

Zeitschrift: Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft
Herausgeber: St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft
Band: 89 (2000)

Artikel: Bergwasser- und Grubengasuntersuchungen im Eisenbergwerk
Gonzen (Sargans und Wartau AG)
Autor: Imper, David / Müller-Lemans, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-832576>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.12.2025

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

89. Band

Seiten 57–78

11 Abbildungen

8 Tabellen

St.Gallen 2000

Bergwasser- und Grubengasuntersuchungen im Eisenbergwerk Gonzen (Sargans und Wartau SG)

David Imper
Hans Müller-Lemans

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	57
1. Geologie	58
1.1 Gesteinsschichten	59
1.2 Gebirgsbau	60
1.3 Lockergesteine	62
2. Hydrogeologie	62
2.1 Hydrologische Bilanz	62
2.2 Hydrogeologische Beobach- tungen in den Bergwerksstollen .	69
2.3 Physikalische, chemische und mikrobiologische Eigen- schaften des Stollenwassers	72
3. Stollenluftuntersuchungen und Grubengase	75
3.1 Explosive Grubengase	75
3.2 Zusammensetzung der Stollenluft	76
4. Herkunft des «Tiefenwassers» und der Grubengase	77
5. Schlussbemerkungen	78
Literaturverzeichnis	78

Zusammenfassung

Bis 1966 wurden im Eisenbergwerk Gonzen bei Sargans SG rund 5,5 Millionen Tonnen Eisen- und Manganerze abgebaut. Der Erzhorizont war nur geringmächtig (meist weniger als zwei Meter), so dass sich die Stollen und Abbauten über ein Gebiet von mehreren Quadratkilometern und von 320 bis gegen 1500 Meter Meereshöhe erstrecken. Zwischen den Abbauhallen des Bergwerkes und der Geländeoberfläche liegen mehrere hundert Meter Festgestein.

Es gibt nur wenige Gebiete in der Schweiz, wo die Bergwasserzirkulation so grossflächig und dreidimensional studiert werden kann. Zusätzlich können die rezenten Untersuchungen im Berg durch Literatur aus der Betriebszeit wertvoll ergänzt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde für das bessere Verständnis der hydrogeologischen Zusammenhänge eine Wasserbilanzierung mit den Parametern Niederschlag, Verdunstung, Oberflächengewässerabfluss, Stollenabfluss und genutztes Quellwasser durchgeführt. Als Restglied resultierte der unterirdische Wasserfluss im Lockergestein zwischen der Gelände- und der Felsoberfläche.

Interessant sind auch die Angaben aus den Betriebsberichten und Gutachten über den Bau derjenigen Stollen, welche unter das Niveau der Talsohle abgeteuft wurden. Dort musste mit Wassereinbrüchen gerechnet und das anfallende Wasser aus dem Berg gepumpt werden.

Obwohl die Kalke am Gonzen sehr reine Kalke darstellen, sind kaum Karsterscheinungen erkennbar. Das Bergwasser zirkuliert im Fels vor allem entlang von Störungszonen, das heisst entlang der grossen Brüche. Die gesamte Wassermenge, welche das Bergwerk durch die Stollenportale verlässt, reagiert schnell auf die Schneeschmelze und die Niederschläge. Sie beträgt im Mittel 2500 l pro Minute (kann aber 10 000 Minutenliter übersteigen), was knapp 20 Prozent der Niederschlagsmenge entspricht.

Auf Grund der Bestimmung von pH-Wert, Temperatur, Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt konnten grundsätzlich zwei verschiedene Wassertypen, das «Kluftwasser» und das «Tiefenwasser» unterschieden werden. Diese wurden auch chemisch analysiert. Der Typ «Kluftwasser» reagiert stark auf die Niederschläge und dürfte nur wenige Stunden bis wenige Tage unterwegs sein. Er weist einen sehr hohen Sauerstoffgehalt (>90%), einen höheren pH-Wert (8,2), eine 5 bis 6 °C tiefere Temperatur und eine um mehr als 30% tiefere Mineralisation auf. Das Wasser vom Typ «Tiefenwasser» reagiert kaum auf Niederschläge, ist praktisch sauerstofffrei und hat einen mittleren pH-Wert von 7,2. Auf Grund der Isotopenanalysen ist dieses Wasser ein bis vier Jahre unterwegs und versickert auf 1000 bis 1200 Metern über Meer. Im Vergleich zum Typ «Kluftwasser» treten signifikant höhere Konzentrationen von Bicarbonat-, Natrium- und Chlorid-Ionen, sowie höhere Anteile an Magnesium- und Sulfat-Ionen auf. Sulfid-Ionen und Schwefelwasserstoff wurden nur im Wasser des Typs «Tiefenwasser» festgestellt.

Im Wasser des Typs «Tiefenwasser» fällt an nur leicht bewegten Stellen eine rostrote schlammartige Masse auf, welche die Eisen-

bakterien *Galionella ferruginea* und *Leptothrix ochraceae* enthält. Die Bakterien dürften jedoch einen geringen Einfluss auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Wassers haben.

Am 3. April 1963 wurde im Gonzenbergwerk eine Grubengasfalle angesprengt. Dabei entzündete sich das austretende Grubengas, was folgenschwere Auswirkungen auf den späteren Betrieb hatte. Die Austrittsstellen von Methan und Schwefelwasserstoff scheinen mit den Aufstossstellen des Wassers (Typ «Tiefenwasser») zu korrespondieren. Sie stimmen jedoch nicht mit der Lage der benachbarten Fluhwandkluft überein.

Im Bereich des Besucherrundganges herrscht wegen der guten natürlichen Belüftung («Bewetterung») die gleiche Luftqualität wie übertage. Der Sauerstoffgehalt kann in schlecht bewetterten Blindstollen mit sinkendem Atmosphärendruck von 18% auf unter 14% abnehmen, während der Kohlendioxidanteil auf über 2,5% steigen kann.

Für die Herkunft des «Tiefenwassers» kommt auf Grund von Temperatur, Verweilzeit und Mineralisation vor allem die 200 bis 400 m unter dem Stollen liegende Bommerstein-Serie (Dogger) in Frage. Das Methanogas könnte aus viel grösseren Tiefen, aus dem unter den helvetischen Decken liegenden Tertiär stammen.

1. Geologie

Die Geologie ist für das Verständnis der hydrologischen Zusammenhänge zwar von grosser Bedeutung, doch wurden hier die geologischen Informationen auf das absolute Minimum beschränkt. Einen vertieften Einblick in die Geologie und die Tektonik (Gebirgsaufbau) des Gonzen sowie in die Petrographie (Gesteinskunde) der Gonzengesteine vermitteln EPPRECHT (1946), Epprecht in HUGGER (1991), PFEIFER et al. (1988) und IMPER (1996, 1997, 1998).

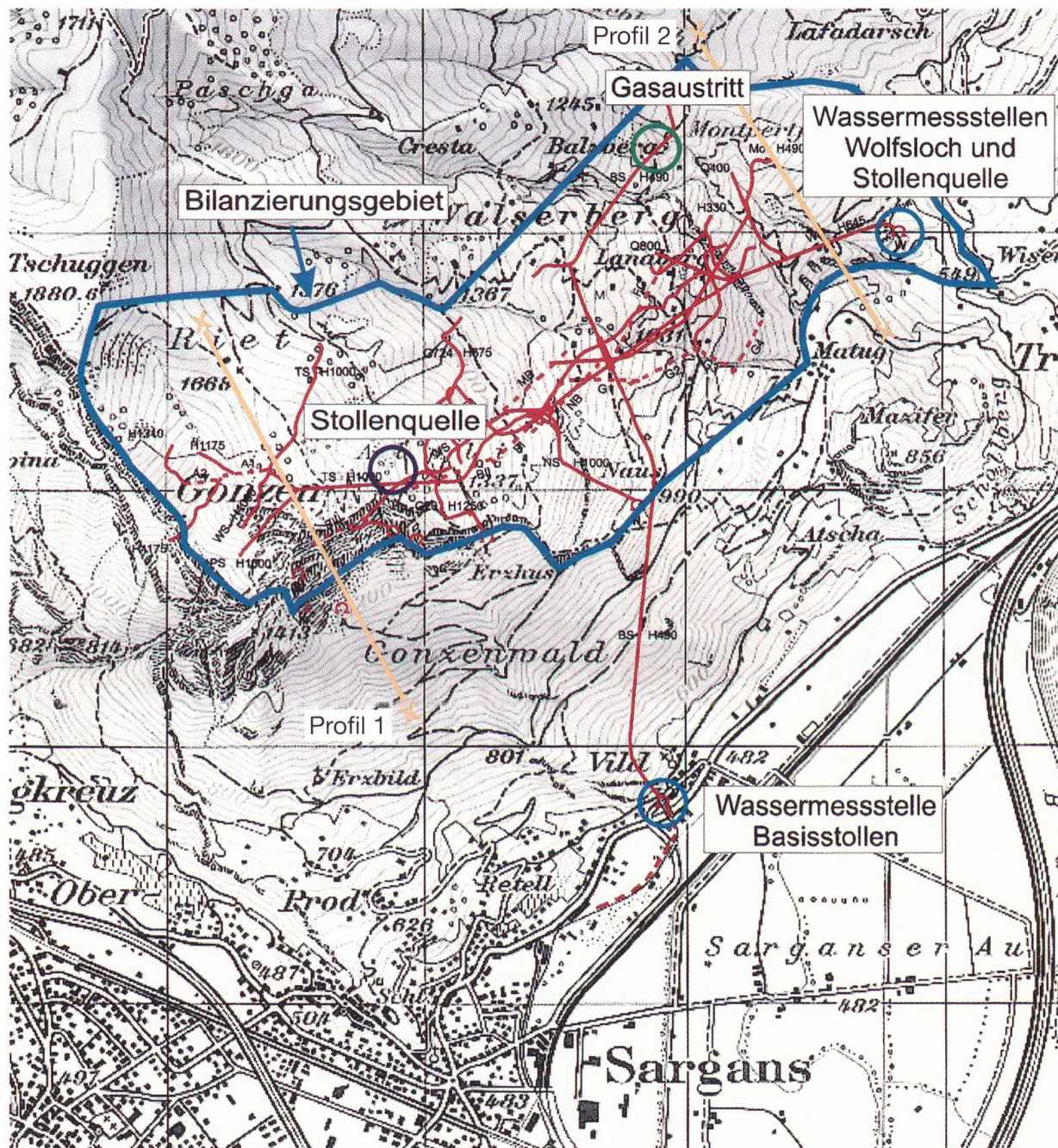


Abbildung 1:
 Situation 1:25 000 mit dem Bilanzierungs-
 gebiet des Wasserhaushaltes, den wichtigsten
 Stollen der Wasserabflussmessstellen, der
 Stollenquelle sowie des wichtigsten Gasaustrittes.

