

## *Exkursionsbericht*

# **HYDROGEOLOGIE** **MITTELEUROPA 2001**

Durchgeführt vom 06.08.01 bis 15.08.01

Bearbeiter: Jörg Simon; Mat-Nr. 39821; Bergakademie Freiberg

Betreuer: Prof. Dr. Broder Merkel

## ***Inhaltsverzeichnis***

	<i>Seite</i>
1     Einleitung	4
2     Wasserversorgung Stuttgart (06.08.01)	5
2.1     Hydrogeologie Schwäbische Alb	
2.2     Wasserwerk Langenau	
2.3     Blautopf in Blaubeuren	
3     Universität Stuttgart (07.08.01)	7
3.1     VEGAS	
3.2     Rheinfall von Schaffhausen	
4     ETH Zürich -Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (08.08.01)	8
4.1     Glaziologie	
4.2     Hydrologie / Wasserbau	
5     Rund um den Grimselpass (09.08.01)	9
5.1     NAGRA- Felslabor	
5.2     Aareschlucht	
5.3     Rhone Gletscher	
6     Mögliches Endlager und Sondermülldeponie (10.08.01)	12
6.1     Wellenberg	
6.2     Geologieparcours	
6.3     Sondermülldeponie Köllikon	
7     Montafon (11.08.01)	14
7.1     Archäologische Ausgrabung	
7.2     Historischer Bergbau	
7.3     Hydrogeologie des Montafon	
7.4     Lünerseewerk	
7.5     Hochwasserereignisse in Bartholomäberg	
8     Ötztal (12.08.01)	16
8.1     Ötztal	
8.2     Vernagtegg / Vernagtferner	

9	Vernagtferner- Forschungsstation (13.08.01)	18
9.1	Forschungsstation	
9.2	Vernagtferner	
10	Innsbruck und Brixlegg (14.08.01)	21
10.1	Wasserversorgung Innsbruck	
10.2	Montanwerke Brixlegg	
10.3	Bergbau Kogl	
10.4	Tracerversuch	
11	Literaturverzeichnis	24
12	Abbildungsverzeichnis	24

## ***1 Einleitung***

Dieser Bericht soll einen kleinen Einblick in das vielfältige Programm der Exkursion „Hydrogeologie von Mitteleuropa“ geben. Durch den Exkursionsleiter Prof. Dr. Broder Merkel wurden den 14 Studenten des 6. und 8. Semesters die verschiedenen Facetten der Hydrogeologie nahe gebracht. Die Exkursion führte durch den süddeutschen Raum, durch die Schweiz und letztendlich nach Österreich. Die Programmpunkte reichten von Wasserwerken, über Versuchsanstalten verschiedener Universitäten und Forschungsstationen bis hin zu Gletschern und einer Sondermülldeponie. Schon diese wenigen Punkte belegen, daß besonderen Wert auf die angewandten Aspekte der Hydrologie gelegt wurde.

An dieser Stelle gilt es noch einen Dank an all diejenigen zu richten, die im Laufe der zehn Tage uns ihre Arbeitsfelder näher gebracht haben. Besonderen Dank auch für die freundliche Bewirtung und nicht zuletzt an Prof. Dr. Broder Merkel für die Vorbereitung dieser Exkursion.



**Abb. 1 Die Teilnehmer der Exkursion**

## **2     *Wasserversorgung Stuttgart (06.08.01)***

### **2.1     *Hydrogeologie Schwäbische Alb***

Bei der Fahrt Richtung Ulm überquerten wir bei Ansbach eine europäische Wasserscheide. Diese trennt die Einzugsgebiete des Rheins, der nach Norden entwässert, und der Donau, die nach Süden entwässert.

Die Grundwässer der Schwäbischen Alb stammen aus dem Karst. Die verkarsteten Gesteine sind die Kalke, die sich im Weißen Jura in einem Meer bildeten. Gegen Ende des Jura trat eine Hebung des Gebietes ein. Während der Kreide war das Gebiet Festland. Durch die Heraushebung der Alpen im Tertiär wurde die Schwäbische Alb gekippt und teilweise von Molasse überlagert. Deshalb handelt es sich im nördlichen Teil um einen unbedeckten Grundwasserleiter. Weiter südlich wird der Jura von den tertiären Molasseschichten und quartären Schottern überlagert, so daß es sich um einen bedeckten Karstgrundwasserleiter handelt.

Die im nachfolgenden Abschnitt behandelten Wasserwerke der Landeswasserversorgung nutzen dieses Karstgrundwasser und die abdeckenden Kiesschichten zur Versorgung des Großraums Stuttgart, der aufgrund der geologischen Voraussetzungen nicht selbst Trinkwasser bereitstellen kann.

### **2.2     *Wasserwerk Langenau***

Die Landeswasserversorgung wurde 1912 aufgrund des stetig steigenden Wasserverbrauchs gegründet. Heute gewinnen sie ihr Wasser aus vier verschiedenen Vorkommen. Das genutzte Grundwasser stammt aus dem Donauried (Niederstotzingen und Langenau), der Buchbrunnenquelle (Egauwasserwerk) und dem Tiefenkarst (Wasserwerk Burgberg) (Abb.2). Ein Teil der Jahresabgabe stellt aber auch aufbereitetes Flußwasser der Donau dar. Das geförderte Wasser versorgt v.a. den Großraum Stuttgart, daneben aber auch Städte wie Ulm, Aalen und Ludwigsburg.

Die 2000 l/s Grundwasser aus dem Donauried werden durch 217 Vertikalfilterbrunnen gefördert. Durch lange Fließzeiten und ausgebildete Deckschichten stellen die Brunnen ein reines Trinkwasser zur Verfügung, dass i.d.R. nicht behandelt werden muss. Das Egauwasserwerk nutzt die Buchbrunnenquelle, die ca. 800 l/s schüttet. Das mit relativ hoher Geschwindigkeit zur Quelle fließende Wasser muss aufbereitet werden. Dazu werden die Verfahrensschritte Flockung, Ozonbegasung, Filtration und Aktivkohlefilterung eingesetzt. Das Wasserwerk Burgberg fördert maximal 500 l/s aus 50m Tiefe. Durch die lange Verweilzeit ist die Wasserqualität außerordentlich gut.

