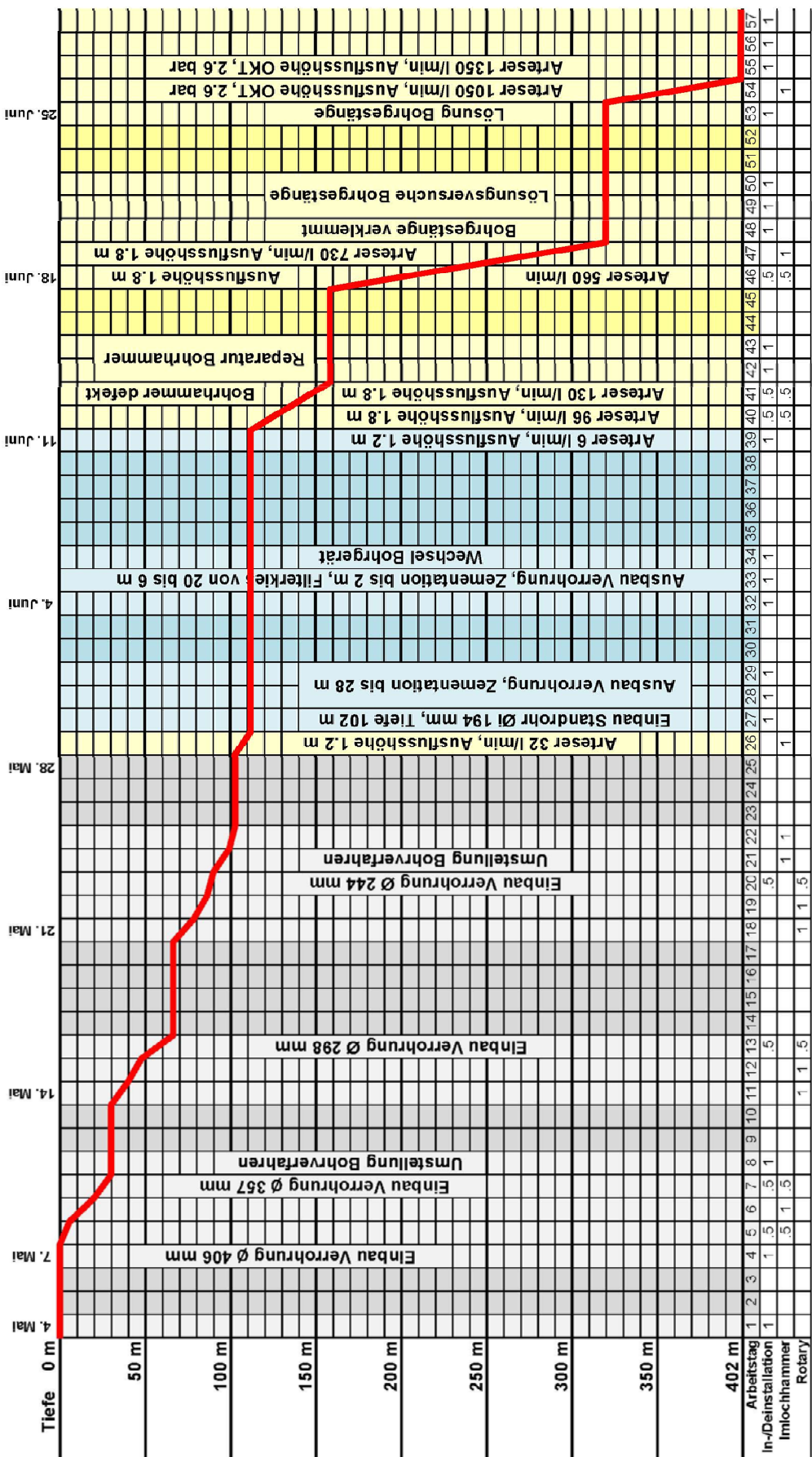


Abbildung 4: Bohrfortschritt (rote Linie), grau: Bohrung im Lockergestein, blau: Einbau Standrohr inkl. Wartezeit, gelb: Bohrung im Festgestein.

3.3 Bohrdurchmesser und Verrohrung

Die Vorgabe war ein Bohrdurchmesser von 150 mm auf Zieltiefe von 400 m. Aufgrund der Kenntnis der Lockergesteinsmächtigkeit aus [11] wurden der Anfangsdurchmesser der Bohrkronen und der temporären Verrohrung entsprechend gewählt. Ausgehend von einem Durchmesser von 406 mm wurde die temporäre Verrohrung bis zur Lockergesteins/Fels-Grenze in einer Tiefe von 100 m sukzessive auf 244 mm reduziert. Das Verrohrungsschema ist in Abbildung 5 dargestellt.

Das Standrohr hat einen Innendurchmesser von 194 mm. Es war vorgesehen das Rohr bis in eine Tiefe von 110 m einzubauen. Entsprechend wurde bis in eine Tiefe von 114 m mit einem Bohrdurchmesser von 244 mm vorgebohrt. Das Standrohr konnte trotz mehrerer Einschubversuche jedoch nur bis in eine Tiefe von 102 m eingebaut werden. Die Bohrung im Festgestein, von 102 bis 402 m Tiefe, ist nicht verrohrt.

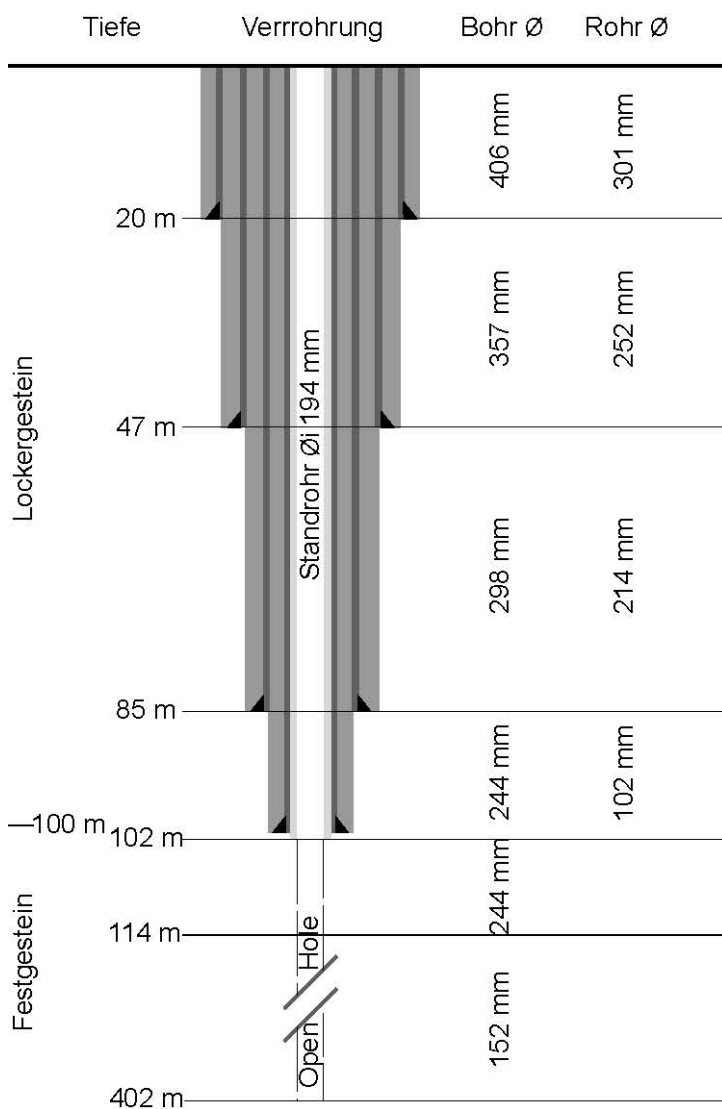


Abbildung 5: Schema der temporären Verrohrung.

3.4 Ausbau der Verrohrung und Zementation

Der Ausbau der temporären Verrohrung und die Zementation des Standrohres erfolgten von unten nach oben in verschiedenen Arbeitsschritten vom 31.05. bis 05.06.12 gemäss Abbildung 6. Die Aushärtung des Zements dauerte noch bis am 11.06.12 an. Insgesamt wurden 342 Säcke Zementmörtel à 25 kg injiziert. Von 20 bis 6 m Tiefe wurde Filterkies eingebaut.

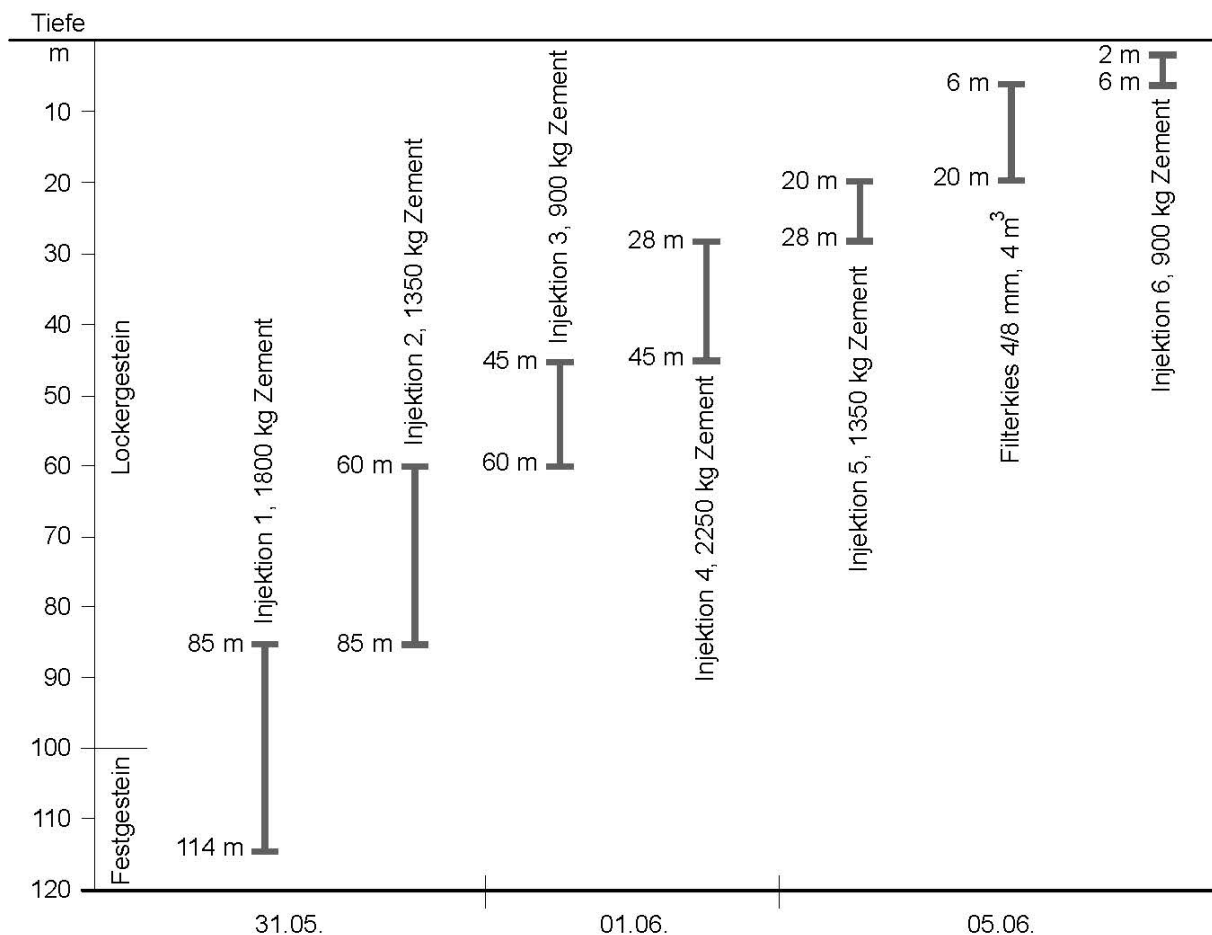


Abbildung 6: Ausbau der temporären Verrohrung und Zementation des Standrohres.

4. Geologische Übersicht

4.1 Paläogeographie

Die Festgesteine im Raum Davos stammen paläogeographisch gesehen aus dem Bereich zwischen der eurasischen und der apulischen (adriatischen) Platte. Anzutreffen sind sowohl Gesteine des südlichen (=apulischen) Kontinentalrandes (Ostalpin), wie auch des penninischen (auch piemont-ligurisch genannten) Ozeans (Penninikum), der die Kontinente trennte. Durch die Subduktion des eurasischen Kontinents unter die apulische Platte und der damit verbundenen alpinen Orogenese wurden die einzelnen Einheiten stark deformiert und übereinander geschoben (Deckenbau) [14].

4.2 Tektonik

Der Deckenbau und die deckeninternen Strukturen im Grenzbereich Penninikum/Ostalpin sind geprägt durch jurassische Dehnungstektonik, die Lage in einem Akkretionskeil einer Subduktionszone in der Kreide sowie die alpine Überschiebungstektonik im Känozoikum [4], [13], [14]. Aufgrund von Abschiebungen (Extension) und Überschiebungen (Kompression) lagern im Raum Davos die in Tabelle 1 aufgeführten tektonischen Einheiten übereinander. Aufgrund der Hebung des Gebirges entwickelte sich (in praktisch allen tektonischen Einheiten) eine ausgeprägte Spröddeformation mit steilstehenden Kluftsyste-men. Diese sind N-S, E-W und NE-SW (20-50° E, \pm parallel zur Engadiner Linie) orientiert [5], [6], [9].

Tabelle 1: Gliederung der tektonischen Einheiten im Raum Davos.

Tektonische Einheit	nach [4], [15]	Gesteine
Ostalpin	Silvretta-Decke, z.T. Sedimentbedeckung	Ortho- und Paragneise, Glimmerschiefer Vulkanoklastika, Dolomite, Sandsteine, Brekzien
	Aroser Dolomiten-Decke	Dolomite, z.T. Kalke und Tonschiefer
	Rothorn-Schuppe und Schaflägerzug	Ortho- und Paragneise, Amphibolite Kalkschiefer, Kalke, Sandsteine, Dolomite
	Dorfberg-Decke	Gneise, Glimmerschiefer, Gabbros, Hornblendite
Penninikum	Aroser-Zone	Serpentine, Dolomite, Verrucano, Buntsanstein, Kalke, Schiefer, Radiolarite

4.3 Metamorphose

Der Grad der alpinen Metamorphose erklärt sich im Zusammenhang mit der tektonischen Entwicklung der Region. Aufgrund der Überschiebung des Ostalpins auf den penninischen Sedimentationsraum erfuhren die penninischen Gesteine in der eo-alpinen Phase (Oberkreide) eine erste Metamorphose. Die enorme Auflast führte zum Temperaturanstieg und bewirkte während der eigentlichen alpinen Phase (Oligozän, Miozän) eine Metamorphose der untersten Grünschieferfazies. Die Gesteine des Ostalpins hingegen erfuhren nur eine sehr schwache metamorphe Überprägung (Anchifazies) [10], [16] und daher nur eine minimale Verringerung der primären Gesteinsporosität.

4.4 Hydrogeologie

Lockergesteine

Aufgrund der glazialen Talgeschichte sind im Landwassertal quartäre Lockergesteine erhalten geblieben. Die Mächtigkeit dieser Gesteine beträgt im zentralen Talbereich z.T. über 100 m und ist durch einzelne Bohrungen belegt [3]. Es handelt sich dabei um einen Porengrundwasserleiter. Moränen, limnische Ablagerungen, durch die Seitenbäche in den ehemaligen Grossdavosersees geschüttete Deltasedimente, fluviale Ablagerungen des Landwassers und Bachschutt der Seitengewässer dokumentieren die Sedimentationsprozesse und den sehr heterogenen Aufbau des Grundwasserleiters. Entsprechend weisen die Lockergesteine sehr unterschiedliche hydraulische Durchlässigkeiten im Bereich von $1 \cdot 10^{-3}$ (Kiese) bis $1 \cdot 10^{-8}$ m/s (Seetone) auf [2], [3]. Das Landwasser im Raum Davos infiltriert teilweise ins Grundwasser, teilweise wirkt es als Vorfluter.

Festgesteine

Bei den Festgesteinen erfolgt die Wasserbewegung primär in nicht signifikant durch Lösungsvorgänge erweiterten Trennflächen wie Klüfte, Störungen, Verwerfungen und Schichtgrenzen. Es handelt sich dabei um Kluftgrundwasserleiter. Starken Einfluss auf das Durchlässigkeitsverhalten der Festgesteine haben die lithologischen und die felsmechanischen Eigenschaften, die tektonischen Verhältnisse und der Spannungszustand im Untergrund sowie die Verwitterungserscheinungen. Diese Faktoren beeinflussen die Kluftdichte, die Lage der Trennflächen im Raum und ihre Längsausdehnung, den Durchdringungsgrad, die Öffnungsweite, die Klufttrauhigkeit sowie die Art der Kluftfüllung und somit auch die Anisotropie und den Betrag der Durchlässigkeit. Durch Überlagerungsdruck ergibt sich eine tiefenabhängige Verringerung der Klüftöffnungsweiten bzw. der Kluftdurchlässigkeiten. Zudem finden durch die tiefenabhängige Druck- und Temperaturzunahme diagenetische Prozesse im Gestein statt, die zu einer Verringerung der Porosität führen.