1.1 Gesteinsschichten

Der Erzhorizont im Gonzen ist nach den heutigen Erkenntnissen mindestens drei Kilometer lang und bis zu einem Kilometer breit sowie maximal zwei Meter mächtig. Er ist schichtparallel in die mehrere hundert Meter mächtigen Kalkschichten der sogenannten Quinten-Formation eingebettet, welche vor 140 bis 160 Millionen Jahren zur Zeit des Malm am Meeresboden abgelagert

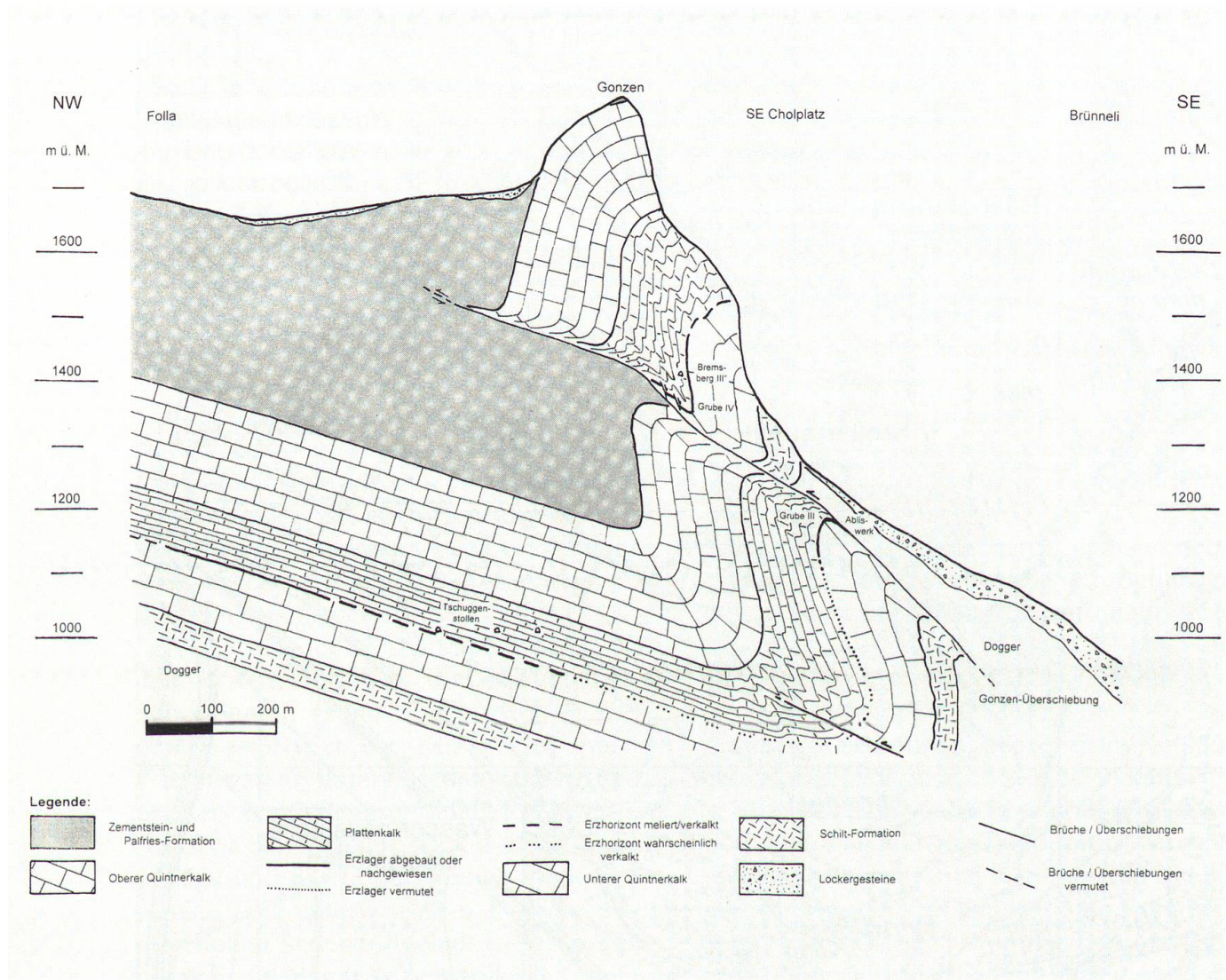


Abbildung 2:
Profil 1: Folla – Gonzen – Cholplatz – Bränneli.

wurden. Über der Quinten-Formation folgen die – zusammen ebenfalls mehrere hundert Meter mächtigen – Zementstein- und die Palfries-Formationen (Abbildungen 2 und 3). Während die Palfries-Formation vorwiegend aus schwarzen Ton- und Mergelschiefern besteht, stellt die Zementstein-Formation den Übergang zwischen den beiden Formationen dar.

1.2 Gebirgsbau

Die Gebirge zwischen Rheintal und Walensee gehören zu den helvetischen Decken. Wegen der fehlenden Aufschlüsse ist die Gliederung der helvetischen Decken im Seetal nicht restlos geklärt. Eine Abtren-

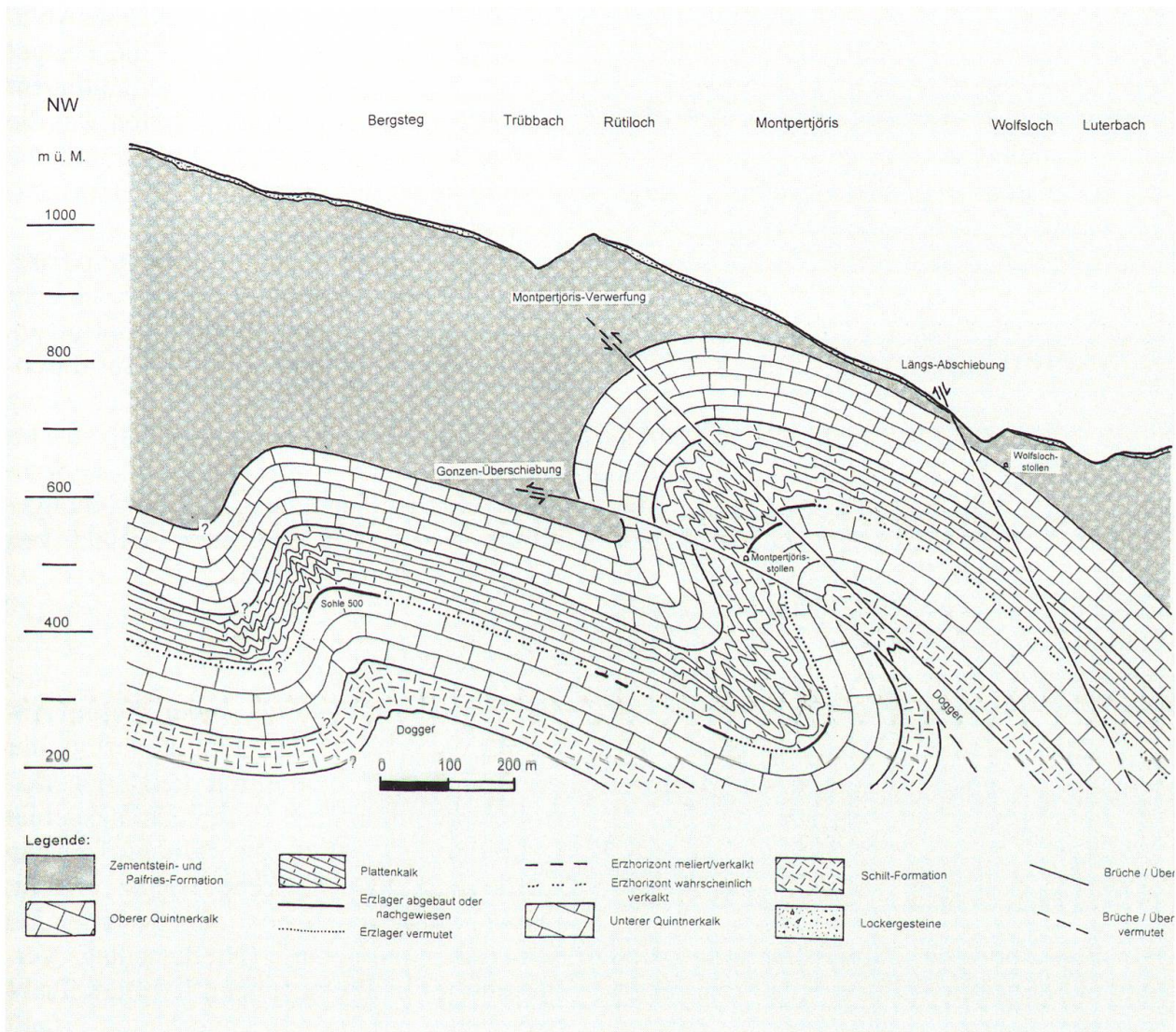


Abbildung 3:
Profil 2: Rütiloch – Montpertjöris – Wolfsloch.

nung der Dogger- und Malm-Formationen der Gonzenkette von der liegenden Glarner-Decke, wie sie in den vergangenen Jahrzehnten von vielen Geologen beschrieben wurde, ist keinesfalls zwingend. Die Hochterrasse von Palfries bildet die Grenze zwischen der Glarner-Decke und der darüber liegenden Alvier-Churfürsten-Kette, welche zur Säntis-Decke gehört. Die stark tonig-mergelige Palfries-Formation, welche nach der Alp auf der Hochfläche zwischen Gonzen und Alvier benannt wurde, diente während der Nordverfrachtung der Säntis-Decke als Überschiebungshorizont.

Die mehrere hundert Meter mächtigen Dogger- und Malm-Formationen zwischen dem Fläscherberg und dem Walensee wur-

den in Südost-Nordwest-Richtung stark zusammengepresst. Diese Kompression führte im südöstlichen Bereich (Fläscherberg bis Schollberg) zu grossmassstäblichen Falten, während im nordwestlichen Gebiet (Gonzen bis Walenstadtberg) die Gesteinsformationen verschuppt sind.

Die Faltenachsen verlaufen am Gonzen Südwest-Nordost und fallen mit maximal 30° nach Nordosten ein. Der Scheitel der Gonzenfalte (Gonzen-Antiklinale) liegt im südwestlichen Teil rund 600 m (Abbildung 2), im nordöstlichen Bereich noch 400 m (Abbildung 3) über der Muldenumbiegung (Ghudlet Gonzen-Synklinale). Der steil stehende Schenkel zwischen der Gonzen-Antiklinale und der Ghudlet Gonzen-Synklinale wird durch die Gonzen-Überschiebung zerrissen. Quer zu den Faltenachsen zerhacken mehrere Südost-Nordwest streichende Brüche die Gesteinsformationen. Der Erzhorizont wird durch diese Brüche in vertikaler Richtung um maximal 75 m und in der Horizontalen um bis zu 150 m versetzt.

1.3 Lockergesteine

Am Fuss der nach Südwest bis Südost fallenden Felswände bedeckt eine Steinschlag- und Bergsturzschutthalde die Festgesteine. Die Wasserdurchlässigkeit der vorwiegend leharmen, kiesreichen Kalkschuttablagerungen ist hoch, so dass in diesen Gebieten vorwiegend eine an Trockenheit angepasste Vegetation gedeiht.