Um auch zu Spitzenzeiten den Wasserbedarf decken zu können, wird Oberflächenwasser aus der Donau gewonnen und im Wasserwerk Langenau aufbereitet. Nach einer Vorreinigung stehen eine biologische Aufbereitungsstufe, die Ozonung, die Flockungsfiltration und eine Aktivkohlefilterung zur Verfügung. Zur Verbesserung der Wasserqualität wird in Langenau und im Egauwasserwerk eine Entcarbonatisierung durchgeführt. Nach einer abschließenden Chlorung wird das Wasser mit dem Grundwasser vermischt. Es können bis zu 2.300 l/s bereitgestellt werden. Abschließend ist aber festzuhalten, dass die Trinkwassergewinnung aus Grundwasser i.d.R. besser ist, weil sich trotz aufwendiger Reinigungsmaßnahmen nicht alle Schadstoffe aus dem Flusswasser restlos entfernen lassen.



Abb. 2 Wassereinzugs- und Versorgungsgebiete der LW (aus: „Trinkwasser für heute und morgen“)

### 2.3 Blautopf in Blaubeuren

Der Blautopf ist die größte Karstquelle der Schwäbischen Alb und Ursprung des Fließchens Blau. Die Farbe des 21m tiefen Quelltopfes stammt von der Eigenfarbe des Wassers. Das Einzugsgebiet ist etwa 165km<sup>2</sup> groß, doch durch die Verkarstung vergehen vom Eintritt des Wasser auf der Albhochfläche bis zum Austritt nur wenige Tage. Durch den hydrostatischen Druck wird das Wasser hier am Südrand der Schwäbischen Alb herausgepresst.

Die Ausflussmenge beträgt im Mittel 2,3 m<sup>3</sup>/s, schwankt aber im Jahresverlauf und mit der Witterung von 0,25 m<sup>3</sup>/s (Trockenzeit) bis zu 32,6 m<sup>3</sup>/s (Schneesmelze bzw. Starkregenereignis).

### **3     *Universität Stuttgart (07.08.01)***

#### **3.1     *VEGAS***

VEGAS ist die Abkürzung für die „Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung“ an der Universität Stuttgart. Sie steht Forschungseinrichtungen und der freien Wirtschaft zur Verfügung. In der Versuchshalle befindet sich als zentrales Element ein Großbehälter mit 750 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen. Weiterhin sind eine große Versuchsrinne, zwei mobile rechteckige Behälter, ein zylindrischer Behälter und eine kleine Versuchsrinne vorhanden. Ein Labor sowie Werkstätten können ebenfalls genutzt werden. Gegenüber kleineren Modelltrögen können in VEGAS naturnahe Untergrundverhältnisse simuliert werden.

Die Ziele der Forschungseinrichtung sind sowohl praxisorientiert (in situ- Sanierung, Entwicklung von Meß- und Erkundungstechnik, Altlastenbehandlung) als auch auf dem Gebiet der Wissenschaft (Verständnis vom Verhalten der Schadstoffe im Boden, Untersuchungen zum Upscaling und dem Übertragen von Meßergebnissen) angesiedelt. Die Idee von VEGAS besteht darin, die Ergebnisse der Forschung und Entwicklung schnellstmöglich auch zur Anwendung zu bringen. Hierbei sind vor allem neue effiziente, kostengünstige und umweltgerechte Verfahren gefragt.

Auf dem Gebiet der In-situ- Schadstoffextraktion und –umwandlung wird in VEGAS besonders geforscht. Dabei werden Verfahren mit Spüllösungen, mikrobiologische und thermische Methoden erprobt. Im allgemeinen ist zu sagen, daß es kein optimales Verfahren für alle Schadensfälle gibt, sondern daß je Kontamination, Bodenbeschaffenheit und Bodenchemie die bestmögliche Lösung gefunden werden muß. Weitere Forschungsgebiete sind: Einbau von Barrieren zur Sicherung (permeable Wände, Sorptionsbarrieren, Injektionen), Schadstoffkontrolle (Monitoring, Prioritätensetzung, natürliches Selbstreinigungsvermögen) und Flächenrecycling.

Nach der erfolgreicher Forschung sollte dann die Markteinführung stehen. Dies kann natürlich nur in enger Kooperation mit der Industrie erfolgen.

#### **3.2     *Rheinfall von Schaffhausen***

In der Nähe von Schaffhausen stürzt der Rhein auf 150m Breite 23m in die Tiefe (Abb.3). An dieser Stelle besitzt der Rhein im Sommer einen durchschnittlichen Durchfluss von 600m<sup>3</sup>/s und im Winter 250m<sup>3</sup>/s.

Der Wasserfall entstand durch die mehrfache Verlegung des Flussbettes während der letzten Eiszeiten. Bis zum Beginn der Risseiszeit floss der Rhein von Schaffhausen in westlicher Richtung. Dieses frühere Rheintal füllten die Alpenschotter wieder auf. Die risszeitliche Rheinrinne wurde nach Süden abgelenkt. Während der Würmeiszeit wurde der Rhein in weitem Bogen gegen Süden abgedrängt und erreichte sein heutiges Bett. So entstand vor etwa 15.000 Jahren beim Übergang von den harten Malmkalken zu der risszeitlichen Schotterrinne der Rheinfall.





Abb. 3 Rheinfall von Schaffhausen

## **4     *ETH Zürich – Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (08.08.01)***

### **4.1     *Glaziologie***

Im Bereich der Glaziologie beschäftigt sich die Versuchsanstalt der ETH Zürich vor allem mit der Grundlagenforschung. Zur Zeit laufen verschiedene Projekte über Beschleunigungsphasen der Gletscher, Firntemperaturen und subglaziale Kanäle.

Am Haut- und Unteraar- Gletscher werden kurze Beschleunigungsphasen der Gletscher untersucht. Diese mehrere Tage andauernden Ereignisse beschleunigen den Gletscher von 2 cm/d auf ca. 10 cm/d. Durch Aufzeichnungen des Wasserdrucks, durch in das Gletschereis eingebaute Neigungs- und Gleitungsfühler sowie durch Erfassung der Festigkeiten der unterlagernden Sedimente soll dieses Phänomen erforscht werden. Bisherige Ergebnisse deuten darauf hin, daß eindringendes Wasser einen Druckanstieg hervorruft, der sich auch auf das Sediment auswirkt. Die Verformbarkeit des Sedimentes erhöht sich und somit wahrscheinlich auch die Fließgeschwindigkeit des Gletschers.

