

# Modellierung des Einflusses des Flimserstein-Tunnels auf die Karstquelle des Lag Tiert (Flims, GR)

Autor(en): **Jeannin, P.-Y. / Häuselmann, P. / Wildberger, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin für angewandte Geologie**

Band (Jahr): **12 (2007)**

Heft 2

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-226378>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Modellierung des Einflusses des Flimserstein-Tunnels auf die Karstquelle des Lag Tiert (Flims, GR)

P.-Y. Jeannin<sup>1</sup>, P. Häuselmann<sup>1</sup> & A. Wildberger<sup>2</sup>

**Stichworte:** Tunnelbau, Karst, Quellen, numerische Modellierung, Stromerzeugung, Flims

### Zusammenfassung

Der Bau des Umfahrungstunnels von Flims (GR) schnitt 2002 ein grosses Karstsystem an. In der Folge fielen verschiedene Quellen in der Umgebung von Flims trocken, während andere ihr Fliessverhalten veränderten. Davon war unter anderem auch ein Kraftwerk der Flims Electric AG betroffen. Aus diesem Grunde wurden die Geologen der Firma Dr. von Moos AG und des Schweizerischen Instituts für Speläologie und Karstforschung beauftragt, die Auswirkung des Tunnels auf die Quellschüttung nachzuweisen, modellhaft die unterirdischen Fliessverhältnisse darzustellen sowie die umgeleitete Wassermenge zu quantifizieren. Es zeigen sich folgende Schlussfolgerungen:

- Sobald in verkarstungsfähigen Gesteinen gebaut wird, darf die Möglichkeit eines Antreffens von Karströhren nicht ausser Acht gelassen werden. Das Beispiel zeigt, dass das Antreffen von Karst oft eine Zeitverzögerung für Bauten bedeutet und fast in jedem Fall bedeutende Kostenüberschreitungen zur Folge hat.
- Wenn von allen betreffenden Quellen genügend Schüttungsdaten sowie Daten zur Variation dieser Schüttung vorhanden sind, kann das unterirdische Karstnetz mit einiger Genauigkeit modelliert werden.

### Résumé

La construction du tunnel de contournement de Flims (GR) a recoupé un conduit karstique important. Par la suite, plusieurs sources de la région se sont tarées et d'autres ont vu changer leur régime d'écoulement. Entre autres, une station hydroélectrique de Flims Electric SA a été affectée. Pour cette raison, les géologues du bureau Dr. von Moos AG et de l'Institut Suisse de Spéléologie et de Karstologie ont été mandatés pour étudier l'effet du tunnel sur le débit des sources, de modéliser numériquement les écoulements souterrains, et de quantifier les eaux déviées. Les conclusions suivantes peuvent être tirées:

- Dès que l'on construit dans des roches karstifiables, la présence de vides karstiques ne peut pas être exclue. Cet exemple démontre que la présence de ces vides engendre souvent des pertes de temps et des dépassements du budget des constructions.
- Si l'on peut mesurer les valeurs de débit et leur variation dans toutes les sources, une modélisation numérique du réseau karstique peut être obtenue avec une certaine précision.

<sup>1</sup> Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstkunde SISKKA, Postfach 818, 2301 La Chaux-de-Fonds, Schweiz, praezis@speleo.ch

<sup>2</sup> Dr. von Moos AG, geotechnisches Büro, Bachofnerstr. 5, 8037 Zürich, Schweiz

## 1. Einführung

Um das Dorf Flims (GR, Schweiz) vom Durchgangsverkehr zu entlasten, wurde im Auftrag des Kantons Graubünden in den Jahren 1999-2007 ein Umfahrungstunnel gebaut. Dieser Tunnel verläuft zum Grossteil in anstehenden Kalken (v. a. Quintner Kalk des Malm). Im Oktober 2002 wurde eine Karströhre angeschnitten, die zwischen 200 und 700 l/s Wasser liefert. Dieses Anschneiden eines aktiven Karstsystems hatte ein Versiegen diverser Hochwasser-Quellen im Dorf zur Folge. Zusätzlich verringerte sich die Schüttung der bis anhin perennierenden Quelle des Lag Tiert deutlich und verringerte so die beim Kraftwerk Bargaus (Flims Electric AG) nutzbare Wassermenge. Der nachfolgende Artikel soll die in den letzten drei Jahren gefundenen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Karstquellen aufzeigen und die Bilanzierung der Schüttung erläutern. Er zeigt somit die Komplexität des Karstes im Allgemeinen auf und betont die Wichtigkeit von umfassenden Untersuchungen (unter Beizug von Karsthydrogeologen), wenn in Karstgebieten gebaut werden soll.

