nagra.

Arbeitsbericht NAB 13-15

Hydrogeologische Beobachtungen in den Bözbergtunnels

Dezember 2013

P. Hartmann, M.-J. Gilbert & D. Traber

Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73
CH-5430 Wettingen
Telefon 056-437 11 11

www.nagra.ch

nagra.

Arbeitsbericht NAB 13-15

Hydrogeologische Beobachtungen in den Bözbergtunnels

Dezember 2013

P. Hartmann [1], M.-J. Gilbert [1] & D. Traber [2]

[1] Sieber Cassina + Partner AG, Olten
[2] Nagra, Wettingen

KEYWORDS

Hydrogeologie, Hydrochemie, SBB-Bözbergtunnel, N3-Bözbergtunnels, Bergwasser, Grundwasser, Tiefengrundwasser, Isotopendaten, chemische Analysen, Quellen, Grundwasserleiter, Tafeljura, Faltenjura, Störungszonen

Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73
CH-5430 Wettingen
Telefon 056-437 11 11

www.nagra.ch

Nagra Arbeitsberichte stellen Ergebnisse aus laufenden Forschungsaktivitäten dar, welche nicht zwingend einem vollumfänglichen Review unterzogen wurden. Diese Berichtsreihe dient dem Zweck der zügigen Verteilung aktueller Fachinformationen. Die Autoren haben ihre eigenen Ansichten und Schlussfolgerungen dargestellt. Diese müssen nicht zwingend mit denjenigen der Nagra übereinstimmen.

"Copyright © 2013 by Nagra, Wettingen (Schweiz) / Alle Rechte vorbehalten.
Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Nagra unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen und Programmen, für Mikroverfilmungen, Vervielfältigungen usw."

Zusammenfassung

Beim Bau der Bözberg-Autobahntunnel wurden mineralisierte Bergwässer angetroffen, die zu Problemen im Hinblick auf die langfristige Stabilität der zementgebundenen Werkstoffe führten. Im vorliegenden Bericht geht es darum, die verfügbaren Beobachtungen und Daten zusammen zu stellen und für die hydrogeologische Charakterisierung des geologischen Standortgebiets Jura Ost zu verwenden. Dafür werden die Beobachtungen und Daten auf ihre Qualität beurteilt und im Kontext der geologischen Situation dargestellt. Als Grundlage dienen dabei diverse Berichte und Publikationen, unter anderem werden auch die Beobachtungen im Eisenbahntunnel berücksichtigt.

Der Zutritt von mineralisiertem Bergwasser erfolgte insbesondere im Abschnitt Faltenjura, aber es sind auch solche Beobachtungen aus dem besonders interessierenden Tafeljura dokumentiert. Allgemein liegt nur eine schwache Datenbasis vor. Dies ist einerseits dadurch bedingt, dass der TBM-Vortrieb mit nachfolgendem Tübbing-Einbau keine detaillierte geologische Dokumentation ermöglichte. Insbesondere eine geologische Charakterisierung der Zuflusspunkte fehlt weitgehend, die Wasserproben wurden oft aus dem Entwässerungssystem entnommen oder die Beprobung erfolgte an den Tübbingfugen. Die chemischen Analysen sind meist unvollständig und zahlreiche der analysierten Parameter weisen darauf hin, dass die Proben nicht dem In-situ-Bergwasser entsprechen (also verfälscht sind). Es sind keine Temperaturmessungen verfügbar, die auf aufsteigendes thermales Tiefengrundwasser hinweisen würden.

Weil die vorhandene Datenbasis keine abschliessende Beurteilung der Herkunft dieser mineralisierten Bergwässer im Abschnitt Tafeljura erlaubt, werden unterschiedliche Hypothesen diskutiert. Am plausibelsten scheint, dass es sich um langsam zirkulierendes, von der Oberfläche her stammendes Grundwasser handelt, das zudem durch den Tunnelbau beeinflusst ist. Eine alternative Erklärung wäre die Beimischung von altem (reliktischem) Porenwasser zu einem jüngeren meteorischen Wasser.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung I

Inhaltsverzeichnis I

Tabellenverzeichnis II

Figurenverzeichnis II

Anhänge und Beilagen III

1 Einleitung 1

2 Geologische und hydrogeologische Übersicht 3
2.1 Geologisch-tektonische Situation 3
2.2 Quellen und massgebende Grundwasserleiter 3

3 Hydrogeologische Datengrundlage 5
3.1 Literatur 5
3.2 SBB-Bözbergtunnel 5
3.2.1 Geologie und Tektonik 5
3.2.2 Hydrogeologie und Hydrogeochemie 5
3.3 N3-Bözbergtunnel 6
3.3.1 Geologie und Tektonik 6
3.3.2 Hydrogeologie und Hydrogeochemie 6
3.4 Datenqualität 7
3.4.1 SBB-Bözbergtunnel 7
3.4.2 N3-Bözbergtunnel 7

4 Angetroffene Bergwässer in den Bözbergtunneln 9
4.1 Bereiche ohne Grund- oder Bergwasser 9
4.2 Oberflächennahes Grundwasser 9
4.3 Stark mineralisiertes Bergwasser 10
4.4 Chemische Analysen 12
4.4.1 Elektrische Leitfähigkeiten 13
4.4.2 Hauptbestandteile 13
4.4.3 Chloridgehalt 14
4.4.4 Sulfatgehalt 15
4.4.5 Folgerungen 17
4.5 Isotopendaten 17
4.5.1 Wasserisotope 18
4.5.2 Sulfatisotope 19
4.5.3 Tritiumwerte 19
4.5.4 Folgerungen 20

5 Zusammenfassende Schlussfolgerungen ... 21
5.1 Herkunft der stark mineralisierten Bergwässer in der Störungszone ... 21
5.2 Herkunft der stark mineralisierten Bergwässer im Tafeljura ... 21
5.3 Fazit ... 22

6 Referenzverzeichnis ... 23

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Überblick über die vorliegenden Analysenresultate der N3-Tunnelröhren (Details vgl. Anhang 2) ... 6

Tab. 2: Zusammenstellung der hydrogeochemischen Daten der stark mineralisierten Bergwässer aus dem SBB-Tunnel und der Weströhre des N3-Tunnels (vgl. Fig. 2) ... 11

Figurenverzeichnis

Fig. 1: Boxplot-Darstellung der pH-Werte im SBB- und im N3-Bözbergtunnel Ost im Vergleich zu pH-Werten von Tiefengrundwässern. ... 8

Fig. 2: Unterteilung der Tunnelbereiche mit stark mineralisierten Bergwässern in verschiedene Zonen. ... 10

Fig. 3: Beispiel einer Wasseraustrittsstelle zwischen zwei Tübbingringen (Foto aus Gautschi 1994). ... 12

Fig. 4: Darstellung der Hauptelemente als Schöller-Diagramm. ... 13

Fig. 5: Darstellung der Cl-Konzentration in Abhängikeit von der Na-Konzentration. ... 15

Fig. 6: Darstellung der SO_4-Konzentration in Abhängikeit von der Ca-Konzentration ... 16

Fig. 7: Darstellung der SO_4-Konzentration in Abhängigkeit von der Na-Konzentration. ... 17

Fig. 8: Darstellung der Sauerstoff-18-Isotopengehalte in Abhängigkeit von den Deuterium-Isotopengehalten ... 18

Fig. 9: Darstellung der Sulfatisotopenwerte im $\delta^{18}O/\delta^{34}S$-Diagramm. ... 19

Anhänge und Beilagen

Anhang 1: Situation 1:20'000 – Geologische Übersicht

Anhang 2: Datenkompilation

Anhang 3: Elektrische Leitfähigkeiten von Schachtwasserproben
(a) Weströhre des N3-Bözbergtunnels
(b) Oströhre des N3-Bözbergtunnels

Beilage 1: Profil des SBB-Bözbergtunnels 1:2'500

Beilage 2: Profil des N3-Bözbergtunnels, Weströhre 1:2'500

Beilage 3: Profil des N3-Bözbergtunnels, Oströhre 1:2'500

1 Einleitung

Im Rahmen von Etappe 1 des Sachplans Geologische Tiefenlager (SGT) wurde das Gebiet Jura Ost als potenziell geeignet für ein Tiefenlager für hochaktive wie auch für schwach- und mittelaktive Abfälle identifiziert. Im Rahmen von Etappe 2 müssen nun alle relevanten geowissenschaftlichen Informationen zusammengetragen werden.

Der Bözberg wird durch den Eisenbahn- und die beiden Autobahntunnel durchquert. Beim Bau der Autobahntunnel sind mineralisierte Bergwässer angetroffen worden, die zu Problemen im Hinblick auf die langfristige Stabilität der zementgebundenen Werkstoffe führten (z. B. Wegmüller 1993). Es stellt sich die Frage, ob diese Beobachtungen zum Verständnis der Hydrogeologie der Tiefenaquifere in dieser Region beitragen können. Entsprechende Fragen wurden bereits im Technischen Forum aufgeworfen. Bis heute existiert aber keine Synthese der Beobachtungen aus hydrogeologischer Sicht.

Der vorliegende Bericht beinhaltet eine umfassende Datenzusammenstellung sowie eine qualitative Wertung der in Zusammenhang mit den Tunnelbauprojekten erhobenen geologischen und hydrogeologischen Informationen. Diese Datengrundlage wird hinsichtlich der Herkunft und Fliesswege der mineralisierten Bergwässer analysiert und interpretiert. Der Fokus liegt dabei auf angetroffenen Bergwässern in den Malmkalken und den Effinger Schichten des Tafeljuras.

Nach einer kurzen geologischen Einführung (Kap. 2) wird eine Sichtung und Darstellung der vorhandenen Datengrundlagen gegeben (Kap. 3). Anschliessend werden die Daten mit bekannten Tiefengrundwässern verglichen (Kap. 4) und daraus Schlussfolgerungen (Kap. 5) abgeleitet.

Bau der Bözbergtunnel

Der Bözberg liegt aus verkehrstechnischer Sicht zwischen Zürich und Basel und trennt das Aaretal bei Brugg im Süden vom Tal der Sissle bei Frick im Norden. Im Zuge des Ausbaus der Verkehrswege wurden insgesamt drei Tunnelröhren durch den Bözberg erstellt (vgl. Anhang 1).

Der älteste Tunnel (Bahntunnel) wurde 1871/75 als gemeinschaftliches Unternehmen der ehemaligen Schweizer Nordostbahn (NOB) und der Zentralbahn (SCB) (Dietler 2013) im konventionellen Sprengvortrieb gebaut und besitzt als Auskleidung ein Mauerwerk (Wegmüller & Chabot 1994). Nachfolgend wird dieser vereinfacht als SBB-Bözbergtunnel bezeichnet. Er ist ca. 2.5 km lang und weist eine leichte Steigung von Süden (ca. 460 m ü.M.) nach Norden (470 m ü.M.) auf.

Östlich vom SBB-Bözbergtunnel befinden sich die beiden parallel im Abstand von wenigen 10er Metern verlaufenden Autobahntunnel (N3). Diese beiden je ca. 3.7 km langen Tunnelröhren wurden zu Anfang der 1990er Jahre (Weströhre: 1990/91, Oströhre: 1992/93) mittels einer Tunnelbohrmaschine (TBM) mit Tübbing-Einbau erstellt (Wegmüller & Chabot 1994). Beide Röhren liegen tiefer als der Bahntunnel und weisen ebenfalls eine Steigung von Süden (ca. 400 m ü.M.) nach Norden (ca. 460 m ü.M.) auf. Im Vergleich zum SBB-Bözbergtunnel liegt der N3-Bözbergtunnel vor allem im südlichen Bereich deutlich tiefer.

Aus dem Bau und Unterhalt dieser drei Tunnelröhren ist bekannt, dass mineralisierte Bergwässer im Bözberg vorkommen (vgl. Kap. 2). Diese Wässer haben beim seinerzeitigen Bau teilweise zu erheblichen geotechnischen Problemen geführt (Kreisdirektion III SBB 1903, Bauabteilung Kreis III SBB (1964), Bridel & Beck 1970, Hauber 1991c).

2 Geologische und hydrogeologische Übersicht

2.1 Geologisch-tektonische Situation

Der Bözberg lässt sich tektonisch in zwei Bereiche unterteilen: Der südliche Teil des Bözbergs ist noch dem Faltenjura zuzuordnen, während der nördliche Teil dem Tafeljura (Vorfaltenzone) angehört. Der Bereich der Jura-Hauptüberschiebung trennt diese voneinander. Anhang 1 gibt einen Überblick über die geologische Situation des Bözbergs sowie über die Linienführung der drei Bözbergtunnel resp. -röhren. Anhang 3a zeigt ein Profil durch den Bözberg entlang der Weströhre des N3-Tunnels. In Beilage 1 bis 3 sind die geologischen Profile der drei Bözbergtunnel dargestellt (SBB-Tunnel, Weströhre sowie Oströhre des N3-Tunnels).

Faltenjura

Der südliche Bereich der Bözbergtunnel gehört tektonisch zum Faltenjura und besteht aus einer steil gegen Süden einfallenden Schuppenzone aus Muschelkalk und Keuper (Hauber 1972b, Hauber 1991c). Es handelt sich dabei um Überschiebungen entlang von Störungszonen und Schichtgrenzen. Die Gesteinspakete sind in diesem Bereich deshalb oftmals von steilstehenden Störungszonen durchbrochen.

Tafeljura

Der nördliche Bereich der Bözbergtunnel gehört tektonisch zum Tafeljura (Vorfaltenzone) und besteht im Norden aus leicht gegen Süden einfallenden Molassegesteinen (überwiegend OSM), Malmkalken und Effinger Schichten. Die Gesteinsschichten sind im Süden aufgrund einer Rückfaltung überkippt und steilgestellt (Hauber 1972b, Hauber 1991c). In diesem Übergangsbereich sind ebenfalls noch steilstehende Störungszonen vorhanden. Erst im flach liegenden Nordteil sind die Gesteinspakte bis auf lokale Brüche tektonisch ungestört (Hauber 1991c).

Jura-Hauptüberschiebung

Der Bereich der Jura-Hauptüberschiebung trennt den Faltenjura im Süden vom Tafeljura im Norden. Der südlich gelegene Faltenjura wurde im Muschelkalk abgeschert und auf den nördlich gelegenen Tafeljura aufgeschoben. Sowohl die Schuppenzone im Faltenjura als auch die Rückfaltung im Tafeljura sind als Folge dieser Überschiebung zu betrachten (Hauber 1972b, Hauber 1991c).

2.2 Quellen und massgebende Grundwasserleiter

Oberflächennahe Quellen auf dem Bözberg

Im Rahmen der Abklärungen für den Bau des N3-Strassentunnels wurden die bekannten, an der Oberfläche austretenden Quellen im Gebiet des Bözbergs systematisch untersucht (Hauber 1972a, Hauber 1972b, Hauber 1982, Hauber 1987). Dabei wurde festgestellt, dass die Schüttungsmengen grösstenteils mit dem Niederschlag korrelieren und darunter weder stark mineralisierte noch aus der Tiefe stammende Wässer vorhanden sind. Die meisten Quellen weisen zudem starke jahreszeitliche Temperaturschwankungen auf und wurden als oberflächennahe Schuttquellen interpretiert. Vier Quellen zeigen nur geringfügige jahreszeitlich bedingte Temperaturschwankungen und werden offensichtlich aus etwas tieferliegenden Schichten

gespeist. Die gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten (430 – 700 µS/cm) befinden sich alle in einem typischen Wertebereich für oberflächennahe Grund- und Quellwasser (Hauber 1972a, Hauber 1972b, Hauber 1982, Hauber 1987).

Faltenjura

Die Schuppenzone südlich der Jura-Hauptüberschiebung (Faltenjura) ist stark tektonisiert und die Kalkgesteine darin meist verkarstet. Die Schuppenzone ist hydraulisch mit dem Grundwasserleiter des Aaretals und der Aare als Vorfluter verbunden (Hauber & Schmidt 1983).

Tafeljura

Aus dem Bereich des Tafeljuras sind keine grösseren Grundwasserleiter oder intensive Verkarstungen bekannt. Die verkarstungsfähigen Malmkalke sind erfahrungsgemäss mehr oder weniger stark zerklüftet und z. T. wasserführend. Der oberste Gesteinsbereich der Malmkalke weist aufgrund einer alten Landoberfläche Paläokarst auf, welcher durch Bolustone verfüllt ist (Hauber 1972b). Die mergelige Molasse sowie die Effinger Schichten im aufgebogenen Bereich des Südrands sind in der Regel trocken (Hauber 1991a).

Jura-Hauptüberschiebung

Entlang der Jura-Hauptüberschiebung finden sich die bekannten Thermalwasseraustritte von Baden und Schinzach-Bad (z. B. Högl 1980).

3 Hydrogeologische Datengrundlage

3.1 Literatur

Nachfolgend sind alle für diesen Bericht zentralen Dokumente aufgeführt, welche für die Interpretation und Folgerungen wesentliche Daten enthalten. Eine umfassende Literaturliste befindet sich am Ende dieses Berichts (Kap. 6).