Am Monte Rosa und Mont Blanc wird der Einfluß der Topographie und der Strahlung auf die Firntemperatur untersucht. In einem weiteren Projekt werden über Tracerversuche die zeitliche Entwicklung von subglazialen Kanälen untersucht. Diese Ergebnisse werden nun zu einem numerischen Modell zusammengestellt. Die Neuheit dieser Arbeit ist, daß im Gegensatz zu älteren Modellen die zeitliche Veränderlichkeit berücksichtigt wurde.



## 4.2 Hydrologie / Wasserbau

Die vorgestellten Projekte der Hydrologie und des Wasserbaus waren dagegen eher im Gebiet der angewandten Forschung angesiedelt. In riesigen Modelltrögen wird die Realität bestmöglich aus Beton und Steinen nachgebildet. In ihnen werden verschiedene Versuche zu Hochwasserereignissen, Sedimenttransport, Strömungsverhalten und den damit verbundenen bautechnischen Maßnahmen durchgeführt.



Abb. 4 Versuchsaufbau zur Simulation des Hochwasserabflusses

Ein aktuelles Modell beschäftigt sich mit dem Zufluß zu einem Wasserwerkes, dass nach Hochwasserereignissen starke Probleme mit der Sedimentfracht hat. Durch den Einsatz verschiedener Barrieren und Ableitungsrohre soll die Fracht möglichst effektiv abgeführt werden. Ein weiterer Versuchsaufbau befaßte sich mit der Simulation des Hochwasserabflusses (Abb.4). Vor allem die mitgeführten Baumstämme (im Modell kleine Zweige) sind problematisch. Rückhaltevorrichtungen sollen diese wirksam entfernen. Insgesamt beruht das Konzept darauf, die Abflussmenge beizubehalten und nur die potentiell gefährlichen Inhaltsstoffe zu entfernen.

## 5 Rund um den Grimselpass (09.08.01)

### 5.1 NAGRA- Felslabor

Die NAGRA ist die „Nationale Gesellschaft für Lagerung radioaktiver Abfälle“. Geldgeber sind die Elektrizitätswerke sowie der Staat. In der Schweiz erzeugen die Kernkraftwerke ca. 39% der Energie. Neben den Produkten dieser Kernkraftwerke fallen aber auch radioaktive Abfälle in der Medizin, Industrie, Forschung sowie in Wiederaufbereitungsanlagen an. Für diese Stoffe müssen Endlager gefunden werden. Mögliche Standorte sind der Wellenberg (vgl.

6.1), Nord- Aargau (Festgestein) und das Züricher Weinland (Lockergestein). Seit 1994 betreibt die NAGRA das Felslabor Grimsel (Abb.5). Es dient jedoch nur der Forschung und war nie als Endlager vorgesehen. Hier können verschiedene Situationen im Kristallin untersucht werden: Deformierter und homogener Granodiorit, Scherzonen und Lamprophyr- Gänge.



**Abb. 5 Felslabor Grimsel**

Die geologische Entstehungsgeschichte der Region begann vor ca. 320 Ma mit der variszischen Orogenese. Es entstand ein Gneis- Schieferkomplex mit intrudierten granodioritischen Magmen, sauren Restschmelzen und basischen Gängen. Danach stand das Gebiet über 200 Ma nur unter geringer Beanspruchung. Erst mit der alpidischen Orogenese, deren Beginn sich vor 110 Ma ankündigte, geriet das Gebiet unter erneute Verformung. Vor ca. 40 Ma entstand das heutige Bild aus fünf Deckenstapeln, die teilweise bis Grünschieferfaziell (Absenkung ca. 14km) überprägt wurden. Duktile Verformung und Mylonitbildung gingen mit diesen Vorgängen einher. Die Prozesse der langsamen Hebung, der spröden und duktilen Verformung, der Bildung von Zerrklüften, hydrothormaler Lösungsvorgänge und der Erosion laufen bis heute ab. Zur Zeit werden jährlich 4mm erodiert, aber auch eine geringfügige Hebung ist noch zu beobachten.

Derzeitige Untersuchungen laufen z.B. über potentielle Fließpfade entlang der Granodiorit-Lamprophyrgrenzflächen, zur Sorption von Radionukliden, zum Einfluß von Kolloiden und über die Ausbreitung von Hoch- pH- Fahnen im geklüfteten Gestein. Diese Fahnen werden aus der Reaktion von Grundwasser und Zement gebildet und beeinflussen das Rückhaltevermögen.

## 5.2 *Aareschlucht*

Die Aareschlucht ist das Ergebnis eines gewaltigen postglazialen Bergsturzes. Dieser staute im Hinterland einen See an, dessen Sedimente heute einen ebenen Talabschnitt bilden. Durch die Erosionskraft des Wassers wurde die 1400m lange Schlucht gebildet.

Die in der Schlucht beschriebene interglaziale Entstehung ist relativ unglaublich, da der Gletscher die Gesteinsmassen relativ schnell abgeführt hätte. So sind die beschriebenen Gletschermühlen auch nur durch die Wasserkraft und nicht durch die direkte Wirkung des Gletschers entstanden.

## 5.3 *Rhone Gletscher*



**Abb. 6 Rhone- Gletscher um 1870**

Noch um 1870 stellte der Rhone- Gletscher ein gewaltiges Naturschauspiel dar. Seine Zunge reichte bis nahe an das Hotel (Abb.6). Nur 130 Jahre später ist vom Gletscher in der Tallage nichts mehr zu sehen (Abb.7). Nur noch die Seiten- und Endmoränen zeugen vom letzten großen Vorstoß. Wie viele andere Gletscher der Alpenregion wird der Rhone- Gletscher in 50 Jahren fast gänzlich verschwunden sein.