## 2. Lage und Geologie

Das Dorf Flims liegt circa 15 km westlich von Chur im Vorderrheintal (Fig. 1). Es liegt auf den frühholozänen Sturzmassen des Flimser Bergsturzes, der den grössten Bergsturz der Alpen darstellt und ein Volumen von 8-9 Kubikkilometern aufweist (von Poschinger 2006). Die Felsoberfläche liegt im nordöstlichen Teil (nördlich des Flem) generell nahe der Terrainoberfläche, taucht gegen SW aber in die Tiefe, so dass dort mit mehreren hundert Metern Lockergestein gerechnet werden muss.

Unter dem Bergsturz befindet sich die parautochthone Vorab-Tschepp-Decke, die in nach Norden überkippte Falten gelegt ist (Bonanomi et al. 1994). Im Dorfbereich besteht die Decke hauptsächlich aus Quint-

ner Kalk. Dem Parautochthon überschoben ist die Hauptmasse der Helvetischen Decken, die südlich und westlich von Flims die Felsunterlage bilden. Im Untersuchungsgebiet besteht das Helvetikum zur Hauptsache aus permischem Verrucano (Tonschiefer, Sandsteine, Quarzite, vulkanische Gesteine; Wyssling 1950).

## 3. Hydrogeologische Verhältnisse vor dem Tunnelbau

Fig. 1 zeigt die bekannten hydrogeologischen Verhältnisse vor dem Tunnelbau. Hierbei handelt es sich um zwei Grundwassersysteme. Das erste System ist dasjenige des Karstes. Eine Wassermarkierung 1979 (zitiert in Bonanomi et al. 1994) erbrachte den Nachweis der Verbindung des rund 8 km nordwestlich gelegenen Abflusses des Vorabgletschers zum Lag Tiert und zum Val Davos in Flims. Aufgrund der vorhandenen Daten wurde trotz des Vorhandenseins der Quelle Val Davos oberhalb des Tunneltrassees erwartet, dass die Verkarstung des Malmkalkes höchstens wenig ausgeprägt sei. Das zweite Grundwassersystem ist dasjenige des Flimser Bergsturzes, das aufgrund der vorhandenen Daten mehr oder weniger gegen den unterliegenden Karst abgedichtet zu sein scheint (Gleitfläche der Sturzbahn der Bergsturzmassen). Dieses System drainiert in unterschiedlich durchlässigen Bahnen generell gegen Osten (Quellen Conn, Pintrun, Laghizun, Crestasee) und hat in der Form von Cauma- und Crestasee (auf rumantsch Lag la Cauma und Lag la Cresta) zwei Fenster auf das Grundwasser. Der Grundwasserspiegel im Caumasee schwankt jährlich stark; die mittlere Schwankung beträgt um die fünf Meter, wobei der Höchststand anfangs August, der Tiefststand Ende Februar erreicht ist.

## 4. Der Tunnelbau

Da der Caumasee eine der Hauptattraktionen des Sommertourismus von Flims ist, wurde befürchtet, dass der Tunnelbau dem See das Wasser abgraben könnte. Aus diesem Grunde wurde aus einer Vielzahl von Varianten die Nordumfahrung des Dorfes ausgewählt, wo die Hauptstrecke des Tunnels im anstehenden Kalk, statt im Bergsturzschutt zu liegen kommt.

Beim Projektmeter 2711 wurde im Oktober 2002 eine Karströhre mit starker Wasserführung angebohrt, nämlich – je nach Saison – zwischen 200 und 700 l/s. Das Anfahren dieser Höhle bedingte das Verlegen einer genügend gross dimensionierten Leitung, um das anfallende Wasser zum Ostportal Vallorca abzuleiten, da eine Verdrängung des Wassers aus technischen Gründen (Druck auf Tunnelverkleidung u. a.) nicht in Frage kam. Zudem veränderte diese Ableitung den Was-



**Fig. 1:** Schematische Übersicht der Region Flims. Der Bergsturz ist grau gehalten; je dunkler das Grau, desto mächtiger der Bergsturzschutt.

serhaushalt von diversen Quellen der Region spürbar und nachhaltig. Die im Dorf gelegene, nur bei Hochwasser aktive Quelle von Val Davos versiegte dauerhaft; diverse weitere, kleinere Quellen im Dorf gingen in der Schüttung stark zurück, und einige zeitweise unter Wasser gelegene Keller des Dorfes blieben fortan trocken. Im Weiteren veränderte der Tunnelbau die Wasserführung des auf Laaxer Boden gelegenen Lag Tiert. Dieser kleine See wird durch eine Karstquelle von unten her gefüllt. Das Quellwasser wird im Kraftwerk Bargaus (Flims Electric AG) zur Stromproduktion benutzt. Im Winterhalbjahr schien sich die verfügbare Wassermenge zu verringern. Aus diesem Grunde wurden die Geologen der Dr. von Moos AG und des Schweizerischen Instituts für Speläologie und Karstforschung beauftragt, die Auswirkung des Tunnels auf die Quellschüttung nachzuweisen, modellhaft die unterirdischen Fließverhältnisse darzustellen sowie die umgeleitete Wassermenge zu quantifizieren.