Inwieweit die grundsätzlich verkarstungsfähigen Aroser Dolomite auch tatsächlich verkarstet sind, ist nicht bekannt. Nicht auszuschliessen ist eine teilweise Verkarstung der Aroser Dolomiten im höher gelegenen Einzugsgebiet zwischen Schiahorn im Raum Davos und Pizza Naira im Raum Lenzerheide. Die triadischen Gesteine der Silvretta-Decke im Südwesten des Landwassertales können ebenfalls verkarstet sein. Die hydraulische Durchlässigkeit wird bei verkarsteten Gesteinen wesentlich durch Lösungshohlräume wie erweiterte Trennfugen, Karstspalten und Karströhren bestimmt. Sie zeichnen sich durch hohe Transmissivitäten und rasche Abflüsse entlang von bevorzugten Wasserwegsamkeiten aus.

Die Talflanken von Davos weisen zahlreiche Gewässer auf. Selbst die Gewässer im Aroser Dolomit führen ganzjährig Wasser. Ein signifikanter Anteil der Niederschläge auf den Aroser Dolomit fliesst somit oberflächlich ab.

Tobelmühlequelle

Die Tobelmühlequelle entspringt unterhalb der Hohen Promenade in Davos Platz auf 1615 m ü. M. aus dem Aroser Dolomit (Koordinaten: 781'800/185'780). Das Grundwasser fliesst gemäss [12] aus Klüften und Brüchen, welche an eine Störungszone gebunden sind. Die Quelle weist mit 440 bis 4000 l/min grosse Schwankungen in der Schüttung auf. Einzelne Messungen übersteigen jedoch 4000 l/min deutlich (Juli 2004: 9600 l/min). Solche Schüttungen sind aufgrund der Verhältnisse in der Brunnenstube jedoch sehr schwierig bzw. kaum mehr messbar und deshalb mit grossen Unsicherheiten behaftet. Die Wassertemperatur schwankt im Jahresverlauf zwischen 4 und 6 °C. Die chemischen Wasseranalysen dokumentieren ein Ca – Mg – HCO₃ – Wasser mit einer kurzen Verweildauer im Fels. Gemäss [12] handelt es sich dabei um eine Kluft-, gemäss [1] um eine Karstquelle.

5. Lithologie und Hydrogeologie der durchteuften Schichten

Für die Bohrung wurden die Bohrgeräte RDK3200 (bis Tiefe 114 m) und RDK2100 (bis Endtiefe) eingesetzt. Die Bohrung weist eine Tiefe von 402 m auf. Bis in eine Tiefe von 100 m wurden quartäre Lockergesteine durchteuft. Darunter folgen Dolomite der Aroser Dolomiten-Decke. Die Entnahme der Bohrcuttings erfolgte alle 2 m. In Abbildung 7 ist ein Übersichtprofil und in Beilage 1 das Bohrprofil dargestellt.

5.1 Quartär

Das Bohrgut besteht aus schwach kiesigem bis kiesigem Sand mit wenig Silt und Ton bzw. sandigem Kies mit Steinen und evtl. Blöcken. Dazwischen befinden sich vereinzelt Blocklagen. Der Grobkornanteil nimmt mit der Tiefe zu. Die Feinkornanteile sind aufgrund der Bohrmethode und Probenahme (Spülbohrung, Aussiebung aus Spülstrom) mehrheitlich ausgewaschen. Der Anteil an Steinen und Blöcken wurde aufgrund des Bohrprotokolls und der Angaben des Bohrmeisters abgeschätzt. Der Grundwasserspiegel befand sich am 05.05.12 in einer Tiefe von 1.2 m.

Aufgrund des Bohrgutes lässt sich die Lockergesteinsabfolge wie folgt gliedern:

0 – 4 m	Deckschicht
4 – 63 m	Delta- und Seeablagerungen
63 – 100 m	Moräne

5.2 Aroser Dolomit

Das Bohrgut besteht aus grauem bis schwarzem, mikritischem Dolomit mit unterschiedlichen Anteilen an weissem Calcit. Die Farbe des Dolomits wird mit zunehmender Tiefe heller, von schwarz über dunkelgrau bis grau. Im Vergleich zu den anderen Bohrabschnitten ist der Anteil an Calcit zwischen 220 und 360 m erhöht. Ab einer Tiefe von 360 m sind auch tonhaltige Cuttings erkennbar. Die Basis der Aroser Dolomiten-Decke wurde nicht erreicht.

Der Aroser Dolomit repräsentiert sub- bis intertidale Ablagerungen im internen, vom offenen Meer abgeschlossenen Bereich einer weiten Karbonatplattform. Die mächtigen, relativ homogenen Ablagerungen dokumentieren eine ausgeglichene Sedimentations- und Subsidenzrate.

5.3 Hydrogeologie

Im Lockergestein wurden in einer Tiefe von 78 m leicht artesische Verhältnisse festgestellt. Der Grundwasserspiegel stieg kurzfristig um 0.7 m an.

Beim Bohren im Aroser Dolomit konnten Wasserzutritte in Tiefen zwischen 150 und 160 m, zwischen 190 und 200 m sowie zwischen 250 und 260 m festgestellt werden. Darunter konnten beim Bohren keine Wasserzutritte festgestellt werden. Der Wasserdruck wurde in einer Tiefe von 158 m mit 0.18 bar und während dem weiteren Bohrverlauf mit maximal 2.6 bar gemessen. Der artesische Ausfluss betrug am 27.06.12 auf OKT 1350 l/min.

Tiefe (m)	System/Stufe	Formation/Schicht	Lithologie	Beschreibung	Hydrogeologie
20	Quartär	Deckschicht	Locker- gestein	Kies	05.05.12
		Delta- und Seeablagerungen		Sand	
40				Kies	
				Sand	
60				Steine, Blöcke	
80		Moräne		Kies	
				Sand	
100				Steine, Blöcke	
				Kies	
120	Trias	Aroser Dolomit	Dolomit	schwarz, wenig Calcit	27.06.12
140				dunkelgrau, wenig Calcit	Arteser: OKT
160				dunkelgrau bis schwarz, wenig Calcit	1350 l/min
180					Wasser
200					viel Wasser
220					Wasser
240					viel Wasser
260					Wasser
280					sehr viel Wasser
300					viel Wasser
320					Wasser
340					sehr wenig Wasser
360					sehr wenig Wasser
380					sehr wenig Wasser
402					

Abbildung 7: Übersichtsprofil, Koordinaten ca. 782'560/185'930, Höhe ca. 1539 m ü. M.

6. Bohrlochgeophysikalische Messungen

Die bohrlochgeophysikalischen Messungen wurden unmittelbar nach dem Erreichen der Endtiefe von 402 m sowie vor, während und nach dem Auslauf- und Pumpversuch ausgeführt (Tabelle 2). Die aufgezeichneten Logs sind in den Beilagen 2 bis 5 dargestellt.

Tabelle 2: Bohrlochgeophysikalische Messungen, Arteser geschlossen: Ausfluss ~35 l/min, Arteser gedrosselt: Ausfluss ~520 l/min, Arteser offen: Ausfluss ~1200 bzw. 1300 l/min.

Messung	10.07.12	11.07.12	27.08.12	26.09.12	30.10.12	20.11.12
Kaliber	Beilagen 2/3	--	Beilagen 2/4	--	Beilage 2	Beilagen 2/5
Gamma-Ray	Beilage 3	--	--	--	--	--
Flowmeter	Beilage 4 (~35 l/min / ~520 l/min) Beilage 5 (~520 l/min)	--	Beilage 4 (~35 l/min)	Beilage 4 (~35 l/min / ~1300 l/min) Beilage 5 (~1300 l/min)	Beilage 5 (~1300 l/min)	Beilage 5 (~1200 l/min)
Temperatur/ Leitfähigkeit	Beilage 4 (~35 l/min) Beilage 5 (~1300 l/min)	--	Beilage 4 (~35 l/min)	Beilage 4 (~35 l/min) Beilage 5 (~1300 l/min)	Beilage 5 (~1300 l/min)	Beilage 5 (~1200 l/min)
optischer Bohrlochscan	--	Beilage 6 (Bericht K+H)	--	--	--	--

6.1 Kaliber-Log

Für die Messungen wurde eine 4-Arm CAL-Sonde, Typ GEOCOM eingesetzt, die zwei senkrecht zueinander stehende Bohrl Lochdurchmesser registriert. Eine erste Messung erfolgte am 03.07.12. Infolge eines Steins, der das Bohrloch verklemmt hatte, konnte die Messung nur bis in eine Tiefe von 159 m ausgeführt werden. Die weiteren Messungen konnten bis auf Endteufe gefahren werden.

Die Messungen dokumentieren die Basis des Standrohres in einer Tiefe von 102 m. Der Innendurchmesser des Rohres beträgt 194 mm. Zwischen 102 und 114 m beträgt der Bohrdurchmesser rund 170 bis 175 mm, darunter knapp 160 mm.

Die Häufigkeit der Klüfte und Bohrwandausbrüche ist zwischen 102 und 285 m deutlich grösser als im unteren Bereich der Bohrung. Zwischen 285 und 322 m konnten praktisch keine Klüfte und Bohrwandausbrüche festgestellt werden. Die Erweiterung des Durchmessers infolge der Wandausbrüche variiert im Zentimeterbereich. Sehr selten sind Bohrwandausbrüche von über 15 cm. Während der mehrmaligen Befahrung des Bohrloches über eine Zeitspanne von mehreren Monaten konnten keine Kaliberänderungen registriert werden.

Sämtliche Messungen dokumentieren ein einheitliches Muster. Kleine Unterschiede ergeben sich dadurch, dass die Abtastung der Bohrlochwand nicht orientiert erfolgen konnte und deshalb mit den 4 Armen nicht bei jeder Messung dieselbe Spur befahren wurde.

6.2 Gamma-Ray-Log

Für die Messungen wurde eine GR-Sonde, Typ GEOCOM eingesetzt. Die Messungen wurden auch im Bereich der Lockergesteine ausgeführt. In verschiedenen Tiefen konnten natürliche Radioaktivitäten bzw. erhöhte Tonanteile festgestellt werden, die auf Verlandungssedimente (Tiefe 2 bis 4.5 m), Seesedimente (Tiefen 9 bis 16 m, 28 bis 29 m, 41 bis 46 m, 53.5 bis 63 m) und auf siltig-tonige Moräne hinweisen (Tiefen 63 bis 67.5 m, 81.5 bis 92 m, 93 bis 97 m). Die z.T. mächtigen Bereiche mit erhöhtem Tonanteil wirken als Aquitarde und können Grundwasserstockwerke begrenzen.

Im Aroser Dolomit zeigen die Messwerte im Bereich zwischen 356 und 400 m einen erhöhten Tonanteil. Darüber zeigen nur einzelne, sehr geringmächtige Horizonte erhöhte Tongehalte. Die variablen Tonanteile können durch Veränderungen im Ablagerungsmilieu interpretiert werden.

6.3 Flowmeter-Log

Für die Messungen wurde eine GF-Sonde, Typ ELECTROMIND eingesetzt. Sämtliche Messungen dokumentieren ein einheitliches Muster, unabhängig davon, ob der Arteser geschlossen, gedrosselt oder offen ist.

Rund 65 % der Wasserzuflüsse erfolgen aus Kluftzonen, die 5 m der Bohrung im Aroser Dolomit ausmachen. Rund 40 % der Wasserzuflüsse erfolgen über einen Bereich von 118 m. Auf den untersten 139 m erfolgen praktisch keine Wasserzuflüsse und auf den obersten 38 m erfolgen Wasserverluste von rund 5 % (Tabelle 3).

Tabelle 3: Wasserzuflüsse/-verluste im Aroser Dolomit.

Tiefenbereich		Bohrabschnitt	ca. Anteil am Gesamtausfluss	
Bereich	102 – 140 m	38 m	-5 %	Verlust
Bereich	140 – 199.5 m	59.5 m	20 %	Zufluss
Kluftzone	199.5 – 200.5 m	1 m	15 %	Zufluss
Bereich	200.5 – 248 m	47.5 m	15 %	Zufluss
Kluftzone	248 – 251 m	3 m	35 %	Zufluss
Bereich	251 – 262 m	11 m	5 %	Zufluss
Kluftzone	262 – 263 m	1 m	15 %	Zufluss
Bereich	263 – 402 m	139 m	0 %	Zufluss

6.4 Temperatur/Leitfähigkeits-Log

Für die Messungen wurde eine TC-Sonde, Typ ELECROMIND eingesetzt. Die Temperatur nimmt mit der Tiefe bedingt durch den geothermischen Gradienten zu. An der Bohrlochsohle beträgt die Temperatur konstant 14.4 °C. Das artesisch ausfliessende Wasser ist ein Mischwasser sämtlicher Zuflüsse und hat eine Temperatur von 11.4 °C. Der geothermische Gradient beträgt im unteren Bereich der Bohrung, im Bereich ohne Wasserzuflüsse zwischen 263 und 402 m, rund 1.8 °C/100 m. Im oberen Bereich der Bohrung wird die Temperatur durch die Wasserzirkulation im Bohrloch beeinflusst. Die Extrapolation des geothermischen Gradienten bis OKT ergibt eine Temperatur von 7.2 °C für oberflächennahes Grundwasser. Im Siedlungsraum von Davos werden z.T. Temperaturen für oberflächennahes Grundwasser in diesem Wertebereich gemessen (Isolationswirkung durch Schneedecke). Ausnahmen bilden

flussnahe Messstellen, welche durch infiltrierendes Wasser beeinflusst werden. Unter Annahme einer mittleren Jahrestemperatur der Luft von 3.7 °C für Davos ergibt sich für die gesamte Bohrung ein geothermischer Gradient von 2.7 °C/100 m.

Diskrete Änderungen der Wassertemperatur von rund 0.25 bis 0.75 °C konnten insbesondere in Tiefen zwischen 248 und 251 m sowie zwischen 262 und 263 m festgestellt werden. Diese Änderungen dokumentieren Bereiche mit Wasserzuflüssen.

Die elektrische Leitfähigkeit nimmt mit der Tiefe generell zu. Die höchsten Werte wurden zwischen 370 und 390 m mit rund 1400 µS/cm gemessen. Im untersten Bereich der Bohrung nehmen die Werte stark ab, bedingt vermutlich durch Reste an Spülwasser. Im oberen Bereich der Bohrung, in einer Tiefe von 100 bis 263 m, werden die Werte durch Ausgleichsströmungen beeinflusst. Das artesisch ausfliessende Mischwasser hat eine elektrische Leitfähigkeit von rund 600 bis 700 µS/cm. Diskrete Leitfähigkeitssprünge von rund 50 bis 200 µS/cm konnten, wie bei der Temperaturmessung, in Tiefen zwischen 248 und 251 m sowie zwischen 262 und 263 m festgestellt werden. Weitere diskrete Leitfähigkeitssprünge konnten in Tiefen zwischen 199.5 und 200.5 m, zwischen 322 und 323 m sowie zwischen 332 und 333 m festgestellt werden. Die elektrische Leitfähigkeit ist ein sehr sensibler Parameter hinsichtlich der Lokalisierung von Wasserzuflüssen.

6.5 Bohrlochvermessung

Mit dem Orientierungsmodul des optischen Bohrlochscanners wurde der Verlauf der Bohrung durch die Kellerhals + Häfeli AG, Bern, vermessen. Die Richtungs- und Neigungsmessung sind im Bereich der Verrohrung nicht brauchbar (magnetisch beeinflusst und grösserer Durchmesser). Für die Aufzeichnung der Bohrlochvermessung wurde der erste Wert bei 134 m erfasst. Die Aufzeichnung der Auswertung in Abbildung 8 zeigt, dass das Bohrloch innerhalb eines Radius von ca. 7 m zum Bohranfangspunkt abgeteuft werden konnte, was einem Winkel beim Bohrendpunkt von ca. 1° zur Vertikalen entspricht. Die effektive Abweichung (Bohranfangspunkt – Bohrendpunkt) beträgt 5.52 m in Richtung Westen und 5.28 m in Richtung Süden und beträgt somit 1.9 %. In Abbildung 9 ist der Vertikalverlauf in zwei Profilschnitten dargestellt. Sie zeigen insbesondere im untersten Bereich verstärkte Richtungswechsel des Bohrlochverlaufs auf.

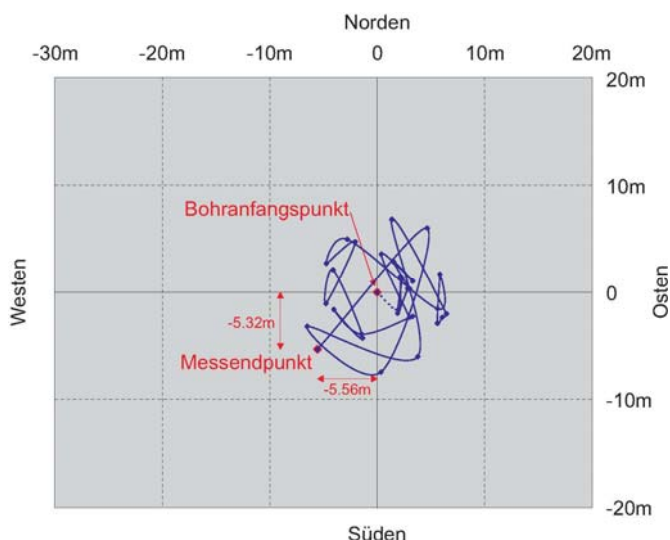


Abbildung 8: Bohrlochverlaufs-
messung; Horizontalverlauf;
Aufnahme K+H.

