

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio



Landeshydrologie und -geologie
Service hydrologique et géologique national
Servizio idrologico e geologico nazionale

Geologische Berichte – Rapports géologiques – Rapporti geologici
Nr. 17

Zur Hydrogeologie des Bergsturzgebietes im Raum Flims

Y. P. Bonanomi, E. R. Müller, W. K. Nabholz, H. Scheiwiller



Landeshydrologie und -geologie
Service hydrologique et géologique national
Servizio idrologico e geologico nazionale

Geologische Berichte – Rapports géologiques – Rapporti geologici
Nr. 17

Zur Hydrogeologie des Bergsturzgebietes im Raum Flims

Y. P. Bonanomi¹⁾, E. R. Müller¹⁾, W. K. Nabholz²⁾, H. Scheiwiller³⁾

¹⁾ Büchi und Müller AG, Frauenfeld und Chur

²⁾ Bern und Falera

³⁾ Chur

Geol. Ber. Landeshydrol. u. -geol. **17** (1994)
(mit 11 Beilagen)

Herausgabe und Vertrieb:
Landeshydrologie und -geologie, CH-3003 Bern
© 1994

Vorwort

Bereits vor längerer Zeit reichten die beiden Mitautoren des vorliegenden Berichtes, die Herren W.K. Nabholz und H. Scheiwiller, der Landeshydrologie und -geologie ein Manuskript ein, welches sich vor allem mit hydrologischen und hydrogeologischen Abklärungen im Rahmen der Projektierung einer Umfahrungsstrasse von Flims befasste.

Da zu jener Zeit weitere, zusätzliche Untersuchungen geplant waren, hat man beschlossen, mit der Publikation zuzuwarten, um diese neuen Resultate ebenfalls mitberücksichtigen zu können. Mit der geologischen Bearbeitung dieser zweiten Kampagne war das Büro Büchi und Müller AG in Chur beauftragt. Das Zusammenstellen aller zur Verfügung stehenden Unterlagen zu einer gemeinsamen Publikation ist vor allem das Verdienst von Herrn Y.P. Bonanomi.

Für den Inhalt des Textes und der Illustrationen sind die Autoren allein verantwortlich.

Préface

Un premier manuscrit relatif au présent rapport a été remis il y a longtemps déjà au Service hydrologique et géologique national par MM. W.K. Nabholz et H. Scheiwiller. Ce document concernait avant tout des études hydrologiques et hydrogéologiques réalisées dans le cadre d'un projet de route de contournement de Flims.

Puisque, à ce moment-là, d'autres études étaient prévues, il a été décidé de différer la publication, afin d'être en mesure d'y intégrer les nouveaux résultats. Le Bureau Büchi et Müller SA de Coire a été mandaté pour les études géologiques de la seconde campagne. La compilation de toutes les données disponibles sous la forme d'une publication commune a été réalisée principalement par M. Y.P. Bonanomi.

Les auteurs sont seuls responsables du contenu du texte et des illustrations.

Prefazione

Tempo fa, i due coautori della presente pubblicazione, i signori W.K. Nabholz e H. Scheiwiller, presentarono all'Ufficio idrologico e geologico nazionale un manoscritto che riguarda una chiarificazione geologica e idrogeologica eseguita nell'ambito della progettazione di una strada di circonvallazione di Flims.

Allo stesso tempo erano previste delle analisi complementari, perciò si decise di ritardare la pubblicazione del manoscritto per avere la possibilità di integrare i nuovi risultati. Lo studio geologico Büchi e Müller SA di Coira fu incaricato della realizzazione della seconda campagna geologica. La composizione di tutti i valori elaborati è stata pubblicata a cura del signor Y.P. Bonanomi.

Agli autori va tutta la responsabilità per il testo e le illustrazioni.

Service hydrologique
et géologique national
Le Directeur



Prof. Dr Ch. Emmenegger

Zusammenfassung

Im Rahmen der von 1984 bis 1992 auftrags des Tiefbauamtes Graubünden in grösserem Umfang durchgeführten Untersuchungen über den Untergrund von Flims wurden 13 Sondierbohrungen abgeteuft, deren Kerne teilweise bis in eine Tiefe von 100 m Aufschluss gegeben haben. Die in den Sondierbohrungen angeschnittenen wasserführenden Horizonte und die Gewässer der weiteren Umgebung wurden physikalisch und chemisch untersucht, wobei besonders die erstmals erhobenen physikalischen Messungen hinsichtlich des Sauerstoff-18- und des Tritium-Gehalts neu sind. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse von 65 Wasserproben (Tab. 2) und der neu gewonnenen geologischen Erkenntnisse erfolgte der Wasser-Markerversuch 1987/88, der mit den Markierstoffen Fluorescein, Rhodamin und Kochsalz durchgeführt wurde. Dieser Markerversuch wird eingehend beschrieben, ebenso einige neue Aspekte zum Wasserhaushalt der vier Seen in der Umgebung von Flims: Lag Prau Pultè, Lag Prau Tuleritg, Lag la Cauma und Lag la Cresta.

Résumé

Commencées au 1984, des recherches sur le sous-sol de Flims nous ont amenés à réaliser 13 forages. Leurs carottes ont fourni des informations sur la roche jusqu'à des profondeurs de 100 m. Des analyses chimiques et des mesures physiques ont été effectuées sur les venues d'eau rencontrées dans ces forages ainsi que sur des échantillons prélevés dans les cours d'eau et lacs de la région. Pour la première fois on y a mesuré les teneurs en oxygène 18 et en tritium. Les résultats des mesures sur 65 échantillons d'eau (Tabl. 2) et les connaissances de la géologie régionale ont conduit à l'essai de traçage de 1987/88, mettant en oeuvre de la fluorescéine, de la rhodamine et du chlorure de sodium. Ce traçage est décrit en détail. Quelques connaissances nouvelles sur le bilan hydrique des quatre lacs des environs de Flims (Lag Prau Pultè, Lag Prau Tuleritg, Lag la Cauma et Lag la Cresta) sont aussi présentées.

Resumaziun

Sin basa da nossas retschertgas davart il sutterrann da Flem, fatgas dapi il 1984 en dimensiun pli gronda, èn vegnidas furadas 13 sondadas. Il material da quellas furadas ha per part furni infurmaziuns fin a 100 m profunditad. Las avainas d'aua tagliadas da las sondadas e las auas da l'ulteriur conturn èn vegnidas retschertgadas a maniere fisicala e chemica. Nov en quest connex èn oravant tut las retschertgas fisicalas davart il cuntegn d'oxigen 18 e da tritium, fatgas per l'emprima giada. Ils resultats da las retschertgas da 65 provas (tab. 2) plus las conuschientschas geologicas han manà il 1987/88 a la prova da marcaziun da l'aua, realisada cun las substanzas da marcaziun fluorescein, rhodamin e sal da coier. Questa prova da marcaziun vegn descritta detagliadamain, medemamain insaquants aspects novs davart l'economia d'aua dals quatter lais en la vischinanza da Flem, il Lag Prau Pultè, il Lag Prau Tuleritg, il Lag la Cauma ed il Lag la Cresta.

Inhaltsverzeichnis	Seite
I. Zusammenfassung, Résumé, Resumaziun	II
Verzeichnis der Figuren im Text	IV
Verzeichnis der Tabellen im Text	IV
Verzeichnis der Beilagen	IV
1. Einleitung	1
2. Geologischer Überblick	2
2.1. Quartär	2
2.2. Fels	3
3. Untersuchungsprogramme	4
3.1. Ältere geologische und hydrogeologische Erhebungen	4
3.2. Ältere Markierversuche	4
3.3. Grundwasser-Untersuchungen im Pumpwerk Staderas	5
3.4. Sondierkampagne 1985	7
3.5. Wasser-Markierversuch 1987/88	10
3.6. Physikalische und chemische Wasseruntersuchungen	16
3.7. Sondierkampagne 1991/92	17
3.7.1. Sondierungen	17
3.7.2. Geophysikalische Messungen	20
3.8. Hydrometrische Messungen	21
4. Oberflächenwasser-Verhältnisse (Bäche und Seen)	22
4.1. Lag Prau Pultè	22
4.2. Lag Prau Tuleritg	23
4.3. Lag la Cauma	23
4.4. Lag la Cresta	26
4.5. Die übrigen untersuchten Gewässer	27
5. Hydrologische Gegebenheiten	28
5.1. Die Grundwasserleiter und ihre physikalischen Eigenschaften	28
5.2. Grundwasser-Beschaffenheit und -Alter	28
5.3. Grundwasser-Bilanzierungsfaktoren	31
6. Folgerungen	34
6.1. Hydrogeologisches Modell	34
6.2. Folgerungen zu Tunnelbau-Projekten - erforderliche Massnahmen	35
Wichtigste Literatur, unveröffentlichte Gutachten	37

Verzeichnis der Figuren im Text

Seite

1	Situation mit Lage der Sondierbohrungen und Wasser-Entnahmestellen Massstab 1 : 50'000	9
2	Fluorescein-Konzentrationen bei den Probe-Entnahmestellen - Eingabe in SB3	12
3	Rhodamin-Konzentration in der Impfstelle SB 8/85	13
4	Situation mit Lage der Sondierbohrungen 1991/92 und der seismischen Linien	20
5	Messstellen der Temperaturmessungen im Lag la Cauma	24

Verzeichnis der Tabellen im Text

1	Wichtige Bohrkenndaten der Sondierkampagne 1985	7
2	Resultate der Wasseranalysen	14/15
3	Wichtige Bohrkenndaten der Sondierkampagne 1991/92	17
4	Messungen der Methan-Konzentration im Bohrloch SB 12/92	18
5	Abpressversuche mit Doppelpacker im unverrohrten Bohrlochabschnitt	19
6	Hauptmerkmale der Flimser Seen	22
7	Resultate der Wassertemperatur-Messungen im Lag la Cauma vom 4.7.1985	25
8	Höhenstufenabhängige Niederschläge im Vorderrheintal unterhalb Ilanz	31
9	Fläche, mittlere Höhe, Niederschlag, Verdunstung und Abfluss verschiedener Einzugsgebiete	31
10	Abflussmessungen des Laaxerbaches	32
11	Abflussmengen des Flem bei Pintrun (Messungen 1934-1941)	32

Verzeichnis der Beilagen

1	Geologische Karte 1 : 50'000
2	Geologische Profilschnitte
3	Karte der Felsoberfläche 1 : 25'000
4	Hydrogeologische Karte 1 : 25'000
5	Zusammenstellung der Sondiererergebnisse - Bohrprofile (Beil. 5.1 bis 5.7)

1. Einleitung

Im Zeitraum von 1984 bis 1988 untersuchten die beiden Mitautoren W. Nabholz und H. Scheiwiller im Auftrag des Tiefbauamtes des Kantons Graubünden den Untergrund von Flims. Diese Untersuchungen dienten dem Ziel, erste Grundlagen zur Varianten-Evaluation einer künftigen Umfahrungsstrasse von Flims-Dorf und Flims-Waldhaus zu schaffen, die streckenweise in einem Tunnel geführt werden soll. Zum ersten Teil dieses orientierenden Untersuchungsprogramms gehörten sieben Kernbohrungen (SB 1 bis SB 3 und SB 5 bis SB 8), die das Tiefbauamt 1985 abteufen liess. Das zu Tage geförderte Kernmaterial wurde von W. Nabholz und H. Scheiwiller untersucht und führte zu neuen geologischen Erkenntnissen über die Genese der Bergsturmassen von Flims (vgl. NABHOLZ 1987 und AMMANN 1986).

Im Anschluss an die Sondierkampagne 1985 wurden den Bohrungen, dem Pumpwerk Staderas, Bächen und Seen Wasserproben entnommen, deren Ursprungsalter im Physikalischen Institut der Universität Bern anhand der Isotopenverteilung ermittelt wurde. Per Ende 1988 wurde ein mittels vier Tracern angelegter Wasser-Markerversuch Flims abgeschlossen.

Die im Rahmen der im Sommer 1991 vom Tiefbauamt in Auftrag gegebene, detailliertere Variantenbearbeitung erforderte zur Beantwortung spezieller bautechnischer und hydrogeologischer Fragen ergänzende Sondierbohrungen (SB 9 bis SB 14), die ebenfalls mit Piezometer-Rohren ausgerüstet wurden. Seit 1991 erfolgt die ingenieurtechnische Bearbeitung durch das Ingenieurbüro Amberg AG, Chur; die geologischen und hydrogeologischen Arbeiten werden durch das Büro Büchi und Müller AG, Chur, ausgeführt.

In Ergänzung zur zweiten Bohrkampagne wurden im Raum von Flims-Dorf sieben refraktions- sowie drei reflexionsseismische Profile durch die Firma GeoExpert AG, Schwerzenbach, aufgenommen.

Dem Vorsteher des Tiefbauamtes Graubünden, Herrn Oberingenieur Heinz Dicht, sei hier bestens gedankt für die Erlaubnis zu der vorliegenden Publikation. In den Dank eingeschlossen ist sein Vorgänger, Herr Oberingenieur Kurt Suter, und der Planungschef des Amtes, Herr Ingenieur Robert Wacker.

Die Isotopenuntersuchungen verdanken wir Herrn Ulrich Schotterer von der Abteilung Klima- und Umweltphysik, die unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. H. Oeschger am Physikalischen Institut Bern stand.

Die chemischen Wasseruntersuchungen konnten dem Chemischen Laboratorium des Kantons Graubünden anvertraut werden, wofür seinem Leiter, Herrn Dr. Ing. Chem. Clau Berther, und seinen Mitarbeitern gedankt sei.

Besonderer Dank gilt auch der Gemeindebehörde und der Bevölkerung von Flims für die hilfreiche Unterstützung bei den Sondierarbeiten.

2. Geologischer Überblick

2.1. Quartär

Der Flimser Bergsturz ist das weitaus grösste derartige Ereignis im gesamten Alpenraum. Nach dem Rückzug des Vorderrhein-Gletschers in der Endphase der letzten Eiszeit brachen rund 10-15 km³ Fels nieder. Als Ursachen des Bergsturzes können das rasche Zurückweichen der Gletschermassen und der dadurch abgebaute Eisdruck sowie die Richtung der Hauptkluftsysteme und die flache, talwärts einfallende Schieferung genannt werden. Ein erhöhter Porenwasserdruck in den Schichtflächen dürfte zusätzlich eine wichtige Rolle beim Abgleiten gespielt haben. Die bis 600 m mächtigen Trümmermassen, die eine Fläche von über 50 km² bedecken, schütteten den Vorderrhein von Castrisch bis Reichenau auf einer Länge von 12 km zu. Hinter diesem Trümmerberg staute sich der erste Ilanzer See auf. Die geologische Kartenskizze der Beilage 1 gibt einen Überblick über das gesamte Flimser Bergsturzgebiet.

Nach dem Niedergang des Flimser Bergsturzes konnte sich eine dünne Vegetationsschicht bilden, welche durch mehrere Verwitterungshorizonte in den Bohrungen belegt ist. Erneut rückten aber der Segnes- und Bargis-Gletscher bis in die Region von Flims vor. Nachstürze aus der Westwand des Flimsersteins fielen direkt auf die Gletscher und wurden von ihnen weitertransportiert. Die Moränen der Lokalgletscher erreichten Mächtigkeiten bis zu 50 m. Der Vorderrhein-Gletscher rückte zu dieser Zeit nochmals bis nach Chur vor (Churer Stadium). Dessen Eis reichte nicht ganz bis zum Rücken der La Mutta hinauf; die höchstgelegenen Kristallinblöcke liegen mindestens 70 m tiefer. Hingegen wurde die Mutta-Höhe während des Churer Stadiums vom Segnes-Gletscher überfahren. Nach dem Rückzug der Gletschermassen bildete sich der zweite Ilanzer See. Dieser durchbrach die Sperre, ergoss sich murgangähnlich bis ins Domleschg hinein und lagerte dort die sogenannten Bonaduzer Schotter ab.

Das Eis schmolz bis oberhalb Flims zurück, so dass sich wiederum Verwitterungshorizonte bilden konnten, die in den meisten Bohrungen erhalten sind. Anhand der nur in geringer Zahl gefundenen Pollenkörnern (AMMANN 1986) dürfte dieses Interstadial in die untere Dryas-Zeit gestellt werden. Im Becken des Lag la Cauma blieb vermutlich eine Toteismasse erhalten, die dieses vor der Zuschotterung bewahrte.

Ein zweiter Vorstoss des Segnes-Gletschers transportierte nochmals grössere Massen von Nachbrüchen bis in die Gegend des Lag la Cresta. Dieses Moränenmaterial bildete eine locker gelagerte oberste Schicht mit reichlich Hohlräumen. In den Sondierbohrungen konnten mehrere Verwitterungshorizonte beobachtet werden, die darauf hinweisen, dass sich die Gletscherzunge mehrmals vorwärts und zurück bewegte.

Der letzte Gletschervorstoss hat die vom Menschen kaum veränderte Landschaft des Flimser Waldes gestaltet. Die Terrainoberfläche weist ein sehr unruhiges Kleinrelief auf. Nicht nur ragen Grossblöcke auf Schritt und Tritt aus dem Waldboden heraus, sondern auch Hohlformen ohne oberirdischen Abfluss finden sich in steter Folge. Sie bilden trichterförmige Mulden, oft 10-30 m im Durchmesser und von bis zu 10 m Tiefe. Das anfallende Nieder-

schlagswasser versickert unterirdisch und rasch. Gesamthaft betrachtet muss der Moräne im Untergrund von Flims mit ihrem wirren Haufwerk von Trümmergesteinen uneinheitliche Kohäsion und Konsistenz zugewiesen werden, denn hier kommt das ganze Spektrum, von sehr druckfesten Blöcken über rolliges Material, Sand, Silt und Lehm bis zu offenen Löchern vor.

Aus der vorangegangenen Beschreibung geht hervor, dass der Untergrund von Flims südwestlich des Flem, soweit er für den Tunnelbau in Frage kommt, aus Moräne des Segnes-Gletschers besteht. Sie setzt sich aus Gesteinstrümmern zusammen, die vom riesigen Flimser Bergsturz herkommen und noch ein kurzes Stück weit vom prähistorischen Segnes-Gletscher transportiert worden sind. Die Trümmer umfassen sämtliche Grössenklassen, vom haushohen Block über viele Kalkblöcke abnehmender Grösse und Steine bis zu Trümmerchen in der Splitt-, Sand- und Siltfraktion. Schwer wasserdurchlässige Lehmhorizonte sind selten eingelagert. Sonst ist dieser riesige Trümmerhaufen wasserdurchlässig, wie dies schon aus den Oberflächenformen hervorgeht.

Nördlich des Flem wurde das gletschertransportierte Bergsturzmateriel nach dem letzten Rückzug der Lokalgletscher weitgehend umgelagert. Im Gebiet von Flims-Dorf besteht die nur geringmächtige Lockergesteinsdecke vorwiegend aus sandig-kiesigem Bachschutt, bei Cangina aus stark tonig-siltigem Rutschmaterial. Vereinzelt sind auch noch isolierte jüngere Bergsturzböcke anzutreffen. In ruhigeren Milieus lagerten sich zudem tonige Silte bis Feinsande ab.

2.2. Fels

Das geologische Profil A-A' der Beilage 2 zeigt den geologisch-tektonischen Aufbau durch die parautochthone Vorab-Tschepp-Decke und die darauf überschobenen helvetischen Serien (Verrucano). Für die Grundwasserspeisung spielen vor allem die parautochthonen, stark verkarsteten Kreidekalke im Vorab-Gebiet eine bedeutende Rolle, was aus einem Färbversuch von E. Rohrer (1980) (vgl. Kap. 3.2.) klar hervorgeht.

Mit den Felsbohrungen bei Flims-Dorf wurde ausschliesslich der obere Quintner Kalk und das darunter liegende Mergelband des parautochthonen Malms erschlossen. Die Durchlässigkeit dieser Gesteine ist in der Regel gering (vgl. Kapitel 3.7.). Entlang grossräumigen, steilstehenden Kluftstörungen (vgl. Beilage 3) ist jedoch auch im oberen Quintner Kalk eine gut funktionierende Kluftwasser-Zirkulation anzunehmen.

Auf eine detailliertere Beschreibung der geologischen Verhältnisse wird hier verzichtet, da dies nur wenig zum Thema Hydrologie des Bergsturzgebietes im Raum Flims beisteuert.

3. Untersuchungsprogramme

3.1. Ältere geologische und hydrogeologische Erhebungen

Seitdem Geologen den vielfältigen Formenschatz des Alpenraums sowie dessen Genese zu erklären versuchten, beschäftigten sie sich auch schon mit der geologischen Geschichte der Flimser Bergsturzmassen. So entstammen mehrere Arbeiten über die Vielfalt des vorliegenden Bergsturzkörpers der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts. Dabei seien insbesondere die Arbeiten von THEOBALD (1861), HEIM (1882) und HARTUNG (1884) erwähnt.

In der Dissertationsarbeit "Beiträge zur Kenntnis der Schuttmassen im Vorderrheintal" von GSELL (1918) findet sich eine ausserordentliche Fülle von Einzelbeobachtungen und -darstellungen. Darin wird auch erstmals erwähnt, dass die Flimser Bergsturzmassen teils von Rhein- und teils von Lokalgletschern (Segnes, Vorab) überdeckt wurden. Seine Folgerungen wurden vorerst, unter anderem durch Alb. Heim, J. Oberholzer und R. Staub, stark bekämpft. Aufgrund der jüngeren Beobachtungen und Untersuchungen, insbesondere auch der nun vorliegenden Bohrresultate, wird eine Mehrphasigkeit der Schuttmassen-Genese sowie differenziertere einstmalige Bedeckungen durch Rhein- und Lokaleis bestätigt.