## 5. Messungen beim Lag Tiert

Vor dem Tunnelbau wies der Lag Tiert eine permanente Schüttung von minimal 200 l/s auf. 3.5 Monate nach dem Anfahren der Quelle im Tunnel versiegte diese zum ersten Mal komplett. Eine erste Übersicht über die Stromproduktion im Laufe der Jahre zeigte denn auch eine deutliche Verringerung der Wassermenge ab Winter 2003/2004. Die Verzögerung der Reaktion um fast ein Jahr wurde mit der Niederschlagssituation (sehr viele Niederschläge im Vorwinter 2002/2003 und wenig Niederschläge im Sommer 2003) erklärt. Um den Beweis einer direkten hydraulischen Verbindung zu erbringen, wurde vor der Quellnische im Tunnel eine Druckwand eingebaut, die es erlaubte, den Druck der Tunnelquelle um circa 2 bar zu erhöhen. Gleichzeitig wurde im Lag Tiert ein Überfallwehr und eine permanent messende Drucksonde eingebaut, um kontinuierlich

die Wasserhöhe und somit die Schüttung der Quelle zu messen. Dazu wurde selbstverständlich die Anlage kalibriert. Anhand verschiedener Szenarien (unterschiedlich grosse Verbindungen der Karströhren untereinander sowie zum Einzugsgebiet) wurden sodann einige Hypothesen aufgestellt, wie die Quellen auf die hydraulischen Versuche reagieren sollten.

## 6. Hydraulische Versuche vom November 2004

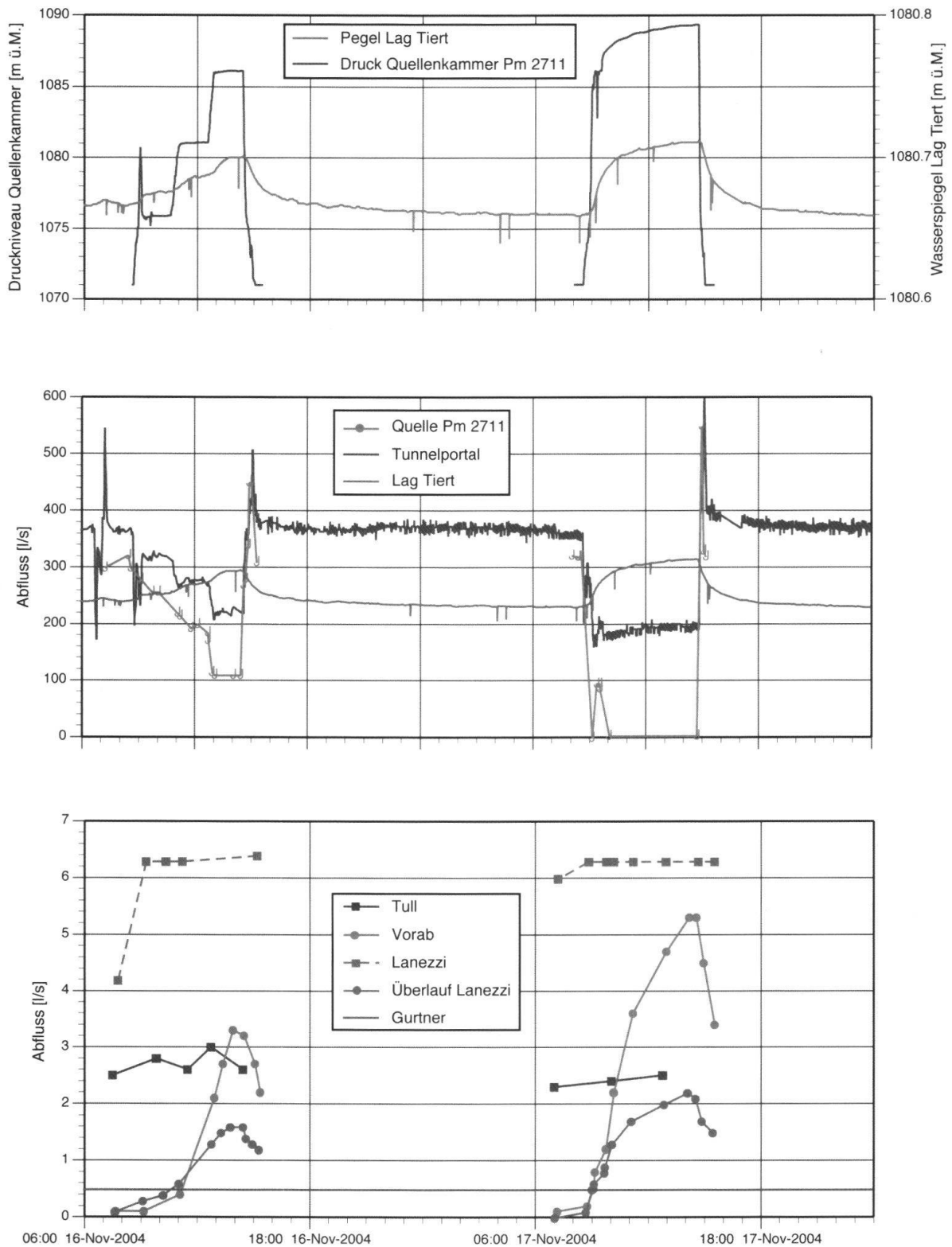
Eine erste Serie von hydraulischen Versuchen wurde am 16. und 17. November 2004 durchgeführt, mit dem Ziel, den Zusammenhang zwischen Tunnel und Lag Tiert zu verifizieren. Dank der Wetterlage (kühl, trocken und wechselnd bewölkt) war die Schüttung der Quellen vor dem Versuch ausgeglichen ohne Tagesschwankungen, mit einer leicht abnehmenden Tendenz. Im ersten Teil der Versuche am 16. November wurde der Druck in drei Schritten auf 1.5 bar erhöht, wobei der Druck der einzelnen Schritte 1.5 Stunden lang konstant gehalten wurde. Am 17. November wurde versucht, den Druck auf 2.5 bar zu erhöhen. Nach 5 Stunden wurde dieser Versuch bei 1.83 bar abgebrochen, denn die Schüttung war zu niedrig, um einen höheren Druck zu erzeugen. Während der Versuche wurden nebst dem Lag Tiert auch weitere Quellen in Flims-Dorf beobachtet.