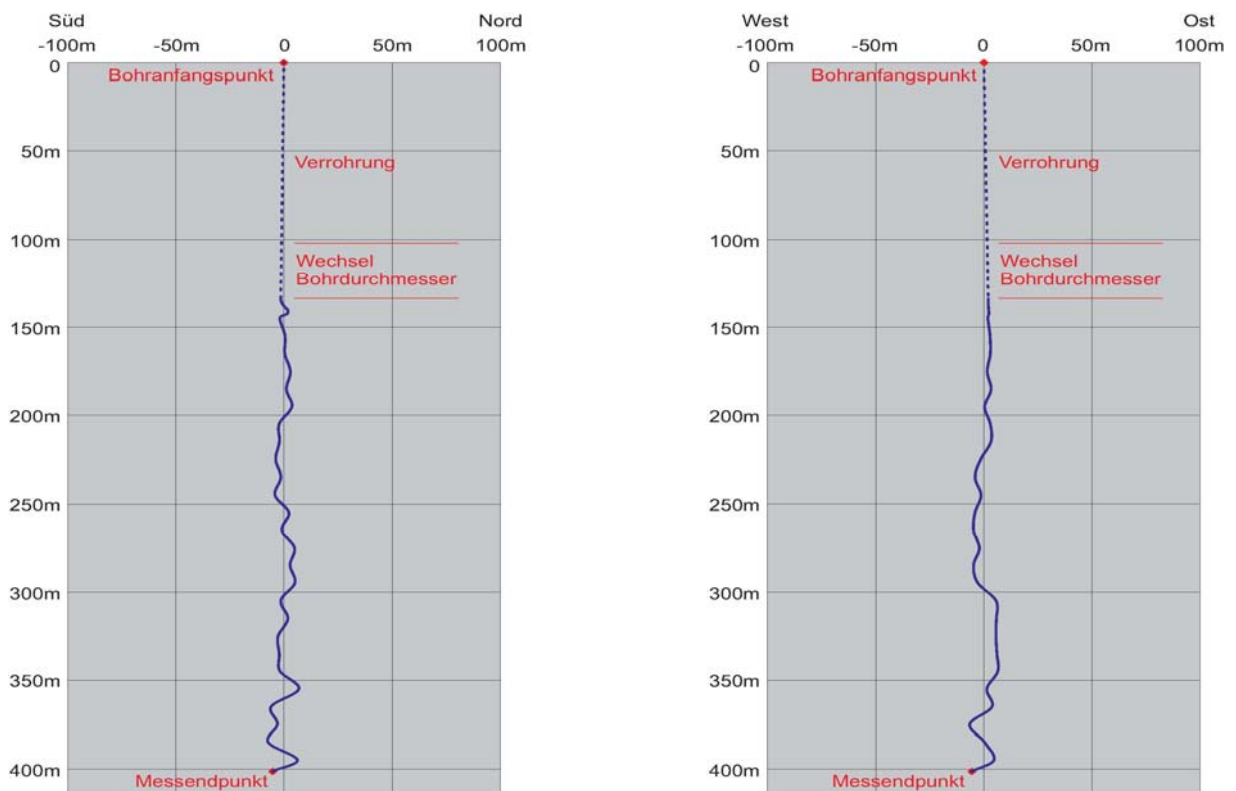


Abbildung 9: Bohrlochverlaufsmessung: Vertikalverlauf N-S-Schnitt (links) und W-E-Schnitt (rechts); Aufnahme K+H.

6.6 Fazit Bohrlochgeophysik

Eine Übersicht der bohrlochgeophysikalischen Messungen ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Messungen dokumentieren Folgendes:

- Der Aroser Dolomit im Raum Davos ist ein Kluftaquifer mit artesisch gespanntem Wasser (Wasserdruck am Bohrstandort rund 2.6 bar). Die Häufigkeit der offenen Klüfte in der Bohrung ist zwischen 102 und 285 m deutlich grösser als im unteren Bereich.
- Der Aquifer weist eine Mächtigkeit von 163 m auf (Tiefenbereich 100 bis 263 m). In einer Tiefe von 263 bis 402 m ist der Dolomit sehr gering wasserführend.
- Die Wasserzuflüsse erfolgen sowohl diskret über einzelne dominante Kluftzonen (< 10 m) als auch kontinuierlich über weite Bereiche der Bohrung (>> 100 m). Die einzelnen Zonen und Bereiche können anhand der Temperatur- und elektrischen Leitfähigkeits-Logs lokalisiert werden. Der Aquifer zeigt einen Grundwasserstockwerkaufbau mit unterschiedlichen Potentialen.
- Die Temperatur des Mischwassers beträgt 11.4 °C. Der aus dem Bereich ohne nennenswerte Zuflüsse ermittelte geothermische Gradient beträgt rund 1.8 °C/100 m; über die gesamte Bohrtiefe rund 2.7 °C/100 m. Hinweise auf aufsteigendes, wärmeres Tiefengrundwasser sind nicht erkennbar.
- Die Mineralisation des Mischwassers ist mit 600 bis 700 µS/cm verhältnismässig gering.
- Im Bereich von 356 bis 402 m weist der Aroser Dolomit erhöhte Tonanteile auf. Dies erklärt die verstärkten Abweichungen des Bohrlochverlaufs in diesem Tiefenbereich.

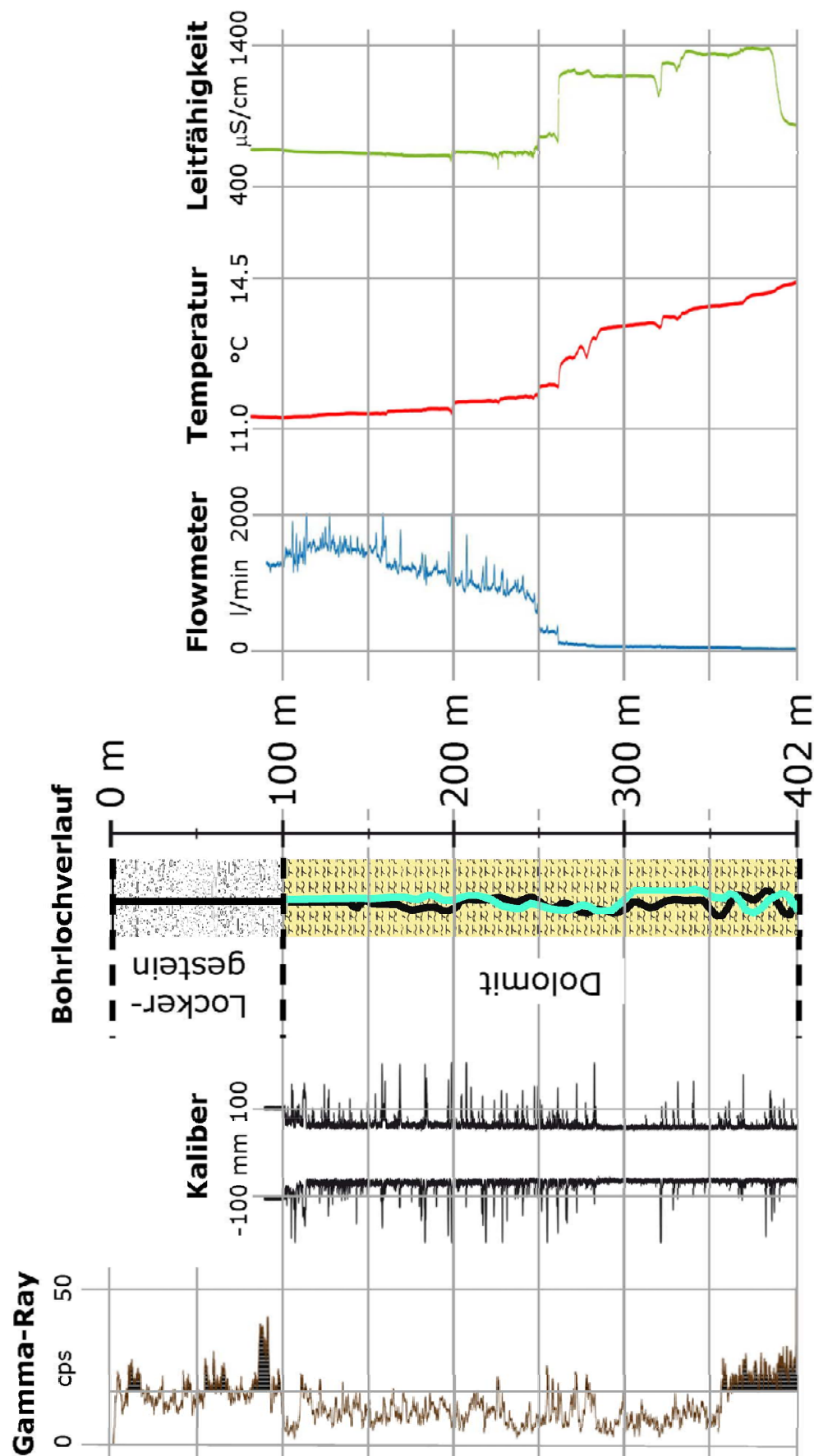


Abbildung 10: Bohrloch-Logs im Arosar Dolomit, Bohrprofil und Vertikalverlauf der Bohrung (N-S- (schwarz) und W-E-Schnitt (türkis)). Die Logs dokumentieren einen artesisch gespannten Aquifer in einer Tiefe zwischen 100 und 263 m.

7. Strukturgeologische Untersuchungen

7.1 Optischer Bohrlochscan

Mit dem Bohrlochscanner wurde die Bohrlochwand durch die Kellerhals + Häfeli AG, Bern, optisch aufgenommen. Auf den abgewickelten Bildern wurden von den auswertbaren Strukturen (Sinuskurven) das Fallazimut und der Einfallswinkel bestimmt. Da nicht immer mit Sicherheit angegeben werden konnte, ob es sich bei den eingemessenen Strukturen um eine Kluft oder um eine Schichtung/Schieferung handelt, wurden sämtliche ausgewerteten Strukturen unter dem Begriff Trennflächen bezeichnet. Die Aufnahmen der Bohrlochwand mit den eingemessenen Trennflächen sind in Beilage 6 dargestellt. Die Aufnahmen der Bohrlochwand wurden zudem durch davos360 panoramatechnisch aufbereitet.

7.2 Strukturauswertung

Die statistische Auswertung der insgesamt 1262 gemessenen Trennflächen erfolgte in stereographischen Projektionen. Die Pole der Flächen wurden in der unteren Halbkugel in einem Schmidt'schen Netz abgebildet. Die angegebenen Mittelwerte entsprechen nicht dem arithmetischen Mittel, sondern der häufigsten Lage (Dichtemaximum in der Verteilung). Die Auswertung erfolgte für 7 Bohrabschnitte. In Abbildung 11 sind die von der Kellerhals + Häfeli AG, Bern, ausgewerteten Abschnitte dargestellt. Die Abbildung enthält zudem einen Ausschnitt des Seismogramms, das im Rahmen der 1. Projektphase erstellt wurde. In Tabelle 4 sind die ausgewerteten Strukturen der Bohrung den Reflektoren des Seismogramms gegenübergestellt.

Tabelle 4: Strukturauswertung.

Tiefenbereich	# Trennflächen	Orientierung Trennflächen Fallrichtung/Fallwinkel		Orientierung Reflektoren im Seismogramm
A: 101.23 – 147.10 m	122	005°/20° 178°/48°	206°/15°	subhorizontal
B: 147.10 – 192.98 m	201	163°/30° 317°/20°	245°/12° 093°/38°	subhorizontal leicht geneigt NW/SE
C: 192.98 – 238.86 m	211	064°/41°	086°/55°	leicht geneigt NW/SE
D: 238.86 – 284.74 m	273	201°/24° 028°/66°	100°/34° 344°/67°	leicht geneigt NW geneigt SE
E: 284.74 – 330.62 m	153	159°/30° 090°/54° 261°/35°	244°/20° 045°/55°	leicht geneigt NW geneigt SE
F: 330.62 – 376.49 m	205	133°/32°		geneigt SE
G: 376.49 – 401.25 m	92	199°/31°	247°/34°	geneigt NW subhorizontal
alle Tiefenbereiche	1262	133°/32° 066°/41°	194°/26° 009°/20°	

Die fast senkrechten Strukturen konnten z.T. nur ungenau oder gar nicht bestimmt werden. Sie sind meistens nur im Ansatz oder relativ kurz erkennbar oder sie sind durch Materialwechsel oder andere Trennflächen verschnitten oder versetzt worden.

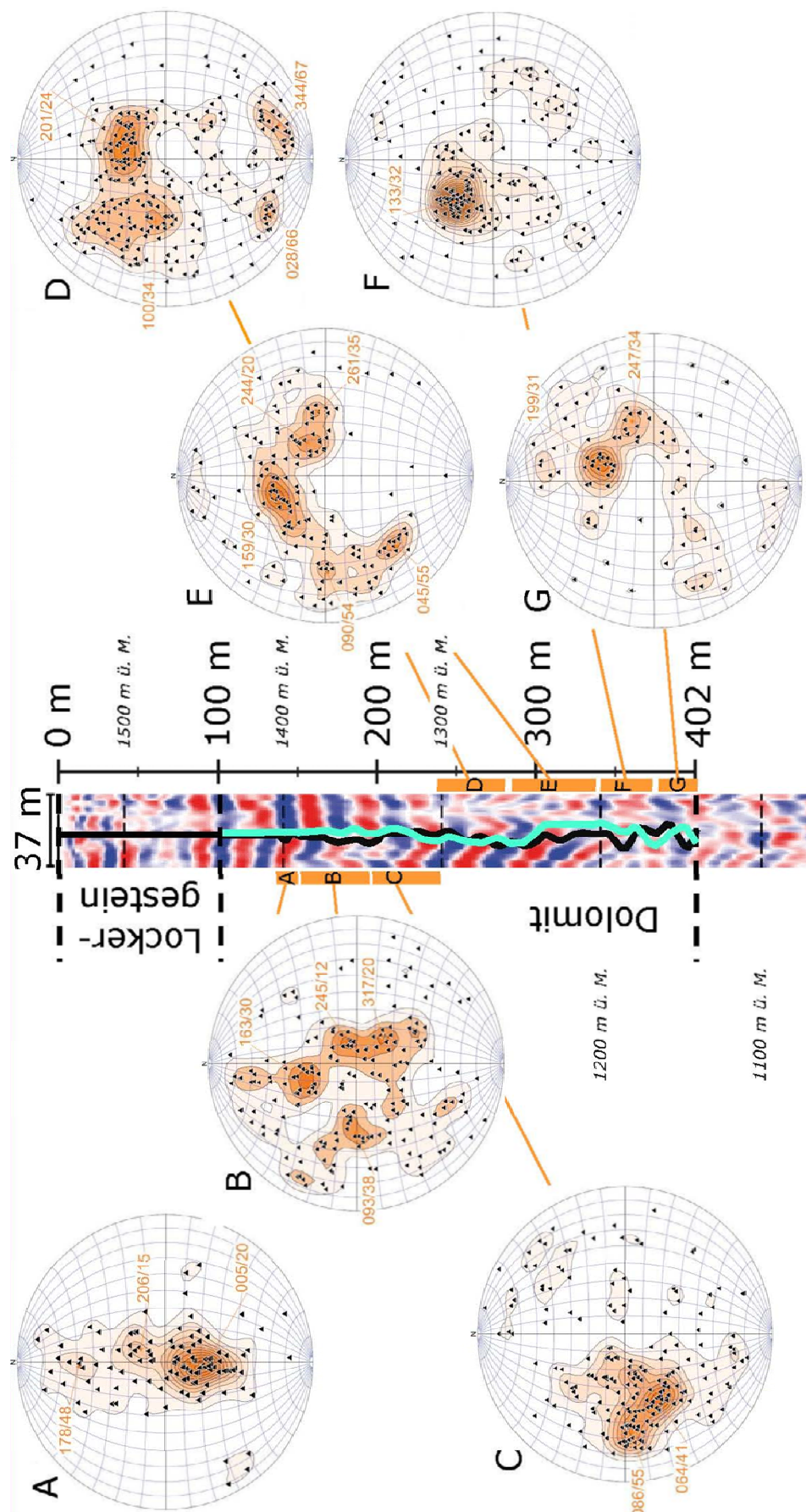


Abbildung 11: Strukturauswertung für verschiedene Tiefenbereiche mit Darstellung der Trennflächenpole im Schmidt'schen Netz, untere Halbkugel; Trennflächen: Schichtung, Klüftung, Schieferung, Kluftung; Ausschnitt Seismogramm und Vertikalverlauf der Bohrung (N-S- (schwarz) und W-E-Schnitt (türkis)).

7.3 Schichtung/Schieferung und Klüftung

Von den Trennflächen, die eindeutig der Schichtung/Schieferung bzw. Klüftung zugeordnet werden konnten, resultiert für die Schichtung/Schieferung ein generelles, mittleres Einfallen in südöstliche Richtung ($130^{\circ}/35^{\circ}$). Allerdings finden sich auch häufig abweichende Einfallrichtungen, z.B. mittelsteil in südwestliche Richtung ($225^{\circ}/31^{\circ}$) oder flach in nördliche Richtung ($005^{\circ}/20^{\circ}$). Dies kann durch die intensive Deformation der Gesteine (Abschiebungen, Aufschiebungen, Verkipnungen) erklärt werden.

Steil einfallende Strukturen wie Klüfte lassen sich einfacher von der Schichtung/Schieferung unterscheiden. Dominante Orientierungen sind dabei $080^{\circ}/55^{\circ}$, $345^{\circ}/65^{\circ}$ und $028^{\circ}/65^{\circ}$.

Die stereographischen Projektionen und Blockbilder sind in Abbildung 12 dargestellt.