- Bauabteilung Kreis III, SBB (1964): Rekonstruktion des Bözbergtunnels – Diverse Untersuchungsberichte (als Beilage zum Schlussbericht).
- Dubois, J.D. & Flück, J. (1984): Geochemistry – Nutzbarmachung der Geothermie im Raume Baden. Nationaler Energie – Forschung – Fond, Basel, University of Geneva.
- Hauber, L. (1982): N3/06 Bözbergtunnel, 3. geologischer Bericht mit revidierter Prognose. Universität Basel.
- Hauber, L. (1991c): N3/06 Bözbergtunnel – Geologisch-hydrogeologische Untersuchungen zum Problem sulfat- und chloridhaltiger Bergwässer im Bözbergtunnel. Bericht inkl. 15 Beilagen. Universität Basel.
- Schweiz. Bundesbahnen, Bauabteilung Kreis III (1953): Bözbergtunnel. Darstellung der Untersuchungsergebnisse über den Zustand des Mauerwerks. Aufnahme im Okt. 1923 durch das Ingenieurbüro Rothpletz u. Lienhard, Bern, Ergänzung u. Nachführung im Sept. 1952 durch die Bauabteilung Kreis III der SBB (A. Golta, Ingenieurbureau, Zürich, August 1953).
- Wegmüller, M. (1993): Einflüsse des Bergwassers auf die verschiedenen Bauwerksteile des N3 Bözbergtunnels – Schlussbericht. Riehen.

Die wichtigsten Erkenntnisse dieser Grundlagen werden in Kap. 3.2 und 3.3 zusammengefasst und sind in den Beilagen veranschaulicht.

3.2 SBB-Bözbergtunnel

3.2.1 Geologie und Tektonik

Die geologischen Aufnahmen des SBB-Bözbergtunnels sind sehr spärlich und es ist einzig ein geologisch-tektonisches Profil vorhanden (Schweiz. Bundesbahnen, Bauabteilung Kreis III 1953), welches in Beilage 1 wiedergegeben ist. In den Unterlagen zu den zahlreichen Sanierungs- und Unterhaltsarbeiten beschränken sich die Angaben hauptsächlich auf die angetroffenen Schäden (Kreisdirektion III SBB 1903, Unbekannt 1957, Bridel & Beck 1970). Insgesamt sind demzufolge vom SBB-Bözbergtunnel wenig konkrete Angaben zur Geologie und Tektonik vorhanden.

3.2.2 Hydrogeologie und Hydrogeochemie

Zu den während des Tunnelvortriebs angetroffenen hydrogeologischen und hydrogeochemischen Verhältnissen liegen leider keine Angaben vor. Die Unterlagen zu den zahlreichen Sanierungs- und Unterhaltsarbeiten enthalten diesbezüglich konkretere Angaben. Nebst Informationen zu Feuchtstellen, Wasserzuflüssen, Ablagerungen sowie Schüttungsmengen sind

28 chemische Analysen (nur Hauptelemente) und 8 Isotopenanalysen ($\delta^{18}O$ / δD, Tritium) vorhanden (Bauabteilung Kreis III SBB 1964, Hauber 1982, Dubois & Flück 1984). Alle vorhandenen Daten[1] sind in den Tabellen in Anhang 2 aufgeführt sowie in Beilage 1 graphisch dargestellt.

3.3 N3-Bözbergtunnel

3.3.1 Geologie und Tektonik

Von der West- wie auch von der Oströhre des N3-Bözbergtunnels ist jeweils ein geologisch-tektonisches Profil vorhanden (Hauber 1991c) und in Beilage 2 (Weströhre) sowie Beilage 3 (Oströhre) dargestellt. Beobachtungen während des Tunnelvortriebs sind darin ebenfalls dokumentiert (Hauber 1991a, Hauber 1991c, Wegmüller 1993). Darüber hinaus liefern mehrere vor dem Tunnelbau ausgeführte Sondierbohrungen Informationen über die Geologie und Tektonik des Bözbergs (Hauber 1972a, Hauber 1972b, Hauber 1982, Hauber & Schmidt 1983).

3.3.2 Hydrogeologie und Hydrogeochemie

Die während des Tunnelvortriebs gemachten Beobachtungen zur Hydrogeologie und Hydrogeochemie für die West- wie auch für die Oströhre des N3-Bözbergtunnels sind so gut dokumentiert, wie es die gewählte Vortriebs- und Ausbaumethode zuliess (vgl. Kap. 3.4.2). Dies bedeutet, dass vor allem Informationen zu den festgestellten Feuchtstellen, Wasserzuflüssen, Ausfällungen, Schüttungsmengen und dem Chemismus vorhanden sind. Bezüglich Hydrogeochemie liegen zahlreiche Messungen der elektrischen Leitfähigkeit sowie einige wenige, z. T. unvollständige chemische Analysen und Isotopenanalysen vor (Hauber 1991c, Wegmüller 1992, Wegmüller 1993, Wegmüller 2001, vgl. Tab. 1). Die vorhandenen Daten sind in den Tabellen in Anhang 2 (Hydrochemie) sowie graphisch in Anhang 3 und in den Beilagen 2 und 3 aufgeführt bzw. dargestellt.

Hauber (1991c) erwähnt im Bereich Tunnelmeter (Tm) 3000 – 3400 der Weströhre total 37 Proben. Von diesen Proben sind allerdings nur die Extremwerte für Sulfat und Chlorid im Text aufgeführt (vgl. Beilage 2). Weitere Angaben zur Herkunft der Proben sowie die Analysenresultate sind nicht vorhanden.

Tab. 1: Überblick über die vorliegenden Analysenresultate der N3-Tunnelröhren (Details vgl. Anhang 2).

Tunnelröhre	**Weströhre**	**Oströhre**
Chemische Analysen	17	6
Isotopenanalysen	5 stabile Wasserisotope ($\delta^{18}O$ / δD), 2 Tritium, 2 Sulfatisotope $\delta^{34}S$ / $\delta^{18}O$ von SO_4	1 Wasseranalyse ($\delta^{18}O$ / δD, Tritium, $\delta^{34}S$ / $\delta^{18}O$ von SO_4)

[1] Nach Abschluss der Interpretation und Berichterstattung erhielten wir Zugang zu zusätzlichen hydrochemischen Analysen aus dem Jahr 1973 (Bericht EMPA 30160 vom 28.5.1973 im Auftrag des Baudepartements des Kantons Aargau und zusätzliche Analysen von der Brunnenstube beim Bahnhof Schinznach-Dorf). Diese liefern keine neuen Erkenntnisse für die in diesem Bericht behandelte Fragestellung und wurde deshalb nicht nachträglich in die Auswertung einbezogen.

Neben den Beobachtungen in den Tunneln sind auch aus 7 Sondierbohrungen in der Schuppenzone des Faltenjuras bzw. im südlichen Portalbereich sowohl chemische Daten als auch Isotopenanalysen ($\delta^{18}O$, Tritium) vorhanden (Hauber 1982, Hauber 1987, Entnahmetiefen unbekannt). Diese Daten wurden in den Datenvergleich in Kap. 4 miteinbezogen, es wird jedoch nicht speziell darauf eingegangen, da es sich um schwach mineralisierte oberflächennahe Karstwässer handelt (elektrische Leitfähigkeit ca. 500 – 800 µS/cm, eine Ausnahme mit fast 2'000 µS/cm).

3.4 Datenqualität

Im Allgemeinen ist bei allen vorhandenen Analysenresultaten über die Art und Weise der Probenahme leider nur wenig bzw. z. T. gar nichts bekannt. Insbesondere ist die Probenahme des Bergwassers nicht dokumentiert. Ebenso fehlt eine kritische Qualitätsbeurteilung der Daten (z. B. Hydrochemie im Kontext der Probenahme).

3.4.1 SBB-Bözbergtunnel

Zum SBB-Bözbergtunnel fehlt eine Dokumentation der während des Tunnelvortriebs angetroffenen Bergwässer. Die chemischen Analysen des Bergwassers beschränken sich auf punktuelle Messungen während späteren Sanierungen (Bauabteilung Kreis III SBB 1964), der Projektierung des N3-Strassentunnels (Hauber 1982) sowie einer Studie zur Nutzbarmachung der Geothermie im Raume Baden (Dubois & Flück 1984). Analysiert wurden dabei vor allem Hauptelemente, wobei teilweise Angaben zu HCO_3, Na und K fehlen (vgl. Anhang 2).

3.4.2 N3-Bözbergtunnel

Die geologische Aufnahme der angetroffenen Gesteinsschichten in der West- sowie in der Oströhre des N3-Bözbergtunnels ist zwar ausreichend dokumentiert (Hauber & Diebold 1992, Hauber & Meyer 1995). In diesen Berichten fehlen allerdings grundlegende Angaben zur Probenahme der angetroffenen Bergwässer (z. B. Schüttungen, Wassertemperatur) sowie Detailangaben (z. B. Messort) zu den durchgeführten Leitfähigkeitsmessungen in Zusammenhang mit den anfallenden Bergwasseraustritten.

Aufgrund des TBM-Vortriebs mit sofortigem Tübbingeinbau war die Tunnelbrust praktisch nie zugänglich. Die hydrogeologischen und -geochemischen Beobachtungen beschränken sich daher auf das Tunnelentwässerungssystem sowie Wasseraustritte auf der Innenseite der Tübbingringe (Hauber & Diebold 1992, Hauber & Meyer 1995).

Wo genau die Probenahmen für die hydrochemischen Analysen im Querprofil des jeweiligen Tunnelabschnitts erfolgten, ist oft unklar. Einige wenige Proben wurden gemäss Grundlagen aus einem Schacht der Tunnelentwässerung entnommen; es handelt sich demzufolge um Mischproben. Im Falle der Probe von 1990 bei Tm 519 aus der Weströhre ist bekannt, dass sie direkt an der Tunnelbrust entnommen wurde (vgl. Anhang 2). Die Entnahmestellen der übrigen Proben sind ungenau dokumentiert, es ist allerdings davon auszugehen, dass es sich um Proben handelt, welche auf der Innenseite der Tübbingringe entnommen wurden.

Bei den Probenahmen an den Tübbingringen (Fig. 3) sowie den Proben aus der Entwässerungsleitung dürfte es zu einer Beeinflussung der Proben durch den Zement gekommen sein, darauf weist der pH-Wert von 11.7 einer Probe in der Oströhre klar hin (Fig. 1). Ganz allgemein liegen die pH-Werte der Wasserproben aus der Oströhre höher als der typische Wertebereich von Tiefengrundwasserproben aus dem Malm-, dem Keuper- oder dem Muschelkalk-Aquifer

(Fig. 1). Dies deutet darauf hin, dass all diese Proben aus der Oströhre möglicherweise durch den Kontakt mit Beton beeinflusst sind. Bei den Proben aus der Weströhre ist eine solche Beurteilung aufgrund der nicht verfügbaren pH-Werte nicht möglich. Die pH-Werte der Proben aus dem SBB-Tunnel scheinen im Vergleich mit den Grundwässern aus den Aquiferen des Malms, des Keupers sowie des Muschelkalks etwas erhöht, liegen aber allgemein in einem durchaus typischen Bereich (meist kleiner 8). Der Ausbau dieses Tunnels besteht aus Bruchsteinen und Mörtel (Kreisdirektion III, SBB 1903), der Autobahntunnel hingegen ist mit Beton-Tübbingen ausgebaut (Wegmüller 2001).

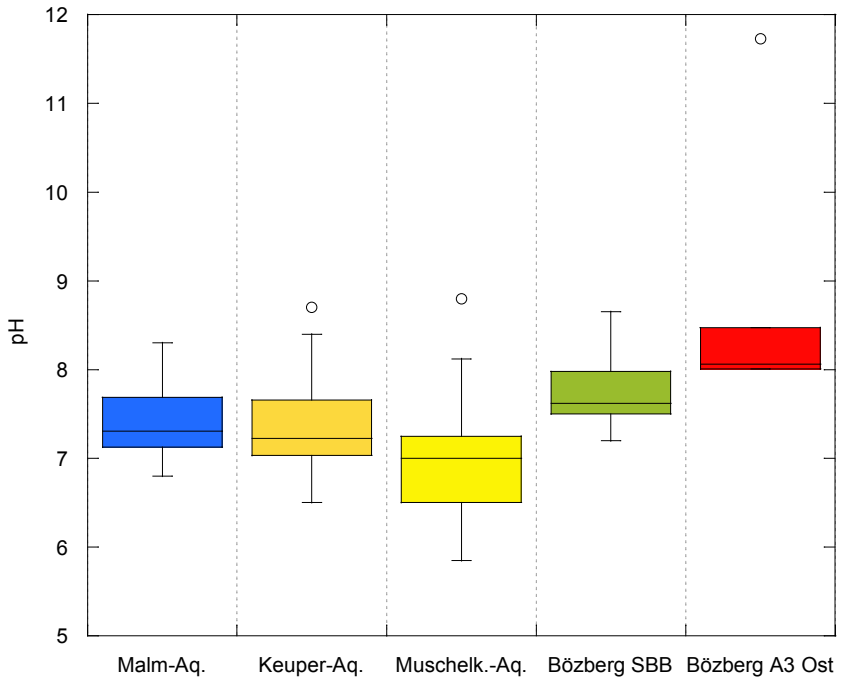


Fig. 1: Boxplot-Darstellung der pH-Werte im SBB- und im N3-Bözbergtunnel Ost im Vergleich zu pH-Werten von Tiefengrundwässern.

Datensatz pH-Werte vor Ort der Malm-, Keuper- und Muschelkalk-Aquifere aus Waber et al. (*in prep.*), Datensatz der Bözbergtunnel s. Anhang 2.

Von den vorhandenen Analysen des Bergwassers sind im Falle der Oströhre 5 von 6 basierend auf der verfügbaren Dokumentation nicht exakt lokalisierbar. Im Falle der Weströhre sind 3 von 22 Proben nicht genau lokalisierbar. Allgemein wurden die Wasserproben entweder nur hinsichtlich ihres Chemismus oder aber nur bezüglich der Isotopengehalte analysiert, d. h. es existiert keine Probe mit beiden Angaben.

Sowohl in der Ost- wie auch in der Weströhre wurden einzig die Hauptelemente gemessen und diese auch nur unvollständig. Bei den Anionen fehlt mit wenigen Ausnahmen Bikarbonat (resp. Alkalinität) und Angaben zum pH-Wert fehlen in der Weströhre gänzlich (vgl. Anhang 2). Plausibilitätskontrollen über Ionenbilanzen sind deshalb im Allgemeinen nicht möglich. Insgesamt ist von der Weströhre der Datenumfang etwas grösser.

4 Angetroffene Bergwässer in den Bözbergtunneln

Basierend auf den Beobachtungen von Wasserzuflüssen, den chemischen Analysen (Beilage 1 bis 3) und der Entwicklung der elektrischen Leitfähigkeit des Wassers im Entwässerungssystem (Anhang 3a und 3b) kann der jeweilige Tunnel in verschiedene Abschnitte unterteilt werden:

- Bereiche ohne Zufluss von Bergwasser (vgl. Kap. 4.1).
- Bereiche mit Zufluss von rezenten, vergleichsweise schwach mineralisierten Bergwässern (vgl. Kap. 4.2).
- Bereiche mit stark mineralisierten Bergwässern (vgl. Kap. 4.3).

4.1 Bereiche ohne Grund- oder Bergwasser

Neben den nachfolgend beschriebenen Tunnelbereichen wurden in einigen Bereichen während des Tunnelvortriebs und danach (fast) keine Grund- oder Bergwasserzuflüsse angetroffen. Als trocken zu betrachten sind folgende Tunnelabschnitte (vgl. Beilage 1 bis 3):

- Opalinuston
- Eozän und Molasse
- Übergang Malmkalke – Effinger Schichten (südlicher Teil)

Auf diese Tunnelabschnitte wird in der Folge nicht weiter eingegangen.

4.2 Oberflächennahes Grundwasser

Im Portalbereich Nord der drei Bözbergtunnels wurden im Vergleich zum Portalbereich Süd geringe Wassermengen angetroffen. Bei diesem Wasser handelt es sich aufgrund seiner schwachen Mineralisation um junges Niederschlagswasser (Wegmüller 1993, vgl. Beilage 1 bis 3).

Sulfathaltiges Muschelkalkwasser (Mineralisation (ca. 1 – 2 g/l), elektrische Leitfähigkeit im Bereich 500 – 2'500 µS/cm; Karstwasser) wurde im Portalbereich Süd der drei Bözbergtunnel sowie in der Muschelkalk-Schuppenzone im Faltenjura angetroffen. Dabei betrug in der Weströhre des N3-Bözbergtunnels während des Vortriebs dieses Karstwasser anteilsmässig rund 90 % der insgesamt anfallenden Bergwassermenge von 30 – 130 l/min (Hauber & Diebold 1990, Hauber 1991c, Wegmüller 1993; vgl. Beilage 1 bis 3).

Dieses rezente, oberflächennahe Karstwasser weist eine für solche Grundwässer charakteristische Mineralisation auf (vgl. Anhang 2 sowie Beilage 1 bis 3). Die vorhandenen chemischen Daten sowie die Isotopenanalysen dieser Wässer werden zum Vergleich in den nachfolgenden Darstellungen miteinbezogen, es wird jedoch nicht explizit darauf eingegangen.