Die Druckerhöhungen führten zu praktisch unmittelbaren Reaktionen, indem innerhalb von zwei Minuten am 2.1 km entfernten Lag Tiert, an diversen Bergwasseraustritten im Tunnel sowie an Quellen im Raum Flims (Fig. 2), die unterhalb der Kote 1080 m ü. M. austreten. Die hydraulische Verbindung zwischen Tunnelquelle und Lag Tiert ist also belegt.

Aus dieser Verbindung lässt sich aber nicht einfach die nun fehlende Wassermenge berechnen. Erstens sind diverse andere Quellen ausser dem Lag Tiert betroffen, zweitens existierten vor dem Tunnelbau kei-

ne Messtellen, die mit der geforderten Qualität Daten lieferten, und schliesslich beeinflusste der Tunnelbau das Karstsystem dergestalt, dass sich das ganze Abflussregime änderte. Eine Modellierung der Abflüsse vor

und nach dem Tunnelbau ist deshalb notwendig, um die im Lag Tiert fehlende Wassermenge zu ermitteln.



**Fig. 2:** Die im November 2004 durchgeführten Druckversuche zeigen klar, dass der Lag Tiert bei Verschluss des Tunnels stärker fliesst (obere und mittlere Grafik), und auch viele Quellen im Dorf sprechen an (untere Grafik).

## 7. Modellierungen: Die «direkte Wirkung»

In einem ersten Schritt wird versucht, die direkte Wirkung des Tunnels zu modellieren. Dazu wird ein hypothetisches Röhrennetz erstellt. Die Druckhöhenverluste können berechnet werden, wenn Länge, Rauigkeit, Durchmesser und Geometrie der Röhren abgeschätzt werden können. Sind genügend Daten verfügbar, kann dieses Röhrennetz ziemlich genau kalibriert werden (Jeannin & Wildberger 1995, Jeannin 2001). Sofern ein Modell die Situation vor dem Tunnelbau quantitativ richtig simulieren kann, können die Modellparameter zur Situation nach dem Tunnelbau angepasst und die neue Situation ebenfalls simuliert werden. Die Differenz in Abflussmengen und Druckhöhen vor und nach dem Tunnelbau ergibt den Einfluss des Bauwerks. Diesen Einfluss haben wir «direkte Wirkung» genannt.

Das Modell wird so einfach wie möglich aufgebaut. Wenn die Daten zeigen, dass die angenommene Geometrie nicht mit den Messungen in Übereinstimmung gebracht werden kann, so wird das Modell ergänzt. Die numerische Lösung eines solchen Systems ist leider nicht einfach, weil das System nicht linear reagiert und die Anzahl der aktiven Röhren von der durchströmenden Menge abhängt. Um es zu lösen, muss iterativ vorgegangen werden, dazu wurde ein selbst entwickeltes Programm und eines von Prof. P. Perrochet (Universität Neuenburg) angewendet.