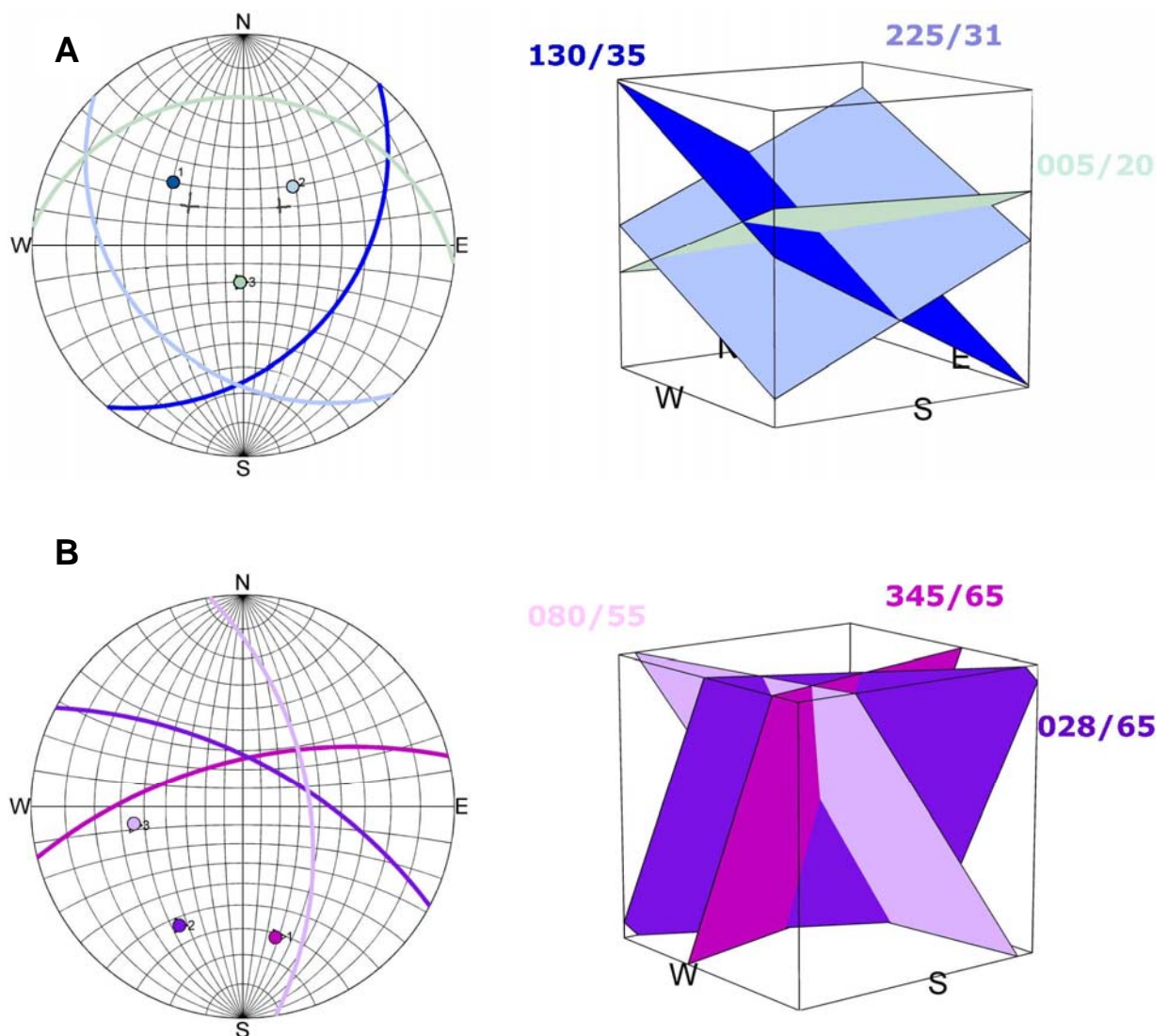


Abbildung 12: Schichtung/Schieferung (A) und Klüftung (B) im Aroser Dolomit, Darstellung der Pole und entsprechenden Flächen im Schmidt'schen Netz mit Blockbild.

7.4 Fazit Strukturgeologie

Die struktureologischen Untersuchungen dokumentieren Folgendes:

- Die dominante Trennfläche weist eine Fallrichtung von 130° und einen Fallwinkel von 35° auf (Beilage 6: $133^\circ/32^\circ$). Sie repräsentiert das allgemeine Einfallen der Schichtung/Schieferung im Aroser Dolomit. Einfallsrichtungen der Schichtung/Schieferung Richtung SE und N sind jedoch ebenfalls vorhanden.
- Die Klüftung fällt mit 55 bis 65° deutlich steiler ein. Die Einfallsrichtung ist nach NNE, NNW und nach E orientiert. Zu beachten ist dabei, dass ganz steil einfallende Klüfte in vertikalen Bohrungen weniger häufig angefahren werden als flachere. Diese Strukturen liessen sich allerdings aufgrund der Materialwechsel und der Verschnitte durch andere Trennflächen nur ungenau bestimmen.
- Der optische Bohrlochscan visualisiert den Aroser Dolomit im erbohrten Tiefenbereich als Kluftaquifer. Die Orientierung der Trennflächen in der Bohrung stimmt mit der Orientierung der seismischen Reflektoren überein. Das geologische Modell konnte diesbezüglich bestätigt werden.

8. Grundwasserüberwachung

Die Möglichkeiten der Grundwasserüberwachung sind aufgrund weniger vorhandener Messstellen beschränkt (Abbildung 13). Im Lockergestein wurde der Grundwasserspiegel mittels Datenloggern in den Piezometern 28A+B und 29 registriert. In den Piezometern 26 und 28/31 erfolgten regelmässige Messungen des Grundwasserspiegels mittels Lichtlot. Im Aroser Dolomit wurde der Wasserdruck in Piezometer 28A und der bestehenden Grundwassernutzung 210'459 kontinuierlich registriert. Zudem wurde der Wasserstand in der Brunnenstube der Tobelmühlequelle kontinuierlich gemessen.

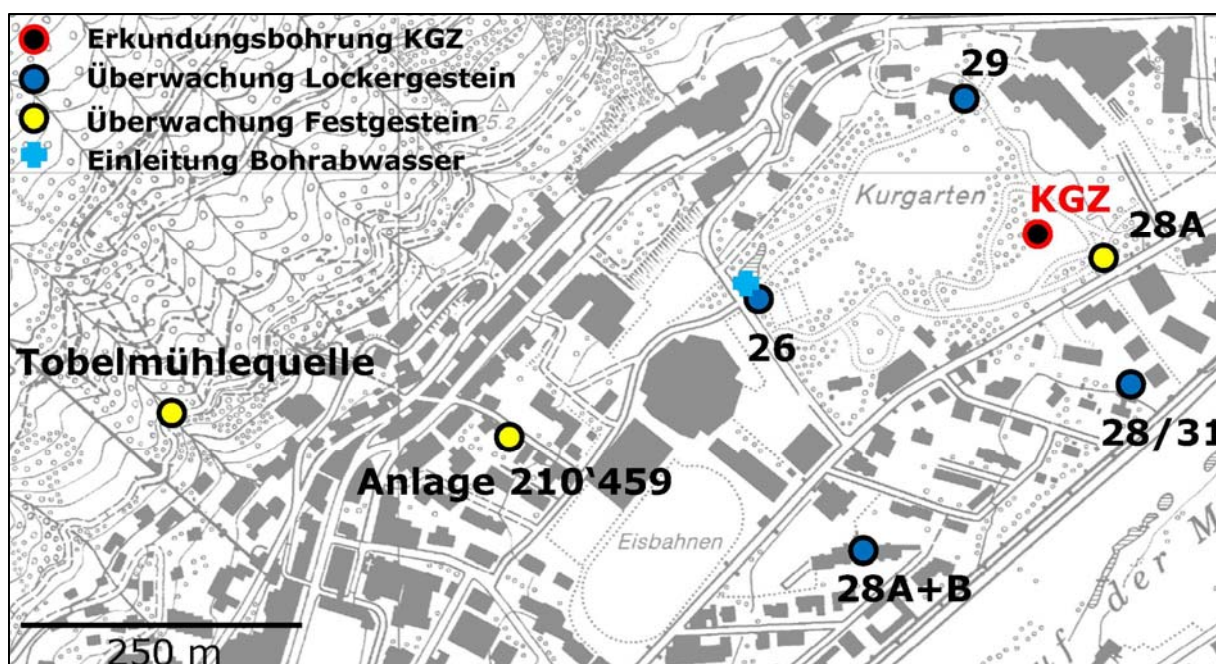


Abbildung 13: Situation Grundwasserüberwachung.

8.1 Lockergestein

Die Daten der Messreihen aus dem Lockergestein zeigen ein vergleichbares Verhalten. Sie sind in Abbildung 14 dargestellt. Der Grundwasserspiegel fällt im Winter, bzw. sobald sich eine geschlossene Schneedecke gebildet hat und die Grundwasserneubildung dadurch eingeschränkt ist, auf einen Tiefstand und steigt erst wieder mit Beginn der Schneeschmelze ab Anfang März an. Der Anstieg durch die Schneeschmelze beträgt in Piezometer 29 rund 0.8 m und repräsentiert mit knapp 1 m die Schwankung des Grundwasserspiegels im Jahresverlauf. Während der restlichen Monate korrespondieren kurzfristige Schwankungen von bis zu 0.3 m mit Niederschlagsereignissen. Die Daten des Piezometers 28A+B zeigen mit 0.5 m einen geringeren Schwankungsbereich an. Die Ganglinie weist jedoch zusätzlich untergeordnete Schwankungen des Wasserspiegels auf. Dies ist bedingt durch die Nähe zum Landwasser mit Schwankungen der Abflusshöhen im Tagesverlauf. Die Wassertemperatur zeigt eine Zunahme im Frühling und Sommer und eine Abnahme im Herbst und Winter an; die Schwankung beträgt rund 2 °C. Die Bohrarbeiten zeigen keine Auswirkungen auf das Lockergesteinsgrundwasser.

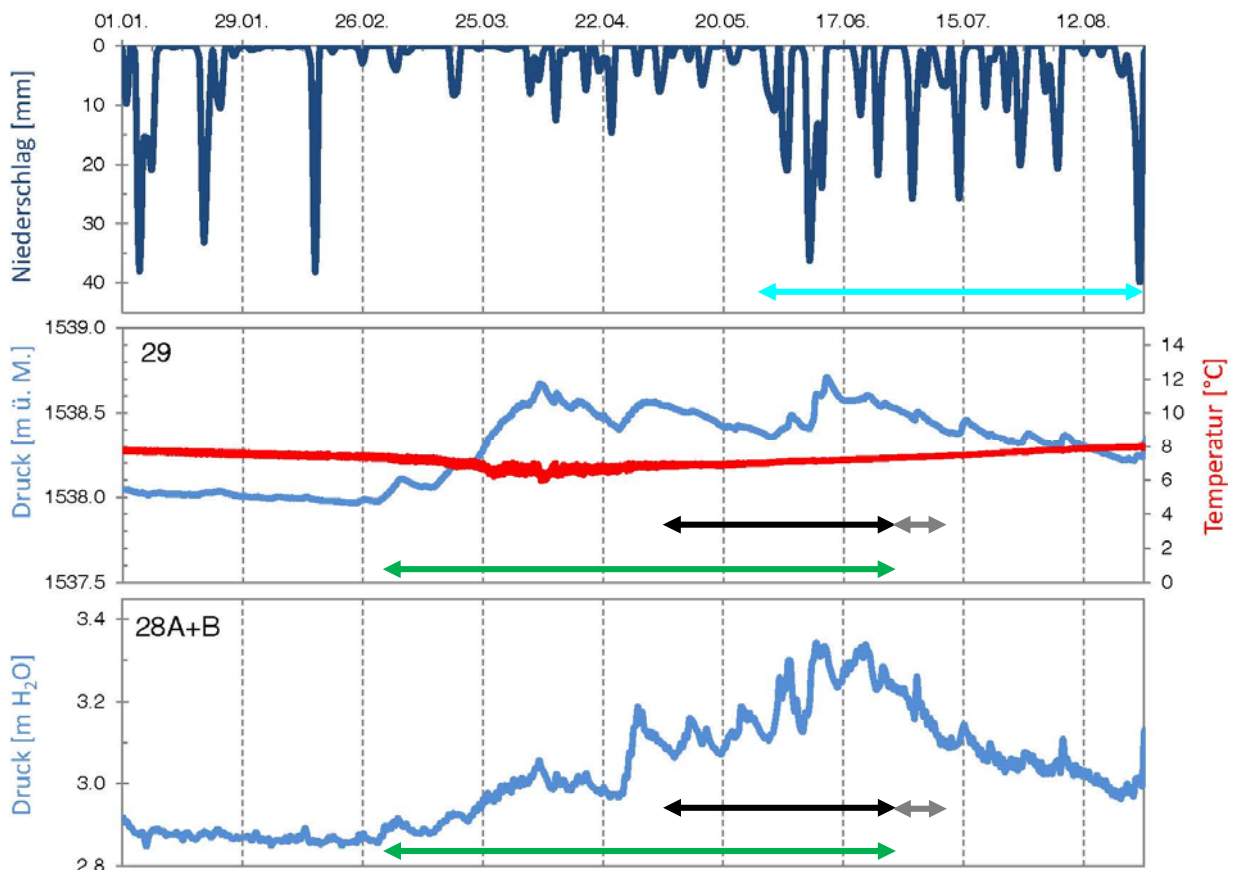


Abbildung 14: Grundwasserüberwachung Piezometer 28A+B und 29, Anfang 2012 bis Beginn Auslaufversuch; hellblauer Pfeil: Niederschlagsereignisse, grüner Pfeil: Schneeschmelze, schwarzer Pfeil: Bohrarbeiten, grauer Pfeil: Versuch, Logging.

8.2 Tobelmühlequelle

Die Daten der Messreihe aus der Tobelmühlequelle sind in Abbildung 15 dargestellt. Der Druckspiegel in der Brunnenstube weist im Winter (Januar/Februar) die tiefsten Werte auf und steigt mit Beginn der Schneeschmelze ab Anfang März etwas zögerlich, dann aber ab Anfang April deutlich an. Der Anstieg durch die Schneeschmelze beträgt rund 0.15 m. Niederschlagsereignisse wirken sich umgehend auf den Druckspiegel aus. Das Muster der Drucklinie entspricht demjenigen der Messstellen im Lockergestein (Abbildung 14). Die Temperatur schwankt im Beobachtungszeitraum zwischen rund 4.5 und 5.5 °C. Die Bohrarbeiten zeigen offensichtlich keine Auswirkungen auf die Quellschüttung.

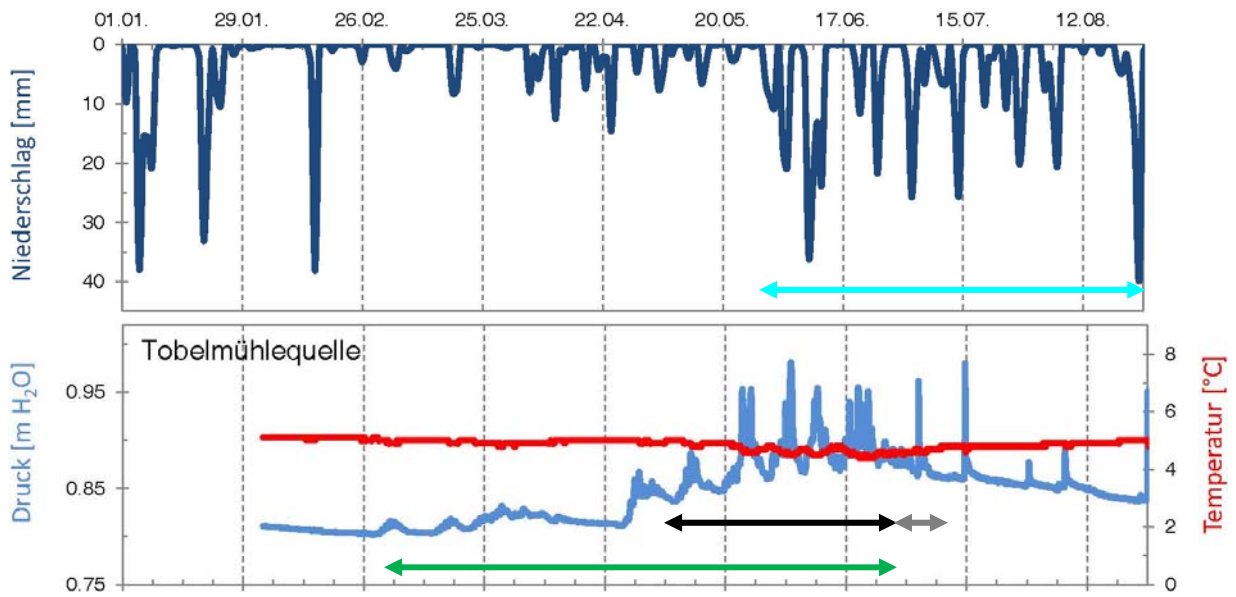


Abbildung 15: Grundwasserüberwachung Tobelmühlequelle, Anfang 2012 bis Beginn Auslaufversuch; hellblauer Pfeil: Niederschlagsereignisse, grüner Pfeil: Schneeschmelze, schwarzer Pfeil: Bohrarbeiten, grauer Pfeil: Versuch, Logging.

8.3 Aroser Dolomit

Die Daten der Messreihen aus dem Aroser Dolomit zeigen ein vergleichbares Verhalten. Sie sind in Abbildung 16 dargestellt. Es existieren keine langjährigen Messreihen aus Beobachtungsstellen. Der Kurvenverlauf der Anlage 210'459 wird durch den Anlagebetrieb beeinflusst, dennoch lassen sich die Beobachtungen mit Messungen in Piezometer 28A (ab Mitte April 2012) korrelieren.