Die aktuellen geologischen Erkenntnisse, die auch den Resultaten der Bohrungen aus den Gebieten von Staderas und Lag Prau Pultè - Waldhaus - Lag la Cauma - Lag la Cresta sowie den neueren Altersdatierungen und pollenanalytischen Untersuchungen entsprechen, wurden von NABHOLZ (1987) in den Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern (29. Band) detailliert dargestellt. Die grossräumigen Verhältnisse der Flimser Bergsturzmassen fanden in neuerer Zeit durch NABHOLZ (1975) im VSP-Bulletin und HANTKE (1980) in seinem Buch "Eiszeitalter 2" ihre Darstellung.

Nahezu parallel zu den rein geologischen Betrachtungen der Flimser Bergsturz-Schuttmassen interessierten auch die speziellen hydrologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten. So beschrieben seit HEIM (1883) verschiedenste Autoren die Situationen der oft oberirdisch ab- und/oder zuflusslosen Flimser Seen sowie die bestehenden Quellenverhältnisse. Insbesondere seien hierzu noch die älteren Arbeiten von GSELL (1918) und KÖHL (1953) erwähnt.

Eigentliche hydrogeologische Untersuchungen mittels Sondierbohrungen und Fassungsarbeiten wurden erstmals Mitte der siebziger Jahre im Raum Staderas durch den Mitautor H. Scheiwiller in Zusammenarbeit mit dem Büro für Technische Geologie (Chur) im Auftrag der Wasserversorgung der Gemeinde Flims durchgeführt.

3.2. Ältere Markierversuche

In seinem unveröffentlichten Bericht "Untersuchungen im Gebiet des Vorab" vom 4. April 1980 schildert Dr. E. Rohrer (Buchs) den Verlauf des Färbversuchs 1979 sowie dessen Ergebnisse wie folgt:

"Am 5. September 1979 wurden **10 kg Na-Fluorescein** in das Schmelzwasser des Vorab-Gletschers eingegeben, das wenig unterhalb der Station Vorab-Gletscher der Gondelbahn auf **2'500 bis 2'510 m Höhe** in einer Schwinde (Schluckloch) der dort anstehenden Kreidekalke (Drusbergsschichten) in die Tiefe abtaucht. Von den **23 Beobachtungsstellen** konnte der Farbstoff nur in deren **3 nachgewiesen** werden, nämlich im **Lag Tiert**, der durch einen Grundwasseraufstoss 30 m östlich des Laaxerbaches, 400 m im SW der Wasserproben-Entnahmestelle *b* (Fig. 1), gebildet wird, und in **2 kleinen Quellen im Val Davos**, wo das kleine Bächlein am 6. September 1979 um ca. 18 h intensiv grün gefärbt war. Diese Austrittsstelle liegt in den westlichen Häusern von Flims-Dorf auf 1'100 m Höhe. In 1½ Tagen hat also das Vorabwasser eine horizontal gemessene Strecke von 8 km (Luftdistanz) und eine Höhendifferenz von 1'400 m zurückgelegt. Dabei benützt es ziemlich sicher eine natürlich entstandene Karströhre in den Kalken des anstehenden Untergrundes und unterquert darin den Bachlauf des Flem, ohne diesen zu beeinflussen, denn der Flem wies kein Fluorescein auf."

Während der im voranstehenden Abschnitt beschriebene Versuch von den Merkmalen eines Karstwassersystems in den Kreidekalken bzw. einer Zirkulation in Klüften im Malm geprägt ist, zeigt das nachfolgend beschriebene Beispiel (Kap. 3.3) Analogien mit den Verhältnissen, wie sie teilweise auch im Untergrund des Wasser-Markierungsversuchs 1987/88 bestanden haben.

3.3. Grundwasser-Untersuchungen im Pumpwerk Staderas

Im Grundwasser-Pumpwerk Staderas (Wasser-Entnahmestelle *b* in Fig. 1), das die Gemeindewasserversorgung von Flims beliefert, wird das Wasser aus 26-35 m Tiefe durch einen Vertikalschacht von 100 cm Durchmesser gefördert. Die maximale Entnahmemenge beträgt rund 1'500 l/min. Das so genutzte Grundwasser stammt vorwiegend aus einem siltigen Kiessand. Die darüber liegende, 26 m mächtige Lockergesteinsserie wurde als "grauer Kies mit viel Sand, mit Steinen und Blöcken von bis zu 2 m Durchmesser" bezeichnet. Den heutigen Kenntnissen zufolge ist anzunehmen, dass die ganze durchbohrte Lockergesteinsabfolge einst vom Gletscher antransportiert wurde. Ihre Gesteinskomponenten sind annähernd gleich zusammengesetzt wie die Moräne des Segnes-Gletschers. Im Bereich von Flims-Waldhaus entsprechen sie zudem auch den in neuen Sondierbohrungen festgestellten Lockergesteinskomponenten. Der "intensiv" wasserführende siltige Kiessand ist als verschwemmte Lage innerhalb des Moränenkomplexes zu deuten.

Der Grundwasserleiter ist - lokal betrachtet - markant heterogen ausgebildet. So werden besser durchlässige Schichten seitlich, über relativ kurze Distanzen, von weniger permeablen Serien (und umgekehrt) abgelöst. Dies geht besonders daraus hervor, dass in Staderas auf einem Areal von 450 x 100 m in den Jahren 1979/80 fünf Sondierbohrungen und ein Probebrunnen abzuteufen waren, bis der definitive Standort des Pumpwerks gefunden war. Eine etwa 30 m nördlich dieses Standorts ausgeführte Sondierbohrung blieb bis zur Endtiefe von 55 m trocken. Eine andere, 60 m östlich gelegene, 50 m tiefe Sondierbohrung führte nur wenig Wasser. Nach physikalischen und chemischen Untersuchungsergebnissen (Tab. 2) kann hier auf ein heterogen zusammengesetztes Wasser geschlossen werden, wurden doch neben den

älteren auch junge Komponenten festgestellt. Trotz dieser lokal stark schwankenden Verhältnisse kann grossräumig dennoch ein zusammenhängender, mehr oder weniger einheitlicher Grundwasserleiter angenommen werden.

Aus den einzelnen Sondierresultaten lassen sich nun generelle Eigenschaften des hier vorliegenden Grundwasserleiters ableiten. Von den nachstehenden Annahmen kann ausgegangen werden:

- Die Leitemächtigkeit ist ausserordentlich schwankend, sie beträgt - zumindest lokal - bis über 9 m, wie dies im Bereich des Pumpwerks auch beobachtet wurde.
- Die in den einzelnen Bohrungen (ausser der trockenen SB 5/80) und im Pumpbrunnen beobachteten Wasserstände ergeben einen gut korrelierbaren Wasserspiegel, der sich seitlich zwanglos an den Bachwasserspiegel des Laaxerbaches (Ual da Mulin) anschliessen lässt. Aus dieser Situation kann auf entscheidende Infiltrationen dieses Oberflächenwassers in den Grundwasserleiter geschlossen werden. Das resultierende hydraulische Gefälle lässt sich aus den Spiegellagen auf zirka 7% berechnen.
- Für den vorhandenen Brunnenradius (r) von 0.5 m stellt die angegebene maximale Fördermenge von 1'500 l/min die maximale Brunnenergiebigkeit ($Q_{\max}$) dar. Bei dieser Menge findet eine maximal mögliche Absenkung ($s_{\max}$) statt, die gemäss der korrigierten Absenkung nach Jacob ($s_{\max} = s - s^2 / 2H$) der Hälfte der Leitemächtigkeit, also 4½ m, entspricht.

Folgerungen:

- Infolge der lokal ausgeprägt heterogenen Verhältnisse empfiehlt es sich, anstelle der k-Werte viel eher die Transmissivitätsverhältnisse zu beurteilen [Transmissivität (T) = Durchlässigkeit (k-Wert) $\times$ Mächtigkeit (H)].
- Aufgrund des hohen hydraulischen Gefälles (7%) kann auf eine generell eher bescheidene Transmissivität geschlossen werden.
- Unter Berücksichtigung der rechnerisch-graphischen Berechnungsmethode nach Sichardt zur Bestimmung der maximalen Brunnenergiebigkeit ($Q_{\max}$) (Schnittpunkt Ergiebigkeitsparabel mit Fassungsgeraden) kann auf einen k-Wert von rund 7×10^{-4} m/s und demzufolge auf eine Transmissivität von rund 6×10^{-3} m²/s geschlossen werden.
- Entsprechend der groben Näherungsbeziehung nach Dupuit

$$T \sim Q_{\max} / s_{\max} \text{ bzw. } T \sim Q_{\max} / [(H - s_{\max}/2) \times s_{\max}]$$

lässt sich ein Transmissivitätswert um $(6-7) \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ abschätzen, eine Grössenordnung also, die einerseits gut jener der vorherigen Berechnungsmethode entspricht und andererseits das relative hohe hydraulische Gefälle plausibel erscheinen lässt.

- Wird nun davon ausgegangen, dass im rund 500 m breiten Raum von Staderas eine durchschnittliche Transmissivität von etwa $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ vorliegt, ist zu folgern, dass dieses Gebiet von 0.15 bis 0.20 m^3/s , das heisst 150 bis 200 l/s Grundwasser unterquert wird.
- Im Vergleich zu diesen relativ grossen Durchflussmengen wird ersichtlich, dass die Grundwasserfassung Staderas bei maximal 25 l/s den Grundwasserleiter keinesfalls übernutzt.

3.4. Sondierkampagne 1985

Zur Bestimmung des geologischen Schichtaufbaues, der Gesteinsbeschaffenheiten, der Grundwasser-Verhältnisse sowie der bautechnischen Eigenschaften wurden im Bereich der damals zur Diskussion gestandenen Trassierungsvarianten der Umfahrung Flims sieben Kernbohrungen abgeteuft. Ihre Kenndaten lassen sich dabei wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 1: Wichtige Bohrkenndaten der Sondierkampagne 1985.

Bezeichnung:	Koordinaten	Terrain- kote [m ü.M.]	Endteufe [m ü.M.]	Wasserspiegel		Wichtige wasserführende Zonen [m ü.M.]
				maximal [m ü.M.]	minimal [m ü.M.]	
SB 1/85	740 445 / 187 700	1'115.65	1'067.40	1'092.39	1'079.67	>1'092-1'087 1'085-1'082 1'081-1'080 1'077-1'076 1'072-1'071
SB 2/85	740 575 / 187 740	1'123.30	1'073.30	1'078.20	<1'075.2	(1'078-<1'075)
SB 3/85	741 275 / 187 935	1'092.25	991.90	1'039.09	1'035.90	>1'036-1'019 1'017-1'013 1'012-1'011
SB 5/85	742 330 / 188 360	994.00	899.00	963.10	960.70	962-949
SB 6/85	741 245 / 187 545	1'065.65	985.60	1'023.00	1'012.72	generell: 1'023-1'008.7 sicher: 1'010.7-1'008.7
SB 7/85	741 608 / 187 458	1'079.90	991.70	999.60	994.00	generell: >1'000-<992 sicher: 998.3-996.7
SB 8/85	741 720 / 188 050	1'061.34	981.30	1'008.90	1'006.04	1'009-1'002

In der Bohrung **SB1/85** wurden zwei fossile Böden festgestellt, von denen je eine Probe entnommen wurde. Zudem fand eine Wasserentnahme für ^{18}O - und ^3H -Analysen statt.

In der Bohrung **SB 2/85** wurde je eine Bodenprobe zur Analyse der zwei beobachteten fossilen Böden entnommen. Der im Bereich zwischen den Koten von 1'082.90-1'079.30 vorgenommene Absenkversuch ergab einen k-Wert von ca. 2×10^{-6} m/s bzw. eine Transmissivität von etwa 1×10^{-5} m²/s.

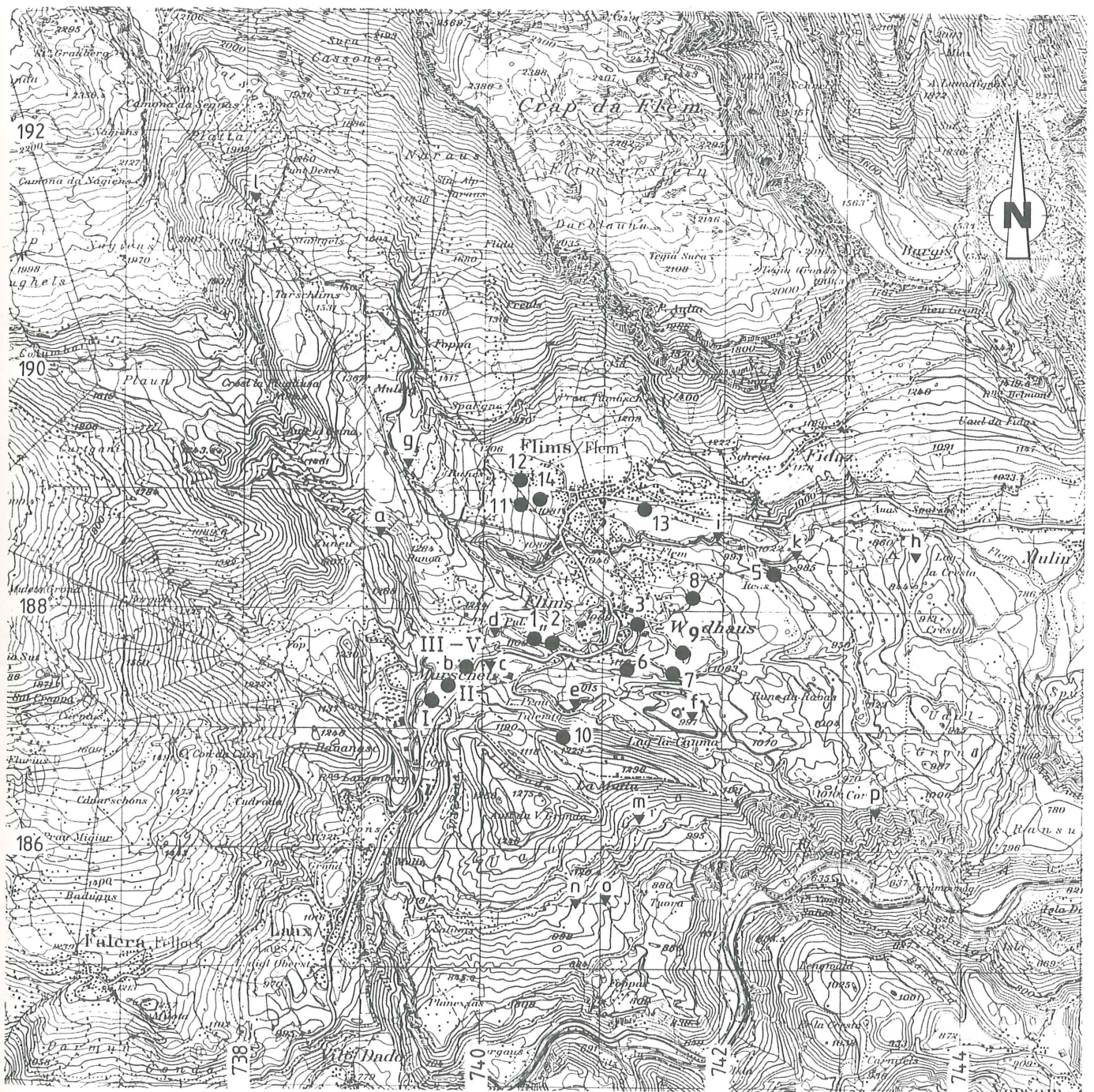
In Bohrung **SB 3/85** wurden zwei fossile Böden vorgefunden. Im Piezometerrohr, das die hier vorhandenen wasserführenden Zonen gemeinsam erschliesst, wurde ein Pumpversuch mit einer mittleren Fördermenge (Q) von 140 l/min ausgeführt. Von diesem resultiert ein k-Wert von ca. 2×10^{-4} m/s bzw. eine Transmissivität von etwa 4×10^{-3} m²/s.

In **SB 5/85** fanden sich zwei fossile Böden. Der mit einer Menge von 170 l/min durchgeführte Pumpversuch ergab für die Strecke zwischen den Koten von 960-949 m ü.M. einen k-Wert von ca. 3×10^{-4} m/s bzw. eine Transmissivität von etwa 4×10^{-3} m²/s. Während des Pumpversuches wurden Wasserproben zur chemischen Analyse entnommen.

Je eine Probe wurde den beiden in Bohrung **SB 6/85** beobachteten fossilen Böden entnommen. In der Zone von 1'025-1'005 m ü.M. wurde ein Pumpversuch mit einer Förderung von 120 l/min durchgeführt. Daraus resultiert, dass die Durchlässigkeit k um etwa 1×10^{-4} m/s liegt und die Transmissivität etwa $(1.5-2.0) \times 10^{-3}$ m²/s betragen muss. Zur nachfolgenden chemischen und isotonenphysikalischen Analyse wurden im Verlaufe des Pumpversuchs Wasserproben entnommen.

Von den zwei in der Bohrung **SB 7/85** angetroffenen fossilen Böden wurde je eine Probe entnommen. Der die Zone von 998.3 bis 996.7 m ü.M. testende Durchlässigkeitsversuch ergab einen k-Wert von etwa $(1-5) \times 10^{-4}$ m/s, weshalb hier von einer Transmissivität von 2.5×10^{-3} m²/s ausgegangen werden kann. Auch hier wurden Wasserproben zur chemischen und isotonenphysikalischen Analyse gezogen.

In der Bohrung **SB 8/85** liegen ein, eventuell gar zwei fossile Böden vor. Von ihnen wurde total eine Probe entnommen. Der zwischen den Koten 1'008-1'002 m durchgeführte Pumpversuch, bei dem 100 l/min gefördert wurden, ergab einen k-Wert von etwa 1.5×10^{-4} m/s bzw. eine Transmissivität von 1×10^{-3} m²/s. Schliesslich wurde dabei ebenfalls gepumptes Wasser für chemische und isotonenphysikalische Untersuchungen entnommen.



Figur 1: Situation mit Lage der Sondierbohrungen und Wasser-Entnahmestellen. Massstab 1 : 50'000. Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 19.4.1993.

- ▼ Oberflächen-Entnahmestellen (a-p, Ausnahme b: Bohrung Staderas)
- Piezometer 1985-1992 (1-14) und Bohrungen Staderas (I - V)

3.5. Wasser-Markierversuch 1987/88

Wie oben erwähnt, wurden beim Abteufen der sieben Sondierbohrungen verschiedene wasserführende Zonen angeschnitten (vgl. Fig. 1 und Tab. 1). Die hydrometrisch, physikalisch und chemisch ermittelten Daten lassen den Schluss zu, dass einige dieser Horizonte zum Lag la Cauma hinunter führen könnten. Um diese Beobachtungen zu erhärten und um die Kenntnisse über die unterirdische Wasserzirkulation zu erweitern, wurde ein Wasser-Markierversuch bzw. ein Tracertest angestellt. Mit dessen Ausführung wurde die Firma Colombi-Schmutz-Dorthe AG (Bern) beauftragt. Die Farbstoff-Nachweise erfolgten dabei mittels eines Fluoreszenz-Spektrophotometers Perkin-Elmer LS-3. Die quantitativen Analysen des dritten eingesetzten Markierstoffes, des Kochsalzes, führte das Kantonale Chemische Labor in Chur aus.

Die Eingabe der drei Markierstoffe erfolgte nach Abschluss der Badesaison am 27. Oktober 1987 in drei ausgewählten Sondierbohrungen. Nach den vorangegangenen chemischen und physikalischen Wasseruntersuchungen (siehe Tab. 2) erachtete man es als wahrscheinlich, dass mindestens einer der drei in der SB 3/85 angeschnittenen Wasserhorizonte zum Lag la Cauma hinunter führt. Daher wurden hier 10 kg des am leichtesten nachweisbaren Markierstoffes Fluorescein eingegeben.

Zur Sole-Impfung mit 4'500 kg gelöstem Kochsalz wählte man SB 6/85 aus. In die Sondierbohrung SB 8/85 liess man 10 kg des roten Markierstoffs Rhodamin B eingeben. Die Markierstoffe wurden jeweils mittels einer Schlauchleitung ab einem nahe gelegenen Hydranten eingespült. Zwischen dem 8. und 12. Dezember 1987 spülte man an den drei Eingabestellen nochmals kräftig nach.

Nach der Eingabe der Markierstoffe am 27. Oktober 1987 begann die Probenentnahme zur Analyse an 5 Messstellen, nämlich in den Sondierungen SB 6/85 und SB 5/85 sowie im Flem oberhalb der ARA (*i*), im Lag la Cresta (*h*) und im Lag la Cauma (*f*). Die Probenentnahmen erfolgten in den ersten 15 Tagen dreimal pro Tag, dann zwei Wochen lang zweimal, dann bis zum 19. Dezember 1987 einmal pro Tag, bis zum 25. Mai 1988 einmal pro Woche, bis zum 26. August 1988 zweimal pro Monat. Vom 23. Februar 1988 wurden ferner die Messstellen *p* (Quelle unterhalb Conn) und *o* (Quelle westlich Tuora) beprobt, denn diese beiden Quellen kommen für den Abfluss aus dem Lag la Cauma in Frage. Gleichzeitig setzte man hier Fluorkaptoren ein (mit aktiver Kohle gefüllte Säcklein, die das durchlaufende Fluorescein sammeln).

Der Abgang der Markierstoffe aus den Eingabestellen zeigte ein sehr langsames Wegrückfließen in die Umgebung, das - abhängig von den Niederschlägen - ruckartig erfolgte.