Östlich der Gauschla bedeckt eine grosse Bergsturzmasse die Fläche zwischen der Gauschlasüdwand, dem Trübbach und den Wartauer Dörfern Oberschan, Malans und Azmoos. Die Bergsturmassen dürften mehrere Dekameter Mächtigkeit erreichen. Die Trümmer variieren sehr stark in der Grösse, reicht doch deren Spektrum von der Tonfraktion bis zu hausgrossen Blöcken. Dies hat eine stark unterschiedliche Wasserdurchlässigkeit zur Folge.

Zwischen Naus und der Rheinebene, sowie östlich und nördlich von Malans be-

decken relativ geringmächtige glaziale Ablagerungen (Moränen und Löss) die Festgesteine. Diese Lockergesteine beinhalten oft grosse Anteile an Feinkomponenten, was die Wasserzirkulation stark behindert und die Ablagerungen zu wasserstauenden Horizonten macht.

Die Rheinebene besteht im Raum Trübbach zuoberst aus einigen Metern schlecht durchlässigen Hinterwasserablagerungen. Darunter folgen 50 bis 60 Meter gut durchlässige Rheinschotter und schliesslich wenig durchlässige feine Seeablagerungen. Im hangnahen Bereich verkeilen sich die Sedimente der Rheinebene mit dem Gehängeschutt (vergleiche dazu den Artikel von WEBER in diesem Band).

2. Hydrogeologie

Von zentraler Bedeutung sind in diesem Abschnitt die Art und die Quantifizierung der Wasserströme in dem durch die Bergwerkstollen beeinflussten Untersuchungsgebiet (Abbildung 1). Für die Quantifizierung wurde eine hydrologische Bilanz erstellt. Dabei wurde einerseits auf bestehenden Messreihen aufgebaut (Niederschlag, Verdunstung, Quellschüttungen, Abfluss Trübbach) und andererseits neue Daten erfasst (sämtliches Wasser, welches an den Stollenportalen das Stollensystem verlässt).

Leider ist die Datengrundlage für zuverlässige quantitative Aussagen über den Jahresgang und die Reaktionszeit des Wassers zu knapp, so dass darüber nur qualitative Aussagen gemacht werden.

Das Verständnis für die Art der unterirdischen Wasserzirkulation und deren Auswirkungen wurde durch die Erfahrungen aus dem Untertagebau, welche hauptsächlich aus unpublizierten Betriebsberichten stammen, ergänzt.

2.1 Hydrologische Bilanz

Die Grundlage für die Berechnung der unterirdischen Wasserzirkulation bildet die

Wasserhaushaltsgleichung. Dabei werden alle Wasserflüsse durch die Grenzen eines Bilanzierungskörpers ermittelt:

$$P = E + Q_B + Q_S + Q_Q + Q_U$$

P = Niederschlag

E = Verdunstung

Q_B = Abfluss durch Oberflächengewässer

Q_S = Abfluss aus den Bergwerksstollen

Q_Q = genutztes Quellwasser

Q_U = unterirdische Wasserflüsse

Da der Parameter Q_S (Abfluss aus den Bergwerksstollen) nur für den durch die Bergwerksstollen erschlossenen Teil relevant ist und bei der Extrapolation auf das gesamte Konzessionsgebiet die Fehlertoleranz der Resultate zunimmt, wird der Bilanzierungskörper auf die durch die Bergwerksstollen drainierte Fläche beschränkt (Abbildung 1). Die seitlichen Ränder des Bilanzierungskörpers sind teilweise offen, das heisst sie fallen nicht mit natürlichen hydrologischen Grenzen zusammen. Die dadurch in der Bilanzierung auftretenden Schwierigkeiten werden bei der Diskussion der entsprechenden Parameter erörtert.

Niederschlag P

Die Bestimmung des mittleren Niederschlags im Untersuchungsgebiet basiert auf der langjährigen Niederschlagsmessreihe der Messstation Sargans (510 m ü. M.) und der Beobachtung, dass pro 100 m Höhenzunahme der Niederschlag um 69 Millimeter zunimmt (BAUMGARTNER et al. 1983).

Die Niederschlagsmessung in Sargans (500 m ü. M.) ergab im Zeitraum zwischen 1951 und 1980 eine durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge von 1342 mm. Dabei muss ein systematischer Messfehler von 5% berücksichtigt werden, so dass der effektive Jahresniederschlag zwischen 1951 und 1980 im Mittel 1412 Millimeter betrug (KIRCHHOFFER & SEVRUK 1992, SEVRUK & KIRCHHOFFER 1992).

Für das Bilanzierungsgebiet nehmen wir eine mittlere Meereshöhe von 1200 Metern

an. Somit ergibt sich ein mittlerer Gebietsniederschlag von 1888 Millimeter (1412 mm + 6,9 · 69 mm). Dieser Wert fliesst als durchschnittlicher Jahresniederschlag P in die Wasserbilanzierung ein.

Verdunstung E

Die Ermittlung der Verdunstung basiert auf der Formel (BAUMGARTNER et al. 1983):

$$E = 700 - 0.17 H$$

E = Verdunstung [mm]

H = Meereshöhe [m ü. M.]

Für das Bilanzierungsgebiet mit einer mittleren Meereshöhe von 1200 m ü. M. ergibt dies eine durchschnittliche jährliche Verdunstung von 496 Millimetern (700 – 0.17 · 1200). Dies entspricht 26% des jährlichen Niederschlags.

Stollenabfluss Q_S

Das Erzlager wurde in den letzten Jahrhunderten durch mehrere Stollen erschlossen. Die Zugänge zu den Alten Gruben I, II, III und IV sowie zum Abliswerk befinden sich in der Südostwand des Gonzen. Sie liegen auf über 1250 m ü. M. und sind heute nur schwierig erreichbar. 1918 wurde das Erzlager von Naus (1000 m ü. M.) aus angefahren; Ende der zwanziger Jahre erfolgte der Vortrieb eines Stollens vom Wolfsloch (oberhalb Trübbach, 645 m ü. M.) her. Seit 1951 ist der Basisstollen bei Vild (Sargans, 490 m ü. M.) der wichtigste Zugang zum Stollensystem. Während die Alten Gruben II, III und IV, sowie das Abliswerk isolierte kleinere Grubengebäude darstellen, sind die anderen Grubeneingänge durch das grosse, viele Kilometer umfassende System von Stollen und Abbauten miteinander verbunden. Die Grubeneingänge sind aus Sicherheitsgründen zugesperrt und der mutwillige Zutritt amtlich untersagt.

An den Bergwerkseingängen Wolfsloch und Vild (Basisstollen) fliesst Wasser kontrollierbar aus dem Stollensystem (Abbil-

dung 1). Um die ausfliessende Wassermenge stichprobenmässig zu erfassen, wurden drei Messstellen eingerichtet:

- Im Basisstollen fliesst das Stollenwasser in einer neben dem Stollengleis herausgesprengten Felsrinne (Rigole). Für die Bestimmung der ausfliessenden Wassermenge wurde im Oktober 1998 am Stolleneingang ein Messwehr mit Dreiecksüberfall installiert (Abbildung 4, Messstelle «Basisstollen»).
 - Am Wolfslocheingang fliesst das Wasser einer Felsenquelle in einem Rohr aus dem Stollen. Dort wurde es für die quantitative Erfassung in ein Fass geleitet und dessen Füllzeit bestimmt (Abbildung 5, Messstelle «Stollenquelle»).
- Der Überlauf der Wasserfassung fliesst

durch das Stollensystem ab und verlässt dieses durch den Basisstollen.

- Auch durch den Wolfslochstollen fliesst Stollenwasser in einer Rigole aus dem Bergwerk. Beim Stolleneingang Wolfsloch fällt das austretende Stollenwasser durch ein Rohr in ein Gerinne. Dort wurde diese Wassermenge mit dem Fass ermittelt (Abbildungen 5 und 6, Messstelle «Wolfsloch»).
- Die Abflussmengen wurden bei den Stollenportalen stichprobenmässig bei verschiedensten hydrologischen Verhältnissen (Schneesmelze, Dauerregen, längere Trockenperiode, ...) erfasst und extrapoliert. Da die Messreihe nicht kontinuierlich ist, war bei der Bestimmung des Stollenabflusses mit einer grösseren, jedoch tolerierbaren Ungenauigkeit zu rechnen.



Abbildung 4:
Wassermessstelle mit Dreiecksüberfall
am Eingang des Basisstollens bei extrem hohem Wasserstand
(ca. 4000 l/min), wo sogar die Stollengleise überspült
wurden.

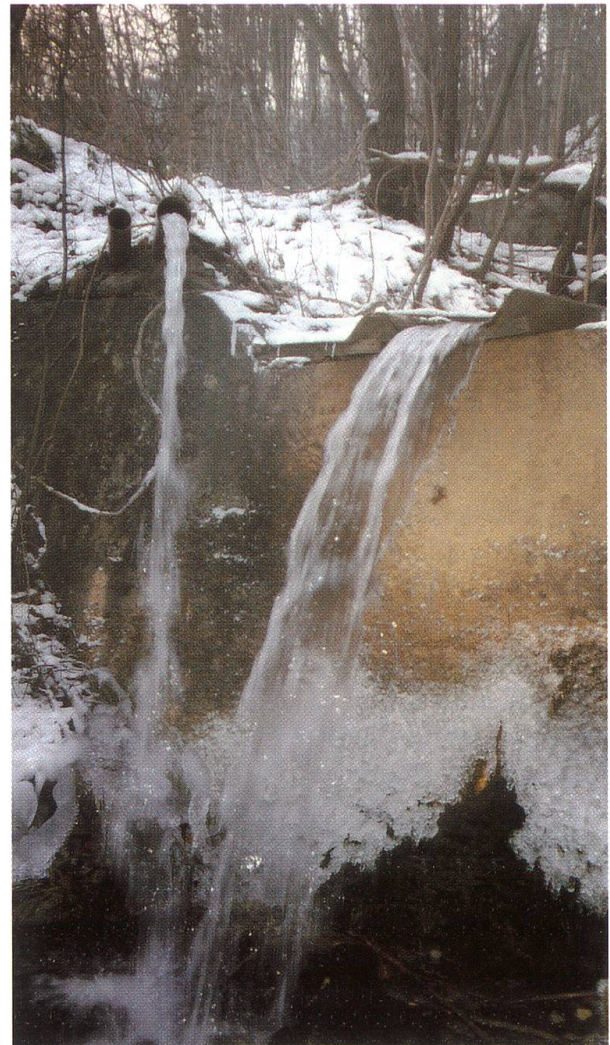


Abbildung 5:
Wasserabflüsse aus dem Wolfs-
lochstollen vor der Einrichtung
der Wassermessstelle: Überlauf
Stollenquelle (links) und
Stollenabfluss Wolfsloch (rechts).