4.3 Stark mineralisiertes Bergwasser

In Tab. 2 findet sich ein Überblick über die in den verschiedenen Bereichen angetroffenen stark mineralisierten Bergwässer. Diese wurden sowohl im SBB-Bözbergtunnel wie auch in beiden Röhren des N3-Bözbergtunnels angetroffen. Dabei können aufgrund der festgestellten Wasseraustritte (vgl. Beilage 2) zwei unterschiedliche Bereiche mit solchen Bergwässern ausgeschieden werden (vgl. Fig. 2 sowie Tab. 2):

- Der erste Bereich wurde in allen drei Tunneln bzw. Röhren angefahren und ist an die Störungszonen im Bereich der Hauptüberschiebung resp. dem aufgeschobenen Südrand des Faltenjuras gebunden (Zone A und B in Fig. 2).
- Der zweite Bereich umfasst die stark mineralisierten Bergwässer im Tafeljura (Zone C und D in Fig. 2) und ist einzig von der Weströhre des N3-Bözbergtunnels mit chemischen Analysen dokumentiert (vgl. Anhang 2 sowie Beilage 1 bis 3).

Die Abgrenzung der Zonen basiert auf den Beobachtungen von Wasserzuflüssen und Feuchtstellen aus der Weströhre des N3-Bözbergtunnels (Hauber 1991c, Wegmüller 1993; vgl. Beilage 2).

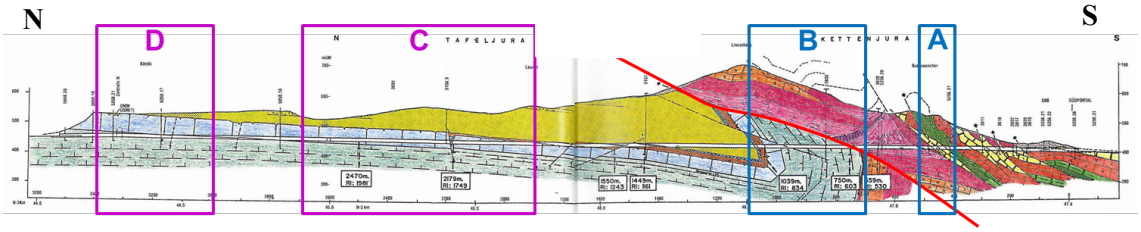


Fig. 2: Unterteilung der Tunnelbereiche mit stark mineralisierten Bergwässern in verschiedene Zonen.

Die Zonen im Tafeljura sind in violett, diejenigen in den Störungszonen in blau gehalten (vgl. Beilage 2; Profil nach Wegmüller 2001); s. auch Erläuterungen im Text.

Bereich Störungszonen

Der Bereich Störungszonen umfasst den Bereich der Jura-Hauptüberschiebung inklusive Teile der südlich davon gelegenen Schuppenzone (Zonen A und B).

Im Bereich der Gipskeuper-Schuppe sowie im aufgeschobenen Südrand des Tafeljuras wurden stark mineralisierte Bergwässer angefahren (vgl. Fig. 2). Während in der Gipskeuper-Schuppe (Zone A mit Gips, Anhydrit und Mergeln) erwartungsgemäss Ca-SO_4-Wässer vorherrschen, sind im aufgeschobenen Südrand (Zone B mit Effinger Schichten, Malmkalken und Molassegesteinen) hauptsächlich Na-SO_4 Wässer mit variablem Cl-Gehalt vorhanden (vgl. Tab. 2 sowie Beilage 1 bis 3).

Aus dem Bereich der Störungszonen sind zahlreiche Feldbeobachtungen und Leitfähigkeitsmessungen sowie diverse chemische und Isotopenanalysen vorliegend (vgl. Anhang 3 sowie Beilage 1 bis 3). Die vorhandenen Daten dieser Wässer werden ebenfalls zum Vergleich in die nachfolgenden Darstellungen miteinbezogen, es wird jedoch nicht explizit darauf eingegangen, da diese nicht zentraler Gegenstand der vorliegenden Betrachtung sind.

Nicht in die nachfolgenden Darstellungen miteinbezogen wurde eine chemische Analyse einer extrem stark mineralisierten Bergwasserprobe bei Tm 1020, da diese Probe aufgrund der mit Betonwässern vergleichbaren Zusammensetzung als alteriertes Betonwasser interpretiert wird (vgl. Anhang 2).

Tab. 2: Zusammenstellung der hydrogeochemischen Daten der stark mineralisierten Bergwässer aus dem SBB-Tunnel und der Weströhre des N3-Tunnels (vgl. Fig. 2).

Für Quellenangaben vgl. Beilage 1 und 2.

Tunnel	← N3 (Weströhre) →			
	← SBB-Tunnel →			
Zone	*Störungszonen*		*Tafeljura*	
	A	*B*	*C*	*D*
Tunnelmeter N3 Weströhre	480 – 550	700 – 1100	1900 – 2700	3000 – 3400
Geologie	Faltenjura Gipskeuper-Schuppe	Aufgeschobener Südrand Tafeljura	Tafeljura Malmkalke	Tafeljura Malmkalke Effinger Schichten
Zutritte Schüttung	Zahlreiche Stellen ca. 3 – 11 l/min	Mehrere Stellen wenige – einige l/min	Mehrere Stellen wenige – einige l/min	Wenige Stellen (keine Angabe)
Temperatur	ca. 12ºC	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe
Elektr. Leitf. Gesamtmin.	2.5 – 10.5 mS/cm ca. 7 g/l	11.5 – 17 mS/cm ca. 12 g/l	ca. 5.1 mS/cm ca. 4 g/l	2.6 – 7.5 mS/cm ca. 6 g/l
Sulfat	2'000 – 4'000 mg/l	3'000 – 7'000 mg/l (max. 28000)	820 – 2'400 mg/l (max. 4000)	2'000 – 2'400 mg/l
Chlorid	< 10 mg/l	800 – 4'800 mg/l (max. 17'500)	130 – 1'900 mg/l (max. 17'500)	280 – 960 mg/l
Tritium	7.7 ± 1.5 TU (1993)	0.5 ± 0.7 TU (1991)	2.5 ± 0.7 TU (1994)	-
Typ	Ca-SO_4	Na-SO_4	Na-SO_4-reich mit variablem Cl^-	Na- und Ca-SO_4-reich mit variablem Cl^-

Bereich Tafeljura

Im Tafeljura befinden sich einzelne wenige Zutrittsstellen mit stark mineralisiertem Bergwasser (vgl. Beilagen 2 und 3). Im Wesentlichen handelt es sich um zwei Bereiche, d. h. einerseits um einen Bereich innerhalb der Malmkalke (Bereich C in Fig. 2; Weströhre: Tunnelmeter (Tm) 1900 – 2700) sowie andererseits um den nördlichen Übergangsbereich von den Malmkalken zu den Effinger Schichten (Bereich D in Fig. 2; Weströhre: Tm 3000 – 3400). In beiden Bereichen wurden Na- und/oder Ca-SO_4-reiche Wässer mit variablem Cl-Gehalt angetroffen (vgl. Tab. 2 sowie Beilage 1 bis 3).

Diese Austrittstellen sind vor allem durch Feldbeobachtungen (Feuchtstellen, Quellen) und teilweise vor Ort-Messungen dokumentiert (Schüttung und elektrische Leitfähigkeit: summarische Darstellung in Wegmüller 1993). Allerdings existieren nur 2 Analysenresultate aus diesem Bereich, und zwar eine chemische Analyse bei Tunnelmeter (Tm) 2040 aus der Weströhre des N3-Tunnels, welche eine schlechte Ionenbilanz aufweist (vgl. Kap. 4.4.2) und eine Isotopenanalyse bei Tm 2066 (vgl. Anhang 2, Anhang 3 sowie Beilage 1 bis 3).

Wie einleitend erläutert, liegt der Fokus dieses Berichts auf der Auswertung dieser (wenigen) Daten aus dem Tafeljura der Bözbergtunnel (Zonen C und D der Tab. 2). Wie oben dargestellt, ist die Datengrundlage aber mehr als dürftig und muss daher unter Einbezug der restlichen Daten aus den Bözbergtunnel sowie ausgewählten Analysen von Tiefengrundwässern der Region interpretiert werden.

Fig. 3: Beispiel einer Wasseraustrittsstelle zwischen zwei Tübbingringen (Foto aus Gautschi 1994).

4.4 Chemische Analysen

In den folgenden Diagrammen (Fig. 4 – 7) sind die chemischen Analysen gemäss Anhang 2 jeweils als Punktdiagramme dargestellt. Die Daten aus den drei Bözbergtunnel sind aufgeteilt nach Tunnelröhre sowie im Falle der Weströhre des N3-Tunnels nach Bereich der auftretenden stark mineralisierten Bergwässser (Störungszone bzw. Tafeljura).

Um die Analysenwerte mit Tiefengrundwässern der Region zu vergleichen, ist eine Auswahl von Datensätzen miteinbezogen worden (vgl. Anhang 2c). Die Daten der Mineral- und Heilquellen von Bad Lostorf und Baden (Högl 1980) sowie die Analysen aus den Sondierbohrungen im Bereich des N3-Strassentunnels wurden ebenfalls berücksichtigt (Hauber 1982).

4.4.1 Elektrische Leitfähigkeiten

Die elektrische Leitfähigkeit des im Entwässerungsschacht der Weströhre des N3-Tunnels von Norden nach Süden abfliessenden Bergwassers wurde im Zeitraum von 1991 bis 2000 insgesamt siebenmal als Profilmessung auf der ganzen Tunnellänge gemessen (Wegmüller 2001). Die Ergebnisse sind in Anhang 3a graphisch dargestellt. In Anhang 3b sind auch die elektrischen Leitfähigkeiten des abfliessenden Bergwassers in der Oströhre dargestellt, allerdings ist hier nur eine Profilmessung aus dem Jahre 1993 vorhanden (Wegmüller 1993). In der Tabelle in Anhang 2 sind die Werte der elektrischen Leitfähigkeiten der einzelnen Wasserproben angegeben, sofern bekannt.

Aus der Grafik der elektrischen Leitfähigkeit in der Weströhre (vgl. Anhang 3a) ist ersichtlich, dass sich die Werte in den rund 10 Jahren zwischen 1991 und 2000 im Wesentlichen nicht verändert haben. Die elektrische Leitfähigkeit steigt bereits im Tafeljura bis auf rund 3'000 µS/cm bzw. 4'000 µS/cm an. Im Bereich der Störungszone lagen die Werte 1991 zeitweise bei 8'000 µS/cm. Die deutlich niedrigeren Werte in der Schuppenzone des Faltenjuras sind auf die mengenmässig signifikanten Wasserzuflüsse aus dem Karst mit relativ niedriger elektrischer Leitfähigkeit zurückzuführen. Gemäss Hauber & Diebold (1990) sowie Wegmüller (1993) stammen in der Weströhre rund 90 % des anfallenden Bergwassers aus der Schuppenzone (vgl. Beilage 2).

4.4.2 Hauptbestandteile

In Fig. 4 sind die Hauptbestandteile einer repräsentativen Auswahl an Datensätzen aus den Bözbergtunnel als Schöller-Diagramm dargestellt. Bei der Datenauswahl wurde darauf geachtet, dass alle Bandbreiten und Charakteristika repräsentiert sind. Die Datenmenge wurde demzufolge bezüglich der Anzahl ähnlicher Wässer reduziert. Datensätze mit fehlenden Angaben wurden teilweise ebenfalls nicht berücksichtigt.

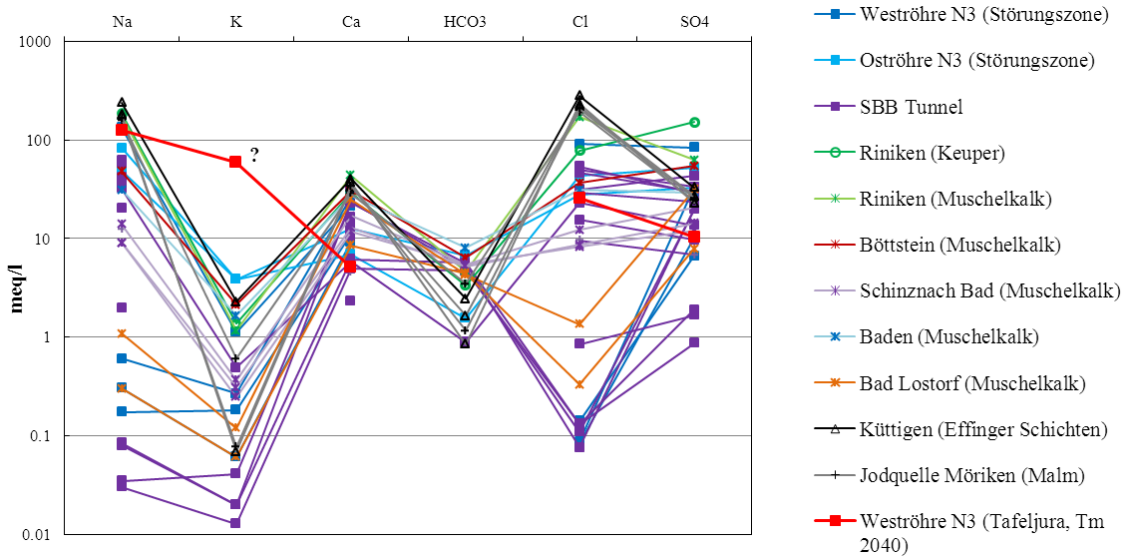


Fig. 4: Darstellung der Hauptelemente als Schöller-Diagramm.

Eingezeichnet sind die Bergwässer der Bözbergtunnels sowie zum Vergleich ausgewählte Tiefengrundwässer der Region. Vgl. Text bzgl. der Kalium-Konzentration von Probe Weströhre Tm 2040.

Das Schöller-Diagramm in Fig. 4 zeigt, dass allgemein die in den dargestellten Wässern gelösten Konzentrationen an Na-, K-, Cl- und SO_4-Ionen um mehrere Grössenordnungen variieren. Einzig die Ca- und HCO_3-Ionen zeigen eine geringere Bandbreite. Die Cl-Ionen deuten auf eine Zweiteilung des Datensatzes hin, mit einer Gruppe $Cl/SO_4 << 1$ (vermutlich Muschelkalkwässer) und einer Gruppe $Cl/SO_4 \approx 1$ (Tiefengrundwässer bzw. Wässer aus den Störungszonen).

Aus dem Tafeljura ist einzig die Probe von Tm 2040 aus der Weströhre des N3-Tunnels vorhanden. Das Schöller-Diagramm (Fig. 4) zeigt, dass die K-Konzentration dieser Probe deutlich von allen übrigen Proben abweicht. Zudem fehlen Angaben zur HCO_3-Konzentration. Ionenbilanzrechnungen zeigen zudem, dass selbst bei einer K-Konzentration von 0 meq/l fast 100 meq/l HCO_3 im Wasser gelöst sein müssten, um eine gute Ionenbilanz zu erzielen. Es ist folglich in dieser Probe die Summe der Kationen zu hoch resp. die Summe der Anionen zu tief. Diese Probe erfüllt damit nicht die üblichen Qualitätskriterien; weil es die einzige aus dem Tafeljura ist, wird sie dennoch mit Vorbehalt diskutiert.

4.4.3 Chloridgehalt

Fig. 5 stellt die Cl-Konzentration in Abhängigkeit von der Na-Konzentration dar. Das Diagramm zeigt, dass die meisten dargestellten Wässer ein Na/Cl-Verhältnis von nahezu 1 aufweisen.

Die Bergwasserproben aus dem SBB-Bözbergtunnel weisen i. A. relativ geringe Cl- und Na-Konzentrationen auf und liegen leicht über einem Verhältnis von 1. Ebenfalls zu dieser Gruppe gehören die Bergwässer der Oströhre, die Wässer aus den Sondierbohrungen des Bözbergs sowie weitere Wässer aus dem Muschelkalk.

Ein Na/Cl Verhältnis > 1 weisen die beiden Proben aus der Weströhre des N3-Tunnels auf (Tm 790 und 2040). Ebenfalls leicht über einem Verhältnis von 1 plottet die Wasserprobe aus dem Keuper der Nagra-Tiefbohrung Riniken.

Die Chlorid-Konzentrationen der Probe aus dem Tafeljura (Tm 2040) ist deutlich tiefer als in den Proben der Jodquelle Möriken oder der Effinger Schichten in der EWS-Bohrung Küttigen (Entnahmeteufe 163 – 169.1 m, Eichinger et al. 2008).

Die dargestellten Wasserproben aus den Malmkalken (Jodquelle Möriken) und den Effinger Schichten (EWS-Bohrung Küttigen) weisen ein Na/Cl-Verhältnis < 1 auf. Von anderen Lokalitäten sind jedoch auch Tiefengrundwässer mit Na/Cl-Verhältnissen grösser als 1 bekannt (z. B. Thermalwasserbohrung Singen, vgl. Schmassmann 1990).