Während der zehnmonatigen Beprobung konnten die beiden Tracer Rhodamin B und Kochsalz in keiner einzigen Probe nachgewiesen werden. Hierzu gilt es zu erwähnen, dass das Rhodamin oft durch Adsorption an feinen Bodenpartikeln zurückgehalten wird. Die im Grundwasser aufgetretenen Kochsalz-Konzentrationen dagegen scheinen aufgrund der eingetretenen Verdünnungs- und Dispersionseffekte derart vermindert worden zu sein, dass ein signifikanter Nachweis nicht mehr möglich war.

Demgegenüber konnte Fluorescein an allen Proben-Entnahmestellen nachgewiesen werden, dies jedoch nur in winzigen Konzentrationen, wie dies aus Figur 2 hervorgeht

(Graphik aus dem Bericht Colombi-Schmutz-Dorthe vom 18. November 1988). 22 Tage nach der Eingabe erschien Fluorescein erstmals in einer Konzentration von 10^{-8} g/l im Lag la Cresta und in der Sondierbohrung SB 6/85, einen Tag später in der selben Konzentration im Lag la Cauma und in der Sondierung SB 5/85.

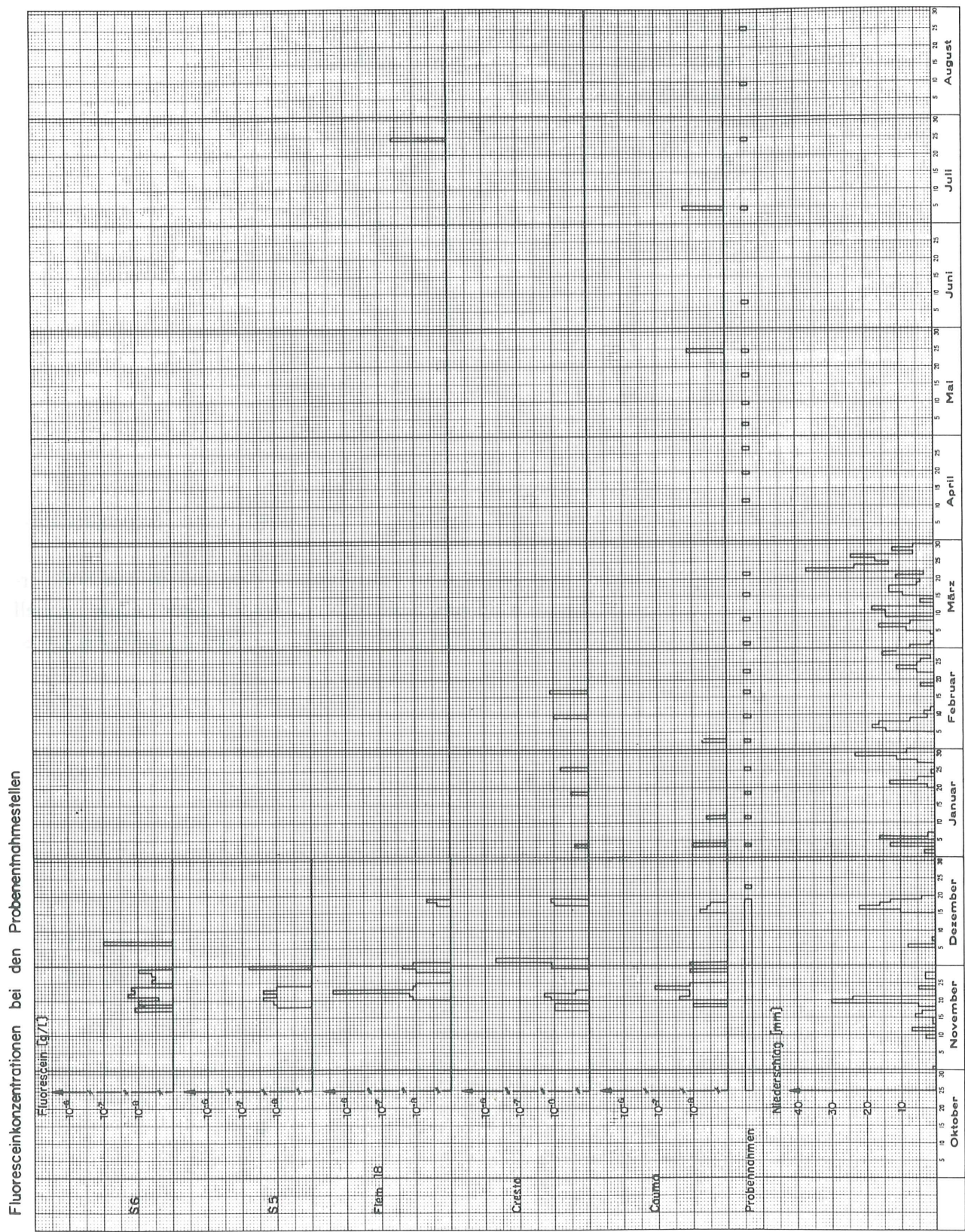
Bezogen auf die Konzentration bei der Eingabe (100 g/l) ergibt sich also ein Verdünnungsfaktor von rund 10^{10} . Die Nachweisgrenze für Fluorescein liegt für das eingesetzte Spektrophotometer bei ca. 5.0×10^{-9} g/l. Der höchste Gehalt wurde mit 5.0×10^{-6} g/l 27 Tage nach der Eingabe im Flem (Messstelle 18) gemessen, und zwar nach dem Einsetzen der ersten grösseren Niederschläge. Sonst blieb die Konzentration fast durchwegs unter 10^{-7} g/l. Für alle Messreihen gilt die Regel, dass farbpositive Wasserproben von negativen Proben unterbrochen werden.

Von Interesse sind ferner die mit den Fluorkaptoren erzielten Resultate, die vom Januar an in den in Figur 2 aufgeführten Messstellen eingehängt waren, in den Quellen unterhalb Conn (p) und westlich Tuora (o). Die Kohlesäcklein, die jeweils bei der Probenahme ausgewechselt wurden, erwiesen sich allesamt als Fluorescein positiv, während dies für die in Flaschen entnommenen Proben nur in ganz wenigen Fällen zutraf. So reagierten auch die Fluorkaptoren der Quellen Conn und Tuora bis zur letzten Probenahme am 26. August 1988 stets deutlich positiv.

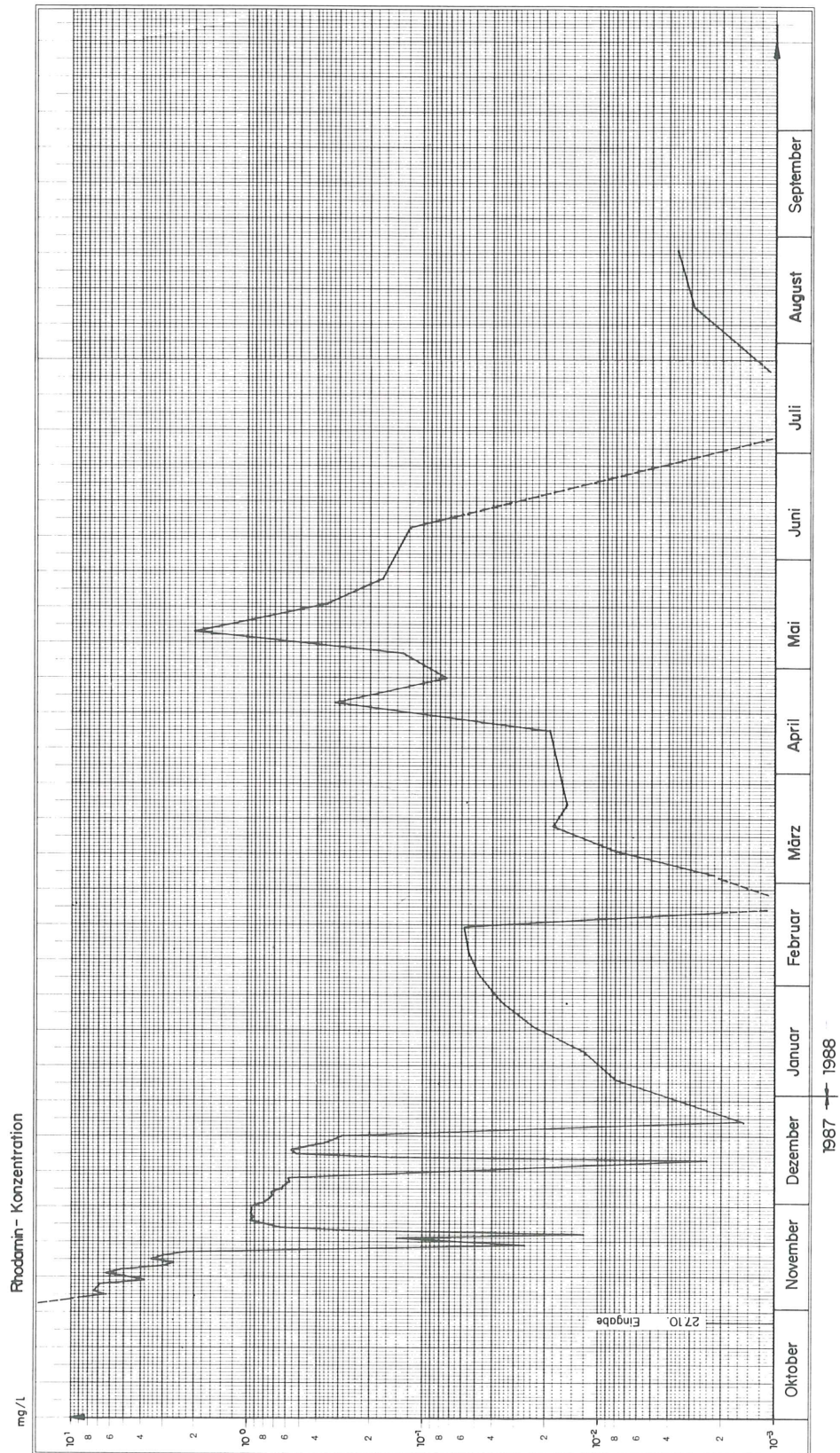
Die Auswertung des Markierversuchs führt zum Schluss, dass das in den Sondierbohrungen im Untergrund von Flims-Waldhaus angetroffene Grundwasser relativ schnell fliesst. Aus dem ersten Auftreten von Fluorescein ergeben sich folgende maximale Abstandsgeschwindigkeiten (v_d):

Für den ca. 2.3 km entfernten Lag la Cresta	ca. 105 m/d,
Für die nur 400 m entfernte Sondierbohrung SB 6/85	ca. 18 m/d,
Für die 1'100 m entfernte Sondierbohrung SB 5/85	ca. 48 m/d,
Für den rund 700 m entfernten Lag la Cauma	ca. 30 m/d.

Unter Berücksichtigung des grossräumigen hydraulischen Gradienten (i) von 0.06 bis 0.10 sowie von Nutzporositäten (n'), die etwa zwischen 0.05 und 0.20 schwanken, entsprechen den festgestellten maximalen Abstandsgeschwindigkeiten durchschnittliche k-Werte von zwischen 1×10^{-4} und 4×10^{-3} m/s. Da die in den Bohrungen beobachteten Gesamtmächtigkeiten der gut durchlässigen wasserführenden Zonen in der Regel nur einige wenige Meter messen, ergeben sich aus dem Markierversuch grossräumige Transmissivitäten, die in der Grössenordnung von $T = (1 \text{ bis } 10) \times 10^{-3}$ m²/s liegen. Diese Werte entsprechen im groben Rahmen jenen aus dem Raum Staderas (vgl. Kap. 3.3.).



Figur 2: Fluorescein-Konzentrationen bei den Probe-Entnahmestellen [SB6, SB5, i (Flem), h (Lag la Cresta), f (Lag la Cauma)] - Eingabe in SB3. Colombi, Schmutz, Dorthe AG, November 1988.



Figur 3: Rhodamin-Konzentration in der Impfstelle SB 8/85.
Colombi, Schmutz, Dorthe AG, November 1988.

Tabelle 2: Resultate der Wasseranalysen.

Entnahmestelle	Datum	Temperatur [°C]		δ ¹⁸ O [‰]	Tritium [TU]	Mittlere Höhe Einzugs- gebiet [m ü. M.]	Gesamt- härte [FH°]	Karbonat- härte [FH°]	Rest- härte [FH°]	Sulfat SO ₄ ⁻² [mg/l]	Nitrat NO ₃ ⁻ [mg/l]	Chlorid Cl ⁻ [mg/l]	Ammo- nium NH ₄ ⁺ [mg/l]	Perman- ganatzahl KMnO ₄ [mg/l]	pH- Wert	
		Luft	Wasser													
a Ual Draus 1200 m ü.M.	17.08.84	15.2	6.5	-14.43		2193										
	18.10.84	13.0	6.0	-14.37												
b Staderas Pumpwerk GW/Sp. 1085 m ü.M.	17.08.84	18.5	7.1	-14.57	57.3±3.3											
	17.10.84	11.0	7.3	-14.77	54.6±3.3											
	27.11.84	6.0	5.4				17.7	14.4	3.3	3.87	0.90		<0.04			
	05.02.85	-1.0	5.6				17.3	14.1	3.2	2.88	0.92		<0.04			
	13.06.85	15.6	7.7	-15.72	26.3±2.8		9.3	7.8	1.5	1.30	0.20		<0.04			
	26.08.85	5.5	7.6	-15.21	30.6±3.3		17.0	13.1	3.9	33.3	3.80	0.88	<0.04	1.58		8.1
c Forellenteich Bodmer 1093 m ü.M.	17.08.84			-14.03												
	17.10.84			-14.44												
13.06.85	15.6	7.7	-16.51	21.5±2.7			7.9	6.6	1.3		2.10	0.30	<0.04			
d Lag Prau Pultè 1122 m ü.M.	17.08.84	14.7	5.9	-13.95												
	17.10.84	9.0	7.0	-14.00												
	13.06.85	11.6	6.1	-16.68	17.6±2.7		6.0	5.2	0.8		1.60	0.20	<0.04			
	26.08.85	5.2	5.8	-13.91	28.9±3.1		5.8	5.0	0.8	8.2	1.10	0.66	0.04	2.05		8.0
	17.08.84	17.5	9.8	-14.05	32.4±2.9											
e Lag Tuleritg 1015 m ü.M.	17.10.84	7.0	6.0	-12.60	27.7±2.8											
	17.08.84	19.0	19.2	-13.57	49.9±3.2											
	20.10.84	8.0	9.0	-14.38	46.8±3.1											
	13.06.85	11.0	17.8	-13.84	39.8±3.0		13.9	10.6	3.3		1.70	3.70	<0.04	3.00		8.2
	26.08.85	10.0	17.4	-14.73	47.5±3.4		13.0	10.3	2.7	21.0	1.50	3.45	0.04			
	01.11.85	5.9	8.8	-14.13	38.4±3.1											
	26.08.85	10.0	9.0	-14.95			12.5	10.4	2.2	21.8	1.70	2.38	<0.04	1.90		8.2
	26.08.85	10.0	9.0	-14.90			13.0	10.8	2.2	21.8	1.70	2.91	<0.04	2.21		8.2
	26.08.85	10.0	8.0	-14.63	46.0±3.4		14.5	11.7	2.8	27.2	1.70	2.76	<0.04	1.58		8.2
	26.08.85	10.0	8.5	-14.78			11.9	10.2	1.7	12.8	1.60	2.01	0.04	1.73		8.2
f Flem bei Uaul Runcks 1300 m ü.M.	26.08.85	10.0	8.2	-14.83	48.6±3.2		13.2	10.5	2.7	23.5	2.80	4.20	0.04	2.05		8.2
	26.08.85	10.0	9.9	-14.90			12.4	10.3	2.1	14.4	1.80	2.45	0.04	1.90		8.2
	17.08.84	25.8	5.7	-14.24	28.8±2.9	2260										
	17.10.84	7.0	5.5	-14.32	33.1±2.9											
	17.08.84	11.8	17.9	-13.14	59.0±3.2											
	17.10.84	11.0	10.2	-13.68	50.9±3.2											
	03.05.85	10.2	6.8				19.6	15.1	4.5		2.40	2.40	0.06			
	13.06.85		16.3				19.2	14.2	5.0		2.00	2.30	<0.04			
	26.08.85	15.0	18.1				18.0	13.7	4.3	41.2	1.70	2.45	0.08	4.27		8.2
	01.11.85	6.3	9.6	-13.56	62.8±3.5											
i Flem ob ARA 990 m ü. M.	18.10.84	13.0	6.0	-14.49		1980										
	25.04.85			-15.20	32.9±3.1											
k Flem unter ARA 936 m ü. M.	02.05.85	10.5	5.6				15.7	14.0	1.7		3.00	1.30	0.04			
	02.05.85	10.5	5.9				15.1	13.5	1.6		3.90	2.50	0.04			
01.11.85	6.4	7.1	-14.27	34.4±3.0												
l Uaul Desch 1640 m ü. M.	17.10.84	5.0	4.0	-14.76												

Tabelle 2: Resultate der Wasseranalysen (Fortsetzung).

Entnahmestelle	Datum	Temperatur [°C]		δ ¹⁸ O [‰]	Tritium [TU]	Erguss [l/min]	Gesamt- härte [FH°]	Karbonat- härte [FH°]	Rest- härte [FH°]	Sulfat SO ₄ ⁻² [mg/l]	Nitrat NO ₃ ⁻ [mg/l]	Chlorid Cl ⁻ [mg/l]	Ammonium NH ₄ ⁺ [mg/l]	Perman- ganatzahl KMnO ₄ [mg/l]	pH- Wert
		Luft	Wasser												
Quellen, die höher als der Seespiegel des Lag la Cauma austreten															
m Brunnen Plaunca Biala 1050 m ü.M.	17.08.85	14.0	8.0	-13.66	43.6±3.6	30	22.4	20.6	1.8	10.3	5.10	1.03	<0.04	8.22	8.2
	28.08.85	13.4	8.2												
n Quellfassung 600 m W Tuora 1010 m ü.M.	10.08.85	17.0	8.0	13.88	60.7±3.2	30									
	17.08.85	12.5	8.0			30									
	28.08.85	17.6	8.0			36	21.7	19.8	1.9	13.6	5.10	6.20	<0.04	3.00	8.1
Quellen, die für den unterirdischen Abfluss des Lag la Cauma in Frage kommen															
o Quellfassung 350 m W Tuora 960 m ü.M.	10.08.85	17.0	8.0	-13.69	47.0±3.7	75									
	17.08.85	14.0	8.0			75									
	28.08.85	13.5	8.0			180	22.0	19.0	3.0	17.3	8.10	0.85	<0.04	5.69	8.1
p Quellfassung S unter Conn, 918 m ü.M.	16.08.85	15.0	8.0	-14.38	39.7±2.9	ca.300									
	28.08.85	16.5	8.1			311	15.1	12.3	2.8	22.2	2.30	0.77	<0.04	1.73	8.2
Sondierbohrungen															
SB1 OKT 1115.63 m ü.M. 25 m tief	26.08.85	5.2	6.1	-15.21	30.6±3.3		12.1	10.8	1.3	13.6	1.30	0.26	<0.04	1.58	8.2
	SB3 OKT 1092.25 m ü.M. 56 m tief	13.06.85	12.5	7.7	-14.55	42.6±3.1	140	16.4	11.3	5.1	13.40	10.80	0.04		
26.08.85		8.2	7.4	-14.16	46.3±3.6		17.4	11.7	5.7	37.5	18.40	13.70	<0.04	2.21	8.0
SB5 OKT 994.01 m ü.M. 39 m tief, trüb 39 m tief, klar 60 m tief, klar	09.04.85			-14.35	48.5±3.4	180									
	09.04.85			-14.36	47.8±3.4										
	18.04.85			13.69	28.1±3.1										
	15.05.85	10.0	7.8			170	19.8	15.3	4.5		4.70	4.70	0.04		
SB6 OKT 1065.64 m ü.M. 44.5 m tief 43.5 m tief	26.08.85	11.2	7.1	-14.30	56.9±3.6	170	19.5	14.8	4.7	42.8	5.50	5.74	0.18	2.53	7.8
	23.08.85			-14.57	53.8±3.8	70-100									
SB7 OKT 1079.88 m ü.M. 83.2 m tief	11.09.85	16.4	7.9			120	17.2	12.5	4.7	37.9	1.80	1.73	<0.04	3.79	8.0
	04.11.85	4.5	7.3	-14.21	72.0±4.0	ca.50									
SB8 OKT 1061.50 m ü.M. 54 m tief	26.07.85		8.3	-14.34	37.0±3.2	100	15.1	10.9	4.2	43.2	7.10	6.30	<0.04	1.60	7.9
	26.08.85	6.8	7.9	-14.42	54.5±3.6		17.2	12.5	4.7	43.2	7.30	6.72	<0.04	2.53	8.1

Die mit diesem Färbversuch ermittelten Abstandsgeschwindigkeiten stehen in scheinbarem Widerspruch zu den gemessenen hohen Wasseraltern, die auf viel kleinere Fliessgeschwindigkeiten hinweisen. Der Tracer hat sich demnach hauptsächlich in besser durchlässigen Fliessbahnen ausgebreitet. Im Grossteil des Aquifers fliesst das Wasser jedoch bis zehnmal langsamer. Somit ist auch der Färbversuch von E. Rohrer (vgl. Kap. 3.2.) als eine Ausnahme zu betrachten. Die Speisung über gut zirkulierende Karst- und Kluftsysteme dürfte aufgrund der Alterswerte nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Das Piezometerrohr bei der Impfstelle SB 3/85 erschliesst gleichzeitig drei besser durchlässige, als voneinander getrennte Grundwasserleiter zu interpretierende, wasserführende Zonen (vgl. Tab. 1). Ihre Potentiale werden darin also untereinander kurzgeschlossen. Dadurch wurde ermöglicht, dass ein gleichzeitiges Abfliessen der Farbstofflösung in die voneinander isolierten Grundwasserleiter erfolgen konnte. Da die einzelnen Schichten aber je eine unterschiedliche Verbreitung sowie verschiedene Potentialverhältnisse aufweisen, konnte sich der Tracer, ausgehend von SB 3/85, in verschiedene Richtungen ausbreiten. Die in den einzelnen Schichten herrschenden unterschiedlichen Durchlässigkeiten bewirkten, dass voneinander stark abweichende Fliessgeschwindigkeiten festzustellen waren.