**Abb. 7 Die gleiche Landschaft heute – der Gletscher hat sich weit zurückgezogen**

## **6     *Mögliches Endlager und Sondermülldeponie (10.08.01)***

### **6.1     *Wellenberg***

Im Jahr 1994 wurde ein Gesuch für die Rahmenbewilligung für ein Endlager im Wellenberg eingereicht. Das Projekt wurde von Experten des Bundes geprüft und unterstützt. Die Bürger des Kantons lehnten jedoch in einer ersten Abstimmung einen Sondierungsstollen ab. Für die Bevölkerung stehen den Sicherheitsbefürchtungen die Hoffnung auf neue Arbeitsplätze gegenüber. Bisher sind nur einige Bohrungen zur geologischen Erkundung niedergebracht worden. Noch in diesem Jahr soll eine zweite Abstimmung stattfinden, bei der eine Mehrheit für die Sondierung prognostiziert wird.

### **6.2     *Geologieparcours***

Die Stiftung „Lebensraum Gebirge“ gestaltete in Grafenort im Engelbergertal einen Geologieparcours. Unter dem Motto „Stein und Wasser – Weg der Zeit“ sind auf 3,45 km 345 Millionen Jahre Erdgeschichte dargestellt. Die aufwendige Ausstattung, die weit über einen herkömmlichen Geologie- Lehrpfad hinausgeht, und die durchaus fachkundige Beschilderung fiel besonders positiv auf.

Aus der unmittelbaren Nähe des Wellenberges (vgl. 6.1) lässt sich auch noch das politische Kalkül dieser Ausstellung ableiten. Die Energiewirtschaft wird das Projekt finanziell unterstützt haben, um der Bevölkerung die Naturwissenschaft und Geologie näher zu bringen. Somit erhoffen sie sich in der zweiten Abstimmung mehr Akzeptanz für ihre Pläne.

### 6.3 Sondermülldeponie Köllikon

Ein Konsortium aus den Kantonen Zürich und Aargau, der Stadt Zürich und der Basler Chemieindustrie richtete 1978 die Sondermülldeponie Köllikon ein. In einer stillgelegten Tongrube inmitten eines Wohngebietes sollte der Müll abgelagert werden. (Abb.8) Wie in den 70er Jahren üblich wurde die Deponie ohne Basisabdichtung und Entgasungssystem betrieben. Lediglich ein Drainagesystem war vorhanden. In 7 Jahren wurden 280.000 m<sup>3</sup> loses Material, Fässer und Säcke ohne Unterteilung der Abfallarten eingelagert. 1985 wurde die Deponie auf enormen Druck der Bevölkerung und der alarmierten Medien geschlossen. Der Lärm, Staub und vor allem der Geruch war für die Anwohner unerträglich geworden.



**Abb. 8** Die abgedeckte Deponie mit der SWALBA- Anlage im Vordergrund (aus: „Sondermülldeponie Köllikon“)

Die Schließung führte zu einem generellen Umdenken der Schweiz im Bezug auf Abfallentsorgung. Doch das Problem in Köllikon bestand weiter. Als Sofortmaßnahmen wurden 1986 eingeleitet: die oberflächliche Abdichtung der Deponie, ein umfassendes Erkundungsprogramm, Monitoring, Fassung der Deponiegase und Abtransport des Schmutzwassers in Kläranlagen. 1988 begann die Planung für eine moderne Schmutzwasser- und Abluftbehandlungsanlage, die die Kurzbezeichnung SWALBA erhielt. 1995 ging die SWALBA in Betrieb (Abb.9). Sie baut die organischen Schadstoffe und das Ammonium weitestgehend ab und verbrennt die Deponiegase in einem Hochtemperaturofen.

Geologisch liegt die Deponie in einer Molasse Wechsellagerung von Mergeln und Sandsteinen (siehe Abb.8). Besondere Gefahr geht dabei von der Quartärrinne im Abstrom (Trinkwassergewinnung) und von den bis zu 60m tiefen Klüften aus.

1993 wurde als weiterführende Maßnahme zur Sicherung der grundwasserführenden Köllicher Rinne eine Pumpbrunnenreihe realisiert. Weitere Projekte waren und sind die Drainagemaßnahmen am Nordrand zur Verringerung des Wassereintritts und die kombinierte Drainage und Abschirmung am Südrand zur Verhinderung des Schadstoffaustritts.

Durch die 1998 erlassene Altlastenverordnung muß die Deponie bis 2015 rückgebaut werden. Dies ist höchst problematisch, da der Schadstoffinhalt völlig unklar ist. Durch eine Überdachung sollen die Anwohner vor einer neuerlichen Kontamination geschützt werden. Inwieweit diese Maßnahme sinnvoll ist, darf diskutiert werden, weil z. B. das unterliegende Erdreich bis in große Tiefen kontaminiert ist und ebenso abgetragen werden müßte.



Abb. 9 Verfahrensschema der SWALBA- Anlage (aus: „Sondermülldeponie Kölliken“)

## 7 Montafon (11.08.01)

### 7.1 Archäologische Ausgrabung

Die Ausgrabung versucht eine prähistorische Höhensiedlung auf dem Friege in Bartholomäberg freizulegen (Aufbau der Siedlung siehe Abb.10). Sie ist die älteste bekannte Siedlung im Montafon und besonders hinsichtlich des Erzabbaus zur Bronzezeit interessant.

Im Profil sieht man deutlich verschiedene aufeinanderfolgende Besiedlungen, aber auch stratigraphische Lücken. Die unterste Kulturschicht ist ein rötlicher Lehm der Frühbronzezeit (2000 – 1500 v.Chr.). Auf sie folgt eine schwarze Schicht der mittleren Bronzezeit mit Keramikfunden und Steinlagen als Relikte der Blockbauten. Der braune Lehm ist die letzte nachgewiesene Besiedlung des Felssporns zur Hallstadtzeit (700/600 v. Chr.). Darüber folgt der Waldboden.

Wie schon erwähnt ist der Bergbau der damaligen Zeit noch ungeklärt. Im Umfeld steht ein Fahlerz an, daß neben Kupfer noch hohe Anteile an Silber, Arsen und Antimon hat. Doch lag das zur damaligen Zeit verarbeitete Erz in oxidischer oder sulfidischer Form vor? Welche Schmelztechnik wurde verwendet? Wurden Zuschlagsstoffe aus anderen Regionen herangeschafft? Diese ungeklärten Fragen machen das Montafon zu einem interessanten archäologischen Forschungsgebiet.