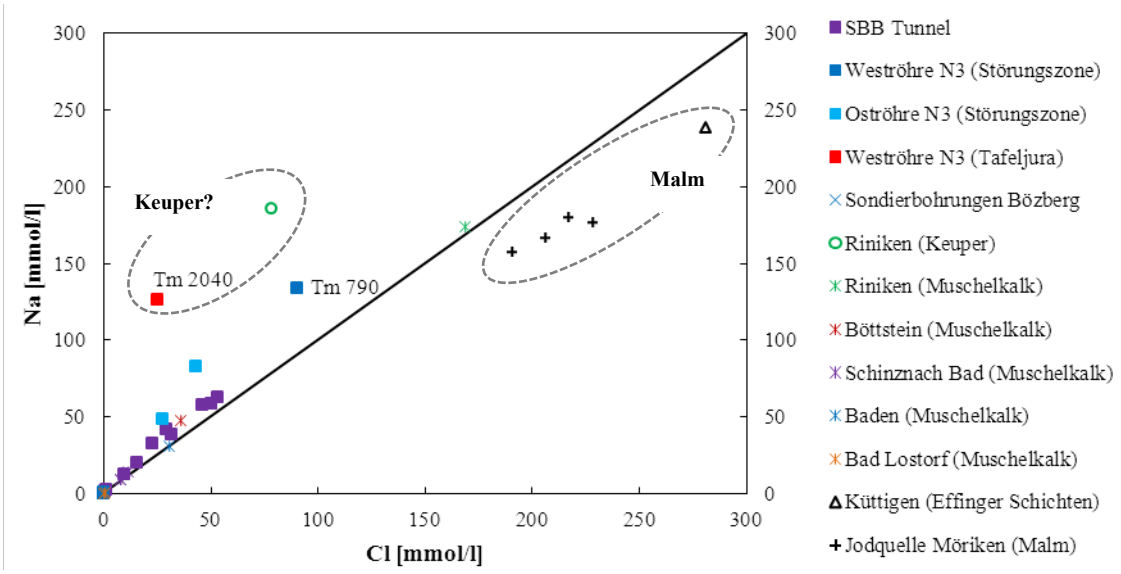


Fig. 5: Darstellung der Cl-Konzentration in Abhängigkeit von der Na-Konzentration.

Eingezeichnet sind die Bergwässer der Bözbergtunnel sowie zusätzlich weitere Grund- und Quellwässer aus geologisch-hydrogeologisch ähnlichen Situationen. Die schwarze Linie stellt das Verhältnis Na/Cl = 1 dar. Hydrochemische Ähnlichkeiten der Proben aus den Bözbergtunneln mit anderen Tiefengrundwässern werden im Text diskutiert.

4.4.4 Sulfatgehalt

Fig. 6 stellt die SO_4-Konzentration in Abhängigkeit der Ca-Konzentration dar. Zahlreiche Datensätze zeigen ein Ca/SO_4-Verhältnis nahe 1 an, wobei es Abweichungen in beide Richtungen gibt.

Die Probe aus dem Tafeljura der Weströhre des N3-Tunnels (Tm 2040) hat ein Ca/SO_4-Verhältnis von etwas kleiner als 1 und enthält vergleichswiese relativ wenig Ca und SO_4. Sie unterscheidet sich damit deutlich von den Proben aus dem Bereich der Störungszonen.

Die Daten aus der EWS-Bohrung Küttigen (Effinger Schichten) und der Jodquelle (Malmkalke) weisen ein Ca/SO_4-Verhältnis etwas grösser als 1 auf. Die Wässer aus dem Bözberg sowie weitere Wässer aus dem Muschelkalk plotten entweder relativ genau beim Verhältnis 1 oder darunter. Die Proben aus der Oströhre des N3-Tunnels, jene bei Tm 790 in der Weströhre des N3-Tunnels sowie die Probe aus der Tiefbohrung Riniken (Keuper) weisen ein Ca/SO_4-Verhältnis von deutlich unter 1 auf.

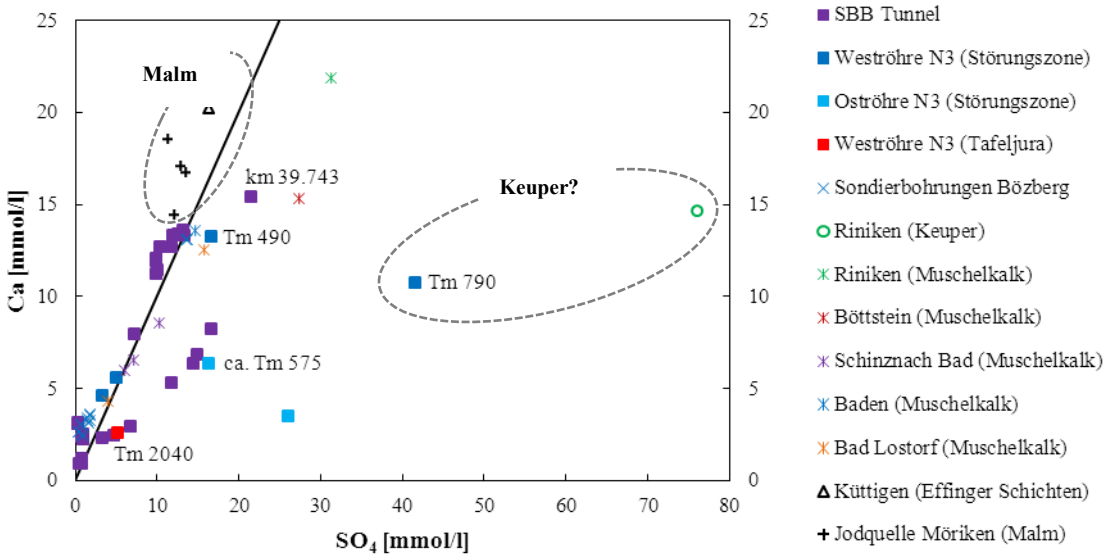


Fig. 6: Darstellung der SO_4-Konzentration in Abhängikeit von der Ca-Konzentration.

Eingezeichnet sind die Bergwässer der Bözbergtunnels sowie zusätzlich weitere Grund- und Quellwässer aus geologisch-hydrogeologisch ähnlichen Situationen. Die schwarze Linie stellt das Verhältnis $Ca/SO_4 = 1$ dar. Hydrochemische Ähnlichkeiten der Proben aus den Bözbergtunneln mit anderen Tiefengrundwässern werden im Text diskutiert.

Fig. 7 stellt die SO_4-Konzentration in Abhängigkeit von der Na-Konzentration dar. Mehrere Proben aus den Bözbergtunneln sowie Bad Lostorf enthalten etwas SO_4, jedoch kaum Na. Einige wenige Proben plotten ungefähr bei einem Na/SO_4-Verhältnis von 2:1 (Sondierbohrungen Bözberg, Schinznach-Bad, Böttstein), was auf Ionenaustauschprozesse hinweisen könnte. Zahlreiche Proben weisen ein Na/SO_4-Verhältnis > 2:1 auf: Es sind dies Proben aus dem SBB-Tunnel, aus der Ost- sowie der Weströhre des N3-Tunnels, aus der Tiefbohrung Riniken (Muschelkalk und Keuper) sowie der EWS-Bohrung Küttigen (Effinger Schichten) und der Jodquelle Möriken (Malmkalke).

In dieser Darstellung unterscheidet sich die Probe aus dem Tafeljura (Tm 2040) deutlich von den Proben aus den Störungszonen. Bei den Proben aus den Störungszonen ist ebenfalls keine Gemeinsamkeit im Sinne einer angedeuteten Mischungslinie zwischen zwei Endgliedern zu erkennen.

Es ist zu beachten, dass Beton-Porenwässer beispielsweise hohe Sulfat-Konzentrationen aufweisen[2]. Aufgrund der Probenahmen kann eine Verfälschung der Wasserproben durch den Kontakt mit Beton nicht ausgeschlossen werden.

[2] Siehe zum Beispiel Dietzel (2011): Verwitterungseigenschaften von Baustoffen – Der Grazer Uhrturm und andere Fallbeispiele. Folien TU Graz, Institut für Angewandte Geowissenschaften. http://alumni.tugraz.at/tug2/alumnitalks/alumnitalks016_dietzel.pdf (heruntergeladen am 16.04.2013). Dort werden Analysen von ausgepressten Betonwässern mit 16 bis 30 g/l Sulfat gezeigt. Zudem weist dieses Wasser gegenüber dem Grundwasser eine deutliche Anreicherung von Sauerstoff-18 auf.

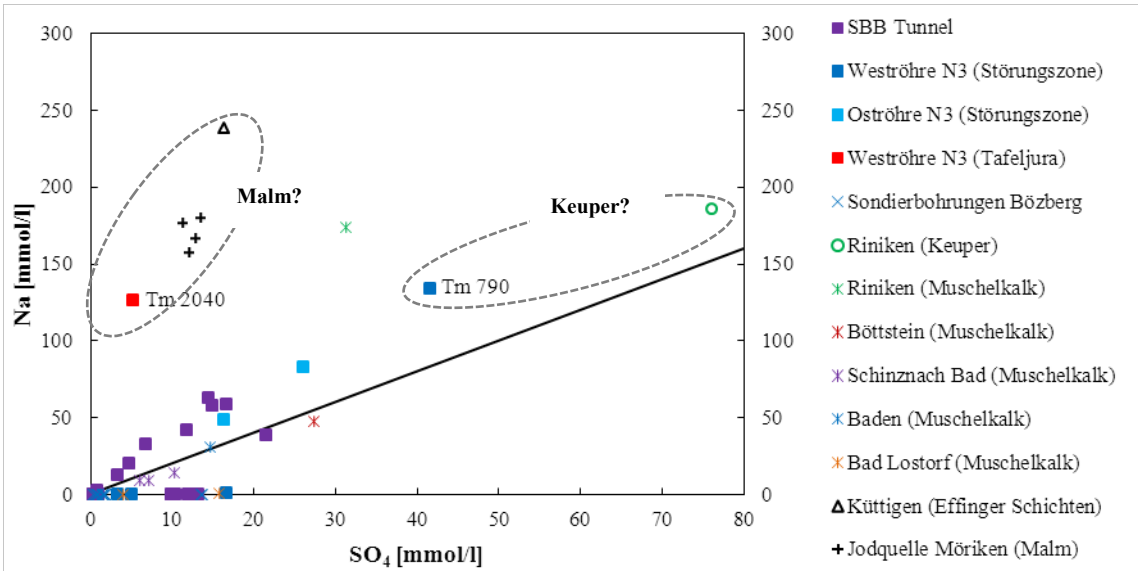


Fig. 7: Darstellung der SO_4-Konzentration in Abhängigkeit von der Na-Konzentration.

Eingezeichnet sind die Bergwässer der Bözbergtunnel sowie zusätzlich weitere Grund- und Quellwässer aus geologisch-hydrogeologisch ähnlichen Situationen. Die schwarze Linie stellt das Verhältnis Na/SO_4 = 2:1 dar. Hydrochemische Ähnlichkeiten der Proben aus den Bözbergtunneln mit anderen Tiefengrundwässern werden im Text diskutiert.

4.4.5 Folgerungen

Die chemischen Daten zeigen keine einfachen Mischungen zwischen beispielsweise einem Endglied aus dem Bereich der Hauptüberschiebung und beispielsweise einem rezenten, schwach mineralisierten Grundwasser. Selbst die Proben aus dem Bereich der Störungszonen deuten eine beträchtliche Variation an. Die Analysenwerte der Probe aus dem Tafeljura liegen, mit Ausnahme der aussergewöhnlich hohen K-Konzentrationen (Probe mit schlechter Ionenbilanz), in Bereichen, wie sie auch andernorts in Tiefengrundwässern angetroffen werden.

Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass die Qualität dieser Proben in Bezug auf die Dokumentation und Bedingungen der Probenahmen (potenzielle Kontamination) sowie der Vollständigkeit der Analysen (Ionenbilanzen) den üblichen Standards meist nicht zu genügen vermögen.

4.5 Isotopendaten

In den folgenden beiden Diagrammen (Fig. 8 und 9) sind alle vorhandenen Isotopenanalysen dargestellt (vgl. Anhang 2). Die Daten aus den drei Bözbergtunnel sind analog zu den chemischen Daten aufgeteilt nach Tunnelröhre sowie im Falle der Weströhre des N3-Tunnels nach Bereich der auftretenden stark mineralisierten Bergwässser (Störungszonen bzw. Tafeljura).

Um die Daten mit Wässern aus ähnlichen geologisch-tektonischen bzw. hydrogeochemischen Situationen zu vergleichen, ist ebenfalls analog zu den chemischen Daten eine Auswahl von relevanten Datensätzen der Nagra miteinbezogen worden (vgl. Anhang 2c). Die Daten aus den Sondierbohrungen im Bereich des N3-Strassentunnels wurden ebenfalls berücksichtigt (Hauber 1982).

4.5.1 Wasserisotope

In Fig. 8 sind die stabilen Wasserisotope im δ^2H / $\delta^{18}O$-Diagramm dargestellt. Die Datensätze aus dem SBB-Tunnel sowie von Schinznach-Bad[3] und Böttstein (Keuper und Muschelkalk) liegen auf der mittleren globalen Niederschlagsgeraden (Global Meteoric Water Line, GMWL) im gleichen Wertebereich wie rezente Grundwässer.

Die Isotopenwerte aus der West- und der Oströhre des N3-Tunnels plotten entlang einer Linie unterhalb der GMWL. Dies kann grundsätzlich auf eine Mischung hindeuten oder durch einen Evaporationseffekt bedingt sein[4]. Insgesamt wurden so positive Werte für Sauerstoff-18 in Grundwässern der sedimentären Aquifere der Nordschweiz bis heute nicht beobachtet[5]. Vor diesem Hintergrund scheint es sehr unwahrscheinlich, dass diese Werte für das In situ-Grundwasser repräsentativ sind.

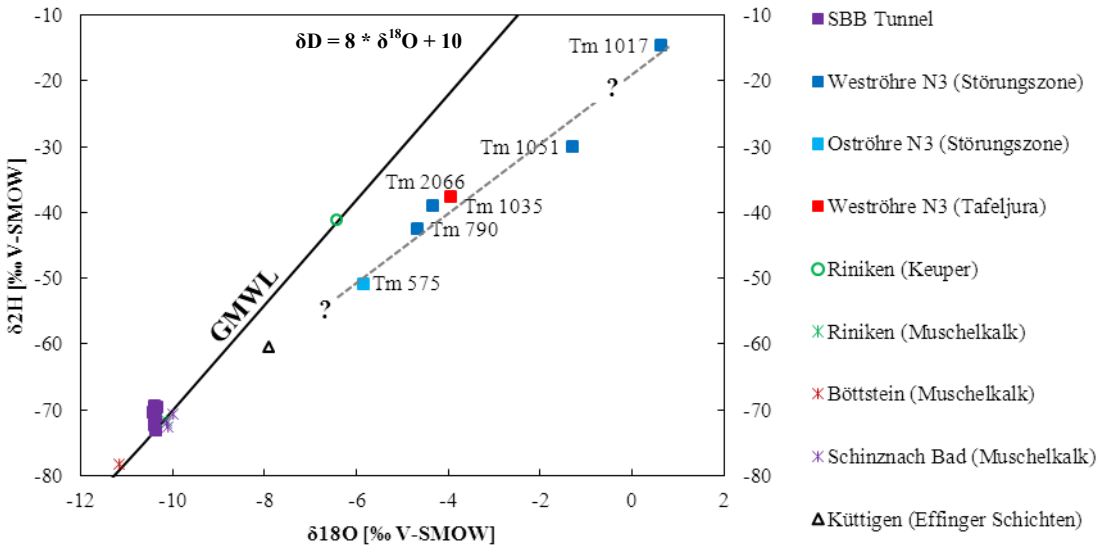


Fig. 8: Darstellung der Sauerstoff-18-Isotopengehalte in Abhängigkeit von den Deuterium-Isotopengehalten.

Eingezeichnet sind die Bergwässer der Bözbergtunnel sowie zum Vergleich ausgewählte Tiefengrundwässer der Region. Die ausgezogene schwarze Linie stellt die mittlere globale Niederschlagsgerade (Global Meteoric Water Line, GMWL) dar.

---

[3] Daten der Nagra aus dem alten Brunnen sowie den Bohrungen S2 und S3.

[4] Die Ausprägung des Evaporationseffekts, d. h. die Steigung, hängt von der relativen Luftfeuchtigkeit ab. Bei einer sehr geringen relativen Luftfeuchtigkeit liegt die Steigung nahe bei 4 und nähert sich mit zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit der Steigung der GMWL, d. h. 8, an. Die in Fig. 8 dargestellte gestrichelte Linie weist eine Steigung von 5 auf.

[5] Zum Beispiel liegen in Traber et al. (2002) die positivsten Werte von Sauerstoff-18 bei ca. -3.5 ‰ (je eine Probe aus dem Keuper- und dem Muschelkalk-Aquifer der Nordschweiz). Im Datensatz Pearson et al. (1991) zeigt eine Probe aus dem Perm der Tiefbohrung Riniken mit Sauerstoff-18 von -3.98 ‰ den positivsten Wert.