Stollenabfluss Basisstollen Q_{S1}

Die mittleren Abflüsse für das hydrologische Jahr 1998/99 (1. Oktober 1998 bis 30. September 1999) wurden beim Basisstollen wie folgt bestimmt: Für jeden Monat wurde das arithmetische Mittel aller Werte berechnet und als Monatsmittel übernommen (Tabelle 1, Abbildung 7). Da im Oktober und im November 1998 nur wenige Messungen vorgenommen werden konnten und sich Extremwerte darunter befinden, wurden diese Messabschnitte mit Messungen von Oktober und November 1999 ergänzt. Auf der graphischen Darstellung des Jahresverlaufes (Abbildung 7) ist gut erkennbar, dass der Stollenabfluss am Basisstollenportal im März zu steigen beginnt und im Mai das Maximum erreicht, was gut mit der Schneeschmelze im Einzugsgebiet und den starken Niederschlägen im Mai korrespondiert. Im Verlauf des Sommers sinkt die Abflussmenge, um im Winterhalbjahr den Tiefstand (10–20% des Maiabflusses!) zu erreichen.

Die zwölf Monatsmittel wurden anschliessend zum Jahresmittel zusammengefasst (Tabelle 1). Es ergab sich ein Jahresmittel von 19,6 l/s (7% des Jahresniederschlags), wobei die gemessenen Einzelwerte zwischen 5 und 106 l/s variieren. Total wurden für diese Bestimmung 138 Messungen berücksichtigt.

Stollenabfluss Stollenquelle Q_{S2}

Das Wasser der Stollenquelle tritt auf etwa 745 m ü. M. aus einer Kluft (Grube II – Verwerfung), wo es durch die Dorfkorporation Trübbach gefasst und entlang dem Wolfslochstollen in einer mehrere Kilometer langen Wasserleitung aus dem Berg geführt wird (Abbildungen 1 und 5). Je nach Bedarf wird dieses Wasser in das Reservoir der Dorfkorporation Trübbach geleitet. Während der Beobachtungsperiode (1. Oktober 1998 bis 30. September 1999) erneuerten und erweiterten die Ortsgemeinde Wartau und die Dorfkorporation Trübbach das Reservoir. Während dieser Zeit konnte kein Wasser der Stollenquelle für die Wasserversorgung genutzt werden, so dass mit den Messungen die

gesamte Wassermenge erfasst wurde, welche aus der Kluft zum Wolfslocheingang geleitet wurde.

An der Messstelle <Stollenquelle> konnten nicht so viele Messungen durchgeführt werden wie beim Basisstollen. Ebenfalls gilt zu berücksichtigen, dass der maximale Abfluss durch den Rohrdurchmesser auf 10 l/s beschränkt war. Dieser Wert wurde bei grosser Wasserführung erreicht. Wegen der eher spärlichen Datenmenge würde eine arithmetische Mittelung der Daten Resultate ergeben, die nicht ausreichend verlässlich sind. Daher wurde zwischen dem Abfluss beim Basisstollen und der Messstelle <Stollenquelle> eine Beziehung hergeleitet. Auf diese Weise konnte man den Informationsgehalt der Messungen an der Messstelle Stollenquelle nutzen und gleichzeitig von der viel besseren zeitlichen Auflösung der Messungen beim Basisstollen profitieren. Aus 26 Wertepaaren, wo die Schüttung der Stollen-

Monat	Mittelwert [l/s]	Minimum [l/s]	Maximum [l/s]	Anzahl Messungen
Oktober 1998/99	8,6	5,0	21,7	8
November 1998/99	14,6	5,0	49,7	6
Dezember 1998	14,7	12,1	17,7	3
Januar 1999	12,1	8,5	16,5	4
Februar 1999	11,6	6,2	20,3	7
März 1999	25,2	17,7	38,8	10
April 1999	30,8	15,5	49,7	12
Mai 1999	57,4	19,0	106,0	23
Juni 1999	24,1	13,1	56,9	14
Juli 1999	13,3	7,7	38,8	14
August 1999	9,8	6,2	20,3	19
September 1999	12,4	5,0	67,7	18
Mittelwert	19,6	10,0	34,1	11,5
Minimum	8,6	5,0	16,5	3
Maximum	57,4	19,0	106,0	23

Tabelle 1:

Tabellarische Zusammenfassung der Extrem- und Mittelwerte im Jahresverlauf 1998/1999, sowie der Datenmenge.

quelle kleiner als 10 l/s war, konnte folgende Beziehung hergeleitet werden:

$$y = 0,12 \cdot x + 4,6$$

x Abfluss beim Basisstollen [l/s]

y Abfluss «Stollenquelle» [l/s]

Mit dieser Gleichung wurde aus dem Abfluss beim Basisstollen der Abfluss der «Stollenquelle» hochgerechnet. Danach beträgt das Jahresmittel der Stollenquelle 7,0 l/s (2,5 % des Jahresniederschlags), wobei die gemessenen Einzelwerte zwischen 1 und 10 l/s (maximal mögliche Ausflussmenge) variieren. Total wurden 59 Messungen vorgenommen.

Stollenabfluss Wolfsloch Q_{S3}

Von der Messstelle «Wolfsloch» sind ebenfalls bedeutend weniger Messungen vorhanden als von der Messstelle Basisstollen. Da

das Wasser der Stollenquelle – wie das an der Quelfassung überlaufende Wasser – ohne Ableitung nicht aus dem Wolfslochstollen, sondern aus dem Basisstollen fließen würde, wurden die Daten der Messstelle Wolfsloch in einem ersten Schritt nicht direkt mit dem Abfluss aus dem Basisstollen korreliert, sondern mit der Summe der Abflüsse an den beiden Messstellen «Basisstollen» und «Stollenquelle». Es wurde daher eine Beziehung zwischen der Summe der beiden Abflüsse «Basisstollen» und «Stollenquelle» und dem Abfluss beim Wolfsloch hergeleitet. Aus 40 Wertepaaren ergab sich folgende Beziehung (Korrelationskoeffizient 0,86):

$$y = 1,50 \cdot x - 15,1$$

x Summe der beiden Abflüsse Basisstollen und Stollenquelle [l/s]

y Abfluss beim Wolfsloch [l/s]

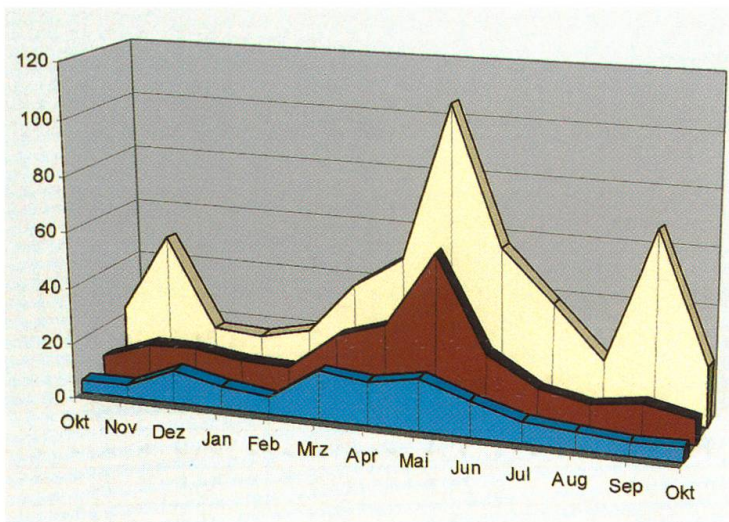


Abbildung 7:
Monatliche Abflüsse (in Liter pro Sekunde)
1998/99 am Portal des Basisstollens
(von vorne nach hinten: Minimum, Mittel-
wert, Maximum).



Abbildung 6:
Wassererfassung mit dem Fass
am Portal des Wolfslochsstollens.

Der relativ hohe Korrelationskoeffizient stützt den eingeschlagenen Weg zur Extrapolation der Abflussdaten. Die obige Gleichung ist jedoch nicht optimal, weil bei der unabhängigen Variablen nur der Abfluss des Basisstollens in höherer zeitlicher Auflösung bekannt ist, nicht aber der Abfluss der Stollenquelle. Es musste daher im zweiten Schritt eine Beziehung hergeleitet werden, in welcher die unabhängige Variable nur den Abfluss beim Basisstollen beinhaltet. Aus 40 Wertepaaren ergab sich:

$$y = 1,71 \cdot x - 7,3$$

x Abfluss beim Basisstollen [l/s]

y Abfluss beim Wolfsloch [l/s]

Der fast gleich hohe Korrelationskoeffizient von 0,84 zeigt, dass der Stollenabfluss am Wolfsloch direkt aus den Daten vom Basisstollen hochgerechnet werden darf. Es ergibt sich somit für die Messstelle «Wolfsloch» ein mittlerer jährlicher Stollenabfluss von 26,2 l/s (9,5 % des Jahresniederschlags). Die gemessenen Einzelwerte variieren zwischen 1 und 65 l/s. Der maximal messbare Wert betrug mit der angewendeten Messmethode 65 l/s. Dieser wurde jedoch bei sehr starkem Wasseranfall deutlich überschritten. Total wurden 59 Messungen vorgenommen.

Die genannten Stollenabflüsse entsprechen den Messwerten für das hydrologische Jahr 1998/99. Zur Umrechnung dieser Werte auf langjährige Mittelwerte (das heisst auf durchschnittliche Niederschlagsverhältnisse) wurden die Daten proportional zu den Jahresniederschlägen umgerechnet. Als Referenzstationen wurden dabei die drei nächstgelegenen Niederschlagsmessstationen Bad Ragaz, Sargans und Sevelen verwendet (Tabelle 2).

Somit erreichten die Niederschläge im hydrologischen Jahr 1998/99 im Untersuchungsgebiet etwa 133 % des langjährigen Mittels. Daher sind auch die 1998/99 gemessenen Stollenabflüsse um diesen Faktor zu hoch und müssen dementsprechend für die

Umrechnung auf langjährige Mittel durch 1,33 dividiert werden (Tabelle 3). Um die Zahlen in Abflusshöhen umzurechnen, muss zuerst die Jahresabflussmenge bestimmt und diese anschliessend durch die Fläche des Einzugsgebiets (3,5 km²) dividiert werden.

Somit verlassen knapp 20 % des Niederschlagswassers das Stollensystem durch die Grubeneingänge (Tabelle 4: 7 % Basisstollen, 2,5 % Stollenquelle, 9,5 % Wolfsloch).

Abfluss durch oberirdische Fliessgewässer Q_B

Die Tatsache, dass die seitlichen Ränder des Bilanzierungskörpers (Abbildung 1) nicht mit den hydrologischen Grenzen des Bilanzierungskörpers zusammenfallen, erschwert die Ermittlung der oberirdischen Abflüsse. Abflussmessungen liegen nur vom Trübbach vor, doch umfasst sein Einzugsgebiet auch Flächen, die nicht zum Bilanzierungsgebiet

Station	A: 1951–1980	B: 1998/99	Verhältnis B:A
Bad Ragaz	1054 mm	1263 mm	120 %
Sargans	1342 mm	1794 mm	134 %
Sevelen	1116 mm	1624 mm	146 %
Mittelwert	1171 mm	1560 mm	133 %

Tabelle 2:
Verhältnis der Niederschläge im hydrologischen Jahr 1998/99 im Vergleich zum langjährigen Mittel.