Kleinräumig betrachtet zirkuliert das Grundwasser in divergierende Richtungen bzw. entlang oft verzweigter Bahnen im Untergrund. Dabei wird es in poröseren und wesentlich durchlässigeren Abschnitten lokal angereichert, von welchen aus es wieder in etwas schlechter permeable Bereiche wegsickert.

Die Impfstelle SB 3/85 liegt im Bereich einer sanften unterirdischen Wasserscheide, was aus dem Höhenlinienbild der grossräumigen Potentialverteilung deutlich hervorgeht (vgl. Beil. 4). Es ist zudem anzunehmen, dass die vertikal projizierten Lagen der lokal in den einzelnen Schichtkomplexen bestehenden Wasserscheiden nicht identisch sind und demnach auch nicht genau übereinanderliegen. Dies ermöglicht nun den Markierstoffen in Kombination mit dem Umstand, dass durch die Tracerimpfung drei getrennte Grundwasserleiter erfasst wurden und innerhalb eines Grundwasserleiters seitliche Dispersionen stattfinden, ein auf beide Seiten der Wasserscheide - in Richtung Lag la Cauma bzw. Lag la Cresta - erfolgreiches Ausbreiten des Fluoresceins.

3.6. Physikalische und chemische Wasseruntersuchungen

Am 10. August, 17. August, 17.-20. Oktober, 1. November, 27. November des Jahres 1984 sowie am 5. Februar, 9. April, 18. April, 15. Mai, 13. Juni, 26. Juli, 10. August, 26. August, 11. September und am 4. November des Jahres 1985 wurden von den verschiedenen Oberflächengewässern sowie den Bohrungen und dabei oft auch aus unterschiedlichen Tiefenlagen Wasserproben entnommen. Diese wurden teils chemisch im kantonalen Laboratorium in Chur und/oder teils im Isotopenlaboratorium des Physikalischen Institutes der Universität Bern analysiert. Die Schlussfolgerungen der Isotopenmessungen und chemischen Analysen werden im Kapitel 5.2. dargelegt.

3.7. Sondierkampagne 1991/92

3.7.1. Sondierungen

Zur Erhärtung der hydrogeologischen Modellvorstellung im Raume Waldhaus - Lag la Cauma - La Mutta einerseits sowie zur Erkundung des geologischen Aufbaues und der hydrogeologischen Situation für allfällige Tunnelvarianten im Bereich von Flims-Dorf andererseits wurden im Zeitraum Herbst 1991 bis Frühling 1992 sechs weitere Kernbohrungen abgeteuft. Ihre Kenndaten lassen sich dabei wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 3: Wichtige Bohrkenndaten der Sondierkampagne 1991/92.

Bezeichnung:	Koordinaten	Terrain-kote [m ü.M.]	Endteufe [m ü.M.]	Wasserspiegel		Wichtige wasserführende Zonen [m ü.M.]
				maximal [m ü.M.]	minimal [m ü.M.]	
SB 9/91	741 669 / 187 694	1'093.35	992.85	1'008.85	999.05	1'008.8-999.1
SB 10/91	740 677 / 186 962	1'141.10	1' 060.60	1'067.00	<1' 060	1'067.0-1'060.6
SB 11/92	740 302 / 188 873	1'147.05	1' 096.85	1'138.60	1'129.65	1'126.2-1'123.3 1'109.1-1'107.4 1'105.2-1'104.6
SB 12/92	740 287 / 189 147	1'162.65	1'093.55	1'143.90	1'131.45	Nicht näher lokalisierbare Kluftzonen im Quintnerkalk
SB 13/92	741 374 / 188 894	1'063.70	1'011.70	1'052.20	1'048.95	1'052.2-1'046.9
SB 14/92	740 431 / 188 912	1'123.20	1'068.20	1'115.20	1'111.20	1'115.2-1'083.2

In der Sondierbohrung SB 12/92 wurde in einer Tiefe von 18 m, das heisst auf Kote 1'144.65 m ü.M. der obere Quintner Kalk angefahren. Zwischen 35 m und der Endteufe von 69.10 m bzw. entlang von nahezu 35 m folgte das den oberen vom unteren Quintner Kalk trennende "Mergelband". In der Sondierbohrung SB 13/92 wurde die Oberfläche des oberen Quintner Kalkes auf Kote 1'044.50 m ü.M. erbohrt, in SB 14/92 liess sie sich schliesslich auf Kote 1'083.20 feststellen.

Das an den Bohrkernen eingemessene Schichtfallen betrug zwischen 5° und 20°. Das Einfallen der verschiedenen durchfahrenen Klüfte und Störungs-Trennflächen schwankt zwischen 50° und 90°. Die Mittelwerte der gemessenen Klüfte entsprechen den beiden mehr oder weniger vertikal einfallenden Hauptkluftsystemen, welche an den hohen Wänden des Flimsersteins erkennbar sind.

Die im Uaul Pign, westlich Flims-Waldhaus, abgeteufte Bohrung **SB 9/91** erschloss in 37.50 m Tiefe einen fossilen Boden. Über und unter diesem wurden sehr viele Blöcke durchfahren, die Dimensionen bis über 8 m aufweisen. Neben den Blöcken waren vereinzelt auch

grössere Hohlräume zu beobachten. Aus dem durchgeführten Absenkversuch resultiert ein k-Wert von 1×10^{-6} m/s bzw. eine Transmissivität von ca. 1.5×10^{-5} m²/s.

An der Sondierstelle **SB 10/91** bei Ault dalla Mutta wurde ebenfalls ein fossiler Boden, und zwar in rund 13 m Tiefe, festgestellt. Neben den vielen bis über 3 m messenden Blöcken traten hier auch zahlreiche bis über 2.50 m grosse Hohlräume auf. Ein Absenkversuch ergab etwa die gleichen Durchlässigkeiten und Transmissivitäten wie in der Bohrung SB 9/91.

In der bei Cangina vorgenommenen Bohrung **SB 11/92** besteht das durchfahrene Lockergestein vorwiegend aus verschwemmtem, tonreicherem Material, wobei die darin eingelagerten Blöcke kleinere Dimensionen aufweisen. Die Gesteinskomponenten bestehen vorwiegend aus Verrucano, die Anteile an Quintner Kalk waren dagegen gering. Es fehlen hier Anzeichen von fossilen Bodenbildungen, auch waren keine Hohlräume zu beobachten. In der Zone von 1'109.8-1'096.8 m ü.M. wurde ein Pumpversuch mit einer Fördermenge von ca. 22 l/min durchgeführt. Bei einem k-Wert von 1.5×10^{-6} m/s kann auf eine Transmissivität von etwa 5×10^{-5} m²/s geschlossen werden.

Das 15 m mächtige, in Bohrung **SB 12/92** bei Fischeisch durchteufte Lockergesteinsmaterial entsprach in grossen Zügen jenem von SB 11/92, ausser, dass hier ein geringerer Tonanteil zu verzeichnen war. Über dem anstehenden Quintner Kalk wurde vorerst 3 m bergsturzartiges oder versacktes, stark zerbröckeltes Felsmaterial angetroffen. Die Felseigenschaften konnten entlang einer 51 m langen Kernstrecke ermittelt werden. In der Bohrung SB 12/92 wurde kein Durchlässigkeitsversuch vorgenommen. Im Piezometerrohr wurden Methangas-Messungen durchgeführt. Die Konzentrationen variieren zwischen 43% und

Tabelle 4: Messungen der Methankonzentration im Bohrloch
SB 12/92.UEG = Untere Explosionsgrenze.

Datum	UEG [%]	Methangehalt [%]	Luftdruck [mbar]
06.07.92	63%	3.2%	665
21.07.92	63%	3.2%	672
24.07.92	43%	2.2%	673
03.08.92	61%	3.1%	672
10.09.92	61%	3.1%	674
30.09.92	54%	2.7%	671
16.10.92	45%	2.3%	752
29.10.92	45%	2.3%	682
10.11.92	61%	3.1%	719
26.11.92	43%	2.2%	763
22.12.92	52%	2.6%	732
05.01.93	58%	2.9%	743
22.01.93	62%	3.1%	769
05.02.93	63%	3.2%	754
26.02.93	63%	3.2%	764
15.03.93	67%	3.4%	771

67% der unteren Explosionsgrenze (UEG), was einem Methangehalt von rund 2-3.5% entspricht. Als Erdgas-Mutterformation kommen die liegenden, parautochthonen Aalénien-Schiefer des Doggers in Frage. Es kann von einer Gasmigration bzw. -ausblasung ins Hangende, über bis in den Quintner Kalk reichende Kluft-/Störungssystem sowie ins darüber liegende Lockergestein, ausgegangen werden.

Die bei Ner - im Osten von Flims-Dorf - erstellte Bohrung **SB 13/92** erschloss nach rund 19 m aus Schwemmaterialien und Moräne bestehenden Lockergesteinen den Quintner Kalk. Die total rund 33 m lange Kernstrecke liess sehr deutlich die Klüftung, kataklastische und brecciierte Scher- beziehungsweise Störzonen sowie auch unregelmässige schichtparallele Calcitadern erkennen. Innerhalb der Felszone wurden drei Abpressversuche vorgenommen, bei welchen sich unter Drücken von 7 bis 10 bar zwischen 5 und 12 l/min/m ins Gestein einpressen liessen. Aufgrund des in diesem Bereich entnommenen, nur schwach vertikal geklüfteten Kerns muss angenommen werden, dass entweder die Packer nicht ganz dicht abgeschlossen haben oder entlang der vertikalen Klüftung im unmittelbaren Bohrlochbereich Umläufigkeiten entstanden sind. Bei einem vierten Versuch konnte trotz eines Druckes von 10 bar kein Wasser verpresst werden. Die Durchlässigkeit der Lockergesteine ist so gering, dass auch bei kleiner Pumpmenge das Bohrloch innert kürzester Zeit leergepumpt wurde.

Tabelle 5: Abpressversuche mit Doppelpacker im unverrohrten Bohrloch-Abschnitt.

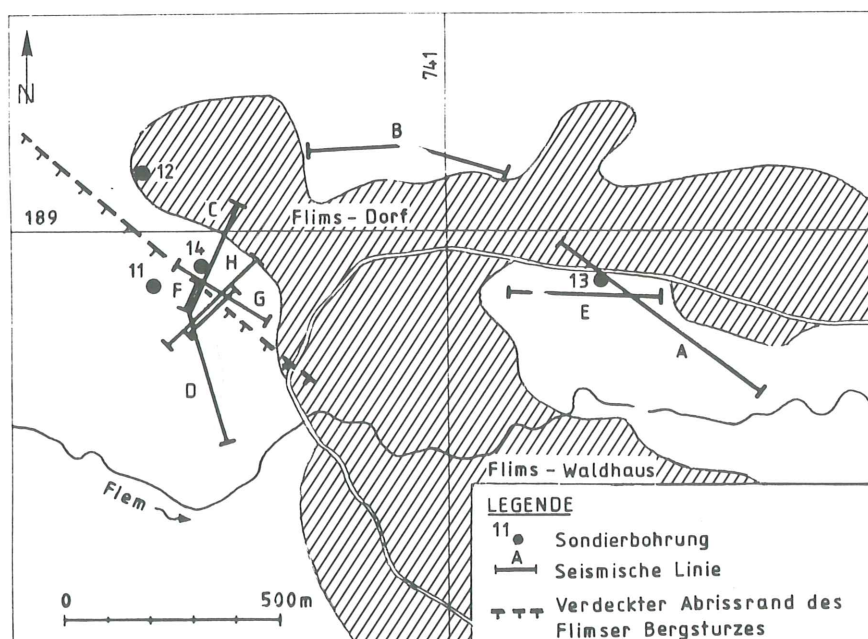
Teststrecke	Durchlässigkeitswert nach Lugeon	Geologische Schicht
SB 13/92		
29.0 - 34.0 m	5.6	Quintner Kalk
35.0 - 40.0 m	8	
40.0 - 45.0 m	12	
46.0 - 52.0 m	0	
SB 14/92		
45.0 - 50.0 m	0	Quintner Kalk
50.0 - 55.3 m	0	

In der bei Cangina abgeteuften Sondierung **SB 14/92** wurde rund 40 m mächtiges Lockergesteinsmaterial erbohrt. Dieses entsprach in den weitesten Zügen jenem von SB 11/92 und SB 12/92. Dagegen konnten in 3 m und 9 m Tiefe je ein dünner fossiler Boden beobachtet werden. Bei den je unter 10 bar durchgeführten Abpressversuchen konnte infolge sehr geringer Durchlässigkeit stets kein Wasser verpresst werden. Im Piezometer-Rohr wurde ein Pumpversuch mit einer Fördermenge von 10 l/min durchgeführt. Aus diesem resultiert ein k-Wert von 1×10^{-6} m/s bzw. eine Transmissivität von 2.5×10^{-5} m²/s.

3.7.2. Geophysikalische Messungen

Nördlich des Flem sollte eine Linienführung der Umfahrung Flims gefunden werden, die das überbaute Gebiet sicher im Fels unterqueren und somit Setzungsschäden an Gebäuden ausschliessen würde. Für die Projektierung reichten die Resultate aus den abgeteufte Sondierungen jedoch nicht aus. Zur Bestimmung der Lockergesteinsmächtigkeit bzw. der Lage der Felsoberfläche wurden deshalb im Gebiet von Flims-Dorf sieben refraktions- und drei reflexionsseismische Profile ausgeführt. Die Anregung des Bodens erfolgte mittels eines Fallgewichtes (Vakimpak, 2'500 Nm).

Eine erste Messkampagne (Profile A-F) im Juni 1992 lieferte bis auf den westlichsten Teil des Untersuchungsgebietes ausreichend Resultate, da die Felsoberfläche nur wenige Meter bis maximal 15 m unter OK Terrain liegt. An den bereits abgeteufte Sondierbohrungen wurden die seismischen Profile geeicht, so dass die Lage der Felsoberfläche entlang der seismischen Profile auf etwa 10 % genau angegeben werden konnte. Auf den beiden westlichsten Linien C und D konnte die Felsoberfläche wegen der geringen Anregungsenergie und mittels der Refraktionsseismik nicht mehr erreicht werden. Im Juli untersuchte man deshalb den Untergrund entlang zweier zusätzlicher Linien refraktions- und reflexionsseismisch.



Figur 4: Situation mit Lage der Sondierbohrungen 1991/92 und der seismischen Linien.

Die Lage eines bereits vorher vermuteten, aber verdeckten Abrissrandes des Flimser Bergsturzes konnte somit genauer lokalisiert werden. Westlich dieses Abrissrandes taucht die Felsoberfläche auf über 200-300 m unter OK Terrain ab. Die Mächtigkeit der Bergsturzmasse kann deshalb auf den Profilen der Beilage 2 unter Umständen wesentlich grösser sein als dargestellt.

Mit Hilfe der seismischen Untersuchungen konnte eine Variante gefunden werden, welche es gestattet, Flims-Dorf mit genügender Felsüberdeckung zu unterqueren.

3.8. Hydrometrische Messungen

Einzig von KÖHL (1953) werden hydrometrische Messungen beschrieben. Aufgrund von Abflusswerten des Flem bei Pintrun auf 772 m ü.M. und den abgeschätzten, höhenstufenabhängigen Niederschlägen - unter Berücksichtigung der Verdunstung - kommt er zum Schluss, dass vom Flem keine grösseren Wassermengen unterirdisch abfliessen, bzw. dass keine übermässigen Mengen ins Bergsturzmateriel versickern. Die untergeordnete Rolle des Flem als Grundwasserspeiser wird durch die unterschiedlichen Tritium-Werte des Grund- und Seenwassers bestätigt. Die Grundwasser-Isohypsen (konstruiert aus den Wasserständen der Bohrungen und den Oberflächengewässern) weisen zudem auf eindeutige Vorflut-Verhältnisse im Bereich von Flims hin (vgl. Beil. 4).

Hingegen zeigten Abflussmessungen des Laaxerbaches zwischen der Alp Plaun auf ca. 1'620 m ü.M. und Valvau auf ca. 1'200 m ü.M. grössere Infiltrationen um bis zu 450 l/s an. Es wird angenommen, dass der Lag Tiert unter anderem sein Wasser aus dem Oberlauf des Laaxerbaches bezieht, da er auch im Sommer stets tiefe Temperaturen um 5° C aufweist.

4. Oberflächenwasser-Verhältnisse (Bäche und Seen)

Tabelle 6: Hauptmerkmale der Flimser Seen.

Maximaler Seespiegel und Merkmale	Ober- fläche [m²]	Volu- men [m³]	Grösste Tiefe [m]	Zufluss [l/s] o = oberirdisch sichtbar u = unterirdisch	Abfluss [l/s]
<i>Lag Prau Pultè</i> 1'122 m ü.M. Herbst bis Mai: leer stets trüb und kalt	6'200	45'000	8.7	u ≥ 300	u + o ≥ 300
<i>Lag Prau Tuleritg</i> 1'015.9 m ü.M. Herbst bis Mai: leer stets trüb	11'800	20'000	3	o aus Abfluss Prau Pultè	u bis 300
<i>Lag la Cauma</i> 999.3 m ü.M. im Winter: 993.3 m ü.M. stets klar	100'000 60'000	650'000 350'000	30	u ca. 10-90	u ca. 30
<i>Lag la Cresta</i> 844.9 m ü.M. Seespiegel ± konstant stets klar	43'000	300'000	14	u ca. 80-100	u + o ca. 80-100
Weitere kleine Teiche im Bergsturzgebiet von Flims					
<i>Teich Bodmer</i>				u	u
<i>Lag Tiert</i>				u ca. 300	o ca. 300

4.1. Lag Prau Pultè

Dieser seit April 1985 exakt beobachtete See liegt in einer trichterförmigen Hohlform, für deren Entstehung der kräftige unterirdische Abfluss wohl eine Rolle gespielt hat. Der See fällt jeweils im Winter trocken, wobei die gewaltigen Schlammassen des Seegrundes sichtbar sind (Begehung gefährlich!). Der unterirdische Zufluss erfolgt mit schöner Wirbelbildung je nach Jahr Mitte Mai bis Anfang Juni und zwar mit derartiger Wucht, dass der im November 1984 in der Seemitte erstellte neue Pegel, der auf einem mit schweren Betonklötzen versehenen Dreibein montiert war, beim Einlauf des Wassers Ende Mai 1985 kurzerhand herausgespült und von den mächtigen Schlammassen, die das Becken ausfüllen, zugedeckt worden ist. Der Abfluss setzt Ende August bis Anfang Oktober ein und verläuft sowohl unterirdisch wie

auch oberirdisch. Er erreicht Spitzenwerte von bis über 300 l/s, die im Bächlein, das zum Lag Tuleritg hinunterführt, gemessen wurden.

Was die Herkunft des Grundwasser-Zuflusses anbelangt, vermutet KÖHL (1953), er könnte von Versickerungen des Laaxerbaches (Ual Draus) herkommen. Dieser verliert nämlich in seinem Lauf von Plaun (1'619 m ü.M.) bis westlich Staderas drei Viertel seiner Wassermenge (Ende August 1942 bei Plaun 600 l/s, bei Staderas 150 l/s). Richtung Prau Pultè könnte im Untergrund eine Schwelle bestehen, die vom Grundwasserstrang, den man sich als ziemlich grobes Kanalsystem ohne wesentliche Filterwirkung vorzustellen hat, erst dann überflossen wird, wenn der plötzliche Zufluss im Lag Prau Pultè einsetzt. Das Wasser unterscheidet sich von allen Wässern östlich der Linie Prau Pultè - Prau Tuleritg nicht nur, weil es stets trübe ist, sondern auch, weil es wesentlich weicher und kälter ist (siehe Tab. 2). Nach den physikalischen Daten (Bericht Schotterer, 1986) handelt es sich um junges Wasser, das zum grössten Teil noch von der Schneeschmelze beeinflusst wird und wahrscheinlich von einem Fluss herkommt.