Für eine turbulente Strömung gilt die folgende Beziehung:

$$Q_{uf} = k'_s \cdot \sqrt{i}$$
$$i = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

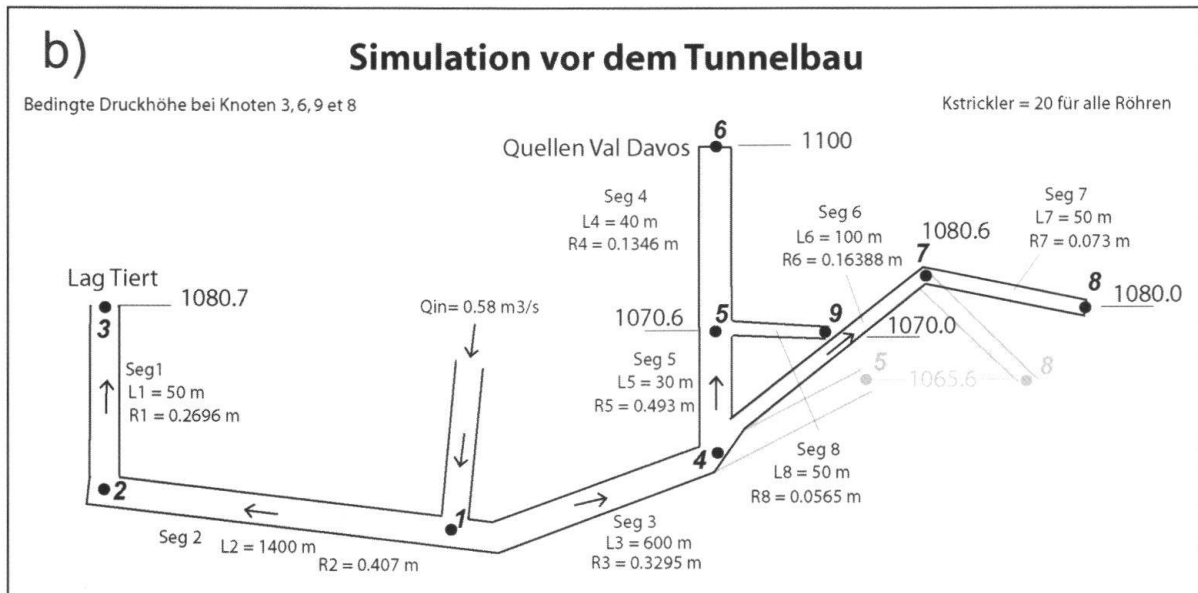
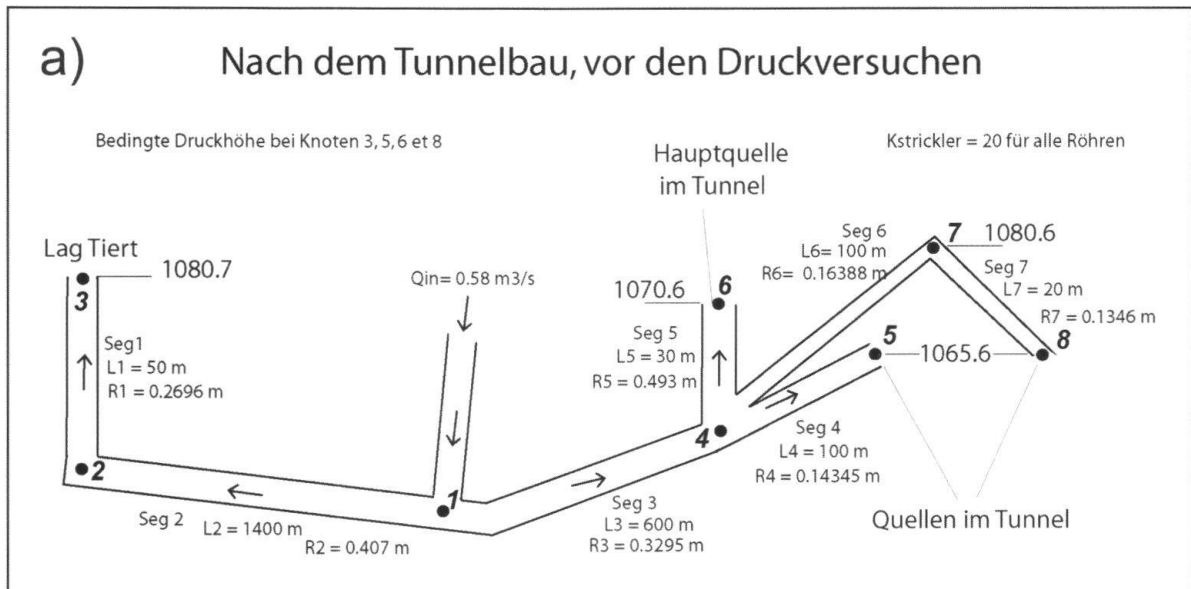
$Q_{uf}$  ist die Abflussmenge,  $k'_s$  ein Druckhöhenverlusts-Koeffizient,  $L$  und  $H$  sind die Röhrenlänge und Druckhöhen. Nach Strickler ist  $k'_s$  mit der folgenden Gleichung gegeben:

$$k'_s = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot K_{\text{Strickler}} \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3}$$

