

## Gibt es hydrogeologische Hinweise auf einen Gipskarst am Fernpass?

Christian Wolkersdorfer<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental, Water and Earth Sciences, Tshwane University of Technology, Private Bag X680, Pretoria, 0001, Südafrika; <sup>2</sup>Weidach 16, 6632 Ehrwald/Tirol; E-Mail: christian@wolkersdorfer.info

### Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit der vor sechs Jahren aufgestellten Hypothese, dass der Fernpass/Tirol durch Sulfatkarst geprägt ist, wurden drei unterschiedliche hydrogeologische Methoden verwendet, um diese Hypothese zu prüfen. Dabei handelt es sich um hydrogeochemische Untersuchungen, eine Frachtberechnung und eine chemisch-thermodynamische Modellierung mit dem Programm PHREEQC. Unabhängig voneinander zeigen die drei Methoden, dass sich keine Belege für nennenswerte Ablagerungen von Sulfatgesteinen aus Gips oder Anhydrit am Fernpass finden lassen, die einen weitflächigen Sulfatkarst belegen könnten.

### Abstract

In connection with the hypothesis that the Fernpass/Tyrol is characterized by sulphate karst, three different hydrogeological methods were used to investigate this hypothesis. These are hydrogeochemical investigations, a mass balance calculation and a chemical-thermodynamic modelling with the code PHREEQC. Independently of each other, the three methods show that no evidence could be found that there are substantial deposits of sulphate rocks composed of gypsum or anhydrite on the Fernpass, which could prove an extensive sulphate karst.

### Einleitung

Vor sechs Jahren hat Mostler (2013) beim Geoforum Umhausen die Hypothese vorgestellt und publiziert, dass die Entstehung des Fernpasses neben dem Bergsturzereignis im Wesentlichen auf einen Sulfatkarst zurückzuführen sei. Dies führte er auf Ergebnisse von Laserscandaten und Geländebegehungen zurück, in denen klar abgrenzbare Dolinen vorgefunden wurden. Tatsächlich sind Gipsvorkommen am Fernpass vor allem nahe des Fernsteinsees beschrieben (Gasser 1913), wo sie auch abgebaut wurden (Ampferer 1905). Über Erdfälle um Reutte infolge von Gipskarst berichten Henzinger et al. (2011) oder Tilch et al. (2014). Am Fernpass existiert eine große Anzahl von Dolinen, die schon von Abele (1964) detailliert kartiert wurden. More und Wolkersdorfer (2019) führen einen Teil davon auf interne Erosion zurück. Wenn es einen substantiellen Beitrag von Sulfatgesteinen mit Gips ( $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) und Anhydrit ( $\text{Ca}[\text{SO}_4]$ ) als Hauptgesteinsbildner zur Entstehung des Fernpasses gibt, dann sollte sich deren Vorhandensein auch heute noch in den hydrochemischen Signaturen des Quell- und Oberflächenwassers nachweisen lassen (Bassanit ist für die nördlichen Kalkalpen nicht in der Literatur beschrieben).

Bisher gibt es über die hydrogeologischen Verhältnisse am Fernpass/Tirol keine umfassenden, publizierten Ergebnisse, wird von den wenigen Angaben in Köhler (1986), More und Wolkersdorfer (2019)

und Wolkersdorfer et al. (2017) abgesehen. Gleichwohl existieren hydrogeologische Untersuchungen, die im Zuge des Neubaus der Fernpasstrasse in den 1980er Jahren angestellt wurden (Schuch 1981), zwei Gutachten über das Tredlloch in Biberwier (Müller 1984; Wolkersdorfer 2014) und neuerer Untersuchungen für die Erfassung potentieller Trinkwasservorkommen entlang des Fernpasstunnels (Köhler und Lumasegger 1992). Eine umfassendere Darstellung ist derzeit vom Autor in Bearbeitung, daher kann hier nur eine kurze Zusammenfassung eines Teilaspekts erfolgen.

## **Untersuchungen**

### ***Untersuchungsansätze***

Basierend auf dem Titel dieser Untersuchung wird folglich ein konzeptionelles geologisches und hydrogeologisches Modell angenommen, bei dem der Fernpass das Ergebnis eines Gipskarstes ist. Unter dieser Annahme gäbe es am Fernpass größere Bereiche mit Gips ( $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) oder Anhydrit ( $\text{Ca}[\text{SO}_4]$ ). Es wäre somit zu erwarten, dass sich dies in den hydrochemischen Eigenschaften der Wässer am Fernpass bemerkbar macht. Weiterhin sei angenommen, dass seit der Fernpass-„Entstehung“ nicht bereits der gesamte Gips/Anhydrit gelöst und folglich „transportiert“ wurde, wovon nicht ausgegangen werden kann.