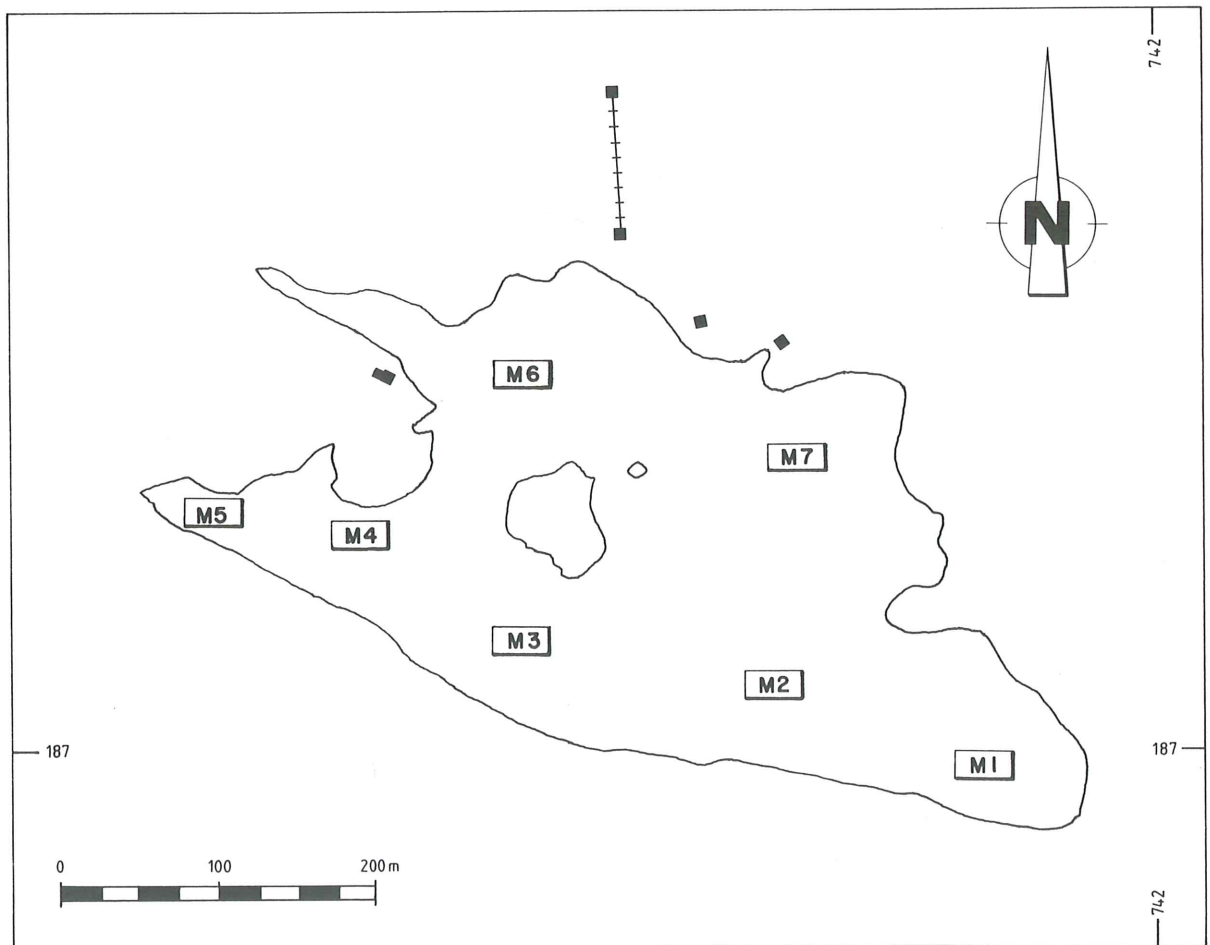
4.2. Lag Prau Tuleritg

Seinem Volumen entsprechend ist es der kleinste der vier Flimser Seen. Er liegt im Westabschnitt der langgestreckten, West-Ost verlaufenden Mulde zwischen Flims-Waldhaus und der Muttahöhe, die vom Gletscher ausgehobelt worden ist und keinen oberirdischen Abfluss besitzt. Er bekommt sein Wasser oberirdisch aus dem Bächlein, das vom Lag Prau Pultè über eine Höhendifferenz von mehr als 100 m hinunterführt. Der Abfluss des Lag Prau Tuleritg erfolgt unterirdisch und ist anhand von Wirbelbildungen an der Wasseroberfläche deutlich sichtbar. Sein Wasser ist wie beim Lag Prau Pultè, von dem es herkommt, stets trübe. Dadurch und durch seine physikalischen Werte unterscheidet es sich deutlich von jenem des Lag la Cauma, denn im Lag Prau Tuleritg sprechen die Tritium-Werte für ein junges Wasser und die unterschiedlichen Sauerstoff-18-Werte sind möglicherweise auf Niederschlagseinfluss zurückzuführen (Bericht Schotterer, 1986).

4.3. Lag la Cauma

500 m östlich des Lag Prau Tuleritg gelangt man zum Westende des rund 20 m tiefer gelegenen Lag la Cauma. Wie oben dargelegt, erscheint es sehr wenig wahrscheinlich, dass sein unterirdischer Zufluss aus dem Lag Prau Tuleritg stammt. Hingegen hat der Markierversuch 1987/88 ergeben, dass die bevorzugten, voneinander isolierten Zirkulationswege des Grundwassers unter Flims-Waldhaus sowohl gegen den Flem, gegen den Lag la Cresta und gegen den Lag la Cauma hinunterführen, wie dies anhand des vor dem Hotel Adula in die Sondierbohrung SB 3/85 eingegebenen Fluoresceins hervorgeht. Die Wahrscheinlichkeit ist gross, dass auch die in den Sondierbohrungen 6 und 7 angeschnittenen Wasserhorizonte zum Lag la Cauma sickern. Damit ist aber nur ein *winziger Anteil* des unterirdischen Zuflusses zum Lag la Cauma erfasst, wenn man bedenkt, dass der gesamte Zufluss 10-90 l/s betragen muss. Dieser Betrag wurde aus dem 3-4 Monate dauernden Anstieg des Seespiegels ermit-

telt. Er dauert je nach Jahr vom April bis Juli oder August. Durch den Anstieg des Seespiegels um jeweils 3.7 bis 6.0 m erhöht sich das Wasservolumen des Sees um bis zu 300 000 m³. Viel länger als der Anstieg dauert der unterirdische Ablauf des Sees, der nur ca. 30 l/min betragen dürfte. Wie beim Zulauf sind dabei an der Seeoberfläche nirgends Wirbelbildungen zu beobachten.



Figur 5: Messstellen der Temperaturmessungen im Lag la Cauma.

Tabelle 7: Resultate der Wassertemperatur-Messungen im Lag la Cauma vom 4.7.1985.
Die Messstellen sind auf der Figur 5 eingezeichnet. Die mit einem * bezeichneten Proben wurden am 26.08.1985 physikalisch und chemisch untersucht.

Messstelle	Wassertiefe [m]	Wassertemperatur [°C]	Lufttemperatur [°C]
M1	-1.0*	19.0	30.4
	-3.0	16.8	
	-5.0	12.0	
	-7.0	9.8	
	-9.0*	9.1	
	-10.0	9.1	
M2	-1.0	19.0	30.4
	-3.0	16.8	
	-5.0	12.1	
	-7.0	10.0	
	-9.0*	8.9	
	-10.0	9.0	
M3	-1.0	19.4	29.3
	-3.0	17.1	
	-5.0	11.9	
	-7.0	9.7	
	-9.0	8.7	
	-11.0	8.3	
	-13.0	8.3	
	-15.0	8.2	
M4	-1.0	19.3	30.2
	-3.0	16.4	
	-5.0	12.0	
	-7.0	9.7	
	-9.0	8.5	
	-11.0*	8.2	
M5	-1.0*	19.1	32.2
	-3.0	16.7	
	-4.0	13.4	
M6	-1.0	19.2	30.4
	-3.0	17.3	
	-5.0	12.7	
	-7.0	9.7	
	-9.0	8.9	
	-11.0*	8.4	
M7	-1.0	19.2	33.2
	-3.0	16.1	
	-5.0	12.1	
	-7.0*	10.7	
	-8.0	10.5	

Das Wasser des Lag la Cauma wurde durch zahlreiche Probenentnahmen sowohl an der Oberfläche wie auch in verschiedenen Tiefen erforscht, worüber die Figur 5 und die Tabellen 2 und 7 Auskunft geben. Dabei stellte es sich heraus, dass der See gut durchmischt ist und dass dem Niederschlagswasser nur geringfügiger Einfluss zukommt. Letzteres könnte bei den abweichenden Tritium-Werten vom 13. Juni 1985 der Fall sein (siehe Tab. 2). Im übrigen sprechen die Tritium-Werte für ein mittleres Wasseralter des Sees von 4-5 Jahren. Gemäss den Sauerstoff-18-Werten liegt die mittlere Höhe des Einzugsgebietes bei ungefähr 2'200 m (Bericht Schotterer, 1986). Wo dieses Einzugsgebiet zu suchen ist, ob z.B. in den mittleren Teilen des Flimsersteins oder anderswo, ist nicht näher bekannt. Jedenfalls kann der Grundwasserzustrom zum Lag la Cauma höchstens zu einem ganz geringen Anteil vom Flem herkommen.

Das Becken des Lag la Cauma ist am Seegrund mit grösster Wahrscheinlichkeit durch Grundmoränen-Lehm abgedichtet, über dem sich eine Schicht von feinem Seeschlamm abgelagert hat. In kalten Winterperioden gefriert nur das Westende des Lag la Cauma nicht zu, was darauf hinweist, dass hier Grundwasser zufließt. Nur 400 m entfernt wurde die Sondierbohrung SB 6/85 niedergebracht, die in 44 m Tiefe eine "Quellader" angeschnitten hat, von der erhofft wurde, ihr Ablauf in den Lag la Cauma werde sich nachweisen lassen. Trotz der grossen Menge Kochsalz, die hier eingegeben wurde, ist dies leider nicht gelungen (vgl. Kap. 3.5.).

Der unterirdische Abfluss aus dem Lag la Cauma kann nur anhand der vom Juli oder August bis zum April des nächsten Jahres andauernden Seespiegel-Absenkung beobachtet werden. Wohin führt dieser Abfluss? Nach der Beurteilung des Geländes sowie der physikalischen und chemischen Daten erscheint es als sehr wahrscheinlich, dass die kräftige Quelle südlich unterhalb Conn (p auf Tab. 2) vom Lag la Cauma gespiesen wird. Sie tritt 30 m unter der Grundmoräne, auf der sich die Wiesen von Conn ausbreiten, direkt aus den Bergsturz-Trümmern im steil zum Vorderrhein abfallenden Hang aus. Die Distanz zum Lag la Cauma misst 1.5 km, die Höhendifferenz nicht ganz 80 m. Der in der Quellfassung eingehängte Fluorkaptor hat in der Zeit vom 18. Mai 1988 bis 26. August 1988 sechsmal deutlich positiv reagiert, am 10. Mai 1988 schwach positiv. In der gleichen Zeitspanne vom 10. Mai 1988 bis 26. August 1988 zeigte die Quelle westlich Tuora (o auf Tab. 2) stets deutlich positive Werte. Sie tritt aus dem Gehängeschutt des Waldes, der zur Muttahöhe hinaufführt, aus und ist 1.6 km vom Lag la Cauma entfernt auf einem rund 30 m tieferen Niveau. Ob das Fluorescein aus der Sondierbohrung auf dem Umweg über den Lag la Cauma - was zu vermuten ist - oder auf einem anderen unterirdischen Weg zu den beiden Quellen gelangt, konnte nicht nachgewiesen werden. Sicher ist nur, dass sowohl der Zufluss zum Lag la Cauma wie auch sein viel langsamerer Abfluss entlang verschiedener unterirdischen Sickerwege erfolgt, deren genaue Lage nicht näher bekannt ist und somit in mancher Hinsicht ein Geheimnis bleibt.

4.4. Lag la Cresta

Hier beruhen die verfügbaren Kenntnisse vor allem auf Untersuchungen aus den Jahren 1973/74, die vom Büro für Technische Geologie, Maienfeld, und vom jetzigen Mitautor H. Scheiwiller begleitet wurden. Damals wurden in einem Areal von 175×75 m, das nahe

dem Westufer des Lag la Cresta liegt, vier 30-60 m tiefe Sondierbohrungen niedergebracht, und zudem ist in einem Versuchsbrunnen vom 11. März bis 10. April 1974 ein Grosspumpversuch durchgeführt worden. Ein breiter, 10-30 m mächtiger Grundwasserstrom brachte zur Zeit des Grosspumpversuchs etwa 90 l/s in den Lag la Cresta. Der Grundwasserstauer besteht in drei der vier Sondierbohrungen aus sehr schlecht durchlässiger Moräne, die wahrscheinlich auch den Seegrund abdichtet. Der Seespiegel des Lag la Cresta ändert durch das ganze Jahr hindurch nur wenig und sinkt unwesentlich unter seinen oberirdischen Überlauf, der während des Winters trocken liegt, in den Flem. Hierzu sei bemerkt, dass das Westufer des Lag la Cresta, wo das Grundwasser zufließt, gleich wie beim Lag la Cauma nicht zufriert. Der zeitweilige oberirdische Abfluss aus dem Lag la Cresta konnte leider nicht exakt ermittelt werden, weil die hierfür eingebaute Messanlage immer wieder mutwillig zerstört worden ist. Schätzungsweise dürfte er zwischen 0 und höchstens 50 l/s schwanken. Demgegenüber läuft der unterirdische Abfluss, der sich an der Seeoberfläche nirgends durch Wirbelbildung bemerkbar macht, durchs ganze Jahr hindurch, und zwar mit einer Abflussmenge von 40 bis über 50 l/s. 600 m südöstlich des Lag la Cresta tritt auf einem rund 30 m unter dem Seespiegel liegenden Niveau die jahreszeitlich kaum beeinflusste Laghizun-Quelle in die Ebene südwestlich Mulin aus. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sie vom unterirdischen Ablauf des Lag la Cresta gespiesen wird, doch müsste dies noch durch einen Färbversuch bewiesen werden.

Das Wasser des Lag la Cresta bleibt stets klar. Der kräftige unterirdische Zu- und Abfluss lässt die Annahme zu, der See sei gut durchmischt. Die extrem hohen Tritium-Werte (siehe Tab. 2) lassen auf ein 8-10 Jahre altes Wasser schliessen. Dies betrifft wohl den Grundwasser-Zustrom, der nach den Sauerstoff-18-Werten aus einem Einzugsgebiet stammt, dessen mittlere Höhe auf rund 1'800 m Höhe liegt. Der Lag la Cresta führt also das älteste Wasser aller vier Flimser Seen. Schliesslich sei hier wiederholt, dass das Fluorescein, das in die vor dem Hotel Adula gelegene Sondierbohrung 3 eingegeben worden ist, im Lag la Cresta einen Tag früher als im Lag la Cauma nachweisbar erschienen ist (vgl. Kap. 3.5.).

4.5. Die übrigen untersuchten Gewässer

Aus der Tabelle 2 lässt sich entnehmen, dass im Raum Flims eine Reihe weiterer Gewässer untersucht wurden, über die im voranstehenden Text nicht berichtet wurde. Diese Untersuchungen waren nötig, um einen Überblick und Vergleichsmöglichkeiten für die uns speziell interessierenden Wässer zu erhalten. Auf diese übrigen Untersuchungen wird hier nicht näher eingegangen; dennoch sei aber auf einen interessanten Aspekt hingewiesen: Infiltrationen aus dem Flem unterhalb 1'300 m (Uaul Runcs) können für das Grundwasser von Flims Waldhaus, östlich und südlich des Parkhotels, nur eine sehr untergeordnete Rolle spielen, denn ein direkter Zusammenhang ist wegen der unterschiedlichen Tritium-Werte nicht gegeben.

5. Hydrologische Gegebenheiten

5.1. Die Grundwasserleiter und ihre physikalischen Eigenschaften

Im Gebiet von Lag la Cresta - Lag la Cauma - Staderas besteht der Grundwasserleiter ausschliesslich aus gletschertransportiertem Bergsturzmaterial. Das darunter liegende, kompakte Bergsturzmaterial dürfte voraussichtlich wassergesättigt, jedoch nur wenig durchlässig sein. Hinweise dazu liefern die Quellen bei Conn, die mehr oder weniger an der Grenzfläche Moräne/kompakter Bergsturz austreten.

Der Hauptgrundwasserleiter liegt in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes mehr als 30-80 m unter der Terrainoberfläche. Das Material besitzt eine ausgesprochen heterogene Porosität und eine entsprechend uneinheitliche Durchlässigkeit. Die k -Werte, ermittelt aus Pump- und Absenkversuchen (vgl. Kap. 3.4.), variieren zwischen 1×10^{-4} und 1×10^{-6} m/s.

Die Transmissivitäten, als Integral der Durchlässigkeiten über die gesamte Grundwasser-Mächtigkeit, sind ebenfalls recht variabel und liegen zwischen rund 1×10^{-2} und 1.5×10^{-5} m²/s. Für das gletschertransportierte Bergsturzmaterial kann eine totale Porosität von etwa $30 \pm 10\%$ angenommen werden, wobei die Nutzporositäten naturgemäss wesentlich geringer anzusetzen sind.

5.2. Grundwasser-Beschaffenheit und -Alter

In Tabelle 2 sind die Resultate der Wasseruntersuchungen wiedergegeben. Bei den physikalischen Parametern sind die Isotopen-Untersuchungen neu. Sie betreffen den Gehalt am Sauerstoffisotop ^{18}O , der über die Herkunftshöhe und Mischungen Auskunft gibt, und den Tritium-Gehalt, aus dem sich Schlüsse über das Alter ziehen lassen. Figur 1 zeigt die Lage sämtlicher Entnahmestellen. Die Untersuchungsergebnisse bildeten die Grundlage für den am Schluss der Einführung erwähnten Wasser-Markierungsversuch 1987/88.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen der Isotopen-Untersuchungen sollen hier nochmals zusammengefasst werden:

Resultate der Wasserproben aus den Seen und Quellen

Proben-Nr. (vgl. Tab. 2, Fig. 1)

<i>c/d</i>	Teich Bodmer Lag Prau Pultè	Beide Oberflächengewässer besitzen entsprechende physikalische Eigenschaften. Das Wasseralter ist jung und vorwiegend von der Schneeschmelze und Niederschlägen beeinflusst. Aufgrund der tiefen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte handelt es sich jedoch nicht um rein lokal gebildetes Grundwasser. Eine Vermischung mit Grundwasser aus der Richtung des Laaxerbaches ist wahrscheinlich.
------------	--------------------------------	---

<i>f</i>	Lag la Cauma	Die sieben Proben aus unterschiedlichen Tiefen weisen auf eine gute Durchmischung des Lag la Cauma hin. Bei einigen Proben ist ein geringfügiger Einfluss von Niederschlagswasser bemerkbar. Die mittlere Höhe des Einzugsgebietes liegt auf etwa 2'000 m ü.M. bei einem Wasseralter von 4-5 Jahren.
<i>h</i>	Lag la Cresta	Die höchsten Tritium-Werte der Seen und die somit höchsten Alter (8-10 Jahre) wurden hier gemessen. Das Einzugsgebiet liegt auf ca. 1'800 m ü.M., was vermutlich auf eine Vermischung zurückzuführen ist.
<i>m/n/ o/p</i>	Quellen	Die Wasserproben ergaben Verweilzeiten von 4-5 bzw. 8-10 Jahren und ein Einzugsgebiet von 1'800-2'000 m ü.M. Es dürfte sich zumindest teilweise um Mischwasser handeln.

Resultate der Wasserproben aus den Sondierbohrungen

Proben-Nr. (vgl. Tab. 2, Fig. 1)

<i>SB1/85</i>	Die Analyse ergab ein Wasseralter von etwa 2 Jahren bei einem Einzugsgebiet auf 2'300 m ü.M. Aufgrund der zu erwartenden Verweilzeit von über 6 Jahren (vgl. andere Proben) muss angenommen werden, dass der tiefe Sauerstoff-18-Wert durch Niederschläge beeinflusst ist.
<i>SB3/85</i>	Auch die Resultate dieser Wasserprobe mit Alterswerten von 4-5 Jahren und einer mittleren Höhe des Einzugsgebietes von 2'000 m ü.M. sind nicht eindeutig interpretierbar. Aufgrund der uneinheitlichen $\delta^{18}\text{O}$ -Werten dürfte eventuell noch ein Spülwassereinfluss bemerkbar sein.
<i>SB 5/85</i>	Die ersten zwei Proben vom 9.4.85 ergaben identische Isotopenwerte mit einem Wasseralter von ca. 5 Jahren bei einem Einzugsgebiet von 2'000 m ü.M. In 60 m Tiefe (Probe vom 18.4.85) fand noch praktisch keine Vermischung des Spülwassers mit Grundwasser statt, so dass ein sehr junges Alter gemessen wurde. Die am 26.8.85 entnommene Wasserprobe aus 34 m Tiefe hatte wieder eine wesentlich höhere Tritium-Konzentration, woraus sich ein Alter von 6-8 Jahren ergibt.
<i>SB 6/85</i>	Hier wurden ähnliche Werte wie in SB 5/85 gemessen. Die mittlere Höhe des Einzugsgebietes liegt bei ca. 2'100 m ü.M.

SB 7/85

In dieser Bohrung wurde die höchste Tritium-Konzentration gemessen, was einer entsprechend hohen Verweilzeit von 8-12 Jahren entspricht. Das Einzugsgebiet liegt ebenfalls um etwa 2'000 m ü.M.

SB 8/85

Eine erste Probe vom 26.8.85 ergab noch relativ junge Alterswerte (Mischung). Einen Monat später wurden plausible Werte von 6-8 Jahren bei einem Einzugsgebiet auf 2'000 - 2'100 m ü.M. gemessen.

Die Verweilzeit des Wassers von der Versickerung im Vorab-Gebiet auf einer mittleren Höhe von rund 2'000 m ü.M. bis in das Grundwassergebiet südlich Flims kann aufgrund der gemessenen Tritium-Werte auf zwischen ca. 6 bis 12 Jahre geschätzt werden. Die ermittelten $\delta^{18}\text{O}$ -Werte betragen stets um -13 ‰ bis -17 ‰ und sind demnach meist wesentlich höher als jene Werte (-11 ‰ bis -12 ‰), welche einem lokal gebildeten, mehrjährigen Grundwasser entsprechen würden. Dies lässt auf wesentliche Grundwasser-Zuströmungen aus grossen Höhen schliessen. Wie bereits im Zusammenhang mit den Tracer-Versuchen erwähnt wurde, stehen die Alterswerte im scheinbaren Widerspruch zu den ermittelten Abstandsgeschwindigkeiten (Färbversuch E. Rohrer). Der Hauptteil des Grundwassers fliesst demnach nicht auf bevorzugten, besser durchlässigen Bahnen bzw. entlang von Karst- und Kluftsystemen, sondern durchströmt den Grundwasserleiter in seiner gesamten Mächtigkeit mit niedrigen Geschwindigkeiten von lediglich 1-2 m/d.