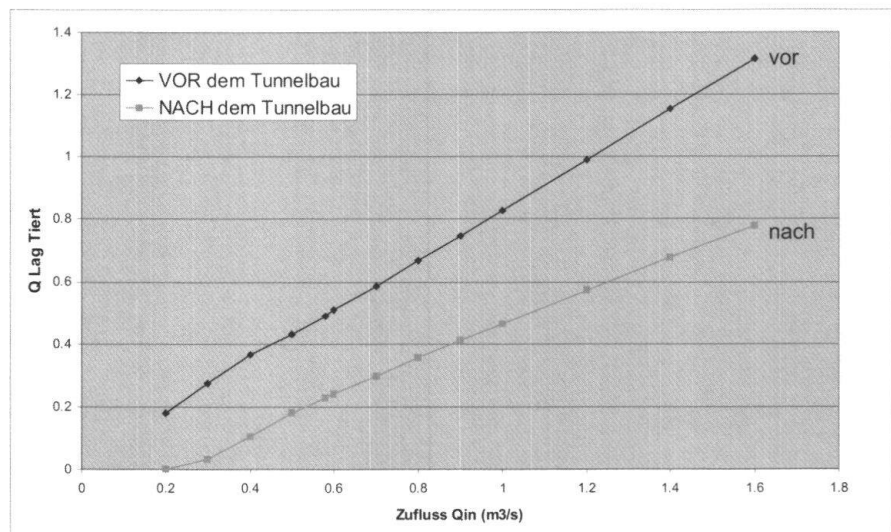
Mit dieser Formel kann, wenn man den Wert für  $K_{\text{Strickler}}$  auf 20 fixiert, die Beziehung zwischen Röhrendurchmesser  $D$  und Koeffizient  $k'_s$  bestimmt werden. Diese Beziehung ist sehr sensitiv auf Veränderungen des Radius der Karströhren, was mithilft, die Kalibration des Modells zu verfeinern und abzustimmen. Der Modellaufbau erfolgt in einem iterativen Prozess: Zuerst wird eine einfache Geometrie angenommen und mit den geringsten Abflussmengen kalibriert, dann wird versucht, größere Abflüsse zu simulieren. Normalerweise klappt dies nicht, und die ursprüngliche Geometrie muss angepasst werden.

Diese Modellierung wurde im vorliegenden Fall erfolgreich durchgeführt; sowohl die Situation vor als auch diejenige nach dem Tunnelbau konnte simuliert werden (Fig. 3). Eine numerische Berechnung erlaubte es sodann, festzuhalten, dass die Hauptquelle des Systems der Lag Tiert war. Die «direkte Wirkung» des Tunnelbaus konnte sodann mit Grafiken (Fig. 4) und Tabellen (Tab. 1) belegt werden. Dabei weichen die Ergebnisse der Simulation für die Zeit nach dem Tunnelbau vermutlich weniger als 20 % von der Realität ab. Für die Zeit vor dem Tunnelbau sind die Zahlen infolge fehlender Daten schlechter.

Um eine monatliche Abschätzung der fehlenden Wassermenge zu machen, muss jedoch eine instationäre Rechnung gemacht werden, da das gesamte Abflussregime durch den Tunnel verändert wurde. Man kann also nicht einfach die «direkte Wirkung» vom früher gültigen Monatsmittel abziehen, weil die drainierende Wirkung des Tunnels die Druckspiegel senkt und das gesamte System schneller entleert wird. Im Folgenden schätzen wir diese «indirekte Wirkung» ab.



**Fig. 3:** Geometrie und Parameter des Röhrenmodellles. a) vor den Druckversuchen, b) mit diesem Modell kann die Situation vor dem Tunnelbau simuliert werden.



**Fig. 4:** Mit den Röhrenmodellen gerechnet: Abflussmengen (in  $\text{m}^3/\text{s}$ ) der Quelle aus dem Lag Tiert VOR respektive NACH dem Tunnelbau, in Relation zum Zufluss des gesamten Karstsystems.



Monat	Mittlere Schüttung KW Bargaus (m <sup>3</sup> /s)	Weitere Quellen (Val Davos, Lanezzi, Gurg, usw.) (m <sup>3</sup> /s)	Gesamter Abfluss (m <sup>3</sup> /s)	"Direkte Wirkung" (m <sup>3</sup> /s)
Januar	0.26	0.01	0.27	0.223
Februar	0.225	0.008	0.233	0.206
März	0.3	0.012	0.312	0.237
April	0.49	0.03	0.52	0.263
Mai	0.63	0.06	0.69	0.281
Juni	0.85	0.15	1	0.366
Juli	1.1	0.25	1.35	0.463
August	0.9	0.17	1.07	0.388
September	0.79	0.125	0.915	0.338
Oktober	0.69	0.08	0.77	0.298
November	0.47	0.025	0.495	0.261
Dezember	0.35	0.015	0.365	0.249

**Tab. 1:**

Modellergebnisse der Tunnelwirkung auf den Quellabfluss des Lag Tiert. Die «direkte Wirkung» stellt die Abflussverminderung der Lag Tiert-Quelle dar. «KW Bargaus» ist das Kraftwerk, welches vorwiegend Wasser aus dem Lag Tiert nutzt.