Die gemessenen jährlichen Druckschwankungen in Anlage 210'459 betragen rund 3 m und erreichen das Minimum im Winter (Januar/Februar), das Maximum im Frühjahr während der Schneeschmelze (April/Mai). Niederschlagsereignisse führen zu einem Anstieg des Druckspiegels, wobei der Anstieg über mehrere Tage erfolgt. Vom 09. bis 12.06.12 zum Beispiel fielen knapp 100 mm Niederschlag. Dies führte bis zum 18.06.12 in der Messstelle 28A zu einem Anstieg des Druckspiegels von rund 1 m.

Der Einfluss der Bohrarbeiten ist in Piezometer 28A (Abstand zur Erkundungsbohrung rund 80 m) mit Druckspiegelschwankungen von bis zu 3 m sehr gut erkennbar. In der Anlage 210'459 (Abstand zur Erkundungsbohrung knapp 500 m) hingegen sind die Auswirkungen nur schwach erkennbar.

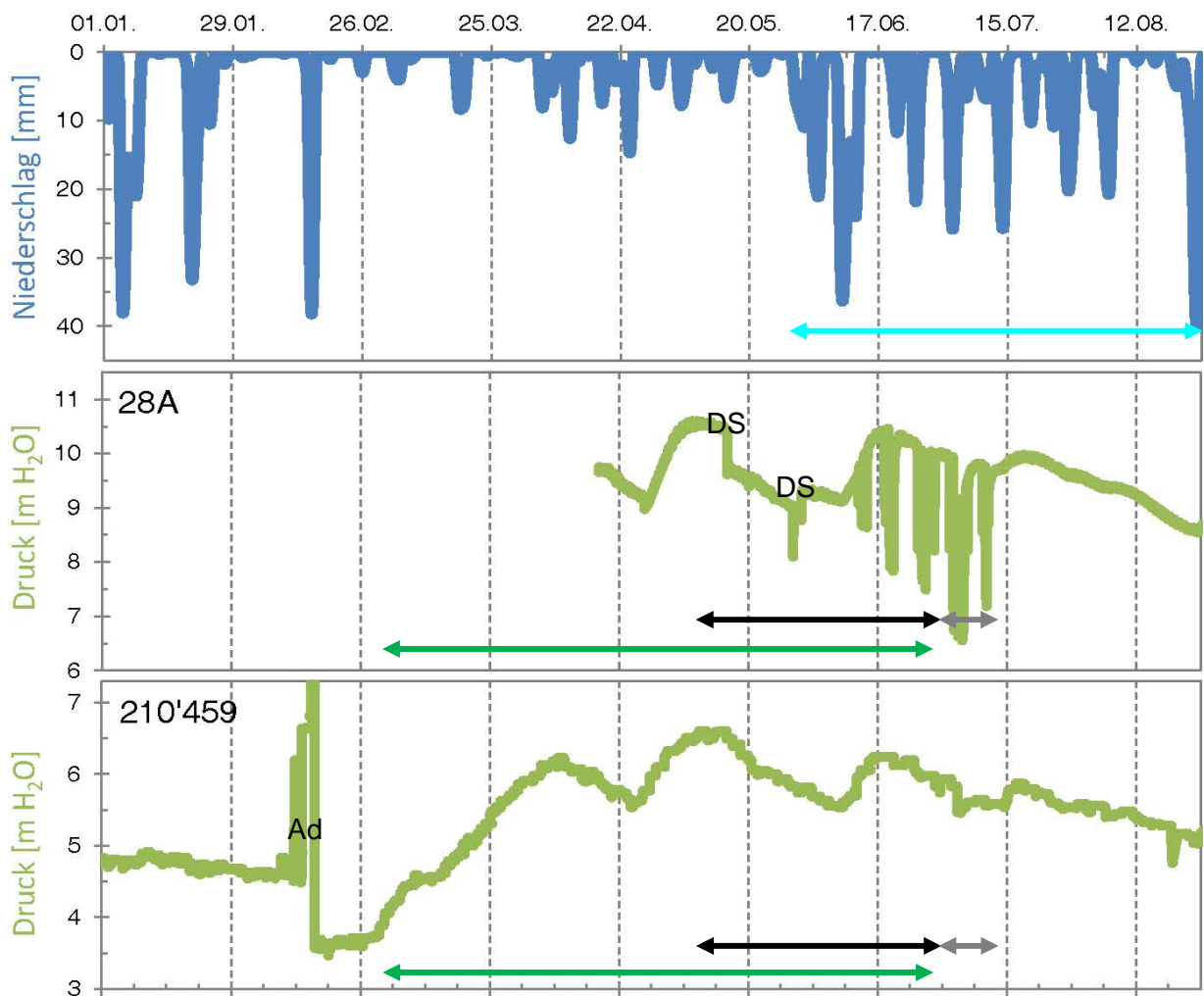


Abbildung 16: Grundwasserüberwachung Piezometer 28A und Anlage 210'459, Anfang 2012 bis Beginn Auslaufversuch; hellblauer Pfeil: Niederschlagsereignisse, grüner Pfeil: Schneeschmelze, schwarzer Pfeil: Bohrarbeiten, grauer Pfeil: Versuch, Logging, DS: Datenshift bedingt durch Messgerät, Ad: Anlagendefekt.

Einfluss Erdzeiten

Die Drucklinien der Messreihen im Aroser Dolomit zeigen untergeordnete Schwankungen im Zentimeter-Bereich. Der Einfluss zeigt sich in zwei Minima und Maxima pro Tag, mit einem Abstand von ca. 6 Stunden zwischen den Extremwerten. Der Effekt ist am grössten bei Neu- und Vollmond und ist kaum zu beobachten im ersten und dritten Viertel des Erdumlaufes des Mondes.

Die Erdzeiten entstehen durch den kombinierten gravitativen Einfluss der Sonne und des Mondes. Die resultierende Kraft hängt von der relativen Konstellation dieser Himmelskörper und der Erde ab. Befinden sich Sonne, Mond und Erde auf einer Linie (Voll- und Neumond) addieren sich die Wirkungen, was dem Phänomen der Springtide entspricht. Im ersten und letzten Viertel des Mondverlaufes, wenn Sonne und Mond einen rechten Winkel mit der Erde bilden, wird die Gezeitenwirkung abgeschwächt. Verglichen mit der Sonne, trägt der Mond ungefähr doppelt so viel zur Gezeitenwirkung bei, der absolute Wert hängt von den komplexen Umlaufbahnparametern ab.

8.4 Fazit Grundwasserüberwachung

Die Grundwasserüberwachung dokumentiert Folgendes:

- Im Lockergestein und bei der Tobelmühlequelle konnten keine Auswirkungen durch die Bohrarbeiten festgestellt werden.
- Die Drucklinie bzw. Schüttung der Tobelmühlequelle reagiert stark auf die Schneeschmelze und auf Niederschlagsereignisse. Eine hydraulische Verbindung zum Bach, der unmittelbar neben der Quelle abfließt, ist nicht auszuschliessen.
- Im Aroser Dolomit konnten Auswirkungen durch die Bohrarbeiten festgestellt werden. Die Auswirkungen sind im Umkreis von über 500 m zur Erkundungsbohrung messbar.
- Auswirkungen der Erdgezeiten sind durch untergeordnete Schwankungen der Drucklinie im Aroser Dolomit mit zwei Minima und Maxima pro Tag im Zentimeter-Bereich messbar.

9. Auslauf- und Pumpversuch

9.1 Versuchsanordnung

Es wurden ein stationärer, 2-stufiger Auslauf- sowie ein stationärer, 3-stufiger Pumpversuch durchgeführt. Der Auslaufversuch mit Erholung dauerte vom 27.08. bis 30.10.12 (65 Tage), der Pumpversuch mit Erholung vom 06. bis 29.11.12 (23 Tage). Der Auslaufversuch beinhaltete zwei Förderphasen mit 630 und 1240 l/min und einer Erholungsphase, der Pumpversuch drei Pumpphasen mit 1380, 1690 und 1760 l/min und einer Erholungsphase. Der Versuchsablauf mit Auslauf- und Pumpraten, gefördertem Wasservolumen und Druckverlauf (hier in Piezometer 28A) ist in Abbildung 17 dargestellt.

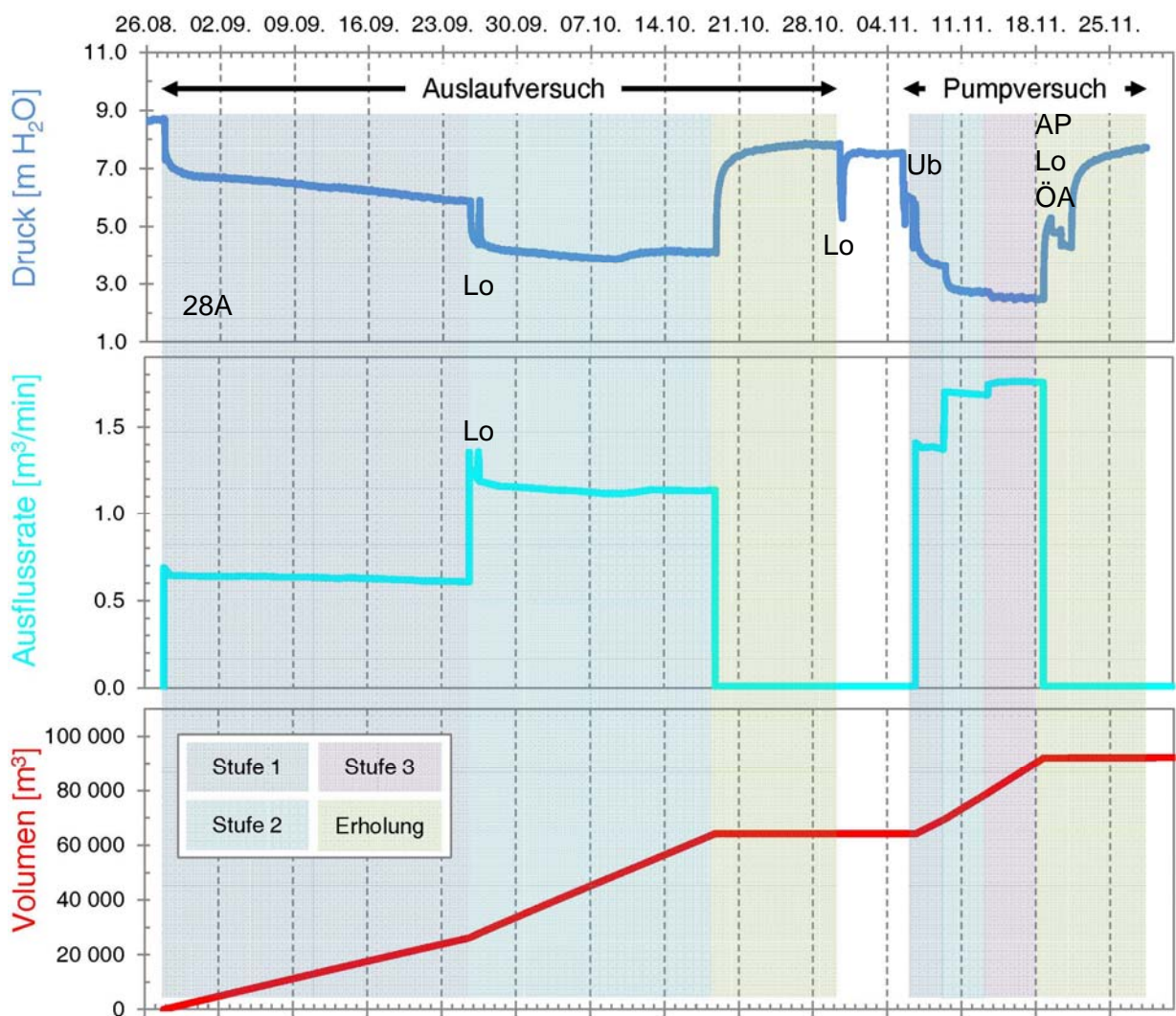


Abbildung 17: Ablauf Auslauf- und Pumpversuch mit Drucklinie in Piezometer 28A, Ausflussrate und gefördertem Wasservolumen, Lo: Logging in Erkundungsbohrung, AP: Ausbau Pumpe, AA: kurzzeitige Öffnung Arteser, Ub: Unterbruch.

9.2 Auswirkungen

Die gemessenen Druck- und Grundwasserspiegel der Messstellen im Lockergestein und im Aroser Dolomit sind in Abbildung 18 dargestellt. Bei den Messstellen im Aroser Dolomit (Erkundungsbohrung, Piezometer 28A, Anlage 210'459) sind die Auswirkungen der Versuche durch die Absenkung des Druckspiegels erkennbar. In der Bohrung bzw. dem Entnahmebrunnen beträgt die maximale Absenkung rund 31 m, in Piezometer 28A rund 5.5 m und in der Anlage 210'459 noch rund 0.8 bzw. 1.5 m. Das Niederschlagsereignis vom 09./10.10.12 wirkt sich durch einen leichten Anstieg des Druckspiegels aus.

Bei den Messstellen im Lockergestein (Piezometer 29 und 28A+B) sowie in der Tobelmühlequelle sind keine Auswirkungen durch die Versuche erkennbar. Die Niederschlagsereignisse wirken sich hingegen unmittelbar auf den Grundwasserspiegel bzw. die Druckspiegel aus. In Piezometer 28A+B können zudem die Tagesschwankungen der Abflusshöhen im Landwassers durch überlagerte, gedämpfte Signale nachgewiesen werden.

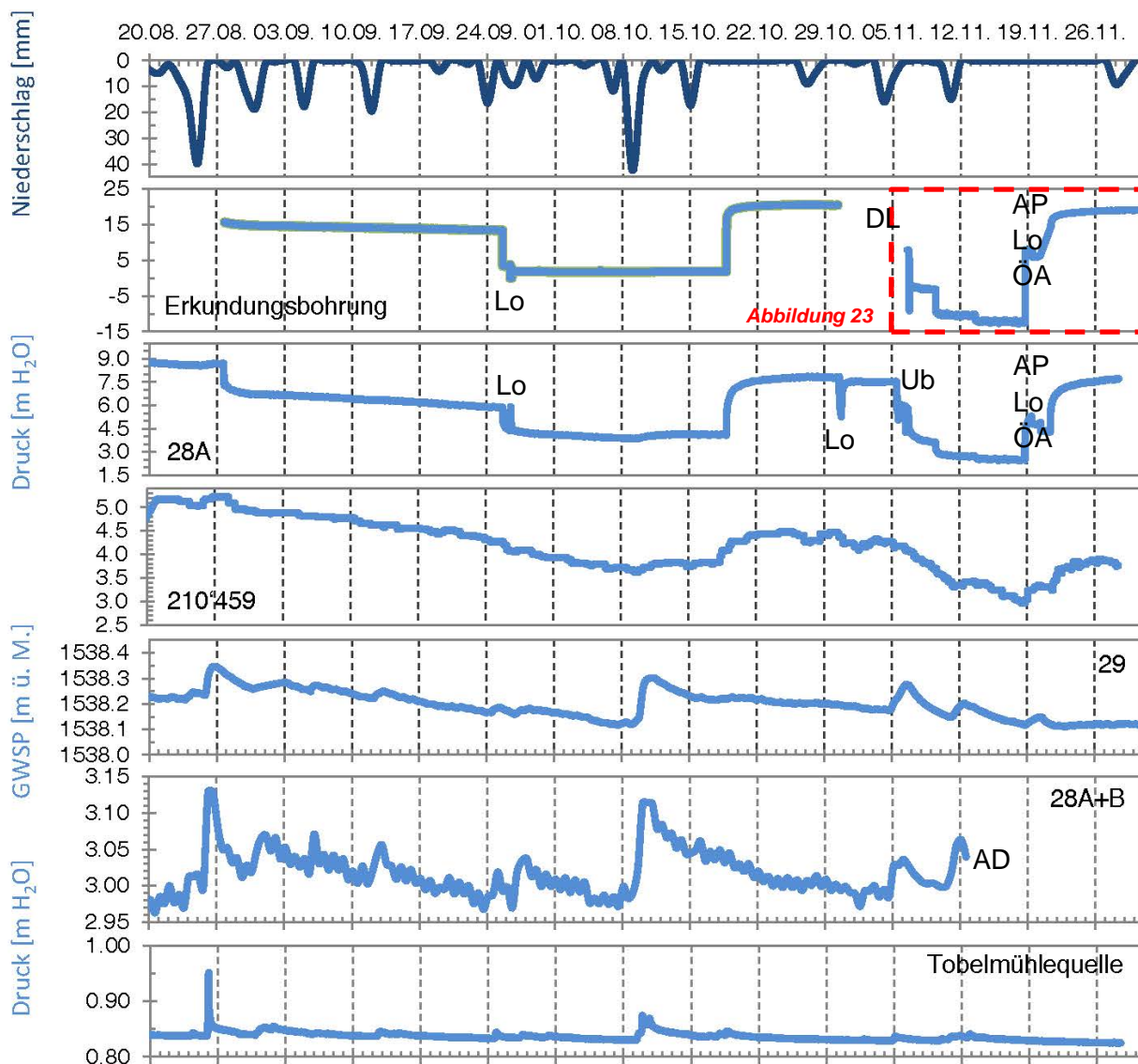


Abbildung 18: Auswirkungen von Auslauf- und Pumpversuch auf die Grundwasser- und Druckspiegel der Messstellen im Locker- und Festgestein; Lo: Logging in Erkundungsbohrung, DL: Datenlücke, AP: Ausbau Pumpe, AA: kurzzeitige Öffnung Arteser, Ub: Unterbruch, AD: Ausbau Datenlogger.