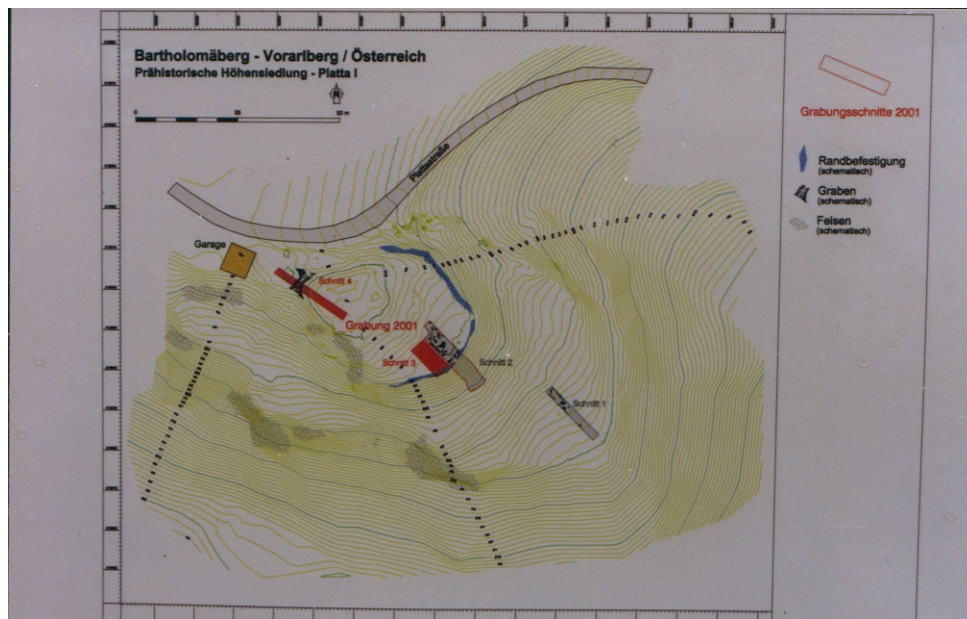


Abb. 10 Überblick über die Prähistorische Höhensiedlung

## 7.2 Historischer Bergbau

Die erste urkundliche Erwähnung des Bergbaus in Bartholomäberg stammt aus den Jahren 814 und 820 n. Chr. Es wurde auf ein Kupfer- und Eisenerz abgebaut. Diese erfolgreiche Bergbautätigkeit hielt bis Mitte der 16. Jahrhunderts an. Ab dieser Zeit kam der Abbau durch die Konkurrenz ertragreicher Bergwerke nahezu zum Erliegen. Einzelne kleine private Abbaue reichten noch bis in das Jahr 1938.

Die Bergbautätigkeit ist morphologisch an den verschiedenen Haldenformen zu erkennen. Neben den normal aufgeschütteten Halden fallen auch Tellerhalden ins Auge, die charakteristisch für Schächte sind. Im Zuge der zur Zeit laufenden Kartierungsarbeiten wurden über 200 Halden gefunden.

Doch die Stollensysteme sind auch von hydrogeologischer Relevanz. Sie stellen eine zusätzliche Durchlässigkeit im Gesteinskörper dar. Bei Starkregen und Schneeschmelze führen sie durch die schnelle Weiterleitung des Wassers zur Verschlimmerung der Überschattungssituation. So geschehen bei den in Abschnitt 7.5 beschriebenen Ereignissen.

## 7.3 Hydrogeologie des Montafon

Im Montafon schneidet die Ill die Gesteine des Silvrettakristallins, der nördlichen Kalkalpen und des Flyschs an. Das Kristallin ist hydrogeologisch dicht. Relevant sind nur Hangtektonik und Störungszonen, die Wasseraustritte hervorrufen. Aus diesem Grund gibt es kaum große Quellen, häufiger nur kleine Quellaustritte. Einige von ihnen wurden gefaßt und dienen der Wasserversorgung abgelegener Bergbauernhöfe. Die austretenden Wässer sind nur schwach mineralisiert. In der Schichtenfolge der nördlichen Kalkalpen treten verschiedene gering- und undurchlässige Schichten (Buntsandstein, alpiner Muschelkalk) auf, dazwischen aber auch Grundwasserleiter. Der Hauptdolomit stellt hier den Hauptgrundwasserleiter dar, der stark verkarstet ist.



#### **7.4 Lünerseewerk**

Das Lünerseewerk untersteht der Vorarlberger Illwerke AG. Es nutzt zur Energiegewinnung die 1000m Gefälle zwischen dem Lünersee und Latschau. Ein Druckstollen von 10km Länge verbindet den See mit dem Kraftwerk. Dieser Stollen ist im Bereich des Golm durch eine Hanggleitung stark gefährdet. Die oberflächennahe Gleitung, die aus mehreren einzelnen Schollen besteht, wird jährlich überprüft.

Der Lünersee ist einer der größten natürlichen Bergseen der Alpen. Die Stauhöhe wurde mit einer Staumauer auf derzeit 170m erhöht. Der See hat eine glaziale Entstehung, d.h. er wurde vom Gletscher ausgehobelt. Er wird durch den Hauptdolomit abgedichtet.

Mitte der 90er Jahre traten vermehrt Wasseraustritte auf. Diese sind durch die Pumpspeicherung zu erklären, die seit 1989 ein täglichen und jährlichen Zyklus von Ab- und Aufstauphasen erzeugt. Die dadurch hervorgerufenen Temperaturunterschiede im Gestein und das daraufhin eindringende Wasser bewirkten das Aufpressen von Klüften. Bis 1999 wurde festgestellt, daß die Quellen auf immer höherem Niveau auftraten, ohne daß sich die Schüttung in tieferliegenden Quellen erhöht. Die Schlußfolgerung ist, daß kein Modell über einen einheitlichen Kluftwasserspiegel möglich ist. Aus den möglichen Sanierungsmaßnahmen (Dichtung, teilweise und komplette Injektion, Spritzbelag) führte man im Jahr 2000 eine Injektion im aufliegenden geklüfteten Medium durch. Der tiefliegende Karst wurde aus Kosten- und Effizienzüberlegungen unberührt gelassen. Die Maßnahme hatte Erfolg. Die kleinen Klüfte wurden geschlossen und alle neu entstandenen Wasseraustritte versiegten.