## 8. Modellierungen: die «indirekte Wirkung»

Wasser im Karst wird nicht einfach durch Röhren geleitet, sondern wird im Massiv auch in Klüften und Poren gespeichert. Dieser Speicher tauscht mit den Röhren Wasser aus. In einem ersten Ansatz nehmen wir an, dass der Speicher ein Tank ist, der durch eine Röhre mit turbulenter Strömung entleert und durch die Grundwasserneubildung gespeist wird. Hiermit wurden in einem ersten Schritt durch iterative Berechnungen die Durchmesser der Abflussröhren (0.17115 m vor, 0.21873 m nach dem Tunnelbau) festgelegt.

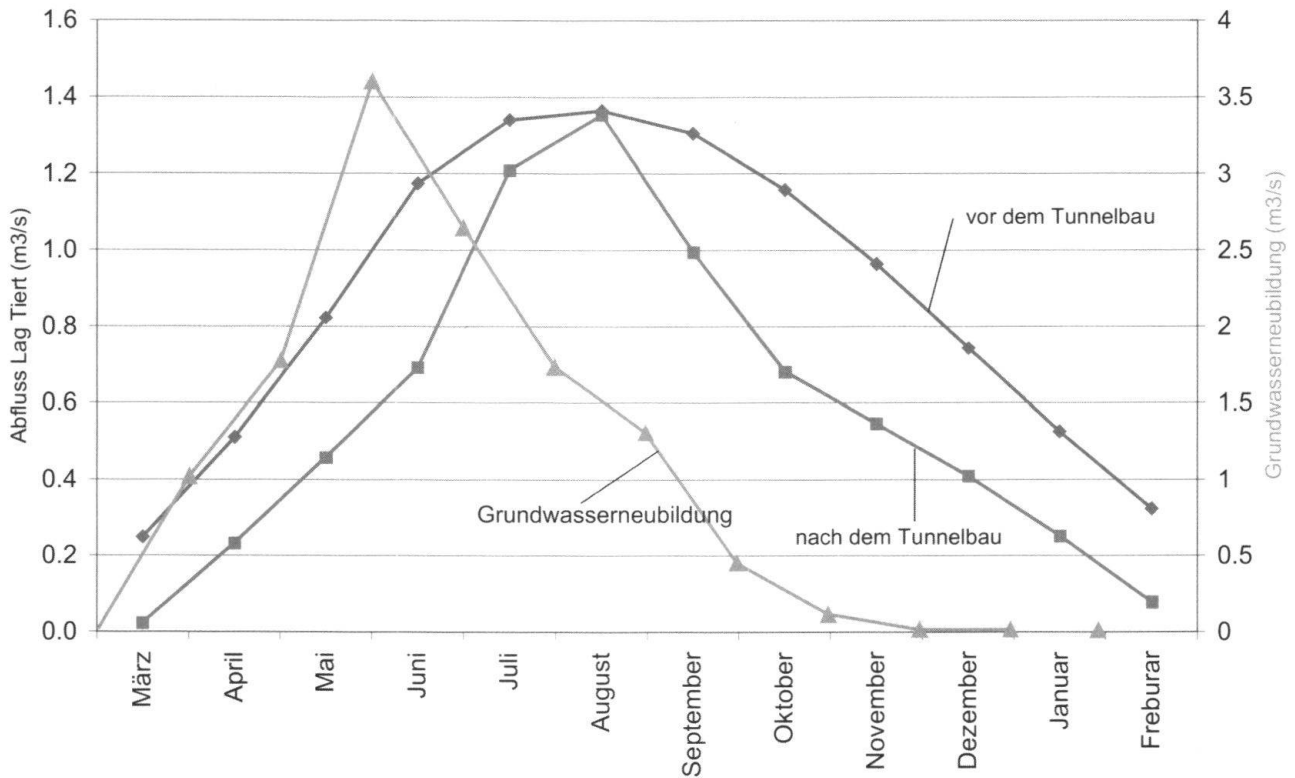
Hier wurde versucht, ein Modell vor und eines nach dem Tunnelbau zu erstellen, und zwar mit der Druck-Höhe-Beziehung der Modelle, die für die «direkte Wirkung» erstellt wurden. Weiter fließen die Grösse des Einzugsgebietes, die Oberfläche des Speichers und die Gesteinsporosität in die Berechnung mit ein. Bei der Grundwasserneubildung wurde die Wirkung der Schneeschmelze abgeschätzt; ein Maximum erfolgt im Mai und Juni, während vom Dezember bis zum Februar die Neubildung als inexistent angenommen wurde. Die Oberfläche des Speichers wird als halb so gross wie das Einzugsgebiet angenommen, die Porosität zwischen 0.5 % und 1 %. Mit diesen beiden letzten Parametern wurde das System dergestalt kalibriert, dass der mittlere jährliche Abfluss in etwa den gemessenen Daten entspricht: die minimale Schüttung vor dem

Tunnelbau sollte um 200 l/s, die maximale um 1350 l/s liegen. Die besten Parameter sind in Tabelle 2 zu finden, und Fig. 5 zeigt die dazugehörige Grafik.