9.3 Auswertung

Auslaufversuch

Qualitative Aussagen über verschiedene Fließphasen oder Systemgrenzen lassen sich aufgrund diagnostischer halb- oder doppellogarithmischer Plots treffen. Logarithmische Plots sind von Vorteil um Änderungen, die über einen langen Zeitraum wirken, leichter erkennen zu können.

Die frühe Phase von Aquifertests ist durch Brunneneffekte, wie z.B. Brunnenspeicherung und Bohrlochwandeffekte, beeinflusst. Eingeleitet durch eine Übergangsphase folgt die radiale Fließphase, die einen gleichmässigen Wasserzustrom aus allen Raumrichtungen anzeigt. Die späte Phase eines Versuches kann weitere Veränderung der Fliesseigenschaften durch Randeffekte, wie z.B. eine Staugrenze, anzeigen (Abbildung 19).

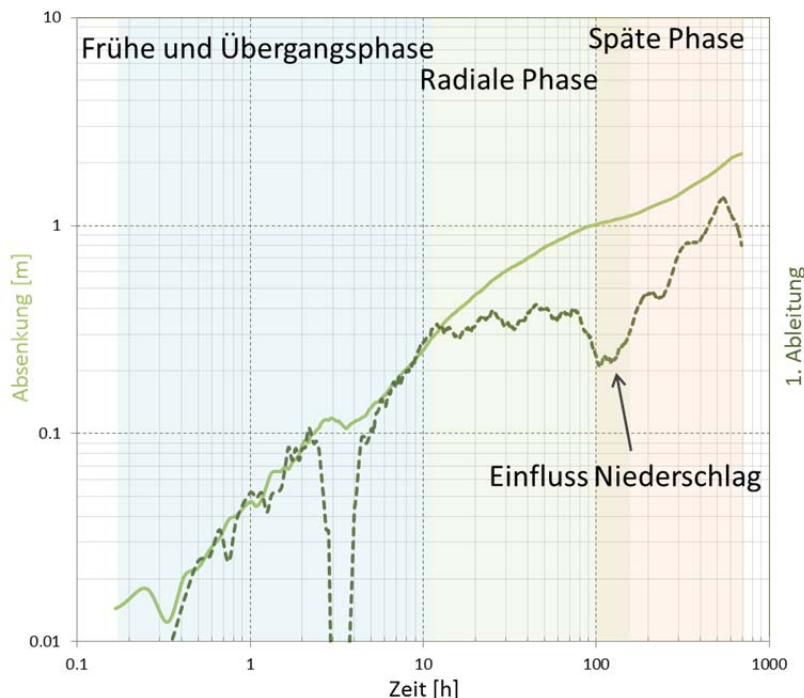


Abbildung 19: Log-Log-Plot, Auslaufversuch Stufe 1 (630 l/min), Erkundungsbohrung; Absenkung (durchgezogen) und 1. Ableitung (gestrichelt).

Zur quantitativen Auswertung der Versuche können verschiedene Lösungsmethoden herangezogen werden. Bei der Theis Methode [7] wird die theoretisch erwartete Reaktion eines idealen Aquifers (= Theis Kurve) mit den gemessenen Druckwerten verglichen. Diese Methode wurde auf die Stufe 1 des Auslaufversuchs, Datenwerte Erkundungsbohrung, angewandt (Abbildung 20).

Bei der Cooper-Jacob Methode [7] werden die Druckdaten der Erholungsphase in einem semilogarithmischen Plot mit einer Geraden gefittet. Über die Steigung lässt sich dabei die Transmissivität berechnen. Diese Methode wurde auf die Erholungsphase des Auslaufversuchs, Datenwerte Erkundungsbohrung (Abbildungen 21) und Piezometer 28A (Abbildung 22), angewandt.

Beide Methoden ergeben für die Transmissivität einen Wert in der Größenordnung von 10^{-2} bis $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Bei einer Mächtigkeit des Grundwasserleiters von rund 200 m ergibt sich eine hydraulische Durchlässigkeit im Bereich von 10^{-4} bis 10^{-5} m/s .

○ Matching point $W=1, u=1$

$$T = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot s} W$$

$$T = \frac{640 \text{ L/min}}{4 \cdot \pi \cdot 0.49 \text{ m}} \cdot 1$$

$$T = 1.73 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

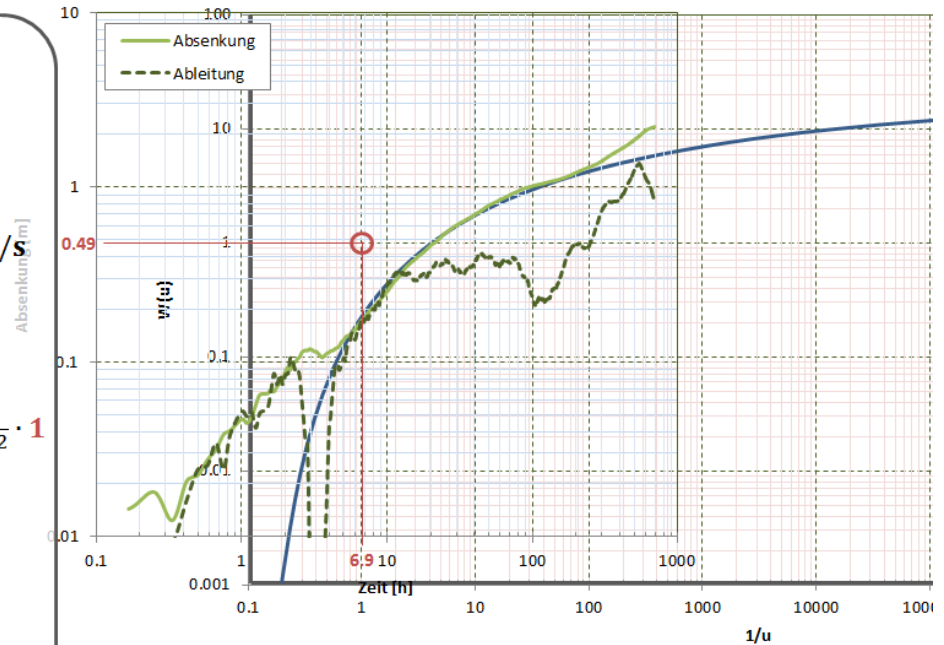
$$S = 4 \cdot T \cdot \frac{t}{r^2} \cdot u$$

$$S = 4 \cdot T \cdot \frac{6.9 \text{ h}}{(0.076 \text{ m})^2} \cdot 1$$

$$S = 29.799$$

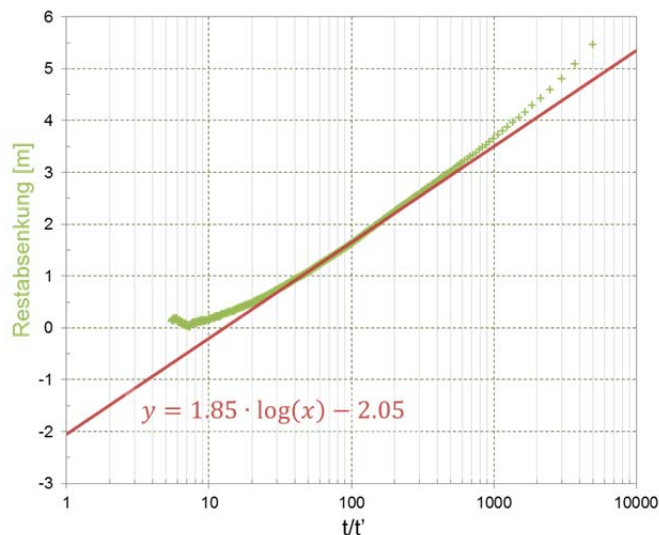
$$K = \frac{T}{m} = \frac{T}{200 \text{ m}}$$

$$K = 8.66 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



T = Transmissivität; S = Speicherkoeffizient; K = Hydraulische Durchlässigkeit;
 Q = Pumprate; s = Absenkung; t = Zeit seit Pumpenstart; r = Radius Bohrloch;
 m = Mächtigkeit Aquifer; W, u = Theisparameter

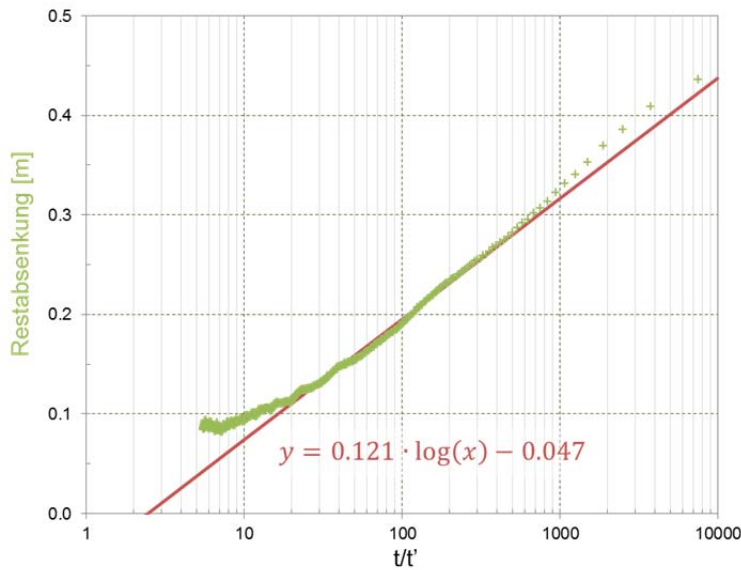
Abbildung 20: Theis Methode, Auslaufversuch Stufe 1, Erkundungsbohrung; Theis Kurve (blau); der unrealistisch hohe Speicherkoeffizient ist teilweise durch Bohrlochwandeffekte zu erklären (grösserer Durchmesser infolge Klüftung und Wandausbrüche).



$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s'} = \frac{2.3 \cdot 1.15 \text{ m}^3/\text{s}}{60 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 1.85 \text{ m}} = 1.90 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = \frac{T}{m} = \frac{1.90 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}}{200 \text{ m}} = 9.48 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Abbildung 21: Cooper-Jacob Methode, Auslaufversuch Erholungsphase, Erkundungsbohrung; t = Zeit seit Versuchsbeginn, t' : Zeit seit Beginn der Erholung.



$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s'} = \frac{2.3 \cdot 1.15 \text{ m}^3/\text{s}}{60 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 0.121 \text{ m}} = 2.90 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = \frac{T}{m} = \frac{2.90 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}}{200 \text{ m}} = 1.45 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 1.5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Abbildung 22: Cooper-Jacob Methode, Auslaufversuch Erholungsphase, Piezometer 28A; t = Zeit seit Versuchsbeginn, t' : Zeit seit Beginn der Erholung.

Pumpversuch

Aufgrund versuchstechnischer Schwierigkeiten (Ausfall Datenlogger, Messgrenze Datenlogger, Pumpenausbau) konnten die Druckdaten des Pumpversuchs in der Erkundungsbohrung nicht optimal erhoben werden (siehe Abbildung 18). Für die Auswertung mussten die Daten entsprechend aufbereitet werden. Die resultierende, idealisierte Drucklinie ist in Abbildung 23 dargestellt.

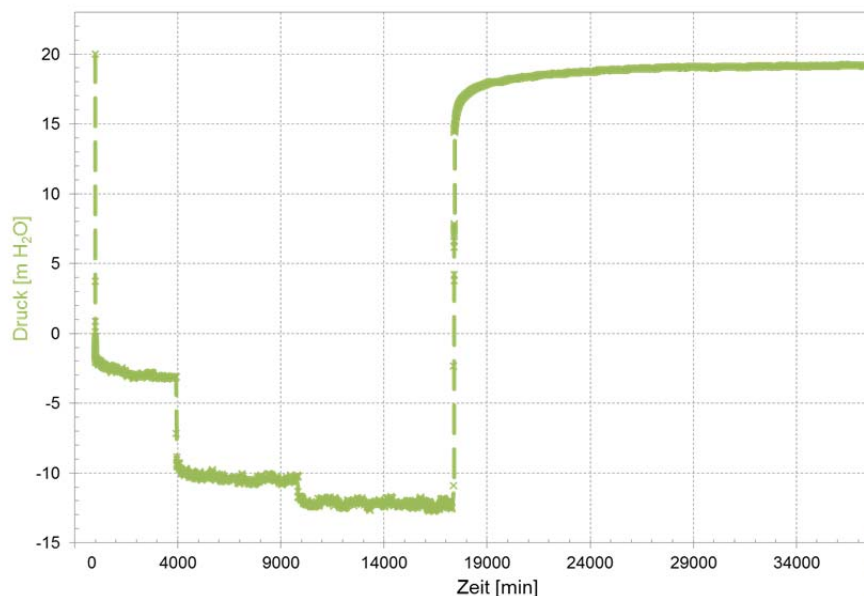


Abbildung 23: Idealisierte Drucklinie, Pumpversuch, Erkundungsbohrung.

Der Versuch wurde mit der Theis Methode für Stufentests ausgewertet (Abbildung 24). Zudem wurde die Erholungsphase mit der Cooper-Jacob Methode ausgewertet (Abbildung 25). Beide Methoden ergeben für die Transmissivität einen Wert in der Größenordnung von 10^{-3} m^2/s . Bei einer Mächtigkeit des Grundwasserleiters von rund 200 m ergibt sich eine hydraulische Durchlässigkeit im Bereich von 10^{-5} m/s.

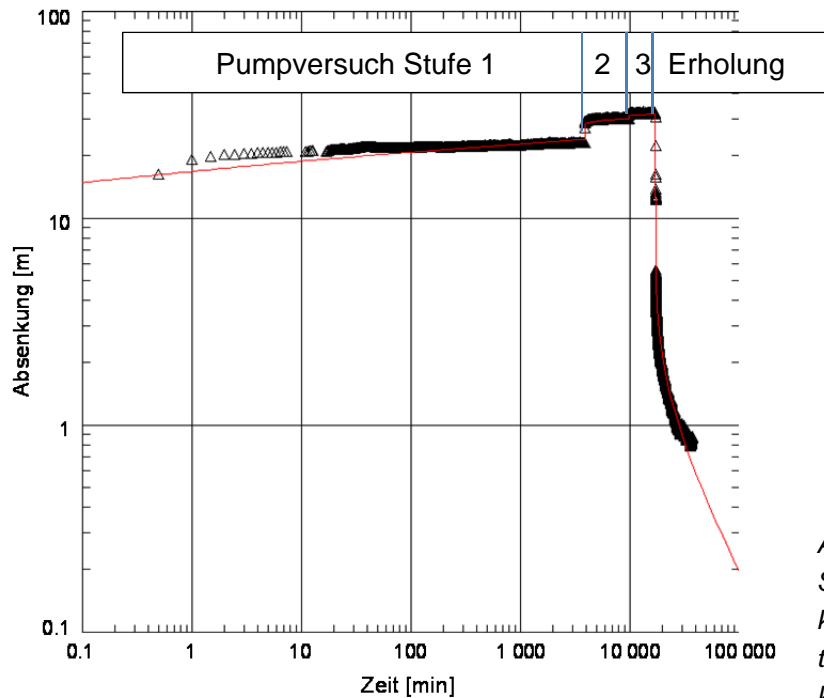


Abbildung 24: Theis Methode für Stufentests, Pumpversuch, Erkundungsbohrung; Transmissivität $T=2.18 \times 10^{-3} m^2/s$, Speicherkoeffizient $S=2.99 \times 10^{-9}$.

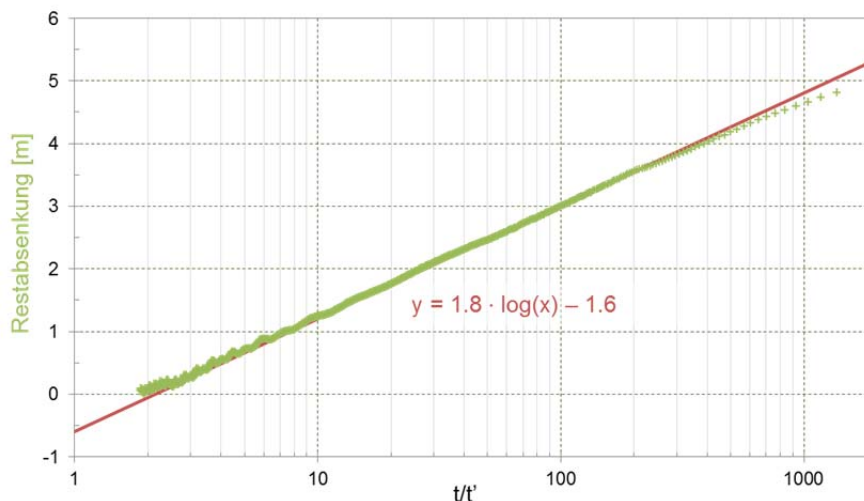


Abbildung 25: Cooper-Jacob Methode, Pumpversuch Erholungsphase, Erkundungsbohrung; t = Zeit seit Versuchsbeginn, t' : Zeit seit Beginn der Erholung.