In diesem Beitrag werden drei Ansätze verfolgt, um das vorgenannte konzeptionelle hydrogeologische Modell zu verifizieren. Sie werden in den folgenden Kapiteln erläutert: a) eine hydrogeochemische Vergleichsbetrachtung, b) eine Berechnung der Frachten und folglich der Verwitterungsrate des Gips/Anhydrits und c) eine chemisch-thermodynamische Modellierung.

### ***Hydrogeochemische Vergleichsbetrachtung***

Wie Wagner et al. (2003) berichten, ist in der kalkigen Fazies des Hauptdolomits/Raibler Schichten  $\text{Ca}^{2+}$  das dominierende Kation (1,07 mmol/L zu 0,20 mmol/L), während in der dolomitischen Fazies ein annähernd ausgeglichenes Ionenverhältnis von  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  vorherrscht (1,01 mmol/L zu 0,71 mmol/L). Sulfatkonzentrationen sind in der kalkigen Fazies niedrig, wohingegen sie in der dolomitischen Fazies höher sind, was die Autoren auf gipsführende Aquifere zurückführen. Sollte eine Dominanz von Gips/Anhydrit am Fernpass existieren, wäre folglich ein ähnliches Verhältnis der beiden Kationen Calcium und Magnesium und des Anions Sulfat wahrscheinlich.

Bei der Modellierung mit dem Programm PHREEQC (V 3.5, WATEQ4F Datenbank) wurde in zwei Modellierungen zunächst Regenwasser mit Dolomit ( $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ ) und dann Regenwasser mit Gips ins Gleichgewicht gesetzt und eine mittlere Wassertemperatur von 10 °C angenommen. Erwartungsgemäß stellt sich eine Wasserqualität ein, bei der die Molverhältnisse von  $[\text{Ca}^{2+}]$  und  $[\text{Mg}^{2+}]$  bzw. von  $[\text{Ca}^{2+}]$  und  $[\text{SO}_4^{2-}]$  identisch sind. Von 62 zwischen 2005 und 2019 analysierten Wasserproben im nördlichen Bereich des Fernpasses (Tabelle 1 in More und Wolkersdorfer 2019) weisen lediglich fünf ein annähernd identisches Molverhältnis auf wie im bayrischen Teil. Dabei handelt es sich um das Wasser des Blindsees, des Mittersees, der Trinkwasserversorgung von Biberwier, einer Quelle nördlich der Trinkwasserversorgung und der Auslauf des Max-Braun-Stollens in die Loisach. Alle anderen analysierten

Wässer besitzen ein  $[\text{Ca}^{2+}]:[\text{Mg}^{2+}]$ -Verhältnis von 2,1:1, somit höhere Molkonzentrationen an  $[\text{Ca}^{2+}]$  als  $[\text{Mg}^{2+}]$ . Keine Wasseranalyse weist ein  $[\text{Ca}^{2+}]:[\text{SO}_4^{2-}]$ -Verhältnis von annähernd 1:1 auf; somit finden sich am nördlichen Fernpass keine Gipswässer *sensu stricto*. Das Wasser mit den höchsten Molkonzentrationen an Calcium und Sulfat ist ein Geothermiewasser in Biberwier, bei dem 3,32 mmol/L an Calcium, 1,83 mmol/L Magnesium sowie 4,31 mmol/L Hydrogencarbonat und 1,58 mmol/L Sulfat analysiert wurden.