Mit denselben Parametern, ausser dem veränderten Abfluss (Röhrendurchmesser und neuer Abfluss im Tunnel) wurde dann die Rechnung für die Verhältnisse nach dem Tunnelbau durchgeführt. Die resultierende Fig. 5 zeigt, dass die Schüttung im Lag Tiert im Winter auf Null zurückgehen sollte, während die Maximalschüttung vom Lag Tiert ähnlich bleibt (d.h. dass die gesamte Schüttung des Systems von Lag Tiert und Tunnel im Sommer deutlich ansteigt, was einen Mangel im Winter erklärt). Für die Stromproduktion ist aber nicht die Gesamtschüttung interessant, sondern der Anteil des Lag Tiert allein. Bedeutend ist auch die Wirkung des Tunnels auf die Druckhöhe im Karst, die nach dem Tunnelbau bis 100 m tiefer liegt als vorher.

Breite	4'500 m
Länge	2'000 m
Fläche	9'000'000 m <sup>2</sup>
Porosität	0.56 %
Durchmesser Abfluss	0.17115 m
delta t	0.008333 j

**Tab. 2:** Parameter des Tankmodelles vor dem Tunnelbau. Das Modell stellt eine phreatische Zone von 9 km<sup>2</sup> mit einer Porosität von 0.56% in der Kalkmasse zwischen Einzugsgebiet und Lag Tiert-Quelle schematisch dar.



**Fig. 5:** Ergebnisse des Tankmodelles. Vor dem Tunnelbau ist der Speicher gross genug, um einen minimalen Abfluss von 200 l/s zu gewährleisten. Nach dem Tunnelbau ist der Speicher nicht mehr gross genug, um eine kontinuierliche Schüttung im Winter zu gewährleisten.

Die mit dem Modell erhaltenen Zahlen führen zu einer sinnvollen Kalibration der zur Verfügung stehenden Daten. Dennoch muss beachtet werden, dass neue Daten (beispielsweise die Existenz einer weiteren Quelle) einige Werte deutlich verändern könnte. Das Modell erlaubt es aber immerhin, die Grössenordnung auf sichere Weise abzuschätzen.

## 9. Schlussfolgerungen

Der Fall Flims zeigt zwei Tatsachen in exemplarischer Weise auf:

- Sobald in verkarstungsfähigen Gesteinen gebaut wird, darf die Möglichkeit eines Antreffens von Karströhren nicht ausser Acht gelassen werden. Dies gilt generell für alle Bauten oberhalb eines Vorfluterniveaus, speziell aber auch für solche unterhalb eines rezenten Vorfluterniveaus, wie es der geologisch sehr junge Flimser Berg-

sturz darstellt. Das Beispiel zeigt, dass das Antreffen von Karst oft eine Zeitverzögerung für Bauten bedeutet und fast in jedem Fall bedeutende Kostenüberschreitungen zur Folge hat. Die Kosten einer auf Karst fokussierten Expertise vor dem Bau ist in jedem Fall kostengünstiger.

- Wenn von allen betreffenden Quellen genügend Schüttungsdaten sowie Daten zur Variation dieser Schüttungen vorhanden sind, kann das unterirdische Karstnetz mit einiger Genauigkeit modelliert werden. Die Modellierung erlaubt nicht nur ein Abklären der Röhrengemetrie, sondern kann mittels Berechnungen auch die zu erwartenden Drücke im System abschätzen. Diese Druckabschätzungen können sehr wichtig sein, um geplante Bauten nicht in diesem Schwankungsbereich des Karstwasserspiegels zu erstellen respektive die Bauten so zu planen, dass sie diesem Druck auch standhalten können.

## **Bibliographie**

- Bonanomi, Y.P., Müller, E.R., Nabholz, W.K., Scheiwiler, H. (1994): Zur Hydrologie des Bergsturzgebietes im Raum Flims. – Geologische Berichte Nr. 17, Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- Jeannin, P.-Y. & Wildberger, A. (1995): Modélisation des écoulements dans le réseau du Hölloch (Muotatal, Schwyz). – Akten des 10. Nationalen Kongresses für Höhlenforschung, Breitenbach, Schweiz, 331-339.
- Jeannin, P.-Y. (2001): Modeling flow in phreatic and epiphreatic karst conduits in the Hölloch cave (Muotatal, Switzerland). – Water Resources Research 37, 191-200.
- von Poschinger, A. (2006) : Weitere Erkenntnisse und weitere Fragen zum Flimser Bergsturz. – Bull. angew. Geol., 11/2, 35-43.
- Wyssling, L.E. (1950): Zur Geologie der Vorabgruppe. – Diss ETH Zürich.

## **Dank**

Wir danken der Flims Electric AG, der Gemeinde Flims und dem Tiefbauamt des Kantons Graubünden, Daten für diesen Artikel zur Verfügung zu stellen.