Im Bereich des Lag Prau Pultè, des Teiches Bodmer, SB 1/85 und von Staderas findet sich ein junges Wasser mit noch relativ niedrigen $\delta^{18}\text{O}$ -Werten. Infolgedessen kann auf Bachwasser-Infiltrationen, das heisst vorwiegend auf solche des Ual Draus (Laaxerbach) geschlossen werden.

Die jahreszeitlich stark differierenden Alters-(Tritium-)Werte im Grundwasserfeld von Staderas weisen auf einen heterogen aufgebauten Grundwasserleiter hin, dessen Speisung grösseren Schwankungen unterworfen ist.

Die von West nach Ost zunehmenden Tritium-Werte führen zum Schluss, dass das Wasseralter generell gegen Osten zunimmt. Da auch das Wasser des Lag la Cauma und des Lag la Cresta ähnlich hohe Tritium-Werte aufweist, kann dieses höchstens nur stark untergeordnet durch lokale Niederschläge - deren Tritium-Werte wesentlich niedriger sind - gespeist worden sein.

Geht man für lokal - das heisst auf rund 1'000 m ü.M. bis 1'100 m ü.M. - gebildetes Wasser mit $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von um -11½ ‰ bis -12 ‰ aus, so ergibt sich für den Lag la Cauma, dass dessen Wasser zu etwa 30 % bis 40 % lokal gebildet wird. Der mit Hilfe der Isotopenanalyse ermittelte, lokal gebildete Anteil stimmt gut mit der Neubildungsrate überein. Nimmt man einen durchschnittlichen Zufluss von 50 l/s (10-90 l/s) an, so ergibt sich ein lokal gebildeter Anteil von etwa 17 l/s. Mit der Neubildungsrate von 780 mm/Jahr errechnet sich daraus ein Einzugsgebiet von rund $\frac{2}{3}$ km², was etwa dem Einzugsgebiet des Lag la Cauma entspricht. Ganz ähnlich sind auch die Neubildungsanteile der Quellen von Plaunca Biala, Tuora und Conn zu beurteilen.

Der Chemismus der Grundwässer ist nicht allzu grossen Schwankungen unterworfen. Allgemein betrachtet, handelt es sich hier fast durchwegs um mittelharte Wässer, die eine "normale" Resthärte von zwischen 1 fH° bis 6 fH° aufweisen, was den gemessenen Sulfatwerten von zwischen 8 und 45 mg SO₄⁻²/l gut entspricht. Da die anthropogenen "Zeiger-Ionen" Nitrat und Chlorid sowie Ammonium meist nur sehr geringe Konzentrationen aufweisen - ausser dem im Zentrum des Dorfteils Waldhaus entnommenen Wassers von SB 3/85 - liegen hier sehr naturnahe, wenig beeinflusste und auch wenig mineralisierte Grund- und Oberflächenwässer vor.

5.3. Grundwasser-Bilanzierungsfaktoren

Nachfolgend werden die wichtigsten vorhandenen hydrologischen Messdaten tabellarisch zusammengestellt. Der Grossteil der Daten wurde aus KÖHL (1953) entnommen. Die Schlussfolgerungen werden im Kapitel 6 dargelegt.

Tabelle 8: Höhenstufenabhängige Niederschläge im Vorderrheintal unterhalb Ilanz (KÖHL 1953):

Höhe [m ü.M.]	Niederschlag [mm/Jahr]
900 - 1'200	~ 1'150
1'200 - 1'500	~ 1'250
1'500 - 1'800	~ 1'450
1'800 - 2'100	~ 1'650
2'100 - 2'400	~ 1'850
2'400 - 2'700	~ 2'100
1'100 (Flims*)	1'213

** Niederschläge der Messstation Flims. Mittlere Jahressumme 1901-1960 (SMA)*

Tabelle 9: Fläche, mittlere Höhe, Niederschlag, Verdunstung und Abfluss verschiedener Einzugsgebiete (KÖHL 1953). $V \text{ [mm/Jahr]} \approx 377.7 - 0.0508 \times N \text{ [mm/Jahr]}$ (LÜTSCHG 1944):

Gebiet	Fläche [km ²]	Mittlere Höhe [m ü.M.]	Niederschlag N [mm/Jahr]	Verdunstung V [mm/Jahr]	Abfluss	
					N-V [mm/Jahr]	[m ³ /s]
Laaxerbach	35.7	1'880	1'630	300	1'330	1.5
dito, über Alp Plaun	21.9	2'250	1'870	280	1'590	1.1
Flem	78.5	2'040	1'740	290	1'450	3.6
dito, über Segnes sut	14.1	2'500	2'060	270	1'790	0.8
Aua da Mulins	34.6	2'210	1'860	280	1'580	1.7
Abflusslos	16.0	950	1'100	320	780 (Versickerung)	0.4

Das Einzugsgebiet des Laaxerbaches wurde mit 35.7 km² bzw. mit 21.9 km² über der Alp Plaun angegeben. Diese Angaben sind mit Vorsicht zu geniessen, da grosse Bereiche des Einzugsgebietes von verkarsteten Kreidekalk-Formationen gebildet werden sind und eine teilweise Entwässerung Richtung Norden - über die oberflächliche Wasserscheide hinaus - bzw. nach Süden Richtung Flims stattfindet (Hydrogeologische Karte der Schweiz, Blatt Panixerpass). Aus dem Vergleich des errechneten Abflusswertes des Einzugsgebietes des Laaxerbaches über der Alp Plaun von 1.1 m³/s mit der gemessenen Abflussmenge von 0.6 m³/s lässt sich ableiten, dass knapp die Hälfte des Abflusses über Karstsysteme erfolgen muss bzw. in das gletschertransportierte Bergsturzmaterial infiltriert.

Tabelle 10: Abflussmessungen des Laaxerbaches (KÖHL 1953):

	Höhe [m ü.M.]	Abfluss [m ³ /s]
Alp Plaun	1 620	0.6
Valvau	1 250	0.15
Oberhalb Lag Tiert	1 100	0.15

Die Versickerungsmenge von 0.45 m³/s zwischen Alp Plaun und dem weniger als 2 km unterhalb der Ebene gelegenen Valvau erscheint auf den ersten Blick etwas zu gross. Über die genaue Lage der hydrologischen Messstellen gibt KÖHL (1953) leider keine Auskunft. Nimmt man jedoch an, dass die Messung bei der Einmündung in die Ebene und nicht erst unterhalb stattgefunden hat, so kann die hohe Versickerungsmenge mit Infiltrationen in die dort vorkommenden, gut durchlässigen Alluvionen erklärt werden. Das Grundwasser der Alp Plaun exfiltriert demnach ausgangs der Ebene nicht wieder in den Laaxerbach, sondern fliesst über gletschertransportiertes Bergsturzmaterial und Kluft- oder Karstsysteme dem Grundwassergebiet von Flims zu.

Detaillierte hydrogeologische Untersuchungen des Grundwassergebietes der Alp Plaun werden zur Zeit durch das Büro Büchi und Müller AG, Chur, in einem anderem Zusammenhang durchgeführt.

Tabelle 11: Abflussmengen des Flem bei Pintrun (Messungen 1934-1941; KÖHL 1953):

	m ³ /s	l/s×km ²
Januar	0.7	9.0
Februar	0.7	9.0
März	0.9	11.5
April	1.4	18.0
Mai	4.2	53.8
Juni	13.6	174

	m ³ /s	l/s×km ²
Juli	13.6	174
August	7.1	91
September	3.8	48.5
Oktober	2.5	32
November	1.6	20.5
Dezember	1.0	12.8
Jahr	4.25	54.5

Die geschätzte Abflussmenge über dem gesamten Einzugsgebiet des Flem von $3.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (vgl. Tab. 9) entspricht grössenordnungsmässig der mittleren jährlichen Abflussmenge des Flem bei Pintrun (südöstlich Lag la Cresta). Der niedrigere Wert des geschätzten Abflusses ist dadurch zu erklären, dass der Flem unterhalb Flims als Vorfluter eines Grossteils des im Raum Flims in der Bergsturzmasse zirkulierenden Grundwassers wirkt. Somit fliesst dem Flem zusätzliches Wasser aus dem Einzugsgebiet des Laaxerbaches zu. Grössere Infiltrationen in das Grundwasser oberhalb Flims können aufgrund der hydrologischen Daten ausgeschlossen werden.

6. Folgerungen

6.1. Hydrogeologisches Modell

Im Verlauf der geologischen Geschichte wurde ein ausserordentlich komplexer Untergrund aufgebaut, in dem entsprechend heterogene Grundwasser-Verhältnisse herrschen. Das grossflächige Gebiet des Flimser Bergsturzes konnte mit den Sondierbohrungen nur punktuell erfasst werden. Aus den Färbversuchen und chemisch-physikalischen Wasseruntersuchungen lassen sich zudem keine absolut eindeutigen Schlussfolgerungen ziehen.

Der Grundwasserleiter südwestlich des Flem wird durch gletschertransportiertes Bergsturzmateriel verschiedener Gletscherstände aufgebaut. Die einzelnen Schichten sind ausgesprochen unterschiedlich durchlässig. Sowohl vertikal als auch horizontal können in rascher Folge gut und sehr schwach durchlässige Schichten auftreten. Auch in nahe beieinander gelegenen Bohrungen weisen die Ganglinien der Grundwasserstände deshalb oft gegenläufige Tendenzen auf. Gleichwohl ergibt sich aus der Gesamtheit der Pegelstände in den Piezometern und der Oberflächengewässer ein zusammenhängender, scheinbarer Grundwasserspiegel. In der Beilage 4 sind die Isohypsen der Maximalstände dargestellt. Die Messungen stammen nicht von einem bestimmten Tag, sondern entsprechen den jeweiligen Maximalwerten der einzelnen Messstationen. Im Bereich von Flims-Waldhaus besteht eine sanfte unterirdische Wasserscheide. Mit der Bohrung SB 3/85, die auf dem Rücken dieser Wasserscheide liegt, wurden mindestens drei besser durchlässige Schichten miteinander kurzgeschlossen. Der injizierte Tracer konnte sich somit in verschiedenen Richtungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ausbreiten.

In mehreren Bohrungen konnten Wasserstände oder Wasserzutritte über dem zusammenhängenden Grundwasserspiegel beobachtet werden. Diese "schwebenden" Schichtwässer fliessen jedoch nur in geringen Mengen und versiegen meist in Trockenperioden.

Die *Grundwasser-Neubildung* erfolgt im wesentlichen durch:

- Niederschläge
- Infiltrationen des Laaxerbaches
- Karst- und Kluftsysteme aus dem Vorab-Gebiet

Die Grundwasser-Neubildungsrate durch *Niederschläge* beträgt etwa $25 \text{ l/s} \times \text{km}^2$. Dieser überdurchschnittlich hohe Wert ist auf die in diesem Gebiet relativ geringe Verdunstung und den aufgrund der unruhigen Topographie im Bergsturzgebiet kaum vorhandenen Oberflächenabfluss zurückzuführen.

Aus einigen wenigen hydrometerischen Messungen zwischen der Alp Plaun und dem *Laaxerbach* oberhalb dem Lag Tiert (vgl. Kap. 5.3.) kann auf eine Versickerungsmenge im Oberlauf des Laaxerbaches von etwa $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ geschlossen werden. Unterhalb rund 1'250 m ü.M. wurden keine Versickerungen mehr festgestellt. Die Pegelmessungen im Raum Staderas weisen jedoch darauf hin, dass der Laaxerbach je nach Wasserführung auch in diesem Bereich Wasser infiltriert bzw. wieder aufnimmt. Weiter bachabwärts wird er zum ständigen Vorfluter.

Die teilweise unterirdische Speisung des Grundwassers über *Karst- und Kluftsysteme* wurde durch einen Färbversuch bewiesen (vgl. Kap. 3.2).

Nach der Formel von Lütschg erhält man im Gebiet des *Flem* für die Verdunstung $V = 290 \text{ mm/Jahr}$ und somit einen Abfluss von $1'450 \text{ mm/Jahr}$ bzw. $3.6 \text{ m}^3/\text{s}$ für das ganze Einzugsgebiet, was etwa den gemessenen Abflusswerten entspricht. KÖHL (1953) schliesst daraus, dass zwar der Abfluss des *Flem* normal bis grösser als jener der umliegenden Bäche ist, aber keine abnorme Versickerung in das Bergsturzmaterial stattfinden kann. Dies wird durch die Pegelmessungen der Piezometer im Raume Flims und des daraus resultierenden Grundwasserspiegels bestätigt, indem der *Flem* im untersuchten Gebiet eindeutig als Vorfluter wirkt.

Die Möglichkeiten einer Grundwasser-Bilanzierung sind auch mit dem umfangreichen Datenmaterial, das in den letzten 10 Jahren gesammelt wurde, immer noch beschränkt. Der Anteil der unterirdischen Speisung durch den Laaxerbach und den Karst bzw. über Kluftsysteme im Vorab-Gebiet kann höchstens grob abgeschätzt werden, da die genauen Fliesswege noch zu wenig bekannt und die Grundwasserleiter zu inhomogen aufgebaut sind. Südlich und östlich des Lag la Cauma ist zudem die Lage und das Gefälle des Grundwasserspiegels nicht mit Bohrungen erkundet worden.

Eine detaillierte Grundwasser-Bilanzierung und -Modellierung würde weitere Untersuchungen (Piezometer, hydrometrische Messungen, Pumpversuche, etc.) voraussetzen. Im Rahmen der vorliegenden Studie im Zusammenhang mit dem Projekt eines Umfahrungstunnels für Flims war dies nicht gefordert. Aufgrund der gewonnenen Resultate können nun aber prinzipielle Aussagen hinsichtlich der Beeinflussung eines Umfahrungstunnels auf das Grundwasser-Regime gemacht werden (vgl. Kap. 6.2).

6.2. Folgerungen zu Tunnelbau-Projekten - erforderliche Massnahmen

Durch eine *tief* liegende Tunnelbaute im Zuströmbereich der Seen würde das Grundwasser-Regime der Flimser Seen empfindlich gestört. Die Pegelmessungen in den 13 abgeteuten Sondierbohrungen zeigen nun, dass der Grundwasserspiegel relativ tief liegt und somit aus hydrogeologischer Sicht unproblematische Linienführungen möglich sind. Das teilweise in höheren Stockwerken in geringen Mengen fliessende, "schwebende" Grundwasser spielt für die Speisung der Seen nur eine untergeordnete Rolle. Sollten Teile solcher wasserführenden sand- und kiesreicheren Schichten angefahren werden, so kann dieses Wasser mittels einfacher Massnahmen gefasst und in nächster Nähe wieder versickert werden.

Nördliche Umfahrungsvarianten im Bereich von Flims-Dorf unterschneiden nordöstlich des *Flem* auf längeren Strecken den Grund- oder Bergwasserspiegel. Die hydrologischen Untersuchungen haben nun aber eindeutig gezeigt, dass der *Flem* als Vorfluter wirkt und somit das Grundwassergebiet in zwei, zumindest in Oberflächennähe, voneinander unabhängige Bereiche unterteilt. Eine Beeinflussung der Flimser Seen kann deshalb ausgeschlossen werden.

Damit das Grundwasser nicht durch verschmutztes Strassenwasser oder durch wassergefährdende Flüssigkeiten beeinträchtigt werden kann, wurden die südlichen Linienführungsvarianten so gewählt, dass auf der ganzen Strecke eine Entwässerung (über Absetzbecken und Ölabscheider) in Richtung zum nächsten Vorfluter (Flem) erfolgen kann.

Wichtigste Literatur, unveröffentlichte Gutachten

- ABELE, G. (1969): Von Eis geformte Bergsturzlandschaften. - Z. Geomorph., Suppl.-Bd. 8, 119-147.
- ABELE, G. (1970): Bergstürze und Flutablagerungen im Rheintal westlich Chur. - Aufschluss 21/11, 345-359.
- ABELE, G. (1974): Bergstürze in den Alpen. - Wiss. Alpenvereins. 25.
- AMBERG INGENIEURBÜRO AG (1992): A19 / Oberalpstrasse / Umfahrung Flims. Hauptbericht zum Variantenvergleich. - Ber. Nr. C 030 0002 013 (unveröff.).
- AMMANN, B. (1986): Pollenanalytische Untersuchung einiger Proben aus Bohrkernen von Flims. - In: NABHOLZ, W.K., SCHEIWILLER, H. & SCHÜRMANN, P. (1986): Geologische, geotechnische und hydrologische Grundlagen. - Tiefbauamt des Kantons Graubünden. Plan. Nr. 19.2018 (unveröff.).
- ANLIKER, H. (1982): Flims. - Schweizer Heimatbücher 106 (Haupt, Bern).
- BÜCHI, U.P. & MÜLLER, E.R. (1981): Die Stellung des Holzfundes am Rhein bei Ru-eun (Ruis) im Rahmen des prähistorischen Flimserbergsturzes und der Ilanzer Seen. - Bündnerwald 34/6, 452-457.
- BÜCHI UND MÜLLER AG. (1992): A19 / Oberalpstrasse / Umfahrung Flims. Geologie und Hydrologie. - Ber. Nr. 2581.2 (unveröff.).
- BONANOMI, Y., BRUNSCHWILER, J.P. & FREI, W. (1993): Geologische Untersuchungen im Flimser Bergsturzgebiet. - SIA 33/34, 1993.
- FREI, W. (1992a): Umfahrung Kantonsstrasse Flims GR. Seismische Untersuchungen. Juni 1992. - GeoExpert AG, Schwerzenbach (unveröff.).
- FREI, W. (1992b): Umfahrung Kantonsstrasse Flims GR. Seismische Untersuchungen. Zusatzmessungen Juli 1992. - GeoExpert AG, Schwerzenbach (unveröff.).
- GSELL, R. (1918): Beitrag zur Kenntnis der Schuttmassen im Vorderrheintal. - Jb. natf. Ges. Graub. 58, 127-203 (Diss. Univ. Zürich).
- HANTKE, R. (1980): Eiszeitalter, Bd. 2. - Ott, Thun.
- HARTUNG, G. (1884): Das alte Bergsturzgebiet von Flims. - Z. Ges. Erdkd. Berlin 19.
- HEIM, A. (1882): Über Bergstürze. - Njbl. natf. Ges Zürich (1881).
- HEIM, A. (1883): Der alte Bergsturz von Flims. - Jb. S.A.C. 18, 295-309.
- HEIM, A. (1891): Geologie der Hochalpen zwischen Reuss und Rhein. - Beitr. geol. Karte Schweiz 25.
- HEIM, A. (1932): Bergsturz und Menschenleben. - Vjschr. natf. Ges. Zürich 77, Beibl. 20.

- JORDI, U. (1986): Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Taminatal und im Rheintalabschnitt zwischen Flims und Feldkirch. - *Geographica Bernensia* (G), **27**, 1-168 (Diss. Univ. Bern).
- KIRCHEN-LENDI, E. (1981): Über das Geheimnis der Flimserseen. - *Terra Grischuna* **40/6**, 376-381.
- KÖHL, A. (1953): Hydrologische Beobachtungen im Flimser Bergsturzgebiet. - *Jb. natf. Ges. Graub.* **84**, 16-28.
- LÜTSCHG, O. (1944): Zum Wasserhaushalt des Schweizerischen Hochgebirges. I. Allg. Teil. - *Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser., Hydrol.* **4**.
- NABHOLZ, W.K. (1967): Exkursion Nr. 38: Chur-Reichenau-Ilanz-Vals. - *Geol. Führer Schweiz, H.* **8**, 743-775 (Wepf, Basel).
- NABHOLZ, W.K. (1975): Geologischer Überblick über die Schiefersackung des mittleren Lugnez und über das Bergsturzgebiet Ilanz-Flims-Reichenau-Domleschg. - *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.* **42/101**, 38-54.
- NABHOLZ, W.K. (1987): Der späteiszeitliche Untergrund von Flims. - *Mitt. natf. Ges. Luzern, Sonderbd. "Eiszeitforschung"* **29**, 273-289.
- NIEDERER, J. (1941): Der Felssturz am Flimserstein, Fidaz, am 10. April 1939. - *Jber. natf. Ges. Graub.* **77** (1939/40), 3-27.
- OBERHOLZER, J. (1920): Geologische Karte der Alpen zwischen Linthgebiet und Rhein, 1:50'000. Spez.-Karte Nr. 63. - *Schweiz. geol. Komm.*
- OBERHOLZER, J. (1933): Geologie der Glarneralpen. - *Beitr. geol. Karte Schweiz, [N. F.]* **28** und Atlasband mit 29 Tafeln.
- OBERHOLZER, J. (1942): Geologische Karte des Kantons Glarus, 1:50'000. Spez.-Karte Nr. 117. - *Schweiz. geol. Komm.*
- SCHEIWILLER, H. (1993): A19 / Oberalpstrasse / Umfahrung Flims. Sondierbohrungen SB1-SB8, Lag la Cauma, Prau Pultè, Tuleritg und Wasserfassung Staderas. - *Ber. Nr. 19.2018.120* (unveröff.).
- STAUB, R. (1938): Altes und Neues vom Flimser Bergsturz. - *Verh. schweiz. natf. Ges., Tagung Chur*, 60-85.
- THEOBALD, G. (1861): *Das Bündner Oberland.* - Chur.
- WYSSLING, L.E. (1950): *Zur Geologie der Vorabgruppe.* - Diss. ETH Zürich.