Die einzige Aufgabe des Pumpspeicherbetriebes am Lünersees und des Lünerseewerk in Latschau ist die Bereitstellung von Spitzenstrom für Baden- Württemberg.

#### **7.5 Hochwasserereignisse in Bartholomäberg**

In der Gemeinde Bartholomäberg im Montafon ereigneten sich 1999 mehrere schwerwiegende Murenabgänge. Muren bestehen jeweils zur Hälfte aus Wasser und Gestein. Diese waren die Folge tagelanger Niederschläge und der einsetzenden Schneeschmelze. Es mußten einige Häuser evakuiert werden und viele Menschen waren tagelang von der Außenwelt abgeschlossen. Schon einige Tage danach wurde mit Schutzmaßnahmen wie der Wildbachverbauung begonnen (Abb.11/12). Inwieweit diese Bauwerke Schutz bieten, wird erst das nächste Unwetter zeigen.

Ein noch ausstehendes Vorhaben ist die Fassung mehrerer kleiner Bäche in einem Rohr und deren Ableitung in den größten Murenabgang. Die Planung und Vorbereitung dieses Baus soll auch in Kooperation mit der TU Freiberg verwirklicht werden.

### **8 Ötztal (12.08.01)**

#### **8.1 Ötztal**

Bei der Fahrt durch das Ötztal kann man mehrere postglaziale Bergrutsche beobachten (siehe auch 5.2). Sie sind deutlich an der Morphologie erkennbar. Einer schmalen, durch den Fluß in die Rutschmasse eingeschnittenen Schlucht folgt eine flache Ebene, die die Sedimentation des angestauten Sees darstellt. Die Bergrutsche müssen nach der letzten Eiszeit stattgefunden



**Abb. 11 Wildbachverbauung bei  
Bartholomäberg**



**Abb. 12 Wildbachverbauung im Bereich  
des schlimmsten Murenabgangs**

haben, da sonst der Gletscher das Material ausgeräumt hätte.

Die Vereisungsphasen selbst sind ebenfalls an einigen Stellen im Ötztal erkennbar. Drei auf unterschiedlichem Niveau liegende Plateaus zeugen von den Eiszeiten. Das tiefstliegende Plateau stellt hierbei die letzte Vereisungsphase dar.

Bei der heutigen Besiedlung des Ötztals ist als problematisch anzusehen, dass viele neue Häuser direkt vor ehemaligen Murenabgängen gebaut wurden und potentielle Gefahrenherde darstellen.

## **8.2 Vernagtegg / Vernagt- Hütte**

Während des Aufstiegs zum Fernagtferner passiert man das Vernagtegg. Dem Wanderer fällt eine prägnante Spalte auf, die auf eine bevorstehende Bergzerreißung hindeutet. Sie wird jährlich kontrolliert, da sie eine potentielle Gefahr für die Orte im Ötztal darstellt. Bei einem Abgang dieses Felsens könnte es zu einem Wasserstau kommen (vergleichbar Bergrutsche Ötztal). Da dieser natürliche Damm aber keinesfalls stabil sein muß, droht die Gefahr eines Dammbruches und einer Überflutung der Ortschaften im Ötztal.

Außerdem lassen sich hier gut die Gletscherschliffe und die verschiedenen Gletscherrückzugsstadien anhand der Vermoosung studieren. Die Microtektonik der gefalteten Gneise und Schiefer ist strukturgeologisch relevant, aber an dieser Stelle nicht näher auswertbar.

Im hochalpinen Bereich ist natürlich die Wasserversorgung ein Problem. Das Gletscherwasser für die Vernagthütte zu nutzen wäre schwierig, da am Tag nur Gletschermilch ausfließt, was z.B. ein Absetzbecken nötig machen würde. Eine andere Möglichkeit wäre, nur nachts zu pumpen, wo relativ reines Wasser zu erwarten ist. Die Hütte versorgt sich aber über eine Bohrung in der Seitenmoräne. Die Abwasserentsorgung erfolgt über eine eigene Versitzgrube.

# **9 Vernagtferner- Forschungsstation (13.08.01)**

## **9.1 Forschungsstation**

Die Bayrische Akademie der Wissenschaften betreibt am Vernagtferner eine Forschungsstation. 1889 wurde die Station von der TU München gegründet. Die einzige Aufgabe bestand in der geodätischen Kartierung. Seit 1964 wurde intensive Gletscherforschung (u.a. mit direkter glaziologischer Massenbilanzbestimmung) betrieben. Im Jahre 1974 kam die Hydrologie mit Abfluß- und Klimaregistrierungen hinzu. Diese drei Verfahren werden bis heute zur Erforschung des Gletscherverhaltens angewandt. Man erhofft sich wertvolle Erkenntnisse über Klimatrends und Klimafolgen.

Die Besonderheit der Forschungsstation ist die Abflussmessstelle (Abb.13). Diese wurde auf einer geeigneten Felsschwelle unterhalb des Gletschers errichtet. Von dieser kann direkt auf das Verhalten des Gletschers geschlossen werden, da 95% des Durchflusses das Schmelzwasser bildet. Bei der Auswertung ergibt sich ein typischer Tagesgang des Abflusses, wobei festgestellt wurde, daß der Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser im Laufe der Jahre größer wurde. Im Gletscher gibt es zwei hydrologisch wirksame Körper. Das Eis, das kein Wasser speichert, und der Firn, der das Wasser besser speichert. Da der Firnkörper immer weiter verloren geht, geht auch das Rückhaltevermögen verloren und das Wasser schießt immer schneller hinunter.



An meteorologischen Daten werden die Windgeschwindigkeit und -richtung, die Lufttemperatur, die Luftfeuchte, die Globalstrahlung und der Niederschlag an der Station gemessen.