4.5.2 Sulfatisotope

In Fig. 9 sind die Sulfatisotopenwerte im $\delta^{18}O/\delta^{34}S$-Diagramm dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass die Sulfatisotopenwerte der Bergwasserproben aus den Bözbergtunneln in der Nähe des Bereichs für den Muschelkalk bzw. das Röt zu liegen kommen (Pearson et al. 1991). Alle drei vorhandenen Messwerte aus den Bözbergtunneln weisen mit einem $\delta^{18}O$-Wert > 15 eine aussergewöhnlich schwere Isotopensignatur auf (vgl. Traber et al. 2002).

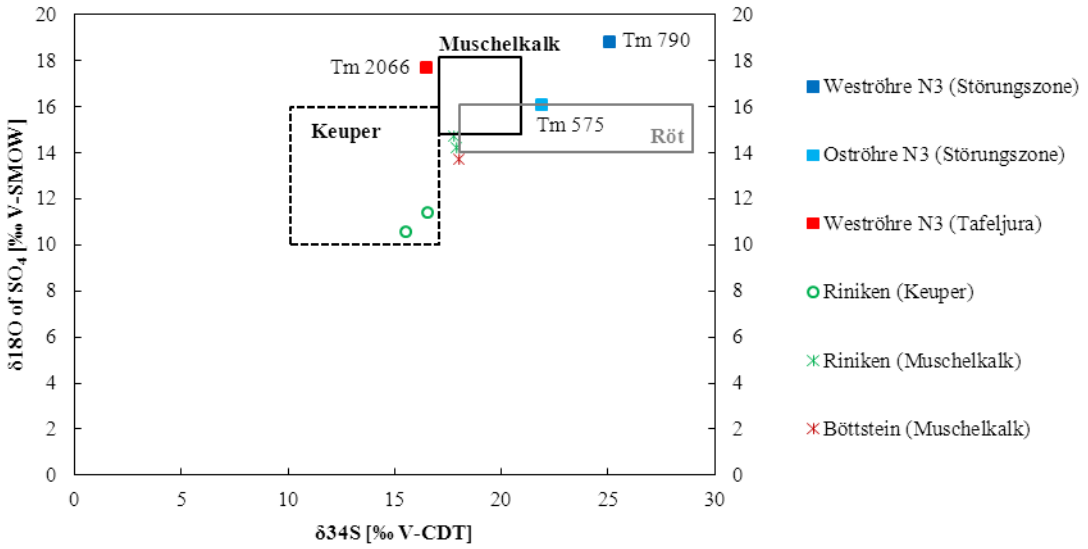


Fig. 9: Darstellung der Sulfatisotopenwerte im $\delta^{18}O/\delta^{34}S$-Diagramm.

Eingezeichnet sind die Bergwässer der Bözbergtunnel sowie zusätzlich weitere Grund- und Quellwässer aus geologisch-hydrogeologisch ähnlichen Situationen. Die Wertebereiche für Keuper, Muschelkalk und Röt (Pearson et al. 1991) sind ebenfalls angegeben.

4.5.3 Tritiumwerte

Die vorhandenen Tritiumwerte aus dem SBB-Bözbergtunnel stammen aus den Jahren 1982/83 und liegen zwischen 62 und 89 TU (Tritium units). Dies entspricht, in Einklang mit den stabilen Wasserisotopen (vgl. Kap. 4.5.1), einem rezenten hydrologischen Wasserzyklus.

Aus der Oströhre des N3-Tunnels wurde bei Tm 575 ein relativ niedriger Tritiumwert von 7.7 ± 1.5 TU (1993) gemessen. Die beiden Werte aus der Weströhre des N3-Tunnels (Tm 790 bzw. Tm 2066) sind noch niedriger und betragen 0.2 ± 0.7 TU (1991) bzw. 2.5 ± 0.7 TU (1994). Solch tiefen Tritiumwerte sind als Mischung zwischen einem alten (Tritium-freien) Wasser (> 30 – 50 Jahre) und einem jungen (Tritium-haltigen, ca. 15 – 25 TU) Wasser, vermutlich rezenten Oberflächenwasser, zu interpretieren. Der Anteil an jungem Oberflächenwasser ist aber insbesondere bei der Probe aus dem Tafeljura (Tm 2066) gering.

4.5.4 Folgerungen

Die Isotopendaten zeigen für die stark mineralisierten Bergwässer aus dem Tafeljura eine besondere Beschaffenheit auf, welche nicht mit anderen Wässern identisch bzw. vergleichbar ist. Wahrscheinlich entsprechen die analysierten Proben oft nicht In situ-Grundwasser, sondern sind durch Evaporation und allenfalls weitere Prozesse verfälscht. Aufgrund der niedrigen Tritiumwerte ist davon auszugehen, dass es sich dabei um ein relativ altes Wasser (> 30 – 50 Jahre) handelt. Bezüglich Herkunft lassen sich daraus aber keine weiteren Schlüsse ziehen.

5 Zusammenfassende Schlussfolgerungen

5.1 Herkunft der stark mineralisierten Bergwässer in der Störungszone

Die überwiegende Anzahl der Austrittsstellen der stark mineralisierten Bergwässer ist auf den Bereich der Jura-Hauptüberschiebung fokussiert und somit an die Störungszonen gebunden. Die Beobachtungen in den Tunneln sowie die chemischen Daten und Isotopenanalysen deuten darauf hin, dass diese Bergwässer aus dem Hauptmuschelkalk und dem Keuper stammen und hauptsächlich entlang von tektonischen Störungen zufliessen. Inwieweit es sich dabei um Tiefengrundwasser handelt, muss offen bleiben, da dafür keine eindeutigen Indizien vorliegen. Jedenfalls sind auch keine erhöhten Wassertemperaturen bekannt, welche dafür sprechen würden.

5.2 Herkunft der stark mineralisierten Bergwässer im Tafeljura

Für die hydrochemische Interpretation der Herkunft der stark mineralisierten Bergwässer in den Bözbergtunneln im Bereich des Tafeljuras existieren lediglich 2 Datensätze (1 chemische Analyse Tm 2040, 1 Isotopenanalyse Tm 2066). Aufgrund dieser wenigen Daten, deren Qualität zweifelhaft ist, lassen sich keine belastbaren Aussagen zur Genese dieser Wässer treffen. Offensichtlich ist, dass es Austritte von mineralisierten Bergwässern gibt und sich diese über Jahre nach der Fertigstellung der Weströhre des N3-Strassentunnels immer noch über hohe Leitfähigkeitswerte in der Rigole der Tunnelentwässerung nachweisen lassen (vgl. Kap. 4.4.1 sowie Anhang 3).

Der Chemismus und die Beschaffenheit dieser stark mineralisierten Bergwässer sind auf den ersten Blick den Wässern aus den Störungszonen ähnlich und könnten auf eine analoge Herkunft aus dem Hauptmuschelkalk (evtl. Keuper) hindeuten. Im Detail zeigen sich aber dennoch signifikante Unterschiede (Sulfatisotope, hohes Na/Ca-Verhältnis), welche auch eine andere Herkunft zulassen. Darüber hinaus weisen Messungen der stabilen Wasserisotope auf eine schlechte Probenahme (Evaporation), Formationswässer oder eine Alteration mit Beton hin. Einigermassen gesichert scheint einzig das relativ hohe Alter dieser Bergwässer zu sein (> 30 – 50 Jahre).

Über die Herkunft können daher keine abschliessenden Aussagen gemacht und demzufolge nur folgende theoretische Hypothesen aufgestellt werden:

Hypothese 1: Tiefengrundwässer

Aufgrund des Chemismus sowie der Isotopensignatur wären aufsteigende saline Grundwässer theoretisch denkbar. Als nächst möglicher Aquifer für solche Tiefengrundwässer wäre die Hauptrogenstein-Formation anzusehen. Zwischen den Malmkalken bzw. den obersten Effinger Schichten und der Hauptrogenstein-Formation liegt im Tafeljura allerdings eine mächtige Gesteinsabfolge flach gelagerter und tektonisch relativ ungestörter Mergel und Tone mit einer sehr geringen Durchlässigkeit. Ohne tiefgreifende Störungszonen kann ein solches Gesteinspaket nicht durchdrungen werden, wofür es im Tafeljura bis jetzt keine Indizien gibt. Austritte von Thermalwässern sind im Bereich der Jura-Hauptüberschiebung von Baden und Schinznach-Bad bekannt, allerdings finden sich in den Daten keine Hinweise auf ein gemeinsames Mischungsendglied zwischen den Proben aus dem Bereich der Jura-Hauptüberschiebung und der Probe aus dem Tafeljura.

Hypothese 2: "Altes" Oberflächenwasser

Das in der Weströhre des N3-Tunnels im Tafeljura angetroffene, stark mineralisierte Bergwasser könnte auch von der Oberfläche her zufliessen. Ein solcher Zufluss müsste aber wohl langsam über längere Fliesspfade ablaufen, um den tiefen Tritiumwert erklären zu können. Die hohe elektrische Leitfähigkeit dieses Wassers dürfte insbesondere auf einen hohen Sulfatgehalt zurückzuführen sein. Die analysierten Sulfatgehalte sind aber nicht ausserordentlich hoch: In den Effinger Schichten wurden beispielsweise in der EWS-Bohrung Küttigen (Eichinger et al. 2008) in einer Tiefe von 163 – 169.4 m noch höhere Konzentrationen angetroffen. Ein reines Calciumkarbonatwasser kann die verschiedentlich in diesem Bereich angetroffenen hohen elektrischen Leitfähigkeiten nicht erklären. Steinsalz ist für die dafür notwendige Chlorid-Konzentration in der Gesteinsüberdeckung des Malmkalks nicht vorhanden. Eine alternative Erklärung wäre die Beimischung von altem (reliktischem) Porenwasser zu einem jüngeren meteorischen Wasser.

Hypothese 3: Beeinflussung durch Tunnelbau

Aussergewöhnlich positive Werte der stabilen Isotope von Wasser, die pH-Werte und der Kaliumgehalt der Bergwasserprobe aus dem Tafeljura deuten darauf hin, dass diese Wasserproben gegenüber In situ-Werten verfälscht sind.

Es ist möglich, dass der Tunnelbau eine nicht unwesentliche Auswirkung auf das angetroffene Bergwasser hat. Allerdings halten wir eine reine Beeinflussung durch den Tunnelbau als unwahrscheinlich, da auch Jahre nach Fertigstellung des Bauwerks deutlich erhöhte elektrische Leitfähigkeitswerte gemessen wurden.

5.3 Fazit

Zusammenfassend betrachtet, kann die Herkunft der stark mineralisierten Bergwässer im Tafeljura der Bözbergtunnel aufgrund der schlechten Datengrundlage nicht abschliessend beurteilt werden. Auch ist eine gewisse Baustellenbeeinflussung der während des Tunnelbaus entnommenen Wasserproben möglich. Als am ehesten in Frage kommende Möglichkeit ist unseres Erachtens die Hypothese 2, d. h. dass es sich dabei um ein "altes" von der Oberfläche her zufliessendes Grundwasser handelt (z. B. Sulfat aus der Oxidation von Pyrit).

6 Referenzverzeichnis

Bauabteilung Kreis III, SBB (1964): Rekonstruktion des Bözbergtunnels – Diverse Untersuchungsberichte (als Beilage zum Schlussbericht).

Bridel, G. & Beck, A. (1970): Zwei Tunnelsanierungen bei den SBB. *In*: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 1/2, 20-25.

Dietler, H. (2013): Enzyklopädie des Eisenbahnwesens – Bötzbergbahn. *In*: Academic dictionaries and encyclopedias. URL: de.academic.ru/dic.nsf/eisenbahnwesens/283/B%C3%B6tzbergbahn (15.03.2013).

Dubois, J.D. & Flück, J. (1984): Geochemistry - Nutzbarmachung der Geothermie im Raume Baden. Nationaler Energie – Forschung – Fond, Basel, University of Geneva.

Eichinger, L., Lorenz, G. & Heidinger, M. (2008): Bohrung Küttigen-2: Interpretation von Wasserproben aus den Effinger Schichten (Oberjura). Nagra Arbeitsbericht NAB 08-47. Nagra, Wettingen.

Gautschi, A (1994): Wasserführung des Opalinus-Tons in Tunnels des Faltenjuras. Unpubl. Nagra Interner Bericht, Beilage 2. Nagra, Wettingen.

Hauber, L. (1972a): Nationalstrasse N3/06, Bözberg-Tunnel, Prognose, ergänzender geologischer Bericht. Riehen.

Hauber, L. (1972b): Nationalstrasse N3/06, Bözberg-Tunnel, Prognose, geologischer Bericht. Riehen.

Hauber, L. (1982): N3/06 Bözbergtunnel, 3. geologischer Bericht mit revidierter Prognose. Universität Basel.

Hauber, L. (1987): N3/06 Bözbergtunnel, 5. geologischer Bericht mit revidierter Prognose für teilwese neue Linienführung. Universität Basel.

Hauber, L. (1991a): Geologie des Bözbergtunnels. *In*: N3: Bözberg- und Habsburgtunnel. Mitteilungen der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik. HTL Brugg-Windisch, Frühjahrstagung, S. 15-22

Hauber, L. (1991c): N3/06 Bözbergtunnel – Geologisch-hydrogeologische Untersuchungen zum Problem sulfat- und chloridhaltiger Bergwässer im Bözbergtunnel. Bericht inkl. 15 Beilagen. Universität Basel.

Hauber, L. & Diebold, P. (1990): N3/601 Bözbergtunnel, Weströhre – Geologischer Befund im Vortrieb der Weströhre, Tm 350 bis 400 ab Südportal. Universität Basel.

Hauber, L. & Diebold, P. (1992): N3/06 Bözbergtunnel – Geologische Datenerhebungen in der Weströhre. Bericht über die Datenerhebung und Dokumentation der geologischen Rohdaten. Universität Basel.

Hauber, L. & Meyer, M. (1994): N3/06 Bözbergtunnel – Geologische Datenerhebung in der Oströhre, Bericht über die Datenerhebung und Dokumentation der geologischen Rohdaten. Universität Basel.

Hauber, L. &Schmidt, K. J. (1983): N3/06 Bözbergtunnel, 4. geologischer Bericht. Hydrogeologische Untersuchungen November 1981 – April 1983. Universität Basel.

Högl, O. (1980): Die Mineral- und Heilquellen der Schweiz. Haupt, Bern, Stuttgart.

Kreisdirektion III, SBB (1903): Rekonstruktionsarbeiten im Bözbergtunnel vom März 1903.

Pearson, F.J., Balderer, H.M., Loosli, H.H., Lehmann, B.E., Matter, A., Peter, T., Schmassmann, H. & Gautschi, A. (1991): Applied Isotope Hydrogeology – A case study in Northern Switzerland. Nagra Technical Report NTB 88-01, 439 pp. Nagra, Wettingen.

Schmassmann, H. (1990): Hydrochemische Synthese Nordschweiz: Tertiär- und Malm-Aquifere. Mit Beiträgen von M. Kullin und P. Wexsteen. Nagra Technischer Bericht NTB 88-07. Nagra, Wettingen.

Schweiz. Bundesbahnen, Bauabteilung Kreis III (1953): Bötzbergtunnel. Aufnahme im Okt. 1923 durch das Ingenieurbureau Rothpletz u. Lienhard, Bern, Ergänzung u. Nachführung im Sept. 1952 durch die Bauabteilung Kreis III der SBB (A. Golta, Ingenieurbureau, Zürich, August 1953).

Traber, D., Waber, H.N., Eichinger, L. & Heidinger, M. (2002): Hydrochemie und Isotopenhydrologie von Tiefengrundwässern in der Region Lägeren – Zürcher Weinland – Hegau. Unpubl. Nagra Interner Bericht. Nagra, Wettingen.

Unbekannt (1957): Zusammenfassung Geologie und Baugeschichte des SBB-Bözbergtunnels.

Waber, H.N. et al. (*in prep.*): Hydrochemie der Tiefengrundwässer der Nordschweiz. Nagra Arbeitsbericht NAB. Nagra, Wettingen.

Wegmüller, M. (1992): Einflüsse des sulfathaltigen Bergwassers, Zwischenbericht IV. Riehen, 8-11.

Wegmüller, M. (1993): Einflüsse des Bergwassers auf die verschiedenen Bauwerksteile des N3 Bözbergtunnels – Schlussbericht. Riehen.

Wegmüller, M.C. (2001): Einflüsse des Bergwassers auf Tiefbau / Tunnelbau. Zürich: Stäubli Verlag AG.

Wegmüller, M. & Chabot, J.D. (1994): Einflüsse des Bergwassers auf die Dauerhaftigkeit von Bauwerken – Zwischenbericht 1994, Phase 1: Bestandesaufnahmen Mai 1993 – Juli 1994. ETH Zürich.

Quellenverzeichnis Bözbergtunnels (vgl. Beilagen)

[1] Arnold, A. (1991): Bözbergtunnel: Projekt-Konzept. In: N3 Bözberg- und Habsburgtunnel. Mitteilungen der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik. HTL Brugg-Windisch, Frühjahrstagung, S. 23-29.

[2] Bauabteilung Kreis III, SBB (1964): Rekonstruktion des Bözbergtunnels – Diverse Untersuchungsberichte (als Beilage zum Schlussbericht).