Messstelle	Abfluss 1998/99 [l/s]	Langjähriger Abfluss [l/s]	Abfluss- höhe [mm]
Basisstollen	19,6	14,7	133
Stollenquelle	7,0	5,2	47
Wolfsloch	26,2	19,7	178

Tabelle 3:
Bestimmung der langjährigen jährlichen Stollenabflüsse und der mittleren jährlichen Abflusshöhe.

gehören. Zudem ist die Messreihe beim Trübbach noch relativ kurz, so dass der langjährige Mittelwert des Abflusses erst annähernd bekannt ist. Q_B ist daher mit einer bedeutend grösseren Ungenauigkeit behaftet als die übrigen Komponenten der Wasserbilanz (Niederschlag, Verdunstung und weitere).

Die Bestimmung von Q_B beruht auf der Annahme, dass der spezifische Abfluss (Abfluss pro Flächeneinheit) im Bilanzierungsgebiet gleich gross ist wie im Einzugsgebiet des Trübbachs, zu dem das Bilanzierungsgebiet gehört. Der mittlere Abfluss des Trübbachs für die Periode 1991–1998 beträgt 227 l/s. Dieser Wert wird als langjähriger Mittelwert betrachtet.

Von diesem Wert sind die beiden Komponenten des Stollenabflusses beim Wolfsloch abzuzählen, welche am Stollenportal gemessen werden und nach der Einleitung des Stollenwassers in den Trübbach an der Abflussmessstelle des Trübbachs nochmals erfasst

werden. Ohne Korrektur würde man den Stollenabfluss beim Wolfsloch in der Bilanz doppelt berücksichtigen. Der mittlere Stollenabfluss beträgt bei der Messstelle <Wolfsloch> 19,7 l/s, bei der Messstelle <Stollenquelle> 5,2 l/s. Es resultiert somit ein Mittelwert von 202 l/s, was bei der Einzugsgebietsfläche des Trübbachs von 7,66 km² einer Abflusshöhe von 832 mm entspricht. Die gleiche Abflusshöhe wird nun auch für das Bilanzierungsgebiet angenommen. Folglich verlässt fast die Hälfte des Niederschlagswassers (44%) das Bilanzierungsgebiet durch oberirdische Fließgewässer (Tabelle 4).

Genutztes Quellwasser Q_Q

Quellwasser, welches zur Trinkwasserversorgung gefasst, genutzt und danach in die Kanalisation geleitet wird, wird dem Bilanzierungskörper ebenfalls entzogen. Die Schüttungsdaten, die Grundlage des Parameters Q_Q , wurden nicht neu ermittelt, sondern basieren auf den Angaben der Dorfkorporation Trübbach (Nutzung der Quellen) und der Ortsgemeinde Wartau (Besitzerin der Quellen).

Im Gebiet Zagg/Schollbergwiti wird das Wasser der Quellen Zagg (3 Quellfassungen) und Schollbergwiti (2 Quellfassungen) in einem Reservoir gesammelt. Die Bilanzierung der letzten Jahre wird durch die Neufassung der Quellen, welche 1996/97 erfolgte, und den Neubau des Reservoirs zusätzlich erschwert. Da sich die längerfristigen Schüttungsmessungen der Quellen noch auf den Stand vor der Neufassung beziehen, wurde die Bilanzierung auf diesen Zustand bezogen. Wasser, welches damals noch nicht gefasst wurde, dürfte grösstenteils in den Trübbach geflossen und somit an der Abflussmessstelle des Trübbaches erfasst worden sein.

Seit 1997 werden aus dem Bilanzierungsgebiet die beiden Zagg-Quellen 1.1 und 1.2 gefasst. Der langjährige Mittelwert der Zagg-Quelle 1.1, welcher in die Bilanzierung einfließt, liegt bei 215 l/min. Seit der Neufas-

Parameter	Jährliche Wasserhöhe [mm]	Prozent- anteile
Niederschlag P	1888	100
Verdunstung E	496	26
Abfluss Oberflächengewässer Q_B	832	44
Abfluss Basisstollen Q_{S1}	133	7
Abfluss Stollenquelle Q_{S2}	47	2,5
Abfluss Wolfsloch Q_{S3}	178	9,5
Abfluss genutzte Quellen Q_Q	39	2
Restglied Q_U	163	9

Tabelle 4:
Wasserbilanz

sung liegt die Schüttung dieser Quelle deutlich höher. Die Zagg-Quelle 1.2 (Schüttung etwa 50 % der Zagg-Quelle 1.1) wird erst seit 1996/97 genutzt und wurde daher bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt. Das Einzugsgebiet der Zagg-Quelle Nr. 2 (Schollberg-Matug), welche eine mittlere Schüttung von 130 l/min haben dürfte, liegt ausserhalb des Bilanzierungskörpers. Daher wurden diese für die Bilanzierung nicht berücksichtigt. Die beiden Schollbergwiti-Quellen liefern durchschnittlich nur 45 l/min. Somit wurden vor der Neufassung der Quellen durchschnittlich 260 l/min (4,3 l/s oder 39 mm) Quellwasser aus dem Bilanzierungskörper entzogen. Dies entspricht 2 % der Jahresniederschläge (Tabelle 4).

2.1.6 Unterirdischer Wasserfluss Q_U

Als Restglied der Wasserbilanzierung resultiert die quantitative Bestimmung der unterirdischen Wasserflüsse, namentlich im Lockermaterial zwischen der Fels- und der Geländeoberfläche (Tabelle 4, Abbildung 8). Diese bilden wichtige Grundlagen für die

Diskussion der hydrogeologischen Auswirkungen eines Untertagebaus.

Aufgrund der erwähnten Unsicherheiten bei der Bilanzierung wirkt es überraschend, dass die Wasserbilanz auch ohne Restglied (9 % der Jahresniederschläge) nahezu ausgeglichen ist. Die Daten geben somit keine Hinweise dafür, dass im betrachteten Gebiet massive Wassermengen in tiefere Zonen sickern und beispielsweise erst in den Aquiferen des Rheintals auftauchen.

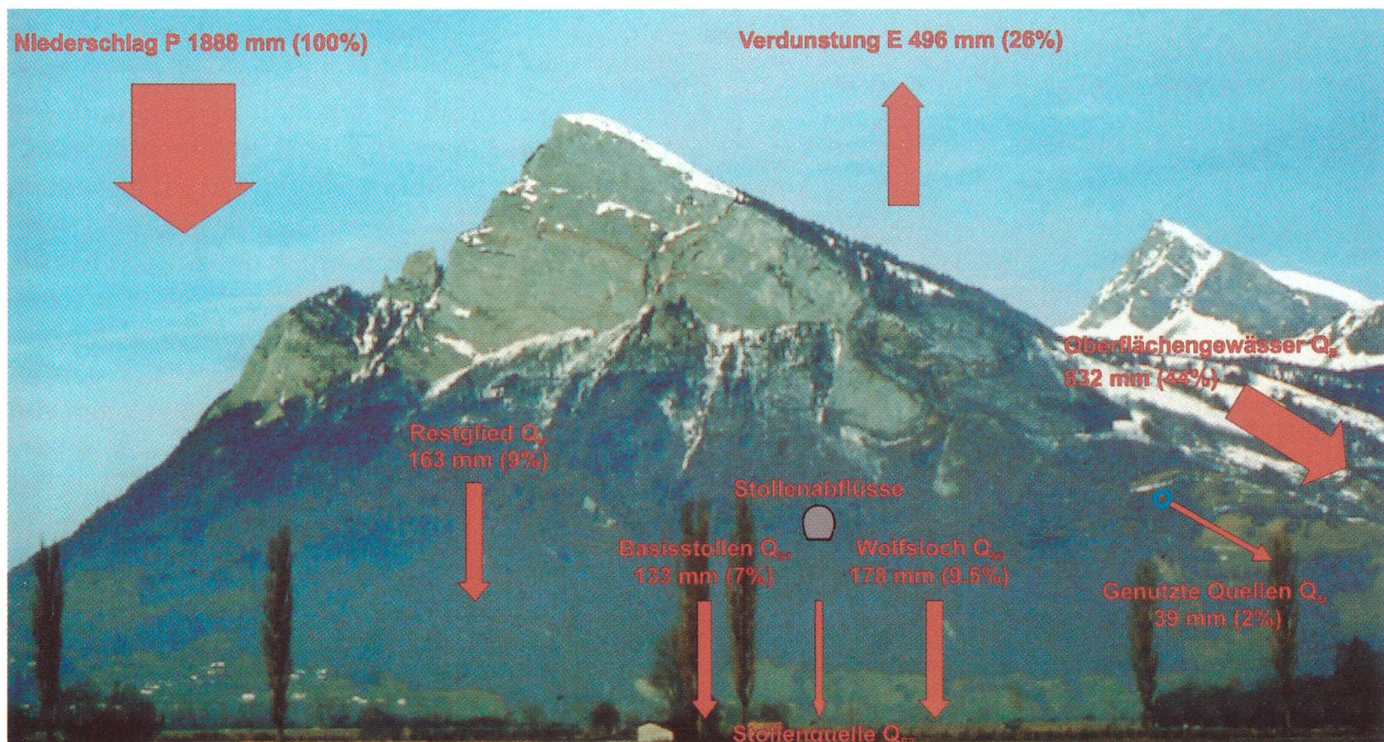
2.2 Hydrogeologische Beobachtungen in den Bergwerksstollen

Um die Wasserzirkulation im Bergesinnern und die Auswirkungen der Drainage durch die Abbauten und Stollen besser zu verstehen, werden die heutigen Beobachtungen im Eisenbergwerk Gonzen mit den zahlreichen Beschreibungen aus der Abbauzeit vergli-

Abbildung 8:

Wasserbilanz für das durch das bestehende Stollensystem erschlossene Gebiet.

Wasserbilanz: P (100 %) = E (26 %) + Q_B (44 %) + Q_{S1} (7 %) + Q_{S2} (2,5 %) + Q_{S3} (9,5 %) + Q_Q (2 %) + Q_U (9 %).



chen. Diesen Beschreibungen über die Wasserführung, welche aus den unpublizierten geologischen Gutachten von W. Epprecht stammen, liegen jahrzehntelange Beobachtungen und Erfahrungen beim Vortrieb zugrunde, welche heute im Gonzen nicht mehr gemacht werden können: *«Im Allgemeinen ist im Eisenbergwerk Gonzen wenig Wasser vorhanden. Grössere Wasservorkommen sind auf die Querverwerfungen beschränkt, welche in tieferen Teilen oft vollständig mit Wasser gefüllt sind. Beim Anfahren einer solchen Kluft erfolgte daher meist ein Wassereinbruch, wobei aber alle diese Einbrüche gutartig waren, da beim Bohren in der Regel zuerst mit dem Bohrer auf die Kluft gestossen wurde, worauf man das Wasser auslaufen lassen konnte. In*

der Regel war der Wassersack in wenigen Tagen, in tieferliegenden Gebieten allerdings erst nach Wochen ausgelaufen, wonach nur noch ein geringer, dauernder Nachfluss blieb.»