Abb. 13 Forschungsstation am Fuße des Fernagtfeners

## 9.2 Vernagtferner

Beim Aufstieg zum Vernagtferner (Abb.14) fallen zunächst die steilen Seitenmoränen auf, die vom letzten großen Vorstoß aus dem Jahre 1850 stammen. Seitdem befindet sich der Gletscher im stetigen Rückgang, ausgenommen einzelne spontane Vorstöße (z.B. um das Jahr 1980).

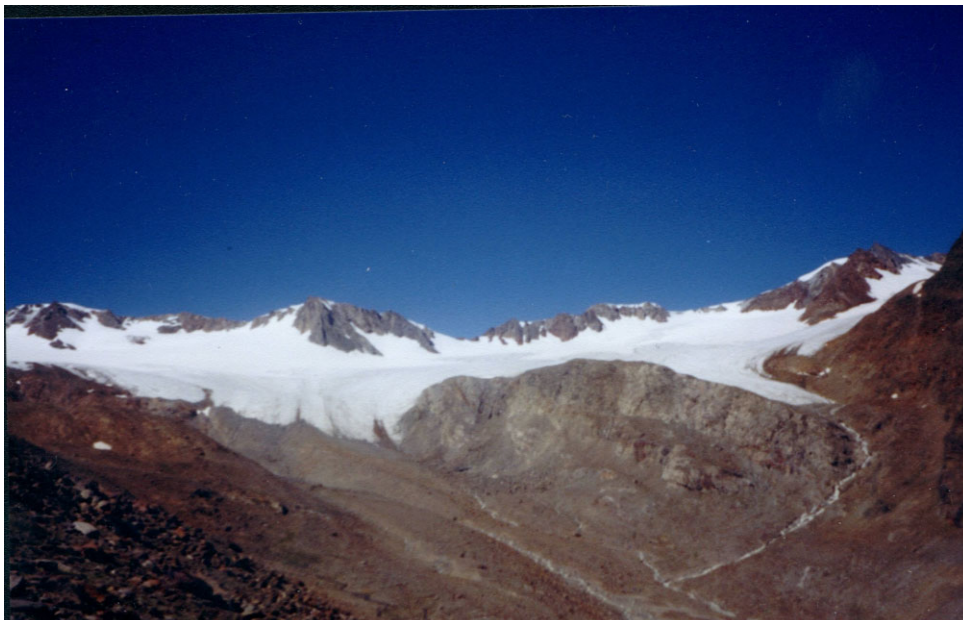


Abb. 14 Fernagtferner

Das Gletschertor ging in den letzten 10 Jahren um 500 m zurück. Entscheidend ist aber vor allem die Massenbilanz, die seit 1985 jährliche Verluste anzeigt. Auch die Fließgeschwindigkeit verringerte sich von 35 m/a auf 10 m/a. Einige Teile des Gletschers zeigen sogar keine Bewegung mehr.

In früheren Jahren bremsten die Sommerniederschläge die Schmelzung. Sie fielen in höheren Regionen als Schnee und wirkten sich vor allem positiv auf den Albedoeffekt aus. Durch die Klimaerwärmung befindet sich die Schneegrenze heute auf ca. 4000 m. Der warme Regen, der nun auf den Gletscher fällt, beschleunigt aber den Schmelzvorgang.

Beim Tauvorgang gibt es Vorgänge an der Gletscheroberseite und an der Gletscherunterseite. Das Tauen von unten kann i. d. R. vernachlässigt werden. Eine Ausnahme bildet die geothermische Energie, die im Winter bei nur etwa 15 l/s ca. 1/3 des Abflusses erzeugt. Im Sommer ist diese Menge unbedeutend. In diesen Monaten erzeugen die drei Faktoren Strahlung, Lufttemperatur und latente Energie die Abflußmenge von durchschnittlich 2 – 6 m<sup>3</sup>/s.

Als Besonderheit gibt es eine Gletscherhöhle (Abb.15). Sie liegt fast unbeweglich am Rande des Gletschers und wurde durch einen eindringenden Bach ausgeformt. Am Gletschertor (Abb.16) tritt einer der drei Hauptbäche aus.



**Abb. 15 Gletscherhöhle**



Abb. 16 Gletschertor

## ***10 Innsbruck und Brixlegg (14.08.01)***

### ***10.1 Wasserversorgung Innsbruck***

Von der Trinkwasserversorgung Innsbruck besuchten wir das Wasserschloß Mühlau. Es wurde in den 50er Jahren gebaut und versorgt als größte Wasserfassung rund 96% von Innsbruck. Das Wasser tritt durch die lange Verweilzeit (ca. 10 Jahre) in bester Trinkwasserqualität aus und muß nicht aufbereitet werden. Schon immer trat Wasser in Form der Mühlauer Quellen an dieser Stelle aus. Um es jedoch krisensicher zu fassen, wurden 3 Stollen (Wurmbach-, Klammbach- und Rumerstollen) angelegt.

Die Stollen befinden sich im Karwendelgebirge, einen Teil der Kalkalpen. Es wird tektonisch untergliedert in die Inntal- und Lechtaldecke. Innerhalb der Inntaldecke fungiert v.a. der Wettersteinkalk als Hauptwasserführer. Er ist intensiv gefaltet und beinhaltet einen 2.000m mächtigen Grundwasserkörper (in Österreich auch Bergwasser genannt). Je nach Öffnungsweite der Klüfte treten aber auch trockenere Bereiche auf. Um auf diese Grundwasserreserven zu kommen, mußte zunächst die Höttinger Brekkzie durchtunnelt werden. Dabei handelt es sich um verfestigten Hangschutt, der ca. 300.000 bis 400.000 Jahre alt ist und bis zum Gipfel reicht. Diese Brekkzie ist stärker geklüftet, obwohl sie erheblich jünger ist als der Wettersteinkalk. Bei Starkregenereignissen kann durch sie innerhalb von Stunden eine Trübung in das Trinkwasser gelangen.