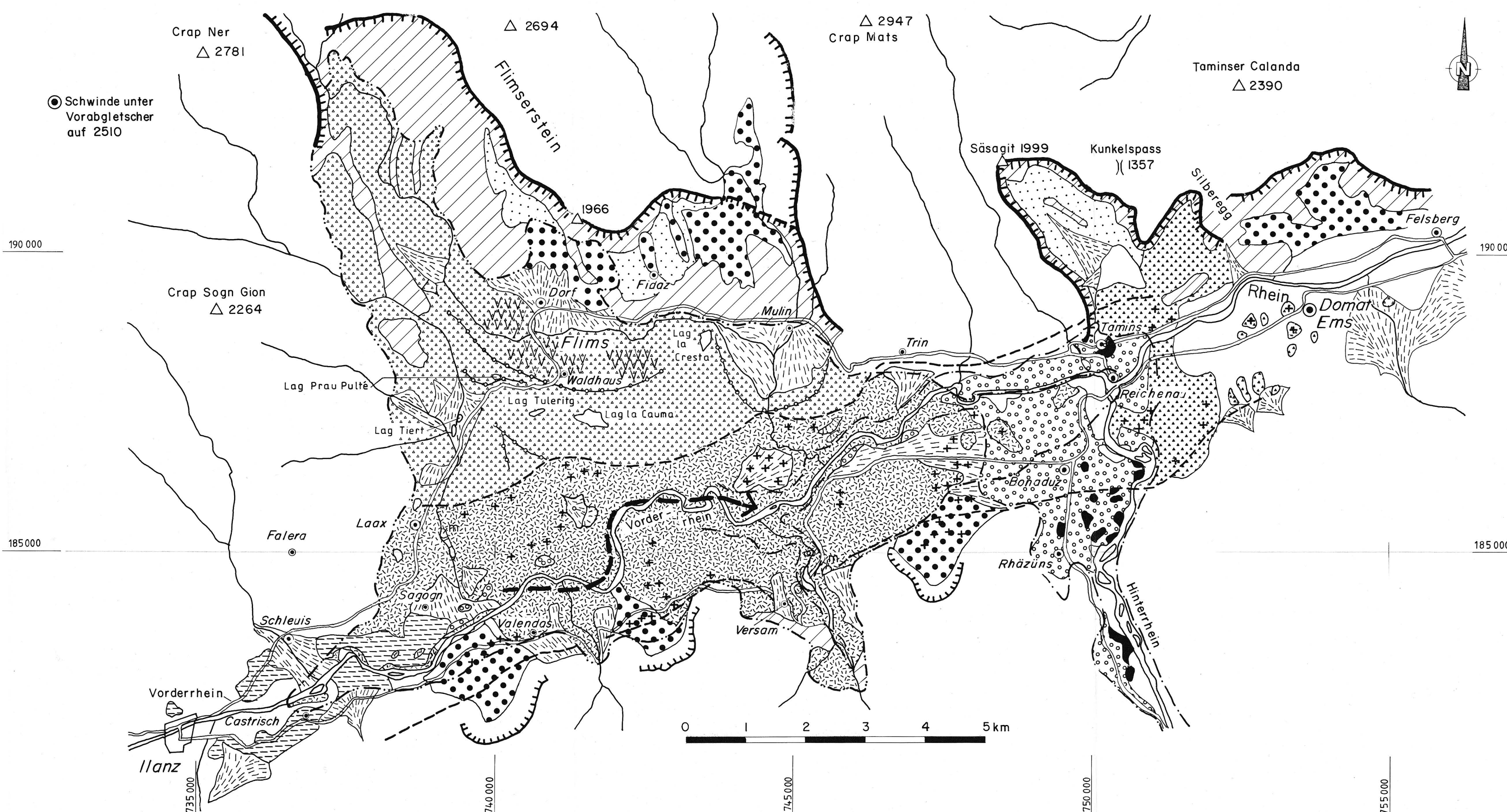
Geologische Berichte Rapports géologiques Rapporti geologici

Vertrieb durch

Landeshydrologie und -geologie, CH-3003 Bern

Nr. 1	1987	TJ. PETERS, A. MATTER, H.-R. BLÄSI, A. GAUTSCHI Sondierbohrung Böttstein – Geologie	Fr. 70.–
Nr. 2	1987	A. ESCHER, H. MASSON, A. STECK Coupes géologiques des Alpes occidentales suisses	vergriffen
Nr. 3	1988	A. PUGIN Carte des isohypses de la base des sédiments du Quaternaire	Fr. 10.–
Nr. 4	1988	M. BURKHARD Horizontalschnitt des Helvetikums der Westschweiz	Fr. 10.–
Nr. 5	1988	A. MATTER, TJ. PETERS, CH. ISENSCHMID, H.-R. BLÄSI, H.-J. ZIEGLER Sondierbohrung Riniken – Geologie	Fr. 70.–
Nr. 6	1988	A. MATTER, TJ. PETERS, H.-R. BLÄSI, J. MEYER, H. ISCHI, CH. MEYER Sondierbohrung Weiach – Geologie	Fr. 70.–
Nr. 7	1988	A. ESCHER Structure de la nappe du Grand-Saint- Bernard entre le val de Bagnes et les Mischabel	Fr. 10.–
Nr. 8	1988	A. MATTER, TJ. PETERS, H.-R. BLÄSI, F. SCHENKER, H.-P. WEISS Sondierbohrung Schafisheim – Geologie	Fr. 70.–
Nr. 9	1989	TJ. PETERS, A. MATTER, H.-R. BLÄSI, CH. ISENSCHMID, P. KLEBOTH, CH. MEYER, J. MEYER Sondierbohrung Leuggern – Geologie	Fr. 70.–
Nr. 10	1989	TJ. PETERS, A. MATTER, J. MEYER, CH. ISENSCHMID, H.-J. ZIEGLER Sondierbohrung Kaisten – Geologie	Fr. 70.–
Nr. 11	1989	P. JEANBOURQUIN, M. BURRI La zone de Sion-Courmayeur dans la région du Simplon	Fr. 10.–
Nr. 12	1990	H. DRONKERT, H.-R. BLÄSI, A. MATTER Facies and Origin of Triassic Evaporites from the NAGRA Boreholes, Northern Switzerland	Fr. 60.–

- | | | | |
|--------|------|--|-----------|
| Nr. 13 | 1990 | B. KELLER, H.-R. BLÄSI, N.H. PLATT,
P.S. MOZLEY, A. MATTER
Sedimentäre Architektur der distalen
Unteren Süßwassermolasse | Fr. 40.- |
| Nr. 14 | 1992 | P. DIEBOLD, H. NAEF, M. AMMANN
Zur Tektonik der zentralen Nordschweiz
(regionale Seismik, Oberflächengeologie und
Tiefbohrungen) | Fr. 100.- |
| Nr. 15 | 1992 | A. SPICHER (†)
Verzeichnis der geologischen und tektoni-
schen Karten und Kartenskizzen der Schweiz
1930-1950 (Neudruck) | Fr. 20.- |
| Nr. 16 | 1993 | M. AMMANN, P. BIRKHÄUSER, H.R. BLÄSI,
J.-M. LAVANCHY, S. LÖW, B. MEIER, W.H. MÜLLER
Untere Süßwassermolasse im Erdsondenfeld
Burgdorf. Charakterisierung mittels
Geologie, Petrophysik und Fluid Logging | Fr. 40.- |



LEGENDE

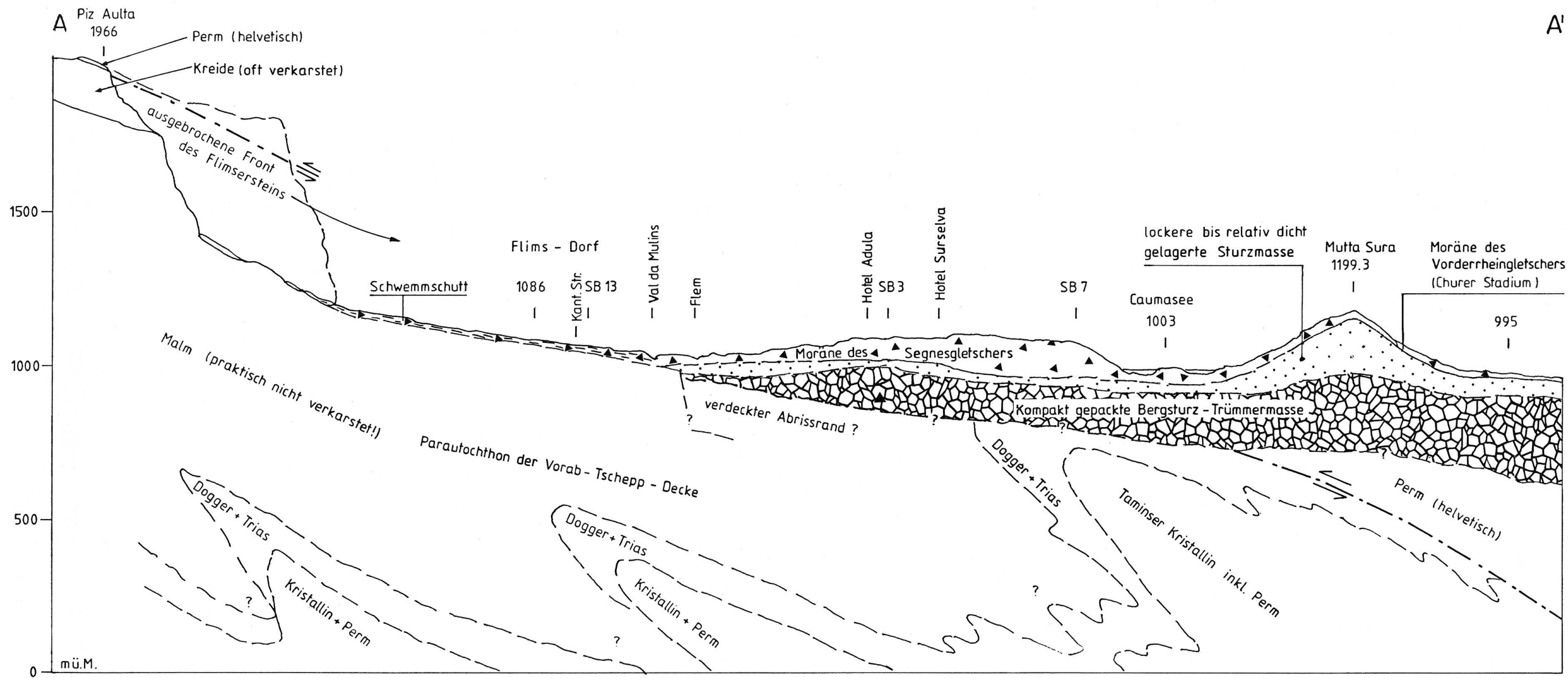
- Alluvionen, Bachschuttkegel
- Gehängeschutt
- Bergstürze, vorwiegend jünger als der Flims Bergsturz
- Moräne des Segnes- und des Bargis-Gletschers (mit Wällen) auf den Bergsturztrümmern
- Schwärme von Verrucanotrümmern auf der Moräne
- Moräne des Vorderrheingletschers mit kristallinen Erratika auf den Bergsturztrümmern
- Seitliche Begrenzung des Churer Stadiums
- Bonaduzer Schotter mit Umgrenzung dieser Flutablagerung
- und vermutliche Lage des Ausbruchs des älteren Ilanzer Sees
- Deltaschotter und Sectone des älteren und jüngeren Ilanzer Sees
- Durch den Ausbruch des Ilanzer Sees verschwemmte Bergsturztrümmer

- Abrissränder der Bergstürze
- Umgrenzung des Ablagerungsraumes des Flims Bergsturzes
- Taminser Bergsturz (Silberegg und Säsa git) mit Reichenauer Bergsturziiegel
- Grundmoräne unter dem Flims Bergsturz (im Laaxer Tobel und NE Versam)
- Anstehender Fels (innerhalb des Bergsturzgebietes)

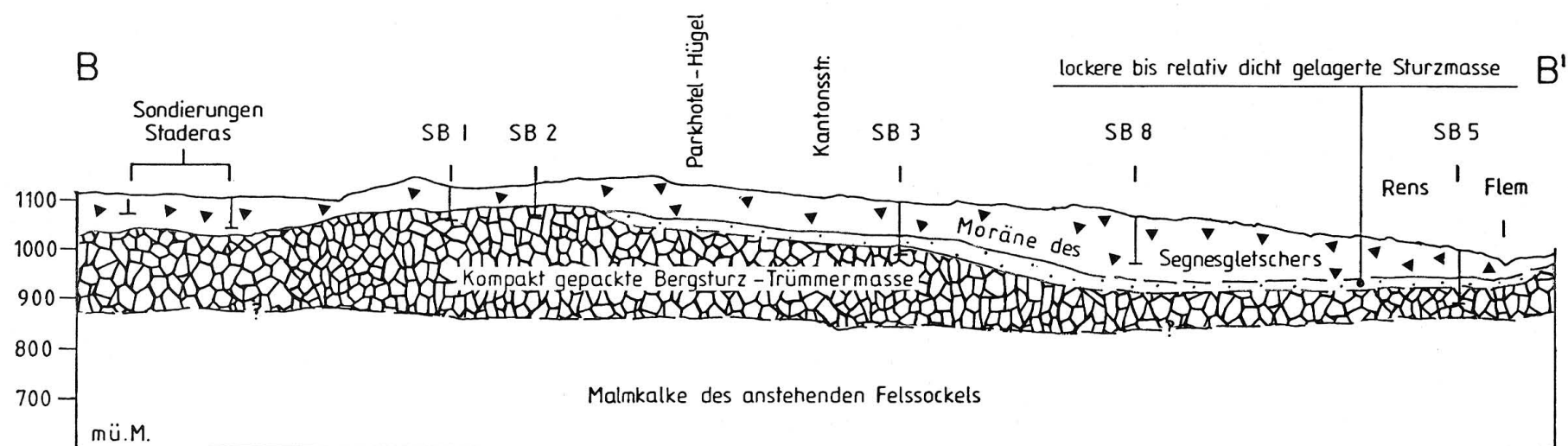
Geologische Kartenskizze

nach Oberholzer, J. (1920), Gsell, R. (1918), Leupold, W. (1942), Remenyik, T. (1959)
Pavoni, N. (1968), Scheller, E. (1970), Abele, G. (1974), Hantke, R. (1980) und
Nabholz, W. (1954 – 1986).

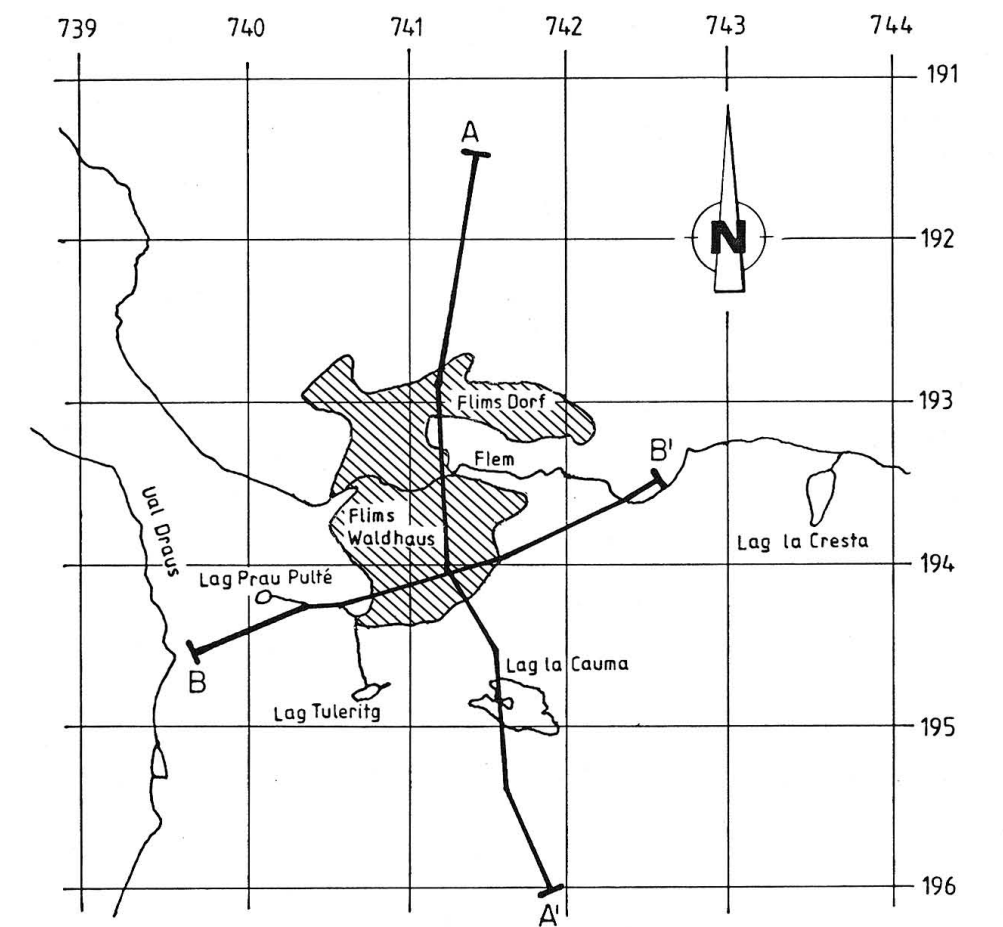
Zur Hydrologie des Bergsturzgebietes im Raum Flims Beispiele für hydrogeologische Untersuchungen		
Geologische Karte	Massstab: ~ 1 : 50'000	Beilage 1



Profilschnitte nach W.K. Nabholz (1986)



SITUATION



Zur Hydrologie des Bergsturzgebietes im Raum Flims
Beispiele für hydrogeologische Untersuchungen

Geologische Profilschnitte

Beilage 2



LEGENDE

- Sondierbohrungen
- 1200 — Felsisohypsen (Höhenangabe in m ü. M.)
- ■ ■ ■ ■ Hauptkluftsysteme (± vertikal): Abrissränder des Flimser Bergsturzes
Südwestlich der Kluftstörung ① taucht die Felsoberfläche gemäss Reflexionsseismik auf über 200 m unter OK Terrain ab.

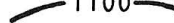
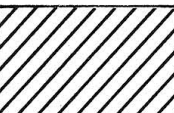
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 19.4.1993.

Zur Hydrologie des Bergsturzgebietes im Raum Flims
Beispiele für hydrogeologische Untersuchungen

Karte der Felsoberfläche	Massstab: 1 : 25 000	Beilage 3
--------------------------	----------------------	-----------



LEGENDE

- Sondierbohrungen
-  1100 Isohypsen des scheinbaren Grundwasserspiegels: Maximalstand (Aequidistanz 20 m, Angaben in m ü.M.)
-  Ausbreitung der Tracer von Färbversuchen
 - ① Färbversuch vom 5.9.1979 mit Fluorescein.
Impfstelle: Schwinde unterhalb Vorabgletscher auf 2 510 m ü. M.
 - ② Färbversuch vom 27.10.1987 mit Fluorescein.
Impfstelle: Sondierbohrung SB 3/85.
-  Verbreitung der verkarsteten Kreidekalke

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 19.4.1993.