[3] Bridel, G. & Beck, A. (1970): Zwei Tunnelsanierungen bei den SBB. *In*: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, Heft 1/2, S. 20-25.

[4] Diebold, P. (1990): Geologische Beurteilung vor Ort, Weströhre Tm 357.50, 27.9.90, 1620h und 28.9.90, 0815h. Herznach.

[5] Diebold, P. (1990): N3/601 Bözbergtunnel, Weströhre – Die geologischen Befunde der Bohrungen aus der TBM, 12-13.10.90, beim Stand Tm 411.6. Herznach.

[6] Diebold, P. (1990): N3/601 Bözbergtunnel, Weströhre – Revidierte geologische Prognose für den Abschnitt Tm 400-470, (N3 km.47.20 – 47.130). Herznach.

[7] Dubois, J.D. & Flück, J. (1984): Geochemistry - Nutzbarmachung der Geothermie im Raume Baden. Nationaler Energie – Forschung – Fond, Basel, University of Geneva.

[8] Hauber, L. (1972a): Nationalstrasse N3/06, Bözberg-Tunnel, Prognose, ergänzender geologischer Bericht. Riehen.

[9] Hauber, L. (1972b): Nationalstrasse N3/06, Bözberg-Tunnel, Prognose, geologischer Bericht. Riehen.

[10] Hauber, L. (1980): Nationalstrasse N3/06 Bözbergtunnel, Stellungnahme zur Frage einer Gefährdung der Therme Schinznach. Universität Basel.

[11] Hauber, L. (1982): N3/06 Bözbergtunnel, 3. geologischer Bericht mit revidierter Prognose. Universität Basel.

[12] Hauber, L. (1987): N3/06 Bözbergtunnel, 5. geologischer Bericht mit revidierter Prognose für teilwese neue Linienführung. Universität Basel.

[13] Hauber, L. (1991a): Geologie des Bözbergtunnels. *In*: N3: Bözberg- und Habsburgtunnel. Mitteilungen der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik. HTL Brugg-Windisch, Frühjahrstagung, S. 15-22.

[14] Hauber, L. (1991b): Geologische Bemerkungen zum Auftreten von stark sulfat- und chloridhaltigen Wässern im Bözbergtunnel der N3. Universität Basel.

[15] Hauber, L. (1991c): N3/06 Bözbergtunnel – Geologisch-hydrogeologische Untersuchungen zum Problem sulfat- und chloridhaltiger Bergwässer im Bözbergtunnel. Bericht inkl. 15 Beilagen. Universität Basel.

[16] Hauber, L. (1994): Die Geologie des Bözbergtunnels der Nationalstrase N3. Brugg, Brugger Neujahrsblätter, S. 85-104.

[17] Hauber, L. & Diebold, P. (1990): N3/601 Bözbergtunnel, Weströhre – Geologischer Befund im Vortrieb der Weströhre, Tm 350 bis 400 ab Südportal. Universität Basel.

[18] Hauber, L. & Diebold, P. (1992): N3/06 Bözbergtunnel – Geologische Datenerhebungen in der Weströhre. Bericht über die Datenerhebung und Dokumentation der geologischen Rohdaten. Universität Basel.

[19] Hauber, L. & Meyer, M. (1994): N3/06 Bözbergtunnel – Geologische Datenerhebung in der Oströhre, Bericht über die Datenerhebung und Dokumentation der geologischen Rohdaten. Universität Basel.

[20] Hauber, L. & Meyer, M. (1995): N3/06 Bözbergtunnel – Quellenbeobachtungen 1990 – 1994, Schlussbericht. Universität Basel.

[21] Hauber, L. &Schmidt, K. J. (1983): N3/06 Bözbergtunne, 4. geologischer Bericht. Hydrogeologische Untersuchungen November 1981 – April 1983. Universität Basel.

[22] Kreisdirektion III, SBB (1903): Rekonstruktionsarbeiten im Bözbergtunnel vom März 1903.

[23] Schweiz. Bundesbahnen, Bauabteilung Kreis III (1953): Bötzbergtunnel. Aufnahme im Okt. 1923 durch das Ingenieurbureau Rothpletz u. Lienhard, Bern, Ergänzung u. Nachführung im Sept. 1952 durch die Bauabteilung Kreis III der SBB (A. Golta, Ingenieurbureau, Zürich, August 1953).

[24] Traber, D. (2004): Hydrogeologie des unteren Malm (Oxfordien): Renggeri-Ton, Terrain à chailles und Effinger Schichten. Nagra (Arbeitsbericht NAB 04-07) und Universität Bern, S. A6-A8.

[25] Unbekannt (1957): Zusammenfassung Geologie und Baugeschichte des SBB-Bözbergtunnels.

[26] Unbekannt: Zusammenfassung Minenkammern, Tunnelentwässerung, Quellfassungen, Mauerwerksausbau. S. 13-14.

[27] von Moos, A. (1959): Autobahn Basel – Zürich, Abschnitt Frick – Villnachern – Aare incl. Linnertunnel. Geotechnische Verhältnisse. Zürich.

[28] Wegmüller, M. (1991a): Einflüsse des sulfathaltigen Bergwassers, Zwischenbericht. Riehen, S. 9.

[29] Wegmüller, M. (1991b): Einflüsse des sulfathaltigen Bergwassers, Zwischenbericht II. Riehen, S. 10-12.

[30] Wegmüller, M. (1992): Einflüsse des sulfathaltigen Bergwassers, Zwischenbericht IV. Riehen, S. 8-11.

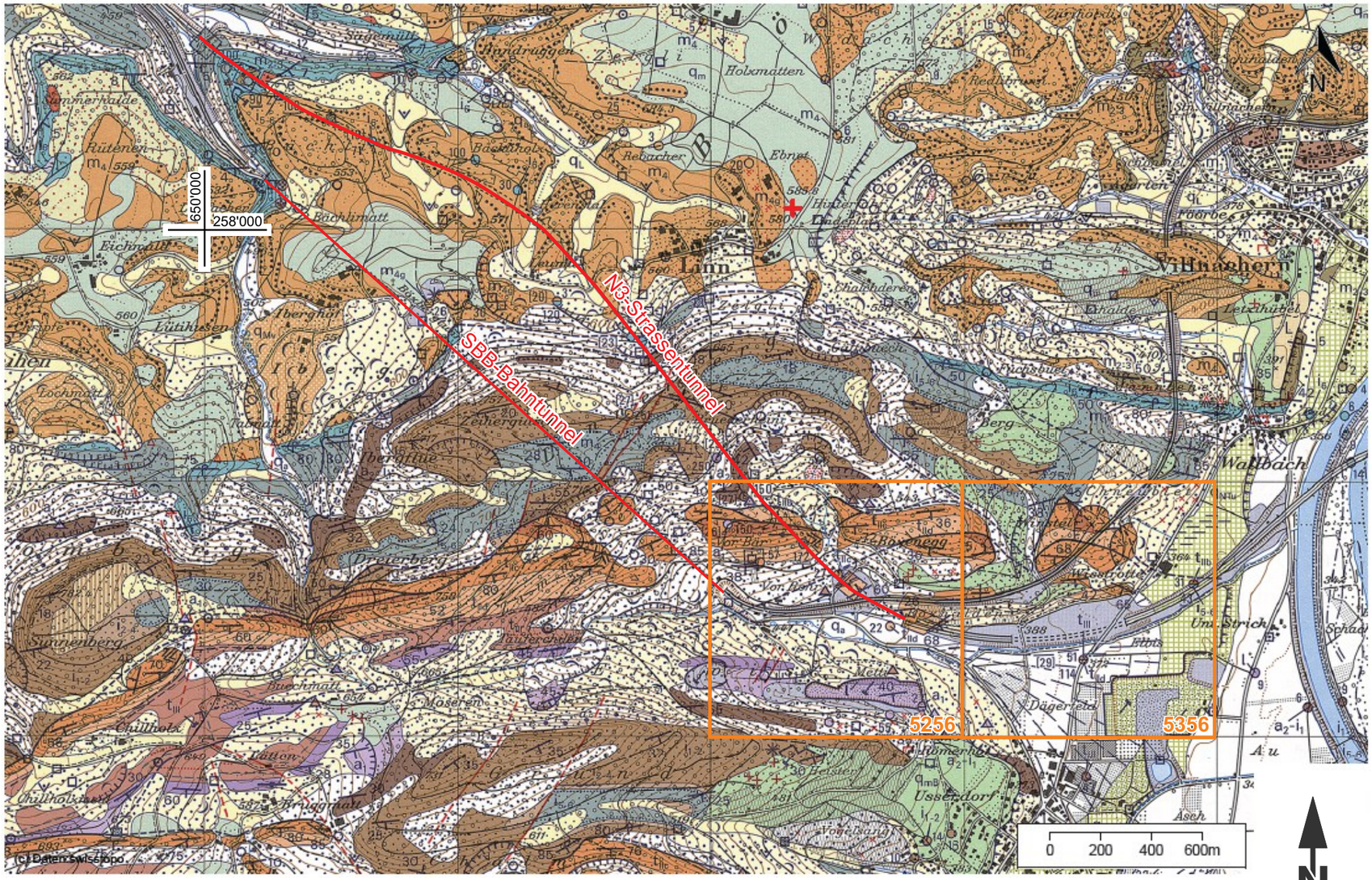
[31] Wegmüller, M. (1993): Einflüsse des Bergwassers auf die verschiedenen Bauwerksteile des N3 Bözbergtunnels – Schlussbericht. Riehen.

[32] Wegmüller, M. & Chabot, J.D. (1994): Einflüsse des Bergwassers auf die Dauerhaftigkeit von Bauwerken – Zwischenbericht 1994, Phase 1: Bestandesaufnahmen Mai 1993 – Juli 1994. ETH Zürich.

[33] Wegmüller, M. & Chabot, J.D. (1996): Einflüsse des Bergwassers auf die Dauerhaftigkeit von Bauwerken – 2. Zwischenbericht, August 1994 – Dezember 1995, Phase 2: Versuche, Versinterung / Entwässerung, Abdichtungen. ETH Zürich.

[34] Wegmüller, M. & Chabot, J.D. (1997): Einflüsse des Bergwassers auf die Dauerhaftigkeit von Bauwerken – Schlussbericht 1997, Mai 1993 – Juli 1997 (inkl. Anhänge 1 – 7). ETH Zürich.

[35] Wegmüller, M.C. (2001): Einflüsse des Bergwassers auf Tiefbau / Tunnelbau. Zürich: Stäubli Verlag AG.



Aus diesen Quadranten sind Analysenresultate von Wasserproben aus Sondierungbohrungen vorhanden (vgl. Anhang 2c)

Plangrundlage: www.map.geo.admin.ch - Geol Atlas 25'000

nagra		**NAB 13-15**
Situation 1:20'000, Geologische Übersicht		
Hydrogeologische Beobachtungen	DAT.: 14.03.2013	**ANHANG 1**

					Feldparameter										Kationen									Anionen							SiO_2	Summenparameter			
Tunnel	**Nr.***	**Metrierung** Tm = Tunnelmeter km = Bahnkilometer TBR = Tübbingring	**Jahr**	**Quelle**	**Schüttung**	**el. Leitfähigkeit**	**el. Leitfähigkeit**	**Wasser-temperatur**	**Lufttemperatur**	**pH-Wert**	**m-Wert**	**Oxidierbarkeit**	**Säureverbrauch**	**Alkälinität bei pH 4.3**	**Na**	**Na**	**Na_2O**	**K**	**K**	**Ca**	**Ca**	**Mg**	**Mg**	**Cl**	**Cl**	**SO_4**	**SO_4**	**HCO_3^- (berechnet)**	**HCO_3^-**	**freie Kohlensäure**	**SiO_2**	**Kationen**	**Anionen**	**TDS**	**TDI**
					[l/min]	*[µS/cm, 20°C]*	*[µS/cm, ? °C]*	*[°C]*	*[°C]*		*[meq/l]*			*[mmol/l]*	*[mg/l]*	*[meq/l]*	*[mg/l]*	*[mg/l]*	*[meq/l]*	*[mg/l]*	*[meq/l]*	*[mg/l]*	*[meq/l]*	*[mg/l]*	*[meq/l]*	*[mg/l]*	*[meq/l]*	*[mg/l]*	*[meq/l]*		*[mg/l]*	*[mg/l]*	*[mg/l]*	*[meq/l]*	*[mg/l]*
Osttröhre des N3-Bözbergtunnel	1	ca. Tm 500 prov. Entwässerungsschacht nach Schutzbereich	1993	31		8'120				8.47	1.56 (mmol)			1.56	1'909			150		138		52		1'522		2'500		95							
		ca. Tm 500 Entwässerungsschacht nach Schutzbereich					4'520			8.01														922		1'437									
	2	ca. Tm 575 TBR 463 Entwässerungsschacht nach Schutzbereich?	1992			6'880				11.73				6.75	1'116	49		151	4	254		0	0	975		1'571	33	412	7						
		Tm 575 Entwässerungsschacht nach Schutzbereich?	1993																																
		TBR 1842					4'500			8.01														793		1'950									
		Tm unbekannt Mischprobe?					7'670			8.06														1'629		2'373									
Weströhre des N3-Bözbergtunnels	1	Tm 390	1991	35			1'088						4.09		4			7		224		34		3		490									
	2	Tm 460					969						5.55		7			2		185		36		5		320									
	3	Tm 485		30			2'450								14			11		530		83		3		1'600									
															9			14		384		112		<25		1'302									
	4	Tm 490		35			2'450						1.69		14			11		530		83		3		1'600									
	5	Tm 519 Tunnelbrust	1990	30 / 31																		115				4'330									
	6	Tm 524																				113				4'248									
	7	Tm 535	1991	30																		178				3'310									
	8	Tm 790		35			12'000								3'080			44		430		220		3'200		4'000									
				32																															
	9	Tm 795 Extensiometer	1991	30																		225				3'641									
	10	ca. Tm 801	1990																			210				4'097									
	11	Tm 820 Entwässerungsschacht	1991																			209				3'489									
	12	Tm 993																				103				2'923									
	13	Tm 1017		32																															
		Tm 1020		35			60'000								20'600			570		400		107		15'700		28'000									
		Tm 1035	1992	32																															
		Tm 1051	1993																																
	14	Tm 2040	1991	35			5'500								2'900			2'300		104		1		900		500									
		Tm 2066	1994	32																															
		TBR 1669 Zufluss, Tübbinginnenwand?	1993	31																				637		1'340									
		Tm unbekannt Mischprobe?					4'130			9.09														484		1'304									
SBB-Bözbergtunnel	1	km 39.448	1961	02						7.70														21		700									
	2	km 39.497	1981	11			606	9.8		7.95	6.61	1.5			4			1		125		16		6		37		304		5	5.60				
		km 39.498	1982	07		512		9.8	9	8.56		1.05			3	0		1	0	122	6	14	1	3	0	38	1	365	6		6.96	141	406	554.0	14.2
			1983		1.0	634		6.1	3	8.01		1.20			2	0		1	0	123	6	16	1	5	0	42	1	348	6		4.07	143	395	541.0	14.3
	3	km 39.502	1961	02						7.20														2		963									
			1981	11			1'645	9.0		7.35		2.6			1			2		458		24		3		975		337		29	1.60				
			1982	07	8.0	1'804		9.2	9	7.60		5.95			3	0		2	0	508	25	26	2	3	0	1'000	21	304	5		38.95	545	1307	1891.0	53.7
			1983		20.0	1'709		7.1	3	7.52		5.95			1	0		1	0	482	24	24	2	3	0	950	20	295	5		2.78	514	1248	1765.0	51.0
	4	km 39.647	1981	11	4.7		562	10.6		7.50		1.6			1			1		100		26		5		91		287		16	8.00				
			1982	07				-	9	7.36		0.70			2	0		1	0	95	5	23	2	1	0	80	2	286	5		8.56	121	367	497.0	13.1
			1983		10.0	523		8.8	3	7.62		0.40			1	0		1	0	90	4	23	2	3	0	90	2	285	5		5.78	115	378	498.0	13.1
	5	km 39.718	1961	02						7.60														3		1'292									
		km 39.720	1963																					2		1'130									
	6	km 39.725	1981	11	4.8		1'950	9.6		7.70		3.0			2			1		543		42		3		1'275		290		14	7.60				
			1982	07	20.0	1'755		8.8	9	7.62		2.80			4	0		1	0	532	27	32	3	3	0	1'150	24	292	5		13.48	572	1445	2030.0	58.3
			1983		6.0	1'970		6.3	3	7.98		3.20			2	0		1	0	477	24	32	3	4	0	950	20	301	5		11.13	515	1255	1781.0	51.5
	7	km 39.743	1961	02						7.70							1'187							1'118		2'070									
			1963																					2		1'207									
	8	km 39.799	1981	11			3'330	13.4		8.65	0.88	20.1			742			19		118		36		815		655		54		0	12.40				
	9	km 39.944	1961	02						7.40							1'788							1'638		1'438									
			1963																					1'030		1'130									
	10	km 40.420	1963																					30		80									
	11	km 40.520	1961							7.50							1'937							1'895		1'387									
			1963																					550		465									
	12	km 40.575	1961							7.60							1'820							1'775		1'610									
	13	km 40.591	1963																					340		330									
	14	km 40.920	1961							8.00														35		81									
	15	km 41.950	1961							8.20														4		46									

* entspricht der Nummerierung der chemischen Analysen in den Beilagen 1 bis 3

Bemerkung: Aufgeführt sind lediglich in den jeweiligen Grundlagen angegebene Messwerte.