Wie schon gesagt, besteht die Einmaligkeit darin, dass eine Großstadt mit etwa 100.000 Einwohnern mit Bergwasser ohne Aufbereitung versorgt werden kann. Desweiteren wird das Wasser zuvor durch eine Turbine geleitet, die Strom für Innsbruck erzeugt. Auffällig ist weiterhin die niedrige Leitfähigkeit (150-200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) des Wassers, obwohl es sich um ein Carbonatgestein und somit um ein Carbonatwasser handelt. Das relativ hoch gelegene Einzugsgebiet und die damit verbundene geringe Vegetation dürften die Calcitlösung



verringern. Eine große Gefahr für das riesige Trinkwasserreservoir des Karwendelgebirges ist die massive Zunahme des Tunnelbaus.

## **10.2 Montanwerke Brixlegg**

Die Montanwerke Brixlegg wurden im 14. Jahrhundert erstmalig als Erzhütte erwähnt. Sie verarbeiteten damals das Fahlerz der umliegenden Bergwerke. Diese Erzfunde, die reichhaltigen Holzvorkommen und die Nutzung der Wasserkraft des Alpbaches begünstigten diesen Standort. Nach der Schließung der Bergwerke erfolgte die langsame Umwandlung von der reinen Erzhütte zur Recyclinghütte. Heute betreiben die Montanwerke 100% Kupfer-Silber- Recycling. Daneben fallen noch geringe Mengen an Gold, Palladium und Platin an.

In 3 Verfahrensschritten entsteht aus dem Schrott hochreines Kupfer. In der Schmelzhütte werden in drei pyrometallurgischen Raffinationsschritten die Ausgangsstoffe entsprechend ihres Kupfergehaltes aufgearbeitet. Das Endprodukt des 1. Verfahrensschrittes sind die Anoden mit einem Kupfergehalt von 99%. Die Anoden werden danach im 2. Schritt bei der Elektrolyse zu hochreinen Kupferkathoden verarbeitet. Diese sind Handelsware und haben einen Kupfergehalt von 99,99% (Abb.17). In integrierten Nickel- und Silberanlagen werden Nickelsulfat und die verschiedenen Edelmetalle gewonnen. Als 3. Verfahrensschritt steht eine Gießerei zur Verfügung, die je nach Kundenwunsch unterschiedliche Cu- Formate herstellen kann.



**Abb. 17 Hochreine Kupferkathoden**

Besonders erwähnenswert ist die Kreislaufwirtschaft, die anfallende Zwischenprodukte (Schlacken, Stäube etc.) wieder in den Produktionskreislauf einbindet. Andere Nebenprodukte werden als Industrierohstoffe verkauft.

Die benötigten Prozeß- und Kühlwässer stammen aus einem Tiefbrunnen, der Grundwasser in Trinkwasserqualität fördert, und aus dem Alpbach. Die anfallenden Abwässer werden



zunächst einer Wasserbehandlung zugeführt, bevor sie in die örtliche Kläranlage geleitet werden.

### **10.3 *Bergbau Kogl***

Die Lagerstätten des Bergbaubereiches Kogl befinden sich an der Grenze von Ober-, Mittel- und Unterostalpin. Das Gebiet kann eine 500jährige Bergbaugeschichte aufweisen. Der letzte Bergbau auf Schwerspat endete 1988. Der ältere Bergbau förderte aber das Schwarzit-Fahlerz, das hohe Gehalte an Arsen, Antimon und Quecksilber aufweist.

Heute ist das Gebiet ein Eldorado für Mineraliensammler. Zu finden sind z.B. Malachit, Azurit, ged. Silber und Schwerspat. Die Wässer, die heute aus dem Bergwerk austreten, haben eine Leitfähigkeit von 200 - 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . An Schwermetallbelastungen sind v.a. Antimon und Arsen zu nennen. Dies ist nur für die Bewohner des Hauses neben dem Bergwerk als problematisch anzusehen, da diese das Wasser als Trinkwasser nutzen.

### **10.4 *Tracerversuch***

Das Bergwerk am Großkogel ist relativ einfach aufgebaut: Es besteht aus 4 Sohlen, die durch einen 110m tiefen, inzwischen wassergefüllten Schacht miteinander verbunden sind. Anhand dieses einfachen Aufbaus soll nun die Frage geklärt werden, wie Bergwerke anzulegen sind, um einen hohen Schadstoffaustrag zu verhindern.

Um mögliche Verbindungen der Sohlen und die Fließgeschwindigkeiten zu untersuchen, wurden 3 verschiedene Tracer eingesetzt: Uranin in 55m Tiefe, Mikrosphären im „Großen See“ und Salz im „Kleinen See“. Bei der Auswertung wurde bisher aber kein deutlicher Peak festgestellt. Allerdings stellte sich eine Leitfähigkeits- und Temperaturänderung und eine Schichtung ein. Vermutlich sind diese auf den Salztracer zurückzuführen. Nähere Untersuchungen im Zusammenhang mit einer Diplomarbeit stehen aber noch aus.

## ***11 Literaturverzeichnis***

Montanwerke Brixlegg GmbH: Betrieb einer Entschweflungsanlage hinter einem Kupferaltmetallkonverter, Forum GmbH, Wien 1985

NAGRA: Nagra- Focus 01/98, Kromer- Print AG, Lenzburg, 1998

NAGRA: Nagra- Focus 02/99, Kromer- Print AG, Lenzburg, 1999

VAW der ETH Zürich: Jahresbericht 2000

Vorarlberger Illwerke AG: Vorarlberger Illwerke AG, Russ- Druck, Lochau, 1996

Zweckverband Landeswasserversorgung Stuttgart: Trinkwasser für heute und morgen, Druck Waiblingen

sowie zahlreiche kleinere Broschüren; u.a. herausgegeben von

Kommission für Glaziologie (Bayrische Akademie der Wissenschaften)

Konsortium der Sondermülldeponie Kölliken

Stiftung Lebensraum Gebirge

Tourismusverband Bartholomäberg

VEGAS (Universität Stuttgart)

## ***12 Abbildungsverzeichnis***

Abbildung

1,3,4,5,7,10,11,12,

13,14,15,16,17

Photo privat

Abbildung 2

Zweckverband Landeswasserversorgung Stuttgart: Trinkwasser für heute und morgen, Druck Waiblingen

Abbildung 6

Exkursionsskript, zusammengestellt durch Prof. Dr. B. Merkel

Abbildung 8,9

Broschüre des Konsortiums der Sondermülldeponie Kölliken