Wasserzirkulationswege im Gonzen

Das auf den Boden prasselnde Niederschlagswasser versickert im Boden oder fliesst entweder auf der Felsoberfläche oder in einem Bach ab. Meist ist die Oberfläche durch eine geringmächtige Lockergesteinschicht (Abschnitt 1.3) bedeckt. Auf den Abbildungen 2 und 3 ist ersichtlich, dass sich die Abbauten meist 200 bis 600 m unter der Erdoberfläche befinden. Im oberflächennahen Bereich stehen oft die Zementstein- oder die Palfries-Formationen an, welche wasserstauende tonige und mergelige Lagen beinhalten, darunter folgen die sehr reinen Malmkalke. An den aufgeschlossenen Malmkalken der Gonzenregion können weder Karrenfelder noch Dolinen beobachtet werden. Kalklösungserscheinungen und Hohlräume finden sich in den Bergwerksstollen nur entlang der grösseren Klüfte. Wie in Abschnitt 2.1 berechnet, erreicht rund 20% des Niederschlagswassers das Stollensystem und fliesst durch die Stollen ab.

Die meisten Abbauhallen und grosse Stollenteile erscheinen heute tropffrei und sind trocken. Die Wasserzirkulation beschränkt sich vor allem auf die grossen Bruchzonen (Abschnitt 1.2, Abbildung 9). Als stark wasserführend erweisen sich die grossen Klüfte, vor allem die Folla-, die Grube II-, die Nauswand- und die Fluhwand-Verwerfungen. Diese sind oft mit Lehm oder Calcit gefüllt, wobei die Calcit-Kristalle Kantenlängen von bis 90 Zentimeter erreichen.

Eine gewisse wasserstauende Wirkung hat auch der Erzhorizont, so dass vor allem im Muldenbereich Tropfstellen vorkommen können.

Reaktionszeit auf Schneeschmelze und Starkniederschläge

Die Wasserführung in den Bergwerksstollen reagiert deutlich auf Niederschläge und auf

Abbildung 9:
Wasserführende Felskluft (Typ «Kluftwasser»).



die Schneeschmelze. Die Datenreihe der Abflussmessungen ist für zuverlässige und wissenschaftlich fundierte neue Aussagen über die Reaktionszeit und die Abklingkurve nach der Schneeschmelze und nach Niederschlägen zu lückenhaft. Der Aufwand für diese Untersuchungen wäre unverhältnismässig gestiegen. Die unveröffentlichten Aussagen von W. Epprecht wurden durch die neuen Messungen und Beobachtungen jedoch bestätigt: *«Die Verbindung von der Oberfläche durch die Querverwerfungen in die tiefer liegenden Bergwerkteile ist z.T. ziemlich direkt, sodass oft schon ein Tag oder wenige Stunden nach einem schweren Gewitter eine Zunahme der Wasserführung zu bemerken ist. Meistens ist aber eine grössere Verzögerung von bis einer Woche festgestellt worden.»*

So stieg auch nach den Starkniederschlägen vom 26. September 1999 der Stollenabfluss am Basisstollenportal zwischen 14 und 18 Uhr innerhalb von nur vier Stunden von 1000 auf 4000 Liter pro Minute an!

Konsequenzen des Erzabbaus unter der Talsohle

Je weiter unten ein Stollen vorgetrieben wurde, um so tiefer wurden die Kluftsysteme entwässert. Das Anbohren grosser Klüfte unterstand immer besonderen Sicherheitsmassnahmen. Solange die Abbauten über dem Talsohlenniveau vorgetrieben wurden, konnte das anfallende Kluftwasser entlang der Stollen aus dem Berg geleitet werden.

Daher sind die Berichte über den Bau des Fluhwand-Gesenkes, welches in den Fünfzigerjahren bis 170 m unter das Talsohlenniveau erstellt wurde, von besonderem Interesse für die Hydrogeologie des Gonzen. Die Erfahrungen aus den überliegenden Gebieten wurden bestätigt, so dass keine Unfälle infolge von Wassereinbrüchen eintraten. Zur Abteufung des Gesenkes heisst es 1953 in den internen Berichten des damaligen Geschäftsführers Dr. E. Eugster *«Die Tragfähigkeit und Standfestigkeit ist gut und das Gesenk absolut trocken»* und zwei Jahre später,

als das Gesenk eine Länge von 300 Metern hatte und sich niveaumässig bereits 130 m unter der Rheinsohle befand: *«Ausser einem Wassereinbruch, der nicht gerade angenehm war, aber keine grösseren Schwierigkeiten verursachte, blieben wir von grossen Wassereinbrüchen verschont»*. 1956 war das Gesenk mit einer Gesamtlänge von 480 m fertiggestellt und reichte 170 Höhenmeter unter die Talsohle.

Speziell die Querung der wichtigsten Kluft im Gonzenbergwerk, der Fluhwand-Verwerfung, wurde 1958 mit den entsprechenden Vorsichtsmassnahmen, vorbereitet. Das Kluftwasser stand unter sehr hohem Druck und konnte in jenem Jahr mittels der Kleinbohrlöcher noch nicht vollständig entleert werden.

An der tiefsten Stelle des Fluhwand-Gesenkes wurde ein Pumpensumpf erstellt, welcher 2800 m³ Wasser fassen konnte. Zwei Pumpen mit einer Gesamtleistung von 6 m³/min pumpten das anfallende Wasser nachts in den Basisstollen, 1958 beispielsweise durchschnittlich 1200 bis 1300 m³ Wasser pro Nacht. Dies entspricht einem durchschnittlichen Wasseranfall im Gesenk von 850 l/min.

Nach der Betriebsschliessung und der Demontage der wichtigsten Gesenkinfrastruktur, wurden die Pumpen verkauft, so dass sich das Gesenk mit Wasser füllte. Bis zum Juni 1966 erhöhte sich der Wasserspiegel bereits um 50 m (370 m ü. M.), Ende 1967 war der Wasserstand bereits 10 m unter dem Basisstollenniveau (490 m ü. M.), welches er 1968 erreichte. Der Überlauf fliesst heute durch den Basisstollen aus dem Bergwerk.

Auswirkungen des Stollensystems

Bereits vor der Anlage des Stollensystems dürfte eine grössere Wassermenge in die Klüfte gelangt sein. Die Klüfte wurden jedoch nicht durch das Stollensystem drainiert, sondern das Kluftwasser dürfte aus den Klüften seitlich in das Lockermaterial und so indirekt über das Hangwasser oder direkt in die Rheinebene gelangt sein.

Die Anlage von Stollen und Abbaufeldern dürfte keine merkliche Veränderung des Wasserhaushaltes an der Erdoberfläche verursacht haben. So können heute auch verschiedene Feuchtgebiete und Fließgewässer über dem seit Jahrzehnten bestehenden Stollensystem beobachtet werden.

Die totale heute aus den Stollen austretende Wassermenge beträgt durchschnittlich rund 2500 l/min (Abschnitt 2.1) und kann während der Schneeschmelze und nach Starkniederschlägen 10 000 l/min übersteigen, wie am 22. Mai 1999 (Pfingsten). Das aus den Stollen fließende Wasser erfüllt in Bezug auf die Wasserchemie sogar die Trinkwasseranforderungen und wird in die Gewässer der Rheinebene geleitet.

2.3 Physikalische, chemische und mikrobiologische Eigenschaften des Stollenwassers

Um konkrete Angaben über den Zustand der chemischen Zusammensetzung der Stollenwässer zu erhalten, wurden zwischen August und November 1999 in monatlichen Ab-

ständen an 25 Stellen die Temperatur, die elektrische Leitfähigkeit, der pH-Wert und der Sauerstoffgehalt des Wassers bestimmt. Dabei konnten die Wassertypen «Kluftwasser» und «Tiefenwasser» unterschieden werden. Von beiden Wassertypen wurden Proben entnommen und chemisch analysiert.

Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Sauerstoffgehalt

Der Wassertyp «Kluftwasser» zeichnet sich durch Wassertemperaturen von 10,4 bis 12,4 °C, eine elektrische Leitfähigkeit von 382 bis 520 µS/cm, einen pH-Wert von 7,94 bis 8,36 und einen hohen Sauerstoffgehalt (>90 %) aus (Tabelle 5). Grundsätzlich handelt es sich beim Typ «Kluftwasser» um das junge Wasser, welches relativ schnell durch den Boden sickert, durch die Klüfte fließt und durch das Stollensystem drainiert wird (Abbildung 9). Für zuverlässige Aussagen über Zusammenhänge zwischen den physikalischen und chemischen Eigenschaften dieses Wassers einerseits und den Wetterfaktoren oder der Wassermenge andererseits ist die gesammelte Datenmenge zu knapp.

Der Wassertyp «Tiefenwasser» tritt vor allem hinter der Abschlussmauer am nördlichen Ende des Basisbahnhofs, im Fluhwand-Gesenk und im hinteren Teil des Montpertjörisstollens auf. Während an den ersten beiden Lokalitäten nur stehende Wasserproben analysiert werden können, welche wahrscheinlich mit Wasser vom Typ «Kluftwasser» in Kontakt kamen, befinden sich im hinteren Teil des Montpertjörisstollens mehrere kleine, isolierte Wasseraustrittsstellen knapp über der Stollensohle (Abbildung 10). Das Wasser, welches die Sohle mit den Geleisen oft auf der ganzen Stollenbreite überschwemmt, scheint nicht direkt aus größeren Klüften zu stammen und ist in der Stollensohle meist mit rotem Schlamm und Eisenbakterien bedeckt. Die austretende Wassermenge und die physikalisch-chemischen Eigenschaften scheinen ziemlich konstant zu sein. Auf Grund der knappen Datenlage können keine breit abgestützten Aussagen über

	«Kluft- wasser»	«Tiefen- wasser»	Misch- wasser
Temperatur [°C]	10,4–12,2	14,6–17,5	11,0–12,6
pH	7,94–8,36	7,10–7,36	7,99–8,30
Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]	382–520	603–973	401–529
Sauerstoffgehalt [%]	> 90	< 10	> 90

Tabelle 5:
Vergleich der Wassertypen.

die Beeinflussung der Wasseraustritte des Typs ‹Tiefenwasser› durch Wetterfaktoren gemacht werden. Auf alle Fälle scheinen die austretende Wassermenge und die chemische Zusammensetzung weder auf Niederschläge noch auf die Schneeschmelze schnell zu reagieren. Die austretende Wassermenge scheint mit sinkendem Luftdruck zuzunehmen. Das Wasser hat eine Temperatur von 14,6 bis 17,5 °C, eine elektrische Leitfähigkeit von 603 bis 973 $\mu\text{S}/\text{cm}$, einen pH-Wert von 7,10 bis 7,36 und einen tiefen Sauerstoffgehalt.

Im Bereich des Basisstollens vereinigen sich die Stollen und somit auch die Wasserläufe. Da der überwiegende Anteil des aus dem Basisstollen fließenden Wassers aus ‹Kluftwasser› besteht, gleicht das Mischwasser diesem bedeutend stärker.