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s'} = \frac{2.3 \cdot 1.75 m^3/s}{60 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 1.8 m} = 2.97 \cdot 10^{-3} m^2/s$$

$$K = \frac{T}{m} = \frac{2.97 \cdot 10^{-3} m^2/s}{200 m} = 1.48 \cdot 10^{-5} \frac{m}{s} \approx 1.5 \cdot 10^{-5} \frac{m}{s}$$

9.4 Fazit Auslauf- und Pumpversuch

Der Auslauf- und Pumpversuch dokumentiert Folgendes:

- Im Lockergestein und bei der Tobelmühlequelle konnten keine Auswirkungen durch den Auslauf- und Pumpversuch festgestellt werden. Der Grundwasser- bzw. die Druckspiegel reagieren jedoch stark auf Niederschlagsereignisse.
- Im Aroser Dolomit konnten Auswirkungen durch den Auslauf- und Pumpversuch festgestellt werden. Absenkung und Anstieg des Druckspiegels in der Erkundungsbohrung (Entnahmebrunnen) und in Piezometer 28A reagieren unmittelbar auf Veränderungen der Versuchsanordnung (Erhöhung/Drosselung Ausfluss- und Pumprate). Die Messstelle 210'459 reagiert dabei stark gedämpft.
- Bei einer Pumprate von 1760 l/min resultiert in der Erkundungsbohrung eine Absenkung des Druckspiegels von rund 31 m. Die Stationärzustände des Druckspiegels werden bei der Absenkung und der Erholung innerhalb weniger Minuten bis Stunden erreicht. Die entsprechende Absenkung des Druckspiegels bei der Anlage 210'459 beträgt rund 0.8 bzw. 1.5 m.
- Die berechnete Transmissivität für den Grundwasser führenden Bereich des Aroser Dolomits (Tiefe 100 bis 270 m) beträgt rund $2 \text{ bis } 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, die hydraulische Durchlässigkeit rund $1 \text{ bis } 2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.
- Der Aroser Dolomit stellt im Grundwasser führenden Bereich (Mächtigkeit am Bohrstandort rund 170 m) einen sehr ergiebigen Aquifer dar. Die rasche Reaktion des Druckspiegels auf Änderungen in der Versuchsanordnung (Öffnung/Schliessung Arteser, Ein-/Ausschalten Pumpe) dokumentiert die hohe Konnektivität der Klüfte.

10. Hydro(geo)chemische Untersuchungen

10.1 Isotopengeochemie

Für die Ermittlung der Herkunft und Genese sowie des Wasseralters wurden zwei Proben entnommen. Mit der Probe aus einer Tiefe von 250 m wurde Formationswasser aus dem Bereich des Hauptwasserzuflusses und mit der Probe aus einer Tiefe von 370 m Formationswasser aus dem Bereich mit erhöhtem Tonanteil untersucht. Die Probenentnahme erfolgte am 20.11.12 nach einer Förderung von rund 90'000 m³ Wasser während 67 Tagen (Abbildung 17). Die Analyse erfolgte durch die Hydroisotop GmbH, Schweitenkirchen, Deutschland. Der Prüfbericht ist in Beilage 7 enthalten. Die Isotopengehalte sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Isotopengehalte, Erkundungsbohrung, Proben aus Tiefen von 250 und 370 m.

Isotop	Tiefe 250 m	Tiefe 370 m
Sauerstoff-18 ($\delta^{18}\text{O}$)	-15.04 ‰	-15.63 ‰
Deuterium ($\delta^2\text{H}$)	-107.5 ‰	-111.9 ‰
Deuterium-Exzess	12.82 ‰	13.14 ‰
Tritium (^3H)	3.8 ± 0.94 TU	1.4 ± 0.68 TU
Kohlenstoff-13 ($\delta^{13}\text{C-DIC}$)	-9.8 ‰	-11.87 ‰
Kohlenstoff-14 ($^{14}\text{C-DIC}$)	18.3 ± 0.2 %-mod.	22.9 ± 0.2 %-mod.

Wasseralter

Gemäss Beurteilung der Hydroisotop GmbH weisen beide Proben sowohl jüngere als auch ältere Wasseranteile auf. Die messbaren Gehalte an Tritium weisen darauf hin, dass Grundwasser mit einer Verweilzeit von weniger als 60 Jahren enthalten ist. Das genaue Alter des Jungwasseranteils kann aufgrund der vorliegenden Analysen jedoch nicht ermittelt werden. Hierzu wären weitergehende Analysen erforderlich (Analyse eines weiteren Jungwassertracers wie z.B. ⁸⁵Kr). Der Jungwasseranteil der Proben beträgt 18 bis 48 %.

Die Altersbestimmung basierend auf der Kohlenstoffisotopensignatur ergibt in erster Näherung ein Alter zwischen ca. 5'000 und 10'000 Jahren. Das Alter kann vorerst nicht genauer angegeben werden, da einerseits der Jungwasseranteil zu wenig gut und andererseits der Anfangsgehalt des Kohlenstoffs nicht bekannt ist. Hierzu wären ebenfalls weitergehende Analysen erforderlich (Analyse auf Gasgehalte und Gasisotopensignaturen sowie Hydrochemie und Isotopeninventar von jungen Grundwässern).

Einzugsgebiet

Gemäss Beurteilung der Hydroisotop GmbH unterscheiden sich die beiden Proben hinsichtlich der stabilen Isotope relativ deutlich. Die mittlere Höhendifferenz der Grundwasserneubildung der beiden Proben beträgt rund 200 m. Unter Berücksichtigung der Daten aus [17] ergibt sich für die Probe aus einer Tiefe von 250 m eine mittlere Einzugsgebietshöhe von 2300 bis 2400 m ü. M. und für die Probe aus einer Tiefe von 370 m eine von 2500 bis 2600 m ü. M.

10.2 Technische Wasserqualität

Hinsichtlich Prüfung der technischen Wasserqualität wurde am 03.07. und 16.11.12 je eine Probe des geförderten Wassers und am 20.11.12 eine aus einer Tiefe von 370 m entnommen. Die Analyse erfolgte durch die Bachema AG, Schlieren. Damit wurde die qualitative Eignung des geförderten Wassers für den Einsatz in einer Wärmepumpenanlage geprüft.

Die Analyseergebnisse sind in Beilage 8 dokumentiert. Folgende Punkte sind dabei zu erwähnen:

- Die Proben weisen, mit Ausnahme derjenigen vom 16.11.12 einen fauligen Geruch auf, im Übrigen ist die Sinnesprüfung aber unauffällig.
- Die elektrische Leitfähigkeit des geförderten Wassers ist in einem normalen Bereich für Grund- und Trinkwasserverhältnisse. Die Leitfähigkeit der Probe aus einer Tiefe von 370 m ist leicht erhöht. In Anbetracht des geringen Anteils dieses Wasser am gesamten Förderstrom dürfte dies nicht relevant sein.
- Der pH-Wert liegt für inertes Konstruktionsmaterial (Chromstahl, Kunststoffe) in einem korrosionstechnisch problemlosen Bereich.
- Der hohe Silikatgehalt von 10.7 bis 14.0 mg/l ist günstig, da er als Schutz gegen Korrosion wirken kann.
- Bei den Proben des geförderten Wassers handelt es sich mit 28.5 bzw. 30.8 °fH gemäss Härteskala um 'ziemlich hartes' Wasser. Der Calciumcarbonat-Sättigungsindex liegt mit 0.2 praktisch im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht ohne technisch einschränkende Neigung zur Kalkabscheidung. Bei der Probe aus einer Tiefe von 370 m handelt es sich mit 50.9 °fH gemäss Härteskala um 'sehr hartes' Wasser. Der Calciumcarbonat-Sättigungsindex liegt mit 0.4 leicht im positiven Bereich. Das bedeutet, dass das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht nicht eingestellt ist. Das Wasser neigt zu Kalkabscheidung. In Anbetracht des geringen Anteils dieses Wasser am gesamten Förderstrom dürfte dies jedoch nicht relevant sein.
- Bei den Proben des geförderten Wassers weisen der tiefe Sauerstoffgehalt und die übrigen Redoxparameter auf reduzierende Bedingungen hin: Ammonium ist deutlich nachweisbar, und gelöstes Eisen ist in Spuren vorhanden. Bei der Probe aus einer Tiefe von 370 m konnte die Sauerstoffkonzentration nicht bestimmt werden. Die übrigen Redoxparameter zeigen ein widersprüchliches Bild. Ammonium ist deutlich nachweisbar und das Nitrat aufgezehrt, Eisen und Mangan sind jedoch nicht vorhanden.
- Die Phosphat-Konzentration ist unbedeutend tief bzw. wurde nicht nachgewiesen.
- Der Gehalt an organischem Kohlenstoff (DOC: 0.06 bis 0.28 mg/l) liegt im unteren Erfahrungsbereich für unbelastetes Grundwasser.

Schoeller-Diagramm

Beim Schoeller-Diagramm werden die Konzentrationen bestimmter Ionen und Ionengruppen in einer bestimmten Reihenfolge im semilogarithmischen Massstab aufgetragen. Damit ist es möglich, Proben bestimmten Wassertypen zuzuordnen. Es lassen sich hoch konzentrierte von gering mineralisierten Wässern unterscheiden und verwandte Wässer (Verdünnung) einander zuordnen.

Die Proben aus dem Arosener Dolomit sowie, zum Vergleich, einige Proben aus dem Lockergestein und der Tobelmühlequelle wurden im Schoeller-Diagramm dargestellt (Abbildung 26).

Die Proben aus dem Arosener Dolomit weisen, bei ähnlichen Ionenverhältnissen, eine höhere Mineralisation auf als die Proben aus dem Lockergestein und der Tobelmühlequelle. Eine Ausnahme bildet das Sulfat, das im Arosener Dolomit in wesentlich höherer Konzentration vorliegt (bis Faktor 60). Das Natrium und Kalium ist hingegen nur leicht erhöht (bis Faktor 20). Bei den Proben aus dem Lockergestein handelt es sich um ein Ca – Mg – HCO₃ – Wasser, bei denjenigen aus dem Arosener Dolomit um ein Ca – Mg – Na – SO₄ – Wasser.

Die Probe der Tobelmühlequelle weist ein ähnliches Muster auf wie dasjenige der Proben im Lockergestein. Es handelt sich ebenfalls um ein Ca – Mg – HCO₃ – Wasser.

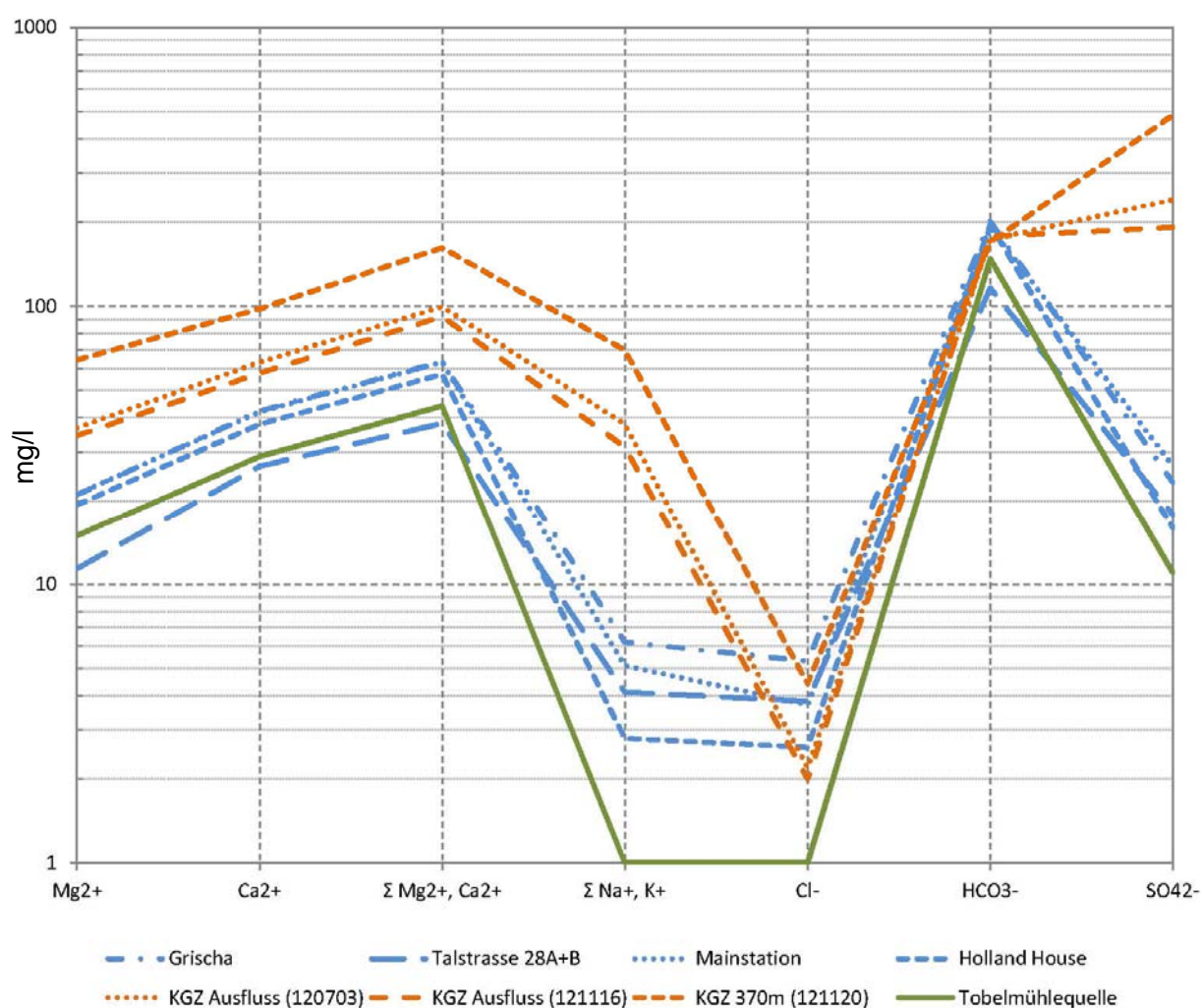


Abbildung 26: Schoeller-Diagramm mit Proben aus dem Arosener Dolomit (orange), dem Lockergestein (blau) und der Tobelmühlequelle (grün).

10.3 Fazit Hydro(geo)chemie

Die hydro(geo)chemischen Untersuchungen dokumentieren Folgendes:

- Beide Proben aus Tiefen von 250 bzw. 370 m sind anhand des Tritiumgehalts als Mischwässer aus einer alten Tritium-freien und einer jüngeren Tritium-führenden Jungwasserkomponente zu charakterisieren. Die Altersbestimmung aufgrund der Kohlenstoffisotopensignaturen ergibt in erster Näherung ein Wasseralter für die beiden Proben von ca. 5'000 bis 10'000 Jahren.
- Aufgrund der stabilen Isotope stammt das Wasser der Probe aus einer Tiefe von 250 m aus einer mittleren Einzugsgebietshöhe von 2300 bis 2400 m ü. M., dasjenige aus einer Tiefe von 370 m aus einer mittleren Einzugsgebietshöhe von 2500 bis 2600 m ü. M.
- Die chemische Beschaffenheit des untersuchten Grundwassers lässt einen Betrieb einer Grundwasserwärmepumpe zu.
- Gemäss Beurteilung der Bachema AG weisen die Resultate der untersuchten Proben zum Zeitpunkt der Probeentnahmen auf reduzierende Bedingungen hin. Dies kann zu Verockerungen führen, die zusammen mit Kalkausfällungen das System verstopfen können. Es sollte deshalb mindestens eine leicht zu reinigende Konstruktion gewählt sowie ein Luftzutritt im Entnahme- und Rückgabebauwerk konsequent minimiert werden. Wegen ungünstigen Korrosionsindizes sollte übliches, inertes Material verwendet und insbesondere auf verzinkte Eisenrohre verzichtet werden.
- Bei den Proben aus dem Lockergestein und der Probe der Tobelmühlequelle handelt es sich um ein $\text{Ca} - \text{Mg} - \text{HCO}_3$ - Wasser, bei den Proben aus dem Aroser Dolomit um ein $\text{Ca} - \text{Mg} - \text{Na} - \text{SO}_4$ - Wasser.
- Das Wasser der Tobelmühlequelle ist kein typisches Dolomitwasser. Es ist davon auszugehen, dass der Einfluss von Oberflächenwasser gross oder die Verweildauer im Aroser Dolomit kurz ist.

11. Nutzungsmöglichkeiten

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse belegen, dass es sich beim Aroser Dolomit um einen ergiebigen Aquifer handelt. Die Datengrundlage ist jedoch für eine abschliessende Beurteilung der Nutzungsmöglichkeiten im Raum Davos noch zu gering. Im Folgenden sollen erste Überlegungen zum Grundwasserdargebot im Aroser Dolomit und die Möglichkeiten einer Nutzung der Erkundungsbohrung als Entnahmebrunnen erörtert werden.

11.1 Grundwasserdargebot

Eine erste, sehr grobe Bilanzierung der Grundwasserneubildung lässt sich unter Berücksichtigung des Niederschlags, der Evapotranspiration, des Oberflächenabflusses und der Quellschüttung vornehmen:

$$G = A * N - A * ET - R - Q$$

wobei: G = Grundwasserneubildung
 A = Fläche Einzugsgebiet
 N = Niederschlag

ET = Evapotranspiration
 R = Oberflächenabfluss
 Q = Quellschüttung

Zur Abschätzung der Fläche des Einzugsgebietes wurden die tektonischen Grenzen der Aroser Dolomiten-Decke verwendet, wobei, basierend auf den Erkenntnissen aus [1], für die Grundwasserneubildung im Raum Davos lediglich der NE-Bereich der Decke (Davos bis Medrigrflue) bedeutend ist.

Der an der Oberfläche bzw. unter einer geringen Lockergesteinsbedeckung anstehende Aroser Dolomit ist in Abbildung 27 dargestellt (Teileinzugsgebiete 1 bis 3). Zudem wurde ein grösserer Bereich im Einzugsgebiet des Albertibaches (Teileinzugsgebiet 4: geringmächtige Silvretta-Decke über Aroser Dolomit, oberflächennah stark verwittert) berücksichtigt, bei dem eine Speisung des Aroser Dolomits wahrscheinlich ist.