					N- und P-Verbindungen			Elemente und Schwermetalle						Org. Parameter	Isotope						Härte					Gelöste Feststoffe			
Tunnel	Nr.*	Metrierung Tm = Tunnelmeter km = Bahnkilometer TBR = Tübbingring	Jahr	Quelle	NH_4^+ [mg/l]	NO_3^- [mg/l]	NO_2 [mg/l]	Sr [mval/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]	Zn [mg/l]	B [mg/l]	Ni [mg/l]	DOC [mg/l]	d2H [‰ V-SMOW]	d18O [‰ V-SMOW]	Tritium [TU]		d34S [‰ V-CDT]	d18O von SO_4 [‰ V-SMOW]	Karbonat-härte [°f]	Nichtkarbonat-härte [°f]	Gesamthärte [°f]	Kalkhärte [°f]	Magnesia-härte [°f]	$CaSO_4$ (berechnet) [mg/l]	$MgSO_4$ (berechnet) [mg/l]	NaCl (berechnet) [mg/l]	Na_2SO_4 (berechnet) [mg/l]
Oströhre des N3-Bözbergtunnel	1	ca. Tm 500 prov. Entwässerungsschacht nach Schutzbereich	1993	31		13			<0.01	<0.005	0.01	3.00		3.90															
		ca. Tm 500 Entwässerungsschacht nach Schutzbereich				20																							
	2	ca. Tm 575 TBR 463 Entwässerungsschacht nach Schutzbereich?	1992																										
		Tm 575 Entwässerungsschacht nach Schutzbereich?	1993												-51.0	-5.84	7.7	± 1.5	21.9	16.08									
		TBR 1842				<1.0																							
		Tm unbekannt Mischprobe?				10																							
Weströhre des N3-Bözbergtunnels	1	Tm 390	1991	35		2															20.4		69.9						
	2	Tm 460				2															27.8		61.0						
	3	Tm 485		30									2								8.5		166.4						
													<25																
	4	Tm 490		35		2															8.5		166.4						
	5	Tm 519 Tunnelbrust	1990	30 / 31	3.8																								
	6	Tm 524			5.3																								
	7	Tm 535	1991	30	5.5																								
	8	Tm 790		35		2																	197.8						
				32											-42.6	-4.66	0.2	± 0.7	25.1	18.80									
	9	Tm 795 Extensiometer	1991	30	6.8																								
	10	ca. Tm 801	1990		5.9																								
	11	Tm 820 Entwässerungsschacht	1991		5.9																								
	12	Tm 993			4.2																								
	13	Tm 1017		32		2									-14.6	0.63													
		Tm 1020		35		2																	143.8						
		Tm 1035	1992	32											-39.0	-4.32													
		Tm 1051	1993												-30.0	-1.28													
	14	Tm 2040	1991	35		2																	26.4						
		Tm 2066	1994	32											-37.7	-3.94	2.5	± 0.7	16.5	17.70									
		TBR 1669 Zufluss, Tübbinginnenwand?	1993	31		2																							
		Tm unbekannt Mischprobe?				2																							
SBB-Bözbergtunnel	1	km 39.448	1961	02		2															24.0	71.6	95.6	79.2	16.4	750	197		
	2	km 39.497	1981	11	<0.01	2	<0.005																						
		km 39.498	1982	07				0.02							-72.5	-10.38	68.6	± 4.6											
			1983					0.03							-73.1	-10.36	65.4	± 5.8											
	3	km 39.502	1961	02		0.6															25.0	99.0	124.0	112.4	11.6	1'190	139		
			1981	11	<0.01	3.5	<0.005																						
			1982	07				0.14							-70.5	-10.42	89.4	± 5.9											
			1983					0.14							-71.7	-10.37	86.0	± 6.3											
	4	km 39.647	1981	11	<0.01	3.4	<0.005																						
			1982	07				0.02							-69.6	-10.32	62.4	± 4.3											
			1983					0.01							-69.5	-10.38	64.7	± 4.9											
	5	km 39.718	1961	02		*Spur*															23.5	135.5	159.0	133.2	25.8	1'490	310		
		km 39.720	1963			0.4															20.0	118.6	138.6	126.8	11.8	1'453	130		
	6	km 39.725	1981	11	<0.01	6.5	<0.005																						
			1982	07				0.06							-71.0	-10.36	88.6	± 6.4											
			1983					0.07							-70.4	-10.40	85.2	± 6.2											
	7	km 39.743	1961	02		0															3.5	176.5	180.0	154.0	26.0	2'050	312	1'844	502
			1963			0.3	0.00														19.5	127.3	146.8	134.0	12.8	1'556	134		
	8	km 39.799	1981	11	<0.01	12	0.06																						
	9	km 39.944	1961	02		*Spur*															11.0	94.0	105.0	68.4	36.6	781	439	2'700	793
			1963			1.3	0.00														10.5	66.5	77.0	53.0	24.0	578	288	1'698	875
	10	km 40.420	1963			8.8	0.00														11.5	2.7	14.2	11.6	2.6		31	49	81
	11	km 40.520	1961			*Spur*															5.5	98.3	103.8	63.8	40.0	793	489	3'120	730
			1963			2.9															7.5	25.5	33.0	24.4	8.6	230	103	907	325
	12	km 40.575	1961			*Spur*															8.0	118.2	126.2	82.2	41.0	1'010	528	2'850	704
	13	km 40.591	1963			4.4															8.5	19.9	28.4	22.8	5.6	195	67	560	206
	14	km 40.920	1961			3.0															12.5	0.5	13.0	9.0	4.0		6	58	120
	15	km 41.950	1961			4.9															9.0	3.0	12.0	9.2	2.8		34		

* entspricht der Nummerierung der chemischen Analysen in den Beilagen 1 bis 3

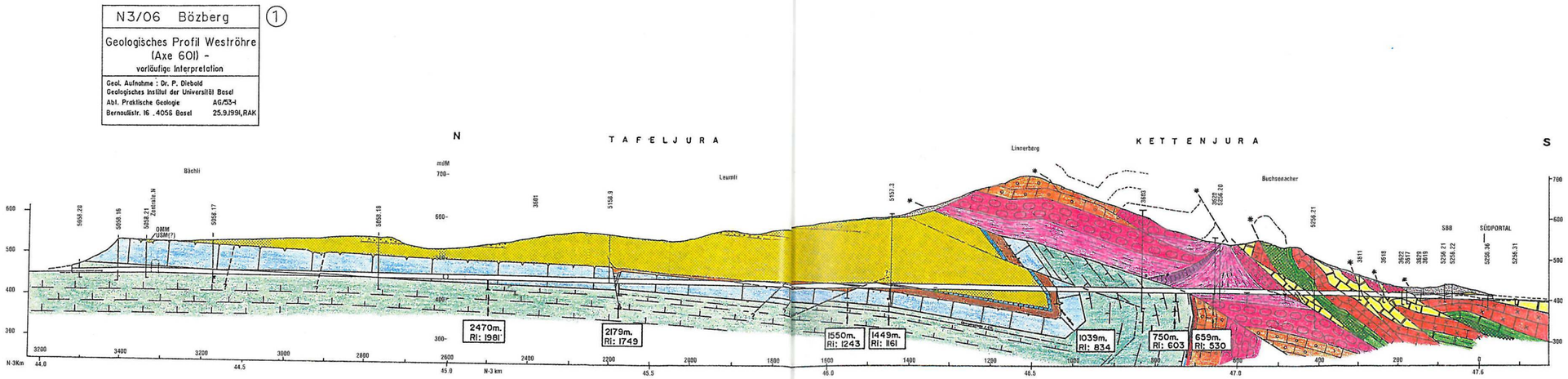
Bemerkung: Aufgeführt sind lediglich in den jeweiligen Grundlagen angegebene Messwerte.

					Feldparameter				Kationen				Anionen			SiO_2	Sauerstoff	H_2S	Isotope					
Entnahme	**Bezeichnung**	**Geologie, Entnahmetiefe**	**Jahr**	**Quelle**	**Schüttung** [l/min]	**el. Leitfähigkeit** [µS/cm, ? °C]	**Wasser-temperatur** [°C]	**pH-Wert**	**Na** [mg/l]	**K** [mg/l]	**Ca** [mg/l]	**Mg** [mg/l]	**Cl** [mg/l]	**SO_4** [mg/l]	**HCO_3^- (berechnet)** [mg/l]	**SiO_2** [mg/l]	**Sauerstoff** [mg/l]	**H_2S** [mg/l]	**d2H** [‰ V-SMOW]	**d18O** [‰ V-SMOW]	**Tritium** [TU]		**d34S** [‰ V-CDT]	**d18O von SO_4** [‰ V-SMOW]
Sondierbohrungen Bözbergtunnel, Südportal der N3-Weströhre	5356.3	Muschelkalk-Schuppenzone, Entnahmetiefen unbekannt	1982	11 (Chemie) 12 (Isotopie)		1950	13.9	7.3	7	5	521	60	4	1304	297	13.4	0.7	<0.02		-10.23	24.6	± 3.5		
	5356.3					1990	13.9	7.25	7	3	522	60	4	1320	298	13.4	0.59	<0.02		-10.23	24.6	± 3.5		
	5256.25					553	10.1	7.3	2	2	96	26	4	89	306	5.2	7.9	<0.02		-10.61	108.8	± 3.6		
	5256.25					532	10.6	7.25	4	1	95	23	4	91	289	5.3	9.6	<0.02		-10.61	108.8	± 3.6		
	5256.26					694	9.8	7.15	2	1	141	21	3	176	320	6.9	9.9	<0.02		-10.41	75	± 3.2		
	5256.26					680	9.7	7.15	2	1	138	21	3	176	318	6.8	10.1	<0.02		-10.41	75	± 3.2		
	5256.27					541	9.9	7.1	1	1	103	19	3	42	348	6.4	9.4	<0.02		-10.52	91.8	± 3.4		
	5256.27					539	9.9	7.1	1	1	103	19	3	42	348	6.6	9.2	<0.02		-10.52	91.8	± 3.4		
	5256.28					622	10.2	7.05	4	2	120	22	4	68	376	7.2	8	<0.02		-10.47	102.5	± 3.5		
	5256.28					625	10.2	7.1	4	2	120	22	5	72	376	7.3	8.1	<0.02		-10.47	102.5	± 3.5		
	5256.29					803	11.8	7.5	8	4	129	40	9	165	371	8.4	8.3	<0.02		-10.47	105.6	± 3.7		
	5256.29					773	11.8	7.45	7	4	123	38	9	155	373	8.7	8.3	<0.02		-10.47	105.6	± 3.7		
	5256.3					698	10.4	7.15	2	2	129	27	4	142	352	6.8	9.2	<0.02		-10.42	94.5	± 3.5		
	5256.3					705	10.5	7.15	2	2	133	28	4	142	351	7.1	9.4	<0.02		-10.42	94.5	± 3.5		
Bohrung Riniken (RIN)	Nr. 1139	Mittlerer Keuper, Gansinger Dolomit - Schilfsandstein, 501.0 - 530.5 m u.T. (OKT: 385 m ü.M.)	1983	NTB 88-01 NTB 92-08		15894	22.9	8.4	4263	54	585	203	2775	7314	204				-41.2	-6.43	-1.2		15.55	10.55
	Nr. 1140																						16.6	11.4
	Nr. 1142	Oberer Muschelkalk, Trigonodus-Dolomit, 617.3 - 696. m u.T. (OKT: 385 m ü.M.)				17750	41.5	6.78	3998	46	874	210	6008	3011	283				-71.6	-10.14	1.1		17.88	14.22
	Nr. 1143																						17.8	14.7
Bohrung Böttstein (BOE)	Nr. 1065	Oberer Muschelkalk, Trigonodus-Dolomit - Trochitenkalk 123.2-202.5 m u.T. (OKT: 347 m ü.M.)	1982	NTB 88-01 NTB 91-30		6620	19.7	6.88	1100	83	612	199	1302	2624	388				-78.2	-11.16	1		18	13.7
Schinznach Bad	Nr. 339 Thermalwasserbrunnen (alte Fassung)	Oberer Muschelkalk, Quelle	1982	NTB 92-08		1809	28.5	6.75	207	10	236	55	292	574	334				-72	-10.13	57			
	Nr. 372 Bohrung S2 (neue Fassung)	Oberer Muschelkalk, 67.5 - 90.0 m u.T. (OKT: 342 m ü.M.)	1981			2403	35.1	6.74	319	14	339	77	433	990	329				-72.6	-10.1	24.3			
	Nr. 3533 Bohrung S3	Oberer Muschelkalk, 321 - 415 m u.T. (OKT: 344.59 m ü.M.)	2004	Magma AG 2004		2261	43.4	6.7	207	12	260	61	305	682	320				-70.67	-9.99	8.3			
EWS-Bohrung Küttigen-2	Nr. 3563	Malm, Effinger Schichten, 163 - 169.1 m u.T. (OKT: 347.2 m ü.M.)	2007	NAB 08-47					5481	89	808	446	9979	1576	150				-60.5	-7.9	0			
Jodquelle Möriken	Nr. 124	Malm, Effinger Schichten, 118 m u.T. (OKT: 357 m ü.M.)	1869	NTB 88-07					3607	24	576	342	6791	1160	212									
	Nr. 125								4057		740	483	8126	1098	52									
	Nr. 126								4129	3	667	414	7726	1302	101									
	Nr. 127						11.2		3829	3	680	414	7337	1236	71									
Bad Lostorf	Nr. 3	Oberer Muschelkalk, Trigonodus-Dolomit, Thermalwasserbohrung	1972	Högl 1980	bis 170		27		25	5	501		48	1507	262									
	Nr. 4	Oberer Muschelkalk, Thermalwasserbohrung			min. 400		27.4		7	2	170		12	380	270									
Baden		teils Niederterrassenschotter, teils Keupermergel, teils Oberer Muschelkalk, Quellwasser	1972	Högl 1980	600 - 800 (alle Quellen)		46.8		718	64	541		1106	1411	488									

Bemerkung: Es sind z.T. nicht alle effektiv analysierten Parameter aufgeführt.

Quellen:

11	vgl. Quellenverzeichnis im Bericht
12	vgl. Quellenverzeichnis im Bericht
Högl (1980)	Högl, O. (1980) Die Mineral-und Heilquellen der Schweiz. Haupt, Bern, Stuttgart
NTB 88-01	Pearson, F. J., Balderer, H. M., Loosli, H. H., Lehmann, B. E., Matter, A., Peter, T., Schmassmann, H. und Gautschi, A. (1991) Applied Isotope Hydrogeology – A case study in Northern Switzerland. Nagra Technical Report, NTB 88-01, 439 pp
NTB 88-07	Schmassmann, H. (1990) Hydrochemische Synthese Nordschweiz: Tertiär- und Malm-Aquifere. Nagra Technischer Bericht, NTB 88-07
NTB 91-30	Schmassmann, H., Kullin, M. und Schneemann, K. (1992) Hydrochemische Synthese Nordschweiz: Buntsandstein-, Perm- und Kristallin-Aquifere. Nagra Technischer Bericht, NTB 91-30
NTB 92-08	Biehler, D., Schmassmann, H., Schneemann, K., Sillanpää, J. (1993) Hydrochemische Synthese Nordschweiz: Dogger-, Lias- Keuper- und Muschelkalk-Aquifere. Nagra Technischer Bericht, NTB 92.08
NAB 08-47	Eichinger, L., Lorenz, G., und Heidinger, M. (2008) Bohrung Küttigen-2: Interpretation von Wasserproben aus den Effinger Schichten (Oberjura). Nagra Arbeitsbericht NAB 08-47.
Magma AG 2004	Magma AG (2004): Schinznach Bad, Thermalwasserbohrung S3. Planung, Koordination und Auswertung der Wasserprobenahme S3 vom 13.2.2004



LEGENDE

- Gehängeschutt Aufschüttung
- Überschiebung
- Abschiebung
- 1550m. Ri: 1243 — Sondierbohrung

TERTIÄR

Miozän
- Obere Süsswasser-Molasse (Juranagelfluh)
- Obere Meeres-Molasse
- Untere Süsswasser-Molasse

- Eozän (Bohnerzformation)