Die Erwärmung, bzw. Abkühlung des aus dem Basisstollen fließenden Wassers zwischen Basisstollenbahnhof und Stollenportal hängt mit der natürlichen Bewetterung zusammen: Im Gonzenbergwerk schwankt die Temperatur im Jahresverlauf nur um wenige

Grad Celsius im Bereich von 12 bis 14 °C. An warmen Sommertagen ist es im Bergwerk kühler als übertage. Die kühlere Stollenluft ist schwerer als die warme Aussenluft, so dass die Luft im Bergwerk sinkt und aus dem Basisstollen strömt. An den höher gelegenen Grubeneingängen in der Gonzenwand wird warme Aussenluft nachgesogen, welche sich dann im Berg abkühlt. Bis die Luft im Bereich des Stollenbahnhofs ist, hat sie sich auf der mehreren Kilometer langen Reise durch das Stollensystem auf die Bergwerkstemperatur von ca. 13 °C abgekühlt, so dass sich das Stollenwasser entlang dem über 1700 m langen Basisstollen nur um ca. 0,5 °C erwärmt (von 12,2 auf 12,6 °C am 25. August 1999). Ist die Aussentemperatur hingegen kühler als die Bergwerkstemperatur (Winter), ist die Stollenluft wärmer und leichter. In diesem Fall steigt die Luft im Berg und kalte Aussenluft wird durch den Basisstollen nachgesogen. Dabei kann sehr kalte Luft auf das

Abbildung 10:
Wasseraufstoss im Montperjörisstollen
(Typ ‹Tiefenwasser›). Die Breite des
Bildausschnittes beträgt ca. 0,6 m.



Stollenwasser treffen und dieses im Basisstollen um mehr als 2,5 °C abkühlen (von 13,0 auf 10,5 °C am 19.11.99 bei einer Ausstemperatur von unter 0 °C).

Chemische Wasseranalysen

Vom Mischwasser beim Dreiecksüberfall am Portal des Basisstollens und von Wasser des Typs <Tiefenwasser> aus dem Montpertjörisstollen wurden Proben entnommen und chemisch analysiert. Da die klare und wenig ergiebige Quelle im Montpertjörisstollen nur wenige Zentimeter über dem <Stollenwasserspiegel> aus der Felswand tritt, wurde die Probe mit einer Spritze entnommen (Abbildung 10).

Die chemische Analyse (Tabelle 6) zeigt beim Typ <Tiefenwasser> eine um über 30 % erhöhte Mineralisation. Namentlich treten signifikant höhere Konzentrationen von Bi-

carbonat-, Natrium- und Chlorid-Ionen, sowie höhere Anteile an Magnesium- und Sulfat-Ionen auf. Ferner wurden Sulfide und Schwefelwasserstoff nur im Montpertjörisstollen festgestellt. Die Anteile an gelöstem Kohlenstoff und an organischen Komponenten sind an beiden Messstellen klein.

Isotopenanalysen

Bei der Wasserprobe aus dem Montpertjörisstollen ist auch die Herkunft des Wassers von grossem Interesse. Auf Grund der Tritium- und Sauerstoff-¹⁸O-Analysen hat das Wasser im Montpertjörisstollen ein Alter von ein bis vier Jahren und versickert auf 1000 bis 1200 m Meereshöhe. Da die Wasseraustrittsstellen mit den Methan- und Schwefelwasserstoffaustritten anscheinend zusammenhängen, wird die Herkunft der <Tiefenwasser> in Kapitel 4 detaillierter diskutiert.

Vom Wasser des Typs <Kluftwasser> wurde keine Isotopenanalyse angefertigt, da auf Grund der starken Reaktion auf Niederschläge und Schneeschmelze angenommen werden muss, dass ein grosser Teil dieses Wassers höchstens wenige Tage unterwegs ist.

Mikrobiologie

Das durch die unterirdischen Wasserfälle gut belüftete und stark bewegte <Kluftwasser> ist klar bis leicht getrübt und praktisch keimfrei. Im Gegensatz dazu schwimmt auf dem meist nur langsam fliessenden, sauerstoffarmen <Tiefenwasser> oft eine rostrote gallertartige Masse (Abbildung 10). 1994 untersuchte H. Conrad eine solche <Schlamm>-Probe aus dem Fluhwandgesenk mikrobiologisch. Nach CONRAD (1994) kommen vor allem die Eisenbakterien *Galionella ferruginea* und *Leptothrix ochraceae* vor. Durch die Tätigkeit dieser Bakterien wird zweiwertiges Eisen zu dreiwertigem oxidiert. *Leptothrix* bauen aus dem entstehenden Limonit (Eisenhydroxid FeOOH) Roströhrchen auf, welche einen grossen Anteil an der rostroten Masse ausmachen.

	<Kluftwasser>	<Tiefenwasser>
Gesamthärte (frz. H°)	29,3	24,6
Carbonathärte (frz. H°)	26,4	19,5
Nichtcarbonathärte (frz. H°)	2,9	5,1
Calciumhärte (frz. H°)	20,4	18,7
Calcium Ca ²⁺ (mg/l)	81,7	75,1
Magnesium Mg ²⁺ (mg/l)	21,6	14,4
Strontium Sr ²⁺ (mg/l)	1,1	0,8
Natrium Na ⁺ (mg/l)	22,1	8,6
Kalium K ⁺ (mg/l)	1,0	0,6
Lithium Li ⁺ (mg/l)	0,066	0,026
Eisen Fe ²⁺ (mg/l)	0,27	0,30
Mangan Mn ⁴⁺ (mg/l)	0,1	nn(<0,005)
Ammonium NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,06	0,01
Bicarbonat HCO ₃ ⁻ (mg/l)	322,2	238
Sulfat SO ₄ ²⁻ (mg/l)	58,8	44,6
Chlorid Cl ⁻ (mg/l)	5,0	1,9
Kieselsäure/Silikat SiO ₂ (mg/l)	6,18	4,45
Sulfide (mg/l)	0,20	nn(<0,01)
Schwefelwasserstoff H ₂ S (mg/l)	0,21	nn(<0,01)
Gesamtmineralisation (mg/l)	522,1	391,2

Tabelle 6:
Chemische Analysen der Wassertypen
<Kluftwasser> und <Tiefenwasser>.

Eine massgebende Beeinflussung von Temperatur, pH-Wert oder Sauerstoffgehalt des Wassers (Typ <Tiefenwasser>) dürfte durch diese Bakterientätigkeit jedoch nicht stattfinden. Insbesondere konnten an den wenigen Stellen, wo dieses Wasser nur wenige Zentimeter über der Stollensohle direkt aus dem Fels rinnt und kaum rostroter Schlamm auftritt, keine signifikant abweichenden Wassereigenschaften festgestellt werden.

3. Stollenluftuntersuchungen und Grubengase

Da auch die Themen Grubengase und natürliche Bewetterung (<Belüftung>) eng mit der Klüftung des Gesteins verbunden sind, wurden auch zu diesen Themen die Archive aufgearbeitet und neue Analysen durchgeführt.

3.1 Explosive Grubengase

Bis 1963 gab es im Gonzen keine Probleme mit explosiven Grubengasen, dienten doch bis wenige Jahre davor Karbidlampen als Lichtquelle der Bergleute. Am 3. April 1963 wurde im Gonzenbergwerk eine Grubengasfalle angesprengt, wobei sich das austretende Grubengas entzündete. Diese Schlagwetterexplosion schilderte Epprecht im unpublizierten Schlussbericht folgendermassen: *Bei einer normalen Sprengung im Stollenvortrieb entwickelte sich eine sehr grosse Stichflamme, welche überhaupt erst auf die Anwesenheit von Gas aufmerksam machte. Das austretende Gas bestand aus 80–85 % Methan, sowie Stickstoff. In merklichen Mengen tritt auch Schwefelwasserstoff (H_2S) auf. Die Fundstelle befindet sich in der Nähe der Fluhwand-Verwerfung und zeigt eine leicht offenstehende, fast senkrechte Kluft, vermutlich eine Nebenkluft der Fluhwand-Verwerfung*. Der Vorfall hatte Konsequenzen auf den Betrieb und die Sicherheitseinrichtungen im Bergwerk.

Die Gasaustrittsstelle wurde abgedichtet

und das Grubengas gefasst. Nachdem auch das Ventilationssystem angepasst war, konnte der Betrieb untertage nach zehn Tagen in reduziertem Umfang wieder aufgenommen werden. Es wurde eine Gasabsauganlage installiert, das Grubengas in einer 4,5 km langen Rohrleitung durch den Basisstollen aus dem Berg geführt und auf einem Stahlgerüst abgefackelt. Die Messungen und Beobachtungen ergaben, dass die Stärke der Gasaustritte bei sinkendem Barometerstand zunahm und bei sehr hohem Barometerstand aufhörte. An der Hauptaustrittsstelle wurden maximal rund 3000 m³ Erdgas pro Tag gemessen (EPPRECHT & AMBERG 1963). 1965 war die Gasabsauganlage noch ganzjährig in Betrieb. Im Oktober 1966 wurde hinter dem Basisbahnhof eine Gasabdichtungsmauer erstellt.

Nach diesem folgenschweren Gasaustritt wurde sofort nach weiteren Gasaustrittsstellen gesucht. Dabei fand man an zwei weiteren Stellen, ebenfalls im Bereich der Fluhwand-Verwerfung (Abbildung 11), Spuren von Gas. Der Geruch von Schwefelwasserstoff war den Bergleuten schon vorher aufgefallen, wurde jedoch mit der in diesen Bereichen erhöhten Anwesenheit von Pyrit in Verbindung gebracht.

Seit der Erstellung der Abdichtungsmauer konnten in den Stollen des Eisenbergwerkes Gonzen keine gefährlichen Methangaskonzentrationen mehr festgestellt werden. Die Gasabdichtungsmauer hat Bergwasser aufgestaut. 1986 wurde diese Mauer durchbohrt und deren Zustand kontrolliert. Der 1,6 m breite Raum zwischen zwei je 30 Zentimeter starken Zementsteinmauern ist mit einer Geröllpackung verfüllt. Bei dieser Kontrolle konnte der gute optische Eindruck der Mauer bestätigt werden. Zur Überwachung des Wasserdruckes wurde ein Kontrollhahn mit Manometer installiert (Wasserdruck etwa 1,5–3,5 m Wassersäule = etwa 15–35 kPa) und die Mauer mit Spritzbeton verstärkt. Der Zustand wird weiterhin regelmässig kontrolliert, was entsprechende Sicherheit garantiert.

3.2 Zusammensetzung der Stollenluft

Die Stolleneingänge der Grube I (1370 und 1250 m ü. M.), der Naussohle (1000 m ü. M.), der Wolfslochsohle (645 m ü. M.) und des Basisstollens (490 m ü. M.) sind durch das Stollensystem miteinander vernetzt und garantieren so eine gute natürliche Bewetterung (mit dem Begriff Wetter bezeichnet der Bergmann die Stollenluft). Bei instabilen Luftdruckverhältnissen und bei Föhn musste die Wetterführung während der Abbauzeit manchmal gar durch Wettertüren eingeschränkt werden. Blind endende Stollen und Abbauten, welche nicht direkt mit den Hauptwetterstollen verbunden sind, wurden künstlich bewettert.