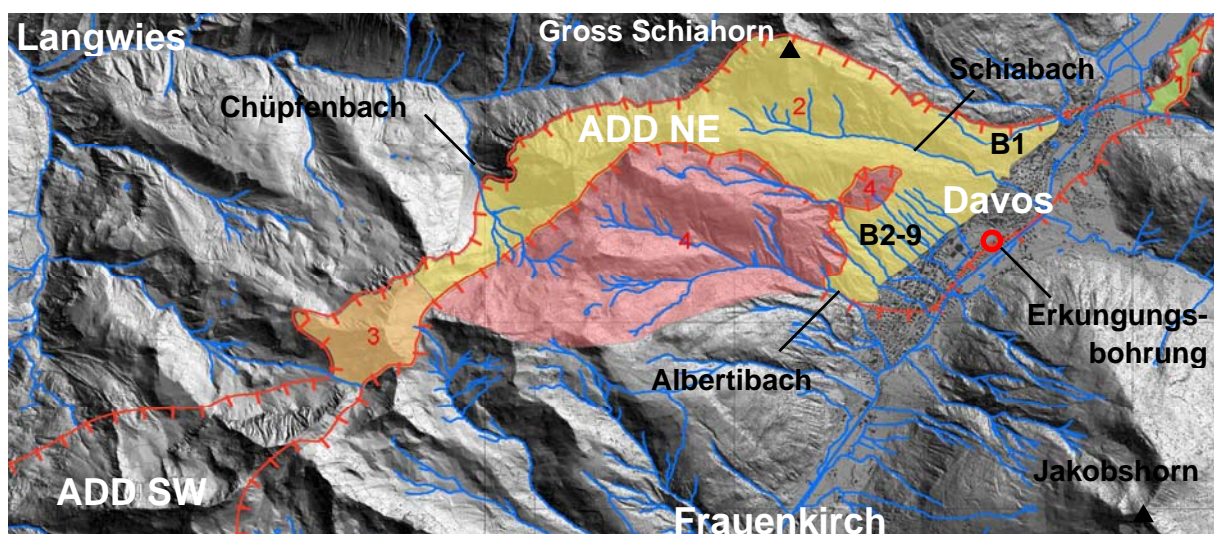


Abbildung 27: Anstehender Aroser Dolomit im Raum Davos; ADD NE: NE-Bereich der Aroser Dolomiten-Decke, ADD SW: SW-Bereich der Aroser Dolomiten-Decke, B1-9: Bäche 1 bis 9, rote Linie: Begrenzung Aroser Dolomiten-Decke.

Tabelle 6: Grundwasserneubildung im NE-Bereich der Aroser Dolomiten-Decke; Datengrundlage für Niederschlag (N) und Evapotranspiration (ET): Hydrologischer Atlas der Schweiz, Datengrundlage für Oberflächenabfluss (R): Potentialstudie Wasserkraft [8], Datengrundlage für Quellschüttung (Q): 106 Schüttungsmessungen von Februar 2004 bis April 2012 (~monatlich); (1) Bach 1 (B1), Schiabach und Bäche 2 bis 9 (B2-9), (2) Chüpfenbach nicht berücksichtigt, (3) Albertibach, (4) Tobelmühlequelle.

Einzugs- gebiet	A	N		ET		R	Q	G
	[km ²]	[m/a]	[m ³ /a]	[m/a]	[m ³ /a]	[m ³ /a]	[m ³ /a]	[m ³ /a]
1: SE Davoser See	0.20	1.0	200'000	0.30	60'000	0	0	140'000
2: Davos - Schiahorn - Medriggerflue	6.65	1.6	10'640'000	0.25	1'662'500	4'780'858 (1), (2)	839'383 (4)	3'357'259
3: Medriggerflue	0.90	1.7	1'530'000	0.20	180'000	0	0	1'350'000
4: Albertibach	5.36	1.6	8'576'000	0.25	1'340'000	4'137'523 (3)	0	3'098'477
Total	13.11		20'946'000		3'242'500	8'918'381	839'383	7'945'736

Bei einer Fläche von 13.11 km² und einer Grundwasserneubildung von rund 8 Mio. m³/a resultiert für den Aroser Dolomit eine Sickerate von rund 600 mm/a.

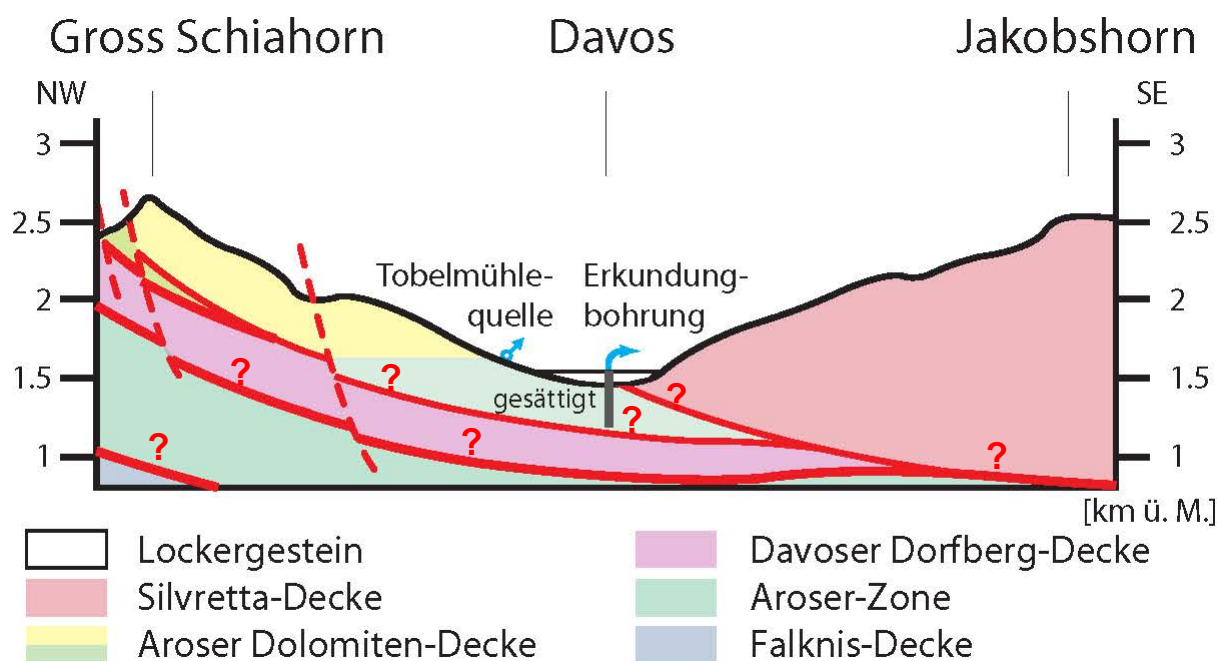


Abbildung 28: Schematisches Profil Gross Schiahorn – Jakobshorn mit Erkundungsbohrung im Aroser Dolomit.

11.2 Fliesswege

Möglicherweise ist die Tobelmühlequelle eine Überlaufquelle des Dolomit-Aquifers. Es ist nicht auszuschliessen, dass noch weitere, kleinere Überlauf- oder Hangfussquellen existieren bzw. die im Aroser Dolomit abfliessenden Bäche z.T. im Hangfussbereich aus dem Dolomit-Aquifer gespeist werden. Hierzu fehlen jedoch gesicherte Kenntnisse.

Wasseraustritte aus dem Aroser Dolomit in die Lockergesteinstalfüllung sind ebenfalls anzunehmen. Die Quantifizierung der entsprechenden Wasserflüsse ist jedoch sehr schwierig.

Im Aroser Dolomit ist eine gewisse Einschichtung des Wassers aufgrund der Isotopenanalysen belegt. Das nutzbare Wasservolumen kann aufgrund des derzeitigen Kenntnisstandes nicht abgeschätzt werden, da insbesondere die Mächtigkeit, die Reichweite der Aroser Dolomiten-Decke Richtung SE und die räumliche Verteilung des Hohlraumvolumens unbekannt sind.

11.3 Anlagekonfigurationen

Unter der Voraussetzung der Nutzung der Erkundungsbohrung als Entnahmefrühnen bestehen für die Rückgabe grundsätzlich folgende Möglichkeiten:

- Rückgabe in ein Oberflächengewässer
- Rückgabe in den Lockergesteinsaquifer
- Rückgabe in den Aroser Dolomit

11.4 Beurteilungskriterien

Folgende Kriterien bilden die Grundlage für die Grobbeurteilung:

- Nachhaltigkeit bez. Teilsystem (Aroser Dolomit im Raum Davos, Davos bis Medrigrerflue)
Verhältnis Grundwasserentnahmerate zu Grundwasserneubildungsrate
- Optimale Nutzung des Aquifers (Aroser Dolomit im Raum Davos)
Weitere Anlagen im Raum Davos
- Veränderung Grundwasserfliessregime
Ausmass, hydraulischer und thermischer Kurzschluss
- Beeinträchtigung Anlagen Dritter
Locker- und Festgestein, quantitativ/qualitativ/thermisch
- Vollzugspraxis der Gewässerschutzgesetzgebung
Sorgfaltspflicht, Verbindung von Grundwasserleitern
- Wirtschaftlichkeit (sehr grobe Abschätzung)
erforderliche Anlagen, Anlagebetrieb

11.5 Grobbeurteilung

Aufgrund der Grobbeurteilung ergibt sich folgende Übersicht.

Tabelle 7: Grobbeurteilung möglicher Anlagenkonfiguration.

Beurteilungskriterium	Rückgabe		
	Oberflächengewässer	Lockergesteinsaquifer	Aroser Dolomit
Nachhaltigkeit Teilsystem	– / +	– / +	+ / +
Nutzungs- optimierung	– / +	– / +	+ / +
Veränderung GW-Fliegsregime	– / +	– / +	+ / –
Beeinträchtigung Anlagen Dritter	– / +	– / (+)	+ / +
Gesetzgebung	– / +	– / +	+ / +
Wirtschaftlichkeit	+ / +	+ / –	– / –

Rückgabe Oberflächengewässer

Bei der Rückgabe des thermisch genutzten Wassers in ein Oberflächengewässer ergeben sich folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile:

- Nachhaltigkeit gewährleistet bei noch zu definierender Entnahmerate (+), ansonsten Übernutzung (-)
- Veränderung GW-Fliegsregime bedeutend (-), hydraulischer und thermischer Kurzschluss ausgeschlossen (+)
- Quantitative und thermische Beeinträchtigung von Anlagen im Lockergestein ausgeschlossen (+/+), quantitative Beeinträchtigung der Anlage 210'459 nicht ausgeschlossen (aufgrund bisheriger Datenlage jedoch gering, abhängig von Förderrate) (-/+), thermische Beeinträchtigung der Anlage 210'459 ausgeschlossen (+), quantitative Beeinträchtigung der Tobelmühlequelle nicht ausgeschlossen (aufgrund bisheriger Datenlage jedoch wenig wahrscheinlich) (-/+), qualitative Beeinträchtigung der Tobelmühlequelle ausgeschlossen (+)
- Keine Rückgabeböhrung erforderlich (+), kein Energieaufwand für die Rückführung erforderlich (Ableitung via Meteorleitung in Landwasser) (+)

Nachteile:

- Betrieb weiterer grösserer Anlagen mit Wasserbezug aus dem Aroser Dolomit fraglich (-)
- Nichteinhaltung der Gewässerschutzgesetzgebung (insbesondere Art. 43. Abs. 3 GSchG) (-), in begründeten Fällen kann eine Ausnahme genehmigt werden (+)

Rückgabe Lockergesteinsaquifer

Bei der Rückgabe des thermisch genutzten Wassers in den Lockergesteinsaquifer ergeben sich folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile:

- Nachhaltigkeit gewährleistet bei noch zu definierender Entnahmerate (+)
- Veränderung GW-Flie遡regime bedeutend (-), hydraulischer und thermischer Kurzschluss ausgeschlossen (+)
- Quantitative Beeinträchtigung von Anlagen im Lockergestein ausgeschlossen (+), thermische Beeinträchtigung von Anlagen im Lockergestein nicht ausgeschlossen (Optimierung Rückgabestandort) (-), quantitative Beeinträchtigung der Anlage 210'459 nicht ausgeschlossen (aufgrund bisheriger Datenlage jedoch gering, abhängig von Förderrate) (-/+), thermische Beeinträchtigung der Anlage 210'459 ausgeschlossen (+), quantitative Beeinträchtigung der Tobelmühlequelle nicht ausgeschlossen (aufgrund bisheriger Datenlage jedoch wenig wahrscheinlich) (-/+), qualitative Beeinträchtigung der Tobelmühlequelle ausgeschlossen (+)
- Keine Rückgabeborung erforderlich (+), Rückgabebauwerk (Filterbrunnen, Sickergalerie, Sickerschacht) und mässiger Energieaufwand für Rückführung erforderlich (-)

Nachteile:

- Betrieb weiterer grösserer Anlagen mit Wasserbezug aus dem Aroser Dolomit fraglich (-)
- Nichteinhaltung der Gewässerschutzgesetzgebung (insbesondere Art. 43. Abs. 3 GSchG) (-), in begründeten Fällen kann eine Ausnahme genehmigt werden (Menge und Qualität des Lockergesteinsgrundwassers wird nicht beeinträchtigt (ähnliche chemische Signatur der Wässer)) (+)

Rückgabe Aroser Dolomit

Bei der Rückgabe des thermisch genutzten Wassers in den Aroser Dolomit ergeben sich folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile:

- Nachhaltigkeit gewährleistet (+)
- Weitere grössere Anlagen mit Wasserbezug aus dem Aroser Dolomit möglich (+)
- Veränderung GW-Flie遡regime unbedeutend (+), Herausforderung: Vermeidung von hydraulischem und thermischem Kurzschluss (Optimierung Rückgabestandort und -tiefe) (-)
- Quantitative und thermische Beeinträchtigung von Anlagen im Lockergestein ausgeschlossen (+/+), quantitative Beeinträchtigung der Anlage 210'459 und der Tobelmühlequelle ausgeschlossen (+/+), thermische Beeinträchtigung der Anlage 210'459 nicht ausgeschlossen (Optimierung Rückgabestandort) (-), qualitative Beeinträchtigung der Tobelmühlequelle ausgeschlossen (+)
- Einhaltung der Gewässerschutzgesetzgebung (insbesondere Art. 43. Abs. 3 GSchG) (+/+)

Nachteile:

- Rückgabeborung erforderlich (-), Energieaufwand für die Rückführung erforderlich (Überwindung Druck des Artesers) (-)

12. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Erkundungsbohrung und die durchgeführten Untersuchungen dokumentieren, dass es sich beim Aroser Dolomit im Raum Davos um einen nutzbaren und ergiebigen Grundwasserleiter handelt. Der erbohrte Kluftaquifer führt im Talbodenbereich artesisch gespanntes Wasser aus einem höher gelegenen Einzugsgebiet von mehrheitlich über 2300 m ü. M. Die Temperatur des geförderten Wassers ist mit rund 11.4 °C verhältnismässig gering, ebenso die Gesamtmineralisation mit knapp 600 mg/l. Die ersten Untersuchungen deuten auf ein hohes Wasseralter von über 5000 Jahre hin.

Hinsichtlich der Beurteilung von Nutzungsmöglichkeiten bestehen noch zahlreiche offene Fragen:

- Ausdehnung des Aroser Dolomits unterhalb der Silvretta-Decke sowie Strukturauswertung
--> *hat erhebliche Auswirkungen auf das Volumen des verfügbaren Grundwasserspeichers*
- Hydrogeologie der Quellen im Aroser Dolomit in der weiteren Umgebung
--> *steuert in hohem Mass die Grundwasserneubildung im Aroser Dolomit und damit das verfügbare Wärmepotential*
- natürliches, unbeeinflusstes Grundwasserfliessfeld im Aroser Dolomit
--> *wichtig für die optimale Anordnung der wasserseitigen Anlagenteile (Entnahme und Rückgabe) und des zulässigen Wärmeentzuges*

Im Rahmen der vorgenommenen Grobbeurteilung einer Nutzung der Erkundungsbohrung als Entnahmefrühnen wurden verschiedene Anlagekonfigurationen (Art der Rückgabe) angedacht. Eine Nutzung ohne Rückführung in den Aroser Dolomit kann bei einer noch zu definierenden Entnahmerate nachhaltig betreiben werden. Allerdings werden dadurch die Möglichkeiten weiterer Anlagen mit Nutzung des Grundwassers aus dem Aroser Dolomit im Raum Davos eingeschränkt.

Eine umfassende Grundwasser-Potentialabschätzung im Aroser Dolomit ist auf der Basis des vorliegenden Kenntnisstandes nicht möglich. Eine solche bedingt detailliertere Kenntnisse der Geometrie des Dolomit-Aquifers und des regionalen Grundwasserfliessfeldes gemäss obigem Fragenkatalog. Mit diesen Informationen liessen sich das verfügbare Wärmenutzungspotential und die Nutzungsmöglichkeiten mittels einer regionalen, hydraulisch-thermischen Grundwassermodellierung bestimmen. Es ist aus heutiger Sicht zu vermuten, dass bei Betrieb mehrerer Anlagen und grösserer Entnahmemengen die Rückführung des genutzten Grundwassers in den Aroser Dolomit erforderlich sein wird, um eine langfristig gesicherte Nutzung des Dolomit-Aquifers zu gewährleisten.

GEOTEST AG

Dr. B. Krummenacher

Dr. Ch. Regli