### **Verwitterungsrate des Gips/Anhydrits**

Unter der Annahme, dass sich der Abfluss der Loisach und des Dorfbaches in der zurückliegenden Zeit nicht erheblich verändert hätten und dass ein Großteil des Wassers über Quellen und oberflächlich den Fernpass verlässt, lässt sich die Verwitterungsrate potentieller Gips- oder Anhydritvorkommen am Fernpass abschätzen. Diese Annahme beruht darauf, dass die hydraulische Leitfähigkeit der Lockergesteine am Fernpass verhältnismäßig gering ist, wie Schuch (1981) und More und Wolkersdorfer (2019) zeigen konnten. An der Messstelle Schmittenskapelle der Loisach betrug der Abfluss zwischen 2007 und 2008 im Mittel 732 L/min ( $n = 5$ ,  $\sigma = 127$  L/min) und an der Messstelle Ehrwalder Straße des Dorfbaches 225 L/min ( $n = 7$ ,  $\sigma = 152$  L/min), zusammen 957 L/min. Bei einer mittleren Sulfatmolkonzentration von 0,254 mol/L ( $n = 49$ ,  $\sigma = 0,107$  mol/L) entspricht dies einer jährlichen Gipsverwitterung von 9,9 t/a oder  $4,3 \text{ m}^3/\text{a}$  ( $\rho_{\text{Gips}} = 2,317 \text{ t/m}^3$ ). Da die Fläche der Fernpassablagerungen nördlich der Fernpasshöhe etwa  $4 \cdot 10^6 \text{ m}^2$  beträgt, wäre folglich für die Verwitterung von 1 m Gipsablagerungen ein Zeitraum von 950.000 a nötig. Selbst bei einer Verzehnfachung der Wassermengen oder unter Annahme einer Sulfatkonzentration von 1,6 mmol/L aus der Geothermalbohrung ergeben sich noch 95.000 oder 305.000 a, um 1 m Sulfatgestein zu verwittern und 31.000 a, wenn beide Annahmen getroffen würden.

### **Chemisch-thermodynamische Modellierung**

Mittels chemisch-thermodynamischer Modellierungen lassen sich die Mineralphasen identifizieren, die den Chemismus eines Wassers maßgeblich kontrollieren („kontrollierende Phase“). Als kontrollierende Phasen werden in der Regel alle Phasen angenommen, deren Sättigungskoeffizient (SI) zwischen -1 und +1 liegt, also im Wesentlichen gesättigt gegenüber dem Wasser ist. Wenn folglich Gips oder Anhydrit als kontrollierende Phasen für den Chemismus des Wassers gefunden werden, ist davon auszugehen, dass es im Untersuchungsgebiet wesentliche Massen an diesen Sulfatmineralen gibt. Insgesamt lagen 40 vollständige Wasseranalysen aus den Jahren 2005 bis 2019 vor, die zur Modellierung herangezogen werden konnten. Die wenigen Werte in den Wasseranalysen, bei denen Ionen unter der Nachweisgrenze lagen, wurden durch die Hälfte der Nachweisgrenze ersetzt. Wie die Ergebnisse zeigen, ist keines der analysierten Wässer gegenüber Gips oder Anhydrit gesättigt. Vielmehr liegen die Sättigungskoeffizienten (SI) zwischen -1,8 und -2,9 für Gips und zwischen -2,1 und -3,4 für Anhydrit. Alle Wässer sind jedoch gegenüber Calcit ( $-0,6 < \text{SI} < 0,8$ ) und 65% davon gegenüber Dolomit ( $-1,6 < \text{SI} < 1,4$ ) gesättigt. Dies ist ein Hinweis darauf, dass das Einzugsgebiet der untersuchten Wässer, wie bei den geologischen Verhältnissen am Fernpass zu erwarten war, von Kalkstein und Dolomitstein bestimmt ist.

## Schlussfolgerung

Auf Basis der hier vorgestellten hydrogeochemischen Ergebnisse kann nicht davon ausgegangen werden, dass am Fernpass die Auflösung von Gips oder Anhydrit ein dominierender Prozess war und somit liegt auch kein Gipskarst *sensu stricto* vor. Daher muss folglich aufgrund der Ergebnisse aus der hydrogeochemischen Betrachtung und der Modellierung mit PHREEQC das Eingangs angenommene konzeptionelle Modell eines großflächigen Gipskarsts am Fernpass verworfen werden.

## Danksagung

Der Autor dankt der National Research Foundation (NRF) Südafrika unter dem SARChI Chair für Mine Water Management für die Finanzierung des Aufenthalts in Tirol. Dank auch an die LMU München, die es ermöglichte, in zwei Sommern studentische Geländeübungen im Zwischentoren durchzuführen, in dessen Rahmen die vorgestellten Geländeuntersuchungen im Wesentlichen erfolgten. Ich danke allen meinen Studenten und meinen beiden Töchtern, die mich zwischen 2007 und heute regelmäßig mit ins Gelände begleiten