Zur Hydrologie des Bergsturzgebietes im Raum Flims
Beispiele für hydrogeologische Untersuchungen

Hydrogeologische Karte

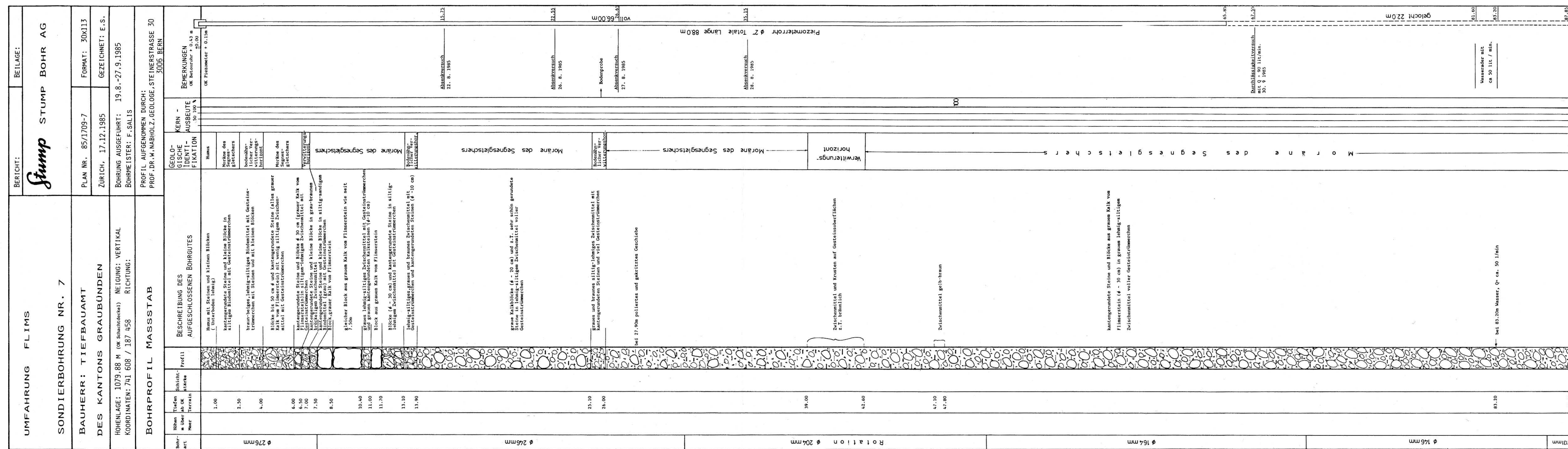
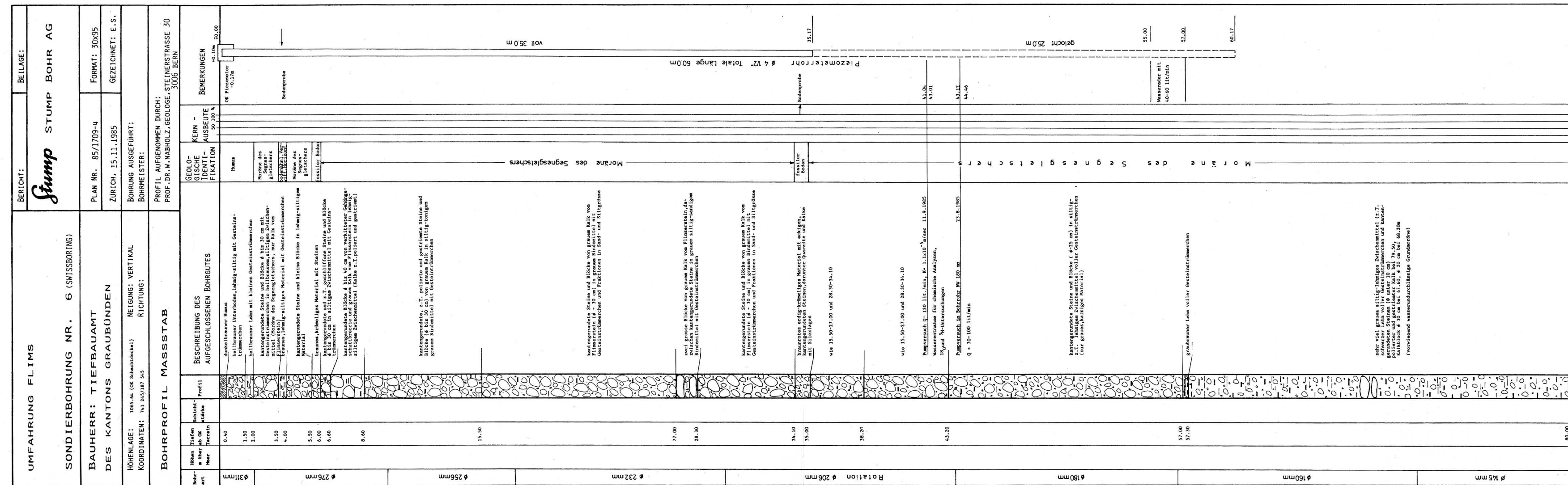
Massstab: 1 : 25 000

Beilage 4

[illegible]

UMFAHRUNG FLIMS		Bericht:		Beilage:	
SONDIERBOHRUNG NR. 5		 Sump BohrAG Zürich – CHUR			
Bauherr: Tiefbauamt des Kantons Graubünden Höhenlage: 946.01 (Ø 30m) (Ø 30m) (Ø 30m) Koordinaten: 742 330 188 368		Plan Nr.: 85/709-1 Format: 30x110 Zürich, 6.6.1985 Gezeichnet: E.S. Bohrung ausgeführt: 22.3.85 - 25.4.1985 Bohrmeister: F. SALLS		Prof. Dr. V. Nabelsz: Geologie/Steinrest: 30.3006 Bern	
Bohrprofil Massstab		Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		Geologische Identifikation	
Bohrtiefe	Bohrloch	Bohrtiefe	Bohrloch	Bohrtiefe	Bohrloch
0.50	Ø 30mm	0.50	Ø 30mm	0.50	Ø 30mm
2.80	Ø 30mm	2.80	Ø 30mm	2.80	Ø 30mm
6.00	Ø 30mm	6.00	Ø 30mm	6.00	Ø 30mm
10.00	Ø 30mm	10.00	Ø 30mm	10.00	Ø 30mm
13.10	Ø 30mm	13.10	Ø 30mm	13.10	Ø 30mm
14.00	Ø 30mm	14.00	Ø 30mm	14.00	Ø 30mm
15.00	Ø 30mm	15.00	Ø 30mm	15.00	Ø 30mm
16.00	Ø 30mm	16.00	Ø 30mm	16.00	Ø 30mm
17.00	Ø 30mm	17.00	Ø 30mm	17.00	Ø 30mm
18.00	Ø 30mm	18.00	Ø 30mm	18.00	Ø 30mm
21.60	Ø 30mm	21.60	Ø 30mm	21.60	Ø 30mm
26.70	Ø 30mm	26.70	Ø 30mm	26.70	Ø 30mm
27.20	Ø 30mm	27.20	Ø 30mm	27.20	Ø 30mm
28.00	Ø 30mm	28.00	Ø 30mm	28.00	Ø 30mm
30.10	Ø 30mm	30.10	Ø 30mm	30.10	Ø 30mm
31.30	Ø 30mm	31.30	Ø 30mm	31.30	Ø 30mm
32.40	Ø 30mm	32.40	Ø 30mm	32.40	Ø 30mm
33.40	Ø 30mm	33.40	Ø 30mm	33.40	Ø 30mm
34.30	Ø 30mm	34.30	Ø 30mm	34.30	Ø 30mm
35.40	Ø 30mm	35.40	Ø 30mm	35.40	Ø 30mm
36.00	Ø 30mm	36.00	Ø 30mm	36.00	Ø 30mm
37.85	Ø 30mm	37.85	Ø 30mm	37.85	Ø 30mm
38.40	Ø 30mm	38.40	Ø 30mm	38.40	Ø 30mm
40.50	Ø 30mm	40.50	Ø 30mm	40.50	Ø 30mm
43.90	Ø 30mm	43.90	Ø 30mm	43.90	Ø 30mm
46.50	Ø 30mm	46.50	Ø 30mm	46.50	Ø 30mm
48.50	Ø 30mm	48.50	Ø 30mm	48.50	Ø 30mm
50.00	Ø 30mm	50.00	Ø 30mm	50.00	Ø 30mm
52.90	Ø 30mm	52.90	Ø 30mm	52.90	Ø 30mm
54.00	Ø 30mm	54.00	Ø 30mm	54.00	Ø 30mm
56.50	Ø 30mm	56.50	Ø 30mm	56.50	Ø 30mm
60.00	Ø 30mm	60.00	Ø 30mm	60.00	Ø 30mm
62.00	Ø 30mm	62.00	Ø 30mm	62.00	Ø 30mm
64.00	Ø 30mm	64.00	Ø 30mm	64.00	Ø 30mm
66.00	Ø 30mm	66.00	Ø 30mm	66.00	Ø 30mm
67.70	Ø 30mm	67.70	Ø 30mm	67.70	Ø 30mm
68.00	Ø 30mm	68.00	Ø 30mm	68.00	Ø 30mm
69.00	Ø 30mm	69.00	Ø 30mm	69.00	Ø 30mm
70.00	Ø 30mm	70.00	Ø 30mm	70.00	Ø 30mm
71.00	Ø 30mm	71.00	Ø 30mm	71.00	Ø 30mm
72.00	Ø 30mm	72.00	Ø 30mm	72.00	Ø 30mm
73.00	Ø 30mm	73.00	Ø 30mm	73.00	Ø 30mm
74.00	Ø 30mm	74.00	Ø 30mm	74.00	Ø 30mm
75.00	Ø 30mm	75.00	Ø 30mm	75.00	Ø 30mm
76.00	Ø 30mm	76.00	Ø 30mm	76.00	Ø 30mm
77.00	Ø 30mm	77.00	Ø 30mm	77.00	Ø 30mm
78.00	Ø 30mm	78.00	Ø 30mm	78.00	Ø 30mm
79.00	Ø 30mm	79.00	Ø 30mm	79.00	Ø 30mm
80.00	Ø 30mm	80.00	Ø 30mm	80.00	Ø 30mm

PROF. DR. W.K. NABHOLZ Geologe Steinerstrasse 30 3006 Bern		
Zur Hydrologie des Bergsturzgebietes im Raum Flims Beispiele für hydrogeologische Untersuchungen		
Bohrprofile SB3/85 + SB5/85	Massstab: 1 : 200	Beilage 5.2



PROF. DR. W.K. NABHOLZ
Geologe Steinerstrasse 30 3006 Bern

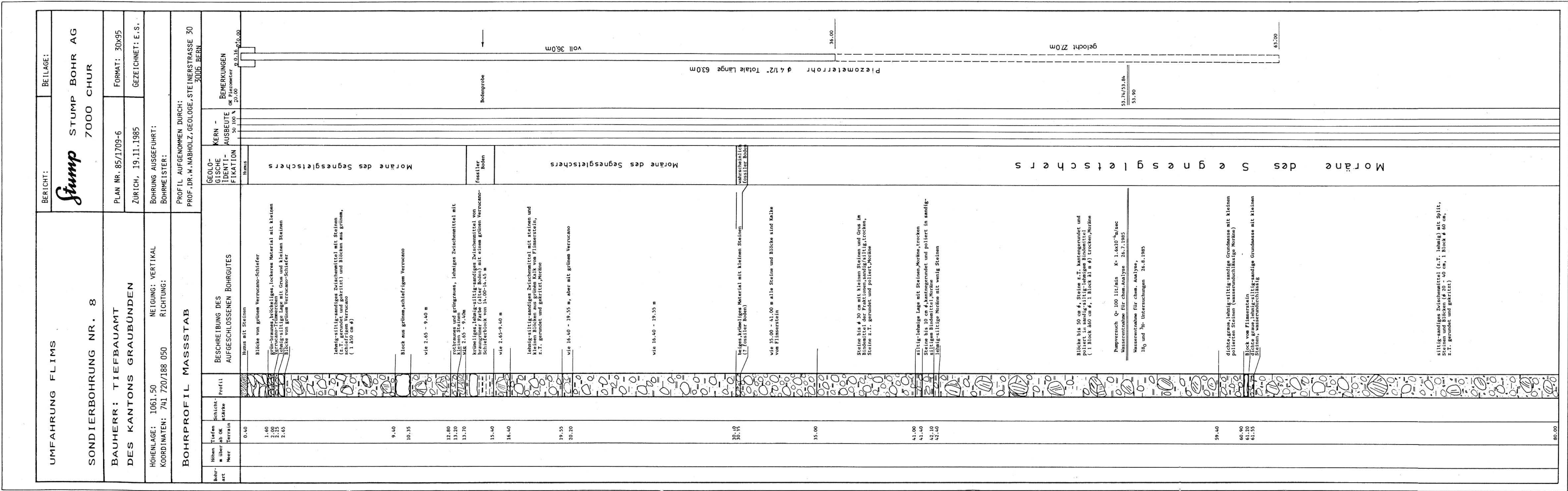
Zur Hydrologie des Bergsturzgebietes im Raum Flims

Beispiele für hydrogeologische Untersuchungen

Bohrprofile SB6/85 + SB7/85

Massstab: 1 : 200

Beilage 5.3



BAUGRUNDUNTERSUCHUNG UMFAHRUNG FLIMS			A19			Bericht Nr. 2581.2			Plan Nr. 192773131a Beilage 11a		
SONDIERBOHRUNG NR. 9/91			Buchi und Muller AG Beratende Geologen SIA/ASIC			QUADERSTRASSE 5 7000 LUHR 08.12.1991					
Bauherrschafft: Tiefbauamt des Kantons Graubünden			Nähepunkt: 100.5 m			Sonderantrag: Sondierung			Sonderantrag: Sondierung		
Koordinaten: 741 688.73/187 693.64			Höhepunkt: 1 093.35 m u. M.			Sonderantrag: Sondierung			Sonderantrag: Sondierung		
Schichtprofil			Massivität			Sonderantrag: Sondierung			Sonderantrag: Sondierung		
Tiefe (m)			Profil			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %		
Höhe über Meer			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
Ø der Bohrung			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
Ø der Verrohrung			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
103 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		
127 mm			Schichtbeschreibung			Kerngewinn %			USCS (Proben)		

The diagram shows a geological cross-section with two boreholes, SB9/91 and SB10/91, indicated by vertical lines. The left borehole (SB9/91) has a depth of 13.01.97 and a diameter of 84.50. The right borehole (SB10/91) has a depth of 30.04.97 and a diameter of 86.00. The geological layers are labeled as follows:

- Filterrohr** (Filter pipe) at the top.
- Quorzsand** (Quartz sand) layer.
- toniger Kies und Splitt mit wenig Sand** (clayey gravel and split with little sand) layer.
- einzelne Steine, hellgrau** (individual stones, light gray) layer.
- kleinkörniger Splitt** (fine-grained split) layer.
- Silt und Sand als Zwischenmaterial** (silt and sand as intermaterial) layer.
- Block-Kalk** (Block limestone) layer.

The diagram also shows a **Ende der Bohrung** (End of the borehole) label and a scale bar indicating 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350, 360, 370, 380, 390, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 500, 510, 520, 530, 540, 550, 560, 570, 580, 590, 600, 610, 620, 630, 640, 650, 660, 670, 680, 690, 700, 710, 720, 730, 740, 750, 760, 770, 780, 790, 800, 810, 820, 830, 840, 850, 860, 870, 880, 890, 900, 910, 920, 930, 940, 950, 960, 970, 980, 990, 1000, 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060, 1070, 1080, 1090, 1100, 1110, 1120, 1130, 1140, 1150, 1160, 1170, 1180, 1190, 1200, 1210, 1220, 1230, 1240, 1250, 1260, 1270, 1280, 1290, 1300, 1310, 1320, 1330, 1340, 1350, 1360, 1370, 1380, 1390, 1400, 1410, 1420, 1430, 1440, 1450, 1460, 1470, 1480, 1490, 1500, 1510, 1520, 1530, 1540, 1550, 1560, 1570, 1580, 1590, 1600, 1610, 1620, 1630, 1640, 1650, 1660, 1670, 1680, 1690, 1700, 1710, 1720, 1730, 1740, 1750, 1760, 1770, 1780, 1790, 1800, 1810, 1820, 1830, 1840, 1850, 1860, 1870, 1880, 1890, 1900, 1910, 1920, 1930, 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000, 2010, 2020, 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080, 2090, 2100, 2110, 2120, 2130, 2140, 2150, 2160, 2170, 2180, 2190, 2200, 2210, 2220, 2230, 2240, 2250, 2260, 2270, 2280, 2290, 2300, 2310, 2320, 2330, 2340, 2350, 2360, 2370, 2380, 2390, 2400, 2410, 2420, 2430, 2440, 2450, 2460, 2470, 2480, 2490, 2500, 2510, 2520, 2530, 2540, 2550, 2560, 2570, 2580, 2590, 2600, 2610, 2620, 2630, 2640, 2650, 2660, 2670, 2680, 2690, 2700, 2710, 2720, 2730, 2740, 2750, 2760, 2770, 2780, 2790, 2800, 2810, 2820, 2830, 2840, 2850, 2860, 2870, 2880, 2890, 2900, 2910, 2920, 2930, 2940, 2950, 2960, 2970, 2980, 2990, 3000, 3010, 3020, 3030, 3040, 3050, 3060, 3070, 3080, 3090, 3100, 3110, 3120, 3130, 3140, 3150, 3160, 3170, 3180, 3190, 3200, 3210, 3220, 3230, 3240, 3250, 3260, 3270, 3280, 3290, 3300, 3310, 3320, 3330, 3340, 3350, 3360, 3370, 3380, 3390, 3400, 3410, 3420, 3430, 3440, 3450, 3460, 3470, 3480, 3490, 3500, 3510, 3520, 3530, 3540, 3550, 3560, 3570, 3580, 3590, 3600, 3610, 3620, 3630, 3640, 3650, 3660, 3670, 3680, 3690, 3700, 3710, 3720, 3730, 3740, 3750, 3760, 3770, 3780, 3790, 3800, 3810, 3820, 3830, 3840, 3850, 3860, 3870, 3880, 3890, 3900, 3910, 3920, 3930, 3940, 3950, 3960, 3970, 3980, 3990, 4000, 4010, 4020, 4030, 4040, 4050, 4060, 4070, 4080, 4090, 4100, 4110, 4120, 4130, 4140, 4150, 4160, 4170, 4180, 4190, 4200, 4210, 4220, 4230, 4240, 4250, 4260, 4270, 4280, 4290, 4300, 4310, 4320, 4330, 4340, 4350, 4360, 4370, 4380, 4390, 4400, 4410, 4420, 4430, 4440, 4450, 4460, 4470, 4480, 4490, 4500, 4510, 4520, 4530, 4540, 4550, 4560, 4570, 4580, 4590, 4600, 4610, 4620, 4630, 4640, 4650, 4660, 4670, 4680, 4690, 4700, 4710, 4720, 4730, 4740, 4750, 4760, 4770, 4780, 4790, 4800, 4810, 4820, 4830, 4840, 4850, 4860, 4870, 4880, 4890, 4900, 4910, 4920, 4930, 4940, 4950, 4960, 4970, 4980, 4990, 5000, 5010, 5020, 5030, 5040, 5050, 5060, 5070, 5080, 5090, 5100, 5110, 5120, 5130, 5140, 5150, 5160, 5170, 5180, 5190, 5200, 5210, 5220, 5230, 5240, 5250, 5260, 5270, 5280, 5290, 5300, 5310, 5320, 5330, 5340, 5350, 5360, 5370, 5380, 5390, 5400, 5410, 5420, 5430, 5440, 5450, 5460, 5470, 5480, 5490, 5500, 5510, 5520, 5530, 5540, 5550, 5560, 5570, 5580, 5590, 5600, 5610, 5620, 5630, 5640, 5650, 5660, 5670, 5680, 5690, 5700, 5710, 5720, 5730, 5740, 5750, 5760, 5770, 5780, 5790, 5800, 5810, 5820, 5830, 5840, 5850, 5860, 5870, 5880, 5890, 5900, 5910, 5920, 5930, 5940, 5950, 5960, 5970, 5980, 5990, 6000, 6010, 6020, 6030, 6040, 6050, 6060, 6070, 6080, 6090, 6100, 6110, 6120, 6130, 6140, 6150, 6160, 6170, 6180, 6190, 6200, 6210, 6220, 6230, 6240, 6250, 6260, 6270, 6280, 6290, 6300, 6310, 6320, 6330, 6340, 6350, 6360, 6370, 6380, 6390, 6400, 6410

BAUGRUNDUNTERSUCHUNG UMFAHRUNG FLIMS		A19		Bericht Nr. 25812		Beilage 11c	
SONDIERBOHRUNG NR. 11/92				Büchi und Müller AG Beratende Geologen SIA/ASIC QUADERSTRASSE 5 7000 CHUR 081221350			
Bauherrschaft: Tiefbauamt des Kantons Graubünden				Profilaufnahme durch Dr. G. Messina			
Gesamtlänge: 50.2 m		Richtung: vertikal		Neigung:		Sonderdatum 31.01. - 25.02.1992	
Koordinaten 740 302.09/188 872.92		Hohenlage 1 147.03 m u M		Sonderunternehmung		Schissbaring	
Schichtprofil		Massstab		gezeichnet M.B.		Format 30 x 70 cm	
Ø der Bohrung	Ø der Verrohrung	Tiefe (m)	Profil	Schichtbeschreibung	Kerngewinn %	Geologische Identifikation	USCS (Proben)
103 mm	127 mm	0.5	Mutterboden, siltreich, braun	toniger Kies mit wenig Sand, einzelne Steine			
		3.2	Block (Verrucano)	toniger Kies mit reichlich Sand, einzelne Steine			
		5.8	Block	siltiger Kies mit viel Sand und reichlich Silt kleiner Plastizität			
		6.9	Block	wie zwischen 3.2 m und 5.8 m			
		7.8	Block	wie zwischen 7.8 m und 11.1 m			
		9.0	Block	siltiger Kies mit reichlich Sand und wenig Silt kleiner Plastizität			
		9.4	Block				
		11.1	Block und Steine				
		14.0	Block				
		14.3	Block				
		15.8	Block und Steine				
		18.0	Block				
		18.4	Block				
		19.3	Block				
		20.8	Steine und stark verwitterte, zerfallene Blöcke				
		23.8		ab 23.8 m vorwiegend Kalke			
		25.0		toniger Kies mit wenig bis reichlich Sand, grau eckiges Material			
		29.3	Steine und kleine Blöcke	siltiger Kies mit viel Sand und wenig Silt ohne Plastizität und mit reichlich Steinen			
		30.0	Block				
		35.0	Block	siltiger Kies mit viel Sand und reichlich leicht tonigem Silt kleiner Plastizität			
		37.2		toniger Silt			
		38.0		siltiger Feinsand			
		38.6		Feinsand, leicht siltig			
		39.6	Block	toniger Silt, mit wenig Sand und Kies			
		41.9	Steine und kleine Blöcke	siltiger Sand mit viel Silt kleiner Plastizität			
		42.5		siltiger Feinsand			
		43.1		siltiger Feinsand			
		43.9		siltiger Feinsand			
		44.3		siltiger Feinsand			
		45.0		siltiger Kies mit viel Sand und reichlich Silt ohne Plastizität			
		47.4		toniger Silt			
		47.9		toniger Kies mit wenig Sand und mit Steinen, fest gelagert, grau			
		106.85					

[illegible]

PROF. DR. W.K. NABHOLZ Geologe Steinerstrasse 30 3006 Bern		
Zur Hydrologie des Bergsturzgebietes im Raum Flims Beispiele für hydrogeologische Untersuchungen		
Bohrprofile SB11/92 + SB12/92	Massstab: 1 : 200	Beilage 5.6