JURA

Malm
- Malmkalke
- Effingerschichten

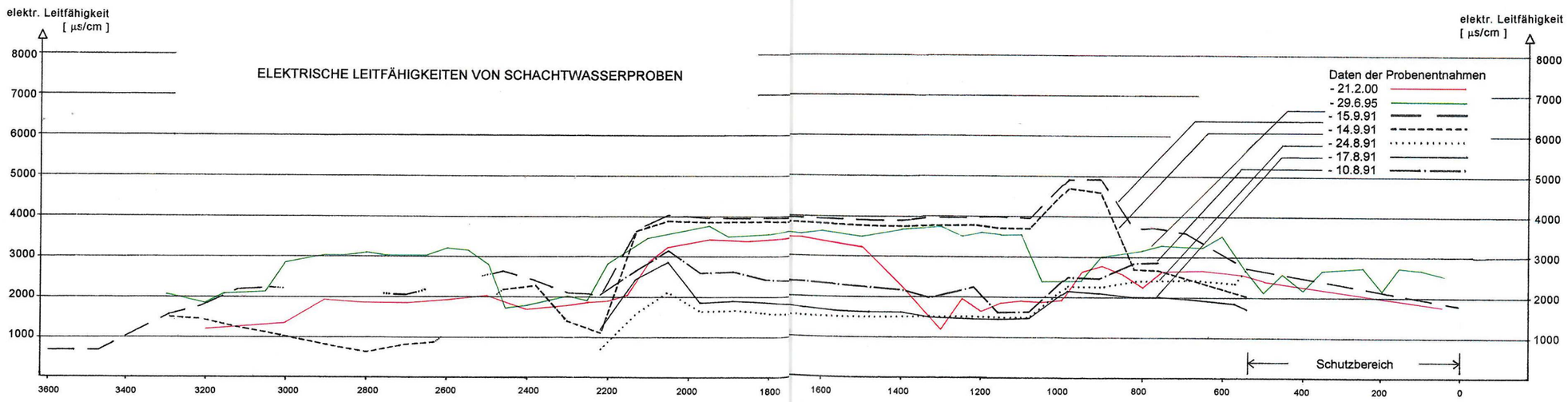
Dogger
- Callovien + Varioins-Schichten Hauptrogenstein
- Unterer Dogger
- Opalinuston

Lias
- Lias

TRIAS

Keuper
- Gipskeuper
- Lettenkohle

Muschelkalk
- Trigonodusdolomit
- Hauptmuschelkalk
- Anhydritgruppe

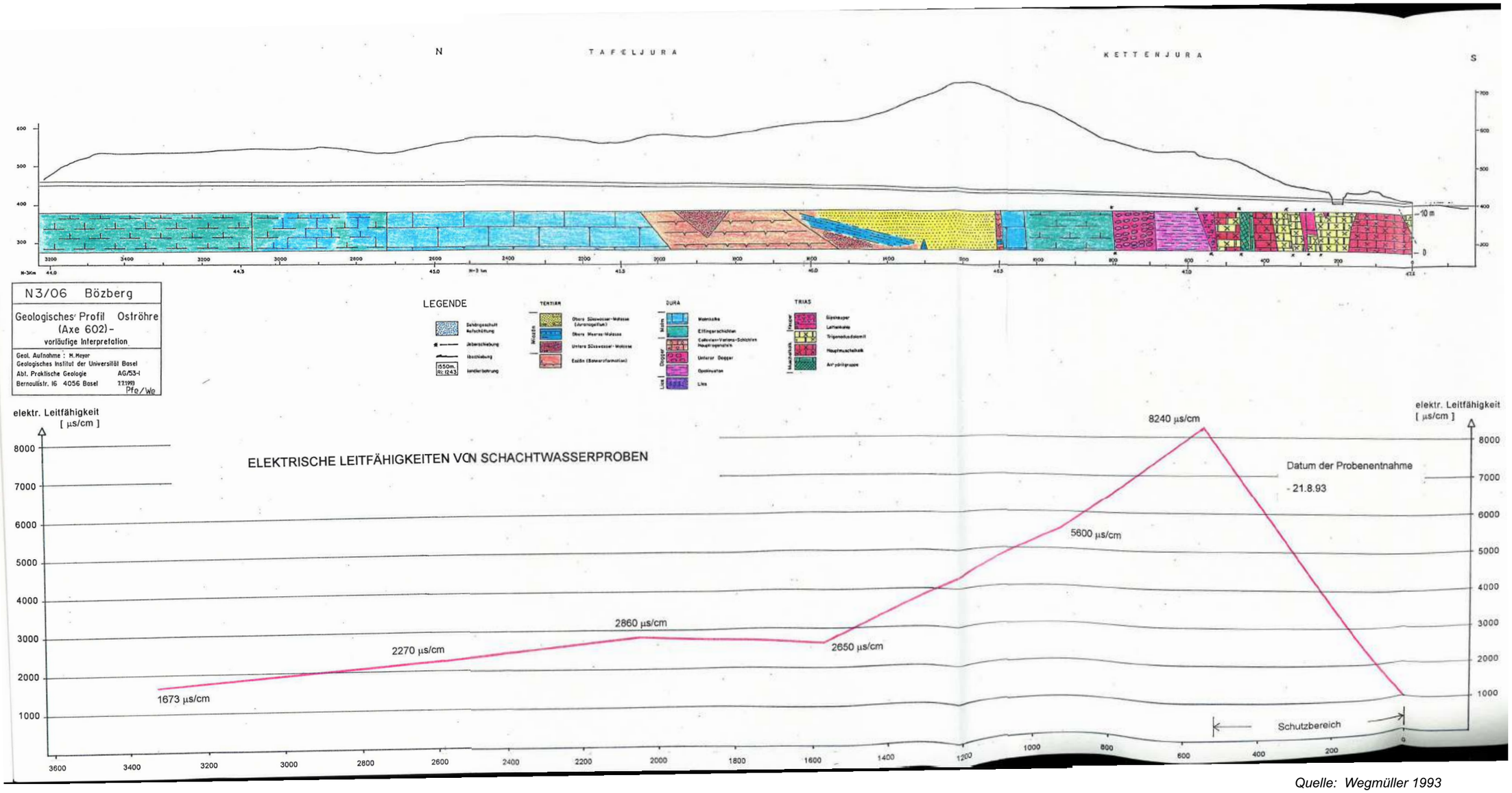


Quelle: Wegmüller 2001

nagra **NAB 13-15**

Elektrische Leitfähigkeiten von Schachtwasserproben
Weströhre des N3-Bözbergtunnels

Hydrogeologische Beobachtungen | DAT.: 14.03.2013 | **ANHANG 3a**



Quelle: Wegmüller 1993

nagra	NAB 13-15
Elektrische Leitfähigkeiten von Schachtwasserproben Oströhre des N3-Bözbergtunnels	
Hydrogeologische Beobachtungen DAT.: 14.03.2013	**ANHANG 3b**

SBB-Bözbergtunnel

Südosten: Südportal bei Schinznach

Faltenjura

Tafeljura

Nordwesten: Nordportal bei Effingen

Geologie [1]

Gehängeschutt | Lettenkohle Gipskeuper | Trigonodus-Dolomit | Muschelkalk | Anhydritgruppe | Lias | Opalinuston | Hauptrogenstein-Formation ? Birmenstorfer Schichten | Effinger Schichten | Malmkalk | Obere Süsswassermolasse | Obere Meeresmolasse / Helicitenmergel | Malmkalk

Kilometrierung

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900 2000 2100 2200 2300 2400 2500

39.40 39.50 39.60 39.70 39.80 39.90 40.00 40.10 40.20 40.30 40.40 40.50 40.60 40.70 40.80 40.90 41.00 41.10 41.20 41.30 41.40 41.50 41.60 41.70 41.80 41.90 42.00

Tunnelbefunde

Einteilung in Tunnelbereiche: *keine Angaben* — *keine Einteilung in Tunnelbereiche*

Feuchtstellen (achtbar an Tunnelwand) [2]

Quellen: trocken — trocken

Zuflüsse und Ablagerungen: mehrere Stellen mit Wasserzuflüssen, diverse sporadisch und offenbar vom Niederschlag beeinflusst [3]; (fast) wasserlos; meist trocken [3]; [4]; für 2 Wochen während Ausbruch; bedeutend, konstante Wassermenge; konstanter Ausritt kleiner Sickerwassermengen [5]

Schüttungsmengen (qualitativ, bzw. [l/min]): *keine Angaben*

Chemische Charakterisierung

el. Leitfähigkeit (durchschnittlich, x = Anzahl Proben): [mS/cm] 15 10 5 0; 0.702 - 0.883 [6]; 2.06 [6]; [7]; 15 [8]

Chemische Analysen (vgl. Anhang 3ab) [1; 7; 9]

pH-Wert: [mg/l] 11 9 7

Sulfatgehalt: [mg/l] 6'000 4'000 2'000 0

Chloridgehalt: [mg/l] 2'000 4'000 6'000

Mineralisation (qualitativ): stark schwach; *keine Angaben*

Aggressivität (qualitativ) Mineralisation [g/l]: sehr stark aggressiv, stark aggressiv, schwach aggressiv, nicht aggressiv; *keine Angaben*

Tritium [TU]: [TU] 10 5 0; *keine Angaben*

Interpretation

Wassertyp: $Ca\text{-}SO_4$ [10]; $Na\text{-}SO_4\text{-}Cl$ [10]; $Na\text{-}SO_4\text{-}Na\text{-}Cl$ [10]; Meteorwasser [11]

Legende:

Quartär:
- Gehängeschutt

Tertiär:
- Obere Süsswassermolasse
- Obere Meeresmolasse
- Untere Süsswassermolasse
- Eozän (Bohnerz-Formation)

Jura:
- Malmkalk
- Effinger Schichten
- Hauptrogenstein-Fm. mit Callovien bis Varians-Schichten
- Blagdeni- bis Murchisonae-Schichten
- Opalinuston
- Lias

Trias:
- Gipskeuper, Lettenkohle
- Trigonodus-Dolomit
- Hauptmuschelkalk
- Anhydritgruppe

Beobachtungen:
- Beobachtungsbereich eines Phänomens
- Bergwasserzutritt
- Feuchtstellen linke bzw. rechte Tunnelseite
- Eisbildung im Winter
- Schacht im Entwässerungskanal
- Deformationen und Quellungen
- Verweis auf Quellenverzeichnis Bözbergtunnel (vgl. Bericht)

Plangrundlage: Profil Tel 1 und 2 durch den Bözbergtunnel, A. Golta, Zürich, August 1953

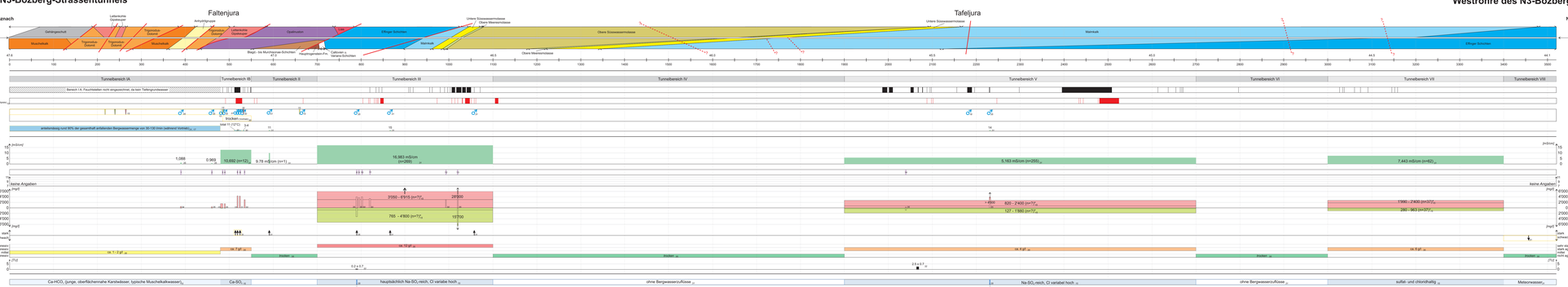
0 100 m

nagra NAB 13-15

Profil des SBB-Bözbergtunnels 1:2'500

Hydrogeologische Beobachtungen | DAT.: 04.04.2013 | **BEILAGE 1**

Weströhre des N3-Bözberg-Strassentunnels



*keine weiteren Angaben zu Anzahl Analysen, Probenherkunft, Analysenresultate

Oströhre des N3-Bözberg-Strassentunnels

Südosten: Südportal bei Schinznach

Faltenjura | Tafeljura

Geologie $_{TB}$: Muschelkalk | Trigonodus-Dolomit | Muschelkalk | Trigonodus-Dolomit | Anhydritgruppe | Muschelkalk | Trigonodus-Dolomit | Gipskeuper, Lettenkohle | Opalinuton | Blaglaten- bis Murchisonae-Schichten | Effinger Schichten | Malmkalk | Eozän | Obere Süsswassermolasse | Obere Meeresmolasse | Untere Süsswassermolasse | Eozän | Untere Süsswassermolasse | Malmkalk | Malmkalk / Effinger Schichten | Effinger Schichten

Kilometrierung: 47.5 … 47.0 … 46.5 … 46.0 … 45.5 … 45.0 … 44.5

0 … 100 … 200 … 300 … 400 … 500 … 600 … 700 … 800 … 900 … 1000 … 1100 … 1200 … 1300 … 1400 … 1500 … 1600 … 1700 … 1800 … 1900 … 2000 … 2100 … 2200 … 2300 … 2400 … 2500 … 2600 … 2700 … 2800 … 2900 … 3000 … 3100 … 3200 … 3300 … 3400 … 3500 … 3600

Tunnelbefunde

Einteilung in Tunnelbereiche $_{A, B, ...}$: Tunnelbereich I A | Tunnelbereich I B | Tunnelbereich II | Tunnelbereich III | Tunnelbereich IV | Tunnelbereich V | Tunnelbereich VI | Tunnelbereich VII | Tunnelbereich VIII

Feuchtstellen (schriftlich auf Tübingersteinweg) $_{FS}$: Bereich I A: Feuchtstellen nicht eingezeichnet, da kein Tiefgrundwasser

Quellen im Sohlbereich (nach Entfernen Transportbeton): keine Angaben | keine Angaben

Zuflüsse und Ableitungen: ← Flussrichtung des Wassers im Entwässerungskanal; $_{Q}$ starke Zunahme von Tiefgrundwasser im Entwässerungskanal →; $_{Q}$

Schüttungsmengen (qualitativ, bzw. [l/min]): keine Angaben | keine Angaben

Chemische Charakterisierung

el. Leitfähigkeit (stichprobenartiges, 1:1 Wasser/Wasser): [mS/cm] 15, 10, 5, 0

2.180 mS/cm (n=1) $_{U}$ | 11.450 mS/cm (n=2) $_{U}$ | 5.108 mS/cm (n=8) $_{U}$ | 2.675 mS/cm (n=6) $_{U}$

Chemische Analysen (vgl. Anhang Bericht) $_{CA}$

pH-Wert: 8 … 7 … 6 | keine Angaben | keine Angaben

Sulfatgehalt: [mg/l] 6'000, 4'000, 2'000, 0 | keine Angaben | keine Angaben

Chloridgehalt: [mg/l] 6'000, 4'000, 2'000, 0 | keine Angaben | keine Angaben

Mineralisation (qualitativ): stark, schwach | keine Angaben | keine Angaben

Aggressivität (qualitativ) / Mineralisation [g/l]: sehr stark aggressiv, stark aggressiv, mäßig aggressiv | keine Angaben | keine Angaben

Tritium [TU]: [TU] 15, 10, 5, 0 | $_{CA}$

Interpretation

Wassertyp: Ca-SO_4 - haltiges Muschelkalkwasser | vereinzelte Feuchtstellen mit mineralisiertem Bergwasser | vereinzelte Feuchtstellen mit mineralisiertem Bergwasser

Oströhre des N3-Bözberg-Strassentunnels

Nordwesten: Nordportal bei Effingen

Geologie $_{TB}$

Kilometrierung

Tunnelbefunde

Einteilung in Tunnelbereiche $_{A, B, ...}$

Feuchtstellen (schriftlich auf Tübingersteinweg) $_{FS}$

Quellen im Sohlbereich (nach Entfernen Transportbeton)

Zuflüsse und Ableitungen

Schüttungsmengen (qualitativ, bzw. [l/min])

Chemische Charakterisierung

el. Leitfähigkeit (stichprobenartiges, 1:1 Wasser/Wasser)

Chemische Analysen (vgl. Anhang Bericht) $_{CA}$

pH-Wert

Sulfatgehalt

Chloridgehalt

Mineralisation (qualitativ)

Aggressivität (qualitativ) / Mineralisation [g/l]

Tritium [TU]

Interpretation

Wassertyp

Legende:

Geologie

Quartär:
- Gehängeschutt

Tertiär:
- Obere Süsswassermolasse
- Obere Meeresmolasse
- Untere Süsswassermolasse
- Eozän (Bohnerz-Formation)

Jura:
- Malmkalk
- Effinger Schichten
- Hauptrogenstein-Fm. mit Callovien bis Varians-Schichten
- Blaglaten- bis Murchisonae-Schichten
- Opalinuton
- Lias

Trias:
- Gipskeuper, Lettenkohle
- Trigonodus-Dolomit
- Hauptmuschelkalk
- Anhydritgruppe

Beobachtungen:
- Beobachtungsbereich eines Phänomens
- Bergwasserzutritt
- Schacht im Entwässerungskanal
- Verweis auf Quellenverzeichnis Bözbergtunnel (vgl. Bericht)

Plangrundlage: Geologisches Profil Weströhre, Geol. Institut Uni Basel, Dr. P. Diebold, 25.09.1991

0 … 100 m

nagra | NAB 13-15

Profil des N3-Bözbertunnels, Oströhre 1:2'500

Hydrogeologische Beobachtungen | DAT: 04.04.2013 | **BEILAGE 3**