Neue Luftanalysen aus dem Bereich des Basisbahnhofs bestätigen, dass in den gut bewetterten Bereichen des Gonzenbergwerkes die Luft gleich zusammengesetzt ist, wie die Aussenluft. Die Bergwerksführungen werden ausschliesslich auf gut bewetterten Bereichen durchgeführt, so dass die Besucherinnen und Besucher einwandfreie Stollenluft einatmen können. In Blindstollen und

in absenkenden Grubenteilen muss wegen der fehlenden Luftzirkulation jedoch grundsätzlich mit lebensgefährlichen Kohlendioxidkonzentrationen gerechnet werden.

Der Montpertjörisstollen ist ein über 1,1 Kilometer langer Blindstollen, welcher künstlich bewettert werden musste. Schon wenige Wochen nach dem Abstellen der Ventilationsanlagen wurde dort eine starke Zunahme des Kohlendioxidgehaltes festgestellt. Der Kohlendioxidgehalt war bereits so hoch, dass der Stollen nicht mehr betreten werden durfte. Zwischen August und November 1999 wurden an 17 Stellen im Montpertjörisstollen der Sauerstoff- und der Methangasgehalt der Stollenluft mehrmals mit einem Handmessgerät bestimmt (Tabelle 7). Der Sauerstoffgehalt der Luft reagiert deutlich auf den Luftdruck (Tabellen 7 und 8): Je tiefer der Luftdruck ist, um so tiefer ist der Sauerstoffgehalt in der Stollenluft. An zwei Drucklagen, an denen der Druckunterschied 20 hPa betrug, wurden Luftproben aus dem hintersten Teil des Stollens entnommen und analysiert (Tabelle 8). Die Luftanalysen zeigen, dass die Luft im Montpertjörisstollen deutlich ärmer an Sauerstoff und signifikant reicher an Kohlendioxid ist. Der Sauerstoffgehalt sinkt, bzw. der Kohlendioxidgehalt steigt mit sinkendem Luftdruck.

Der Methangasgehalt liegt unter 0,01% und stellt keine Gefahr für den Aufenthalt im Stollensystem dar. Wenn die Stollenluft infolge des Auftretens von brennbaren Gasen (Methan CH_4 und höhere Kohlenwasserstoffe) explosive Eigenschaften besitzt, wird auch von Schlagwetter gesprochen. Methan zeigt Explosionsgefahr bei einem Mischungsverhältnis von 5 bis 14 Prozent in Luft.

Vor allem während Tiefdrucklagen ist im Bereich des Fluhwandgesenkes und im Montpertjörisstollen der markante <Geruch> von Schwefelwasserstoff (bekannt von <faulenden Eiern>) bemerkbar. Die Konzentration von Schwefelwasserstoff lag jedoch durchwegs unter der Nachweisgrenze der



Abbildung 11:
Gasfassung im Montpertjörisstollen.

Dräger-Röhrchen von 1 ppm (1,42 Milligramm Schwefelwasserstoff pro Kubikmeter Luft). Die maximal zugelassene Arbeitsplatzkonzentration beträgt 10 ppm Schwefelwasserstoff.

Die Lufttemperatur steigt im Montpertjörisstollen analog der nach hinten ansteigenden Wassertemperaturen gegen 17 °C an. Die Lufttemperaturen und die Luftzusammensetzung im Montpertjörisstollen dürfte hauptsächlich mit den Wasser- und Gasauftößen nordöstlich der Fluhwand-Verwerfung und nur stark untergeordnet mit der regen Bakterientätigkeit in jenem Gebiet zusammenhängen (CONRAD, 1994).

Signifikant nehmen im Montpertjörisstollen die Temperatur und der Sauerstoffanteil der Stollenluft erst hinter der Fluhwand-Verwerfung ab (Tabelle 8). Die Klüfte des Fluhwand-Systems sind im Montpertjörisstollen jedoch keineswegs weit offen. Im Gegenteil, sie scheinen relativ gut durch Lehm und Calcit verfüllt und nur wenig wasserführend zu sein. Dies belegt, dass im Gonzen auch die grossen Kluftsysteme bei der natürlichen Frischluftversorgung von abgelegenen Stollenteilen eine nicht unbedeutende Rolle spielen. Dazu müssen diese nicht als grosse Hohlklüfte ausgebildet sein.

4. Herkunft des «Tiefenwassers» und der Grubengase

Von den drei Gasaustrittsstellen ist heute nur noch die Stelle im Montpertjörisstollen begehbar. Die Gasfassung befindet sich im Gebiet, wo ebenfalls viele Wasserauftöße mit temperiertem, stärker mineralisiertem Wasser (Typ «Tiefenwasser») beobachtet werden können (Abschnitt 2.3). Auffälligerweise befinden sich diese Stellen jedoch in einiger Entfernung hinter der Fluhwand-Verwerfung.

Tektonisch dürften wir uns im Falten-scheitel der mit 20–30° nach Nordosten einfallenden Gonzen-Antiklinalen (Abbildung 3) befinden, welche zusammen mit der

nach Südwesten abdichtenden Fluhwand-Verwerfung als Gasfalle in Frage kommt. An wenigen undichten Stellen könnten Grubengase in die Fluhwand-Kluft gelangt und weitgehend entwichen sein. So könnte auch die Beobachtung von W. Epprecht erklärt werden, wonach er an der Erdoberfläche im Ausbissgebiet der Fluhwandverwerfung in der Nähe des Trübbaches eine offene Spalte gefunden hat, in welcher er Methan nachweisen konnte.

Über die Herkunft der Gase können keine fundierten Aussagen gemacht werden. Die einzigen Anhaltspunkte liefern die Eigenschaften der ausströmenden Gase und des

	12.11.99	15.11.99	19.11.99
Stollenbahnhof	20,9%	20,5%	20,4%
Alimak-Schacht M105	20,5%	20,4%	19,1%
Montpertjörisbahnhof M200	19,6%	18,9%	17,7%
M400	19,4%	18,9%	18,0%
Fluhwandkluft M725	18,5%	18,0%	17,0%
M815	18,3%	16,8%	14,7%
Ende Wasserauftöße M950	18,3%	16,8%	14,5%
Letzte Kurve M1070	18,3%	16,2%	13,8%
Luftdruck	970	963	951

Tabelle 7:
Sauerstoffanteil in der Stollenluft
des Montpertjörisstollens (Blindstollen)
bei verschiedenen Luftdrucklagen.

	26.11.91	12.11.99	19.11.99	Luft
Stickstoff	80,4%	77,2%	76,9%	78,08%
Sauerstoff	15,6%	20,1%	19,4%	20,95%
Kohlendioxid	2,42%	0,2%	0,4%	0,035%
Kohlenmonoxid	–	<15 ppm	<15 ppm	–
Methan	0,0034%	0,0077%	0,0084%	–
Wasserstoff	–	<2	<2	–
Schwefelwasserstoff	nicht nachweisbar			
Luftdruck	–	970	951	1013

Tabelle 8:
Luftzusammensetzung im Montpertjörisstollen (Blindstollen) bei verschiedenen Luftdrucklagen im Vergleich mit Aussenluft.

aufstossenden Wassers. Die um 5 bis 6 °C erhöhte Temperatur weist auf Herkunftstiefen von über 200 m. Unterhalb 200 bis 400 m unter dem Montpertjörisstollen befinden sich die Eisensandsteine der Bommerstein-Serie (Dogger/mittlerer Jura, Abbildung 3), welche als Sulfid- und Schwefelwasserstoff-Quellen in Frage kommen. Das Alter (ein bis vier Jahre), die relativ schwache Mineralisation und die Austrittstemperatur des Wassers stützen diese Vermutung. Ein längerer Kontakt des aufstossenden Wassers mit Triasgesteinen erscheint auf Grund der relativ tiefen Sulfat- und Magnesiumionen-Konzentrationen eher unwahrscheinlich.

Das Methangas hingegen könnte aus viel grösseren Tiefen, aus dem unter den helvetischen Decken liegenden Tertiär (Molasse/Flysch), stammen und in Poren und entlang von Schwächezonen (Überschiebungen und Klüfte) in die Gasfalle gelangt sein.

5. Schlussbemerkungen

Der unbefugte Zutritt zum Stollensystem des Gonzenbergwerkes ist amtlich verboten. Daher danken wir der Eisenbergwerk Gonzen AG (W. Eugster) und dem Verein Pro Gonzenbergwerk herzlich für die Ermöglichung und die Unterstützung der Untersuchungen. Dem unermüdlichen H. Eggenberger danken wir für die vielen Wasserabflussmessungen. H. Eggenberger und R. Frick haben uns auch auf unseren wissenschaftlichen Stollenbesuchen geduldig und kritisch begleitet. Den beiden Geologiestudenten R. Blum und R. Hug danken wir für die Mithilfe und die Diskussionen bei der Konstruktion der neuen geologischen Profile (Abbildung 2 und 3). Die Ortsgemeinde Wartau (H. Senn) und die Dorfkorporation Trübbach (H. Reich) halfen uns bei der Ermittlung der Quelldaten. H. Conrad danken wir für die biochemischen und bakteriologischen Diskussionen.

Literaturverzeichnis

- BAUMGARTNER, A., REICHEL, E. & WEBER, G. (1983): Der Wasserhaushalt der Alpen. – R. Oldenburg, München und Wien.
- CONRAD, H. (1994): Die kleinsten Bergmännchen der Welt von Sargans bis Baberton. – *Terra plana* 94/2, 23–30.
- EPPRECHT, W. (1946): Die Eisen- und Manganerze des Gonzen. – *Beitr. Geol. Schweiz. Geotech. Ser.* 24. L., 128 S.
- EPPRECHT, W. & AMBERG, R. (1963): Zum Vorkommen von Erdgas im Eisenbergwerk Gonzen, Sargans. – *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing.*, Vol. 30, Nr. 78: 12–14.
- HUGGER, P. (1991): Der Gonzen. – Hrsg. Eisenbergwerk Gonzen AG, Sargans.
- IMPER, D. (1996): Gesteine, Rohstoffgewinnung und Steinverarbeitung im Sarganserland. – *Minaria Helvetica*, 16a, 60 S.
- IMPER, D. (1997): Die Bergwerksstollen im Gonzen (Sargans SG, Schweiz) als Spiegel der Bergbaugeschichte. – *Proceedings of the 12th International Congress of Speology*, Vol. 3: 229–232.
- IMPER, D. (1998): Das Eisenbergwerk Gonzen bei Sargans. – *Der Anschnitt* 50, 4/1998: 154–166.
- KIRCHHOFFER, W. & SEVRUK, B. (1992): Mittlere jährliche korrigierte Niederschlagshöhen 1951–1980. – *Hydrologischer Atlas der Schweiz*, Taf. 2.2, EDMZ, Bern.
- PFEIFER, H.-R., OBERHÄNSLI, H. & EPPRECHT, W. (1988): Geochemical evidence for a synsedimentary origin of of jurassic iron-manganese deposits at Gonzen (Sargans, Helvetic Alps, Switzerland). – *Marine Geology* 84: 257–272.
- SEVRUK, B. & KIRCHHOFFER, W. (1992): Mittlere jährliche Korrekturen der gemessenen Niederschlagshöhen 1951–1980. – *Hydrologischer Atlas der Schweiz*, Taf. 2.3, EDMZ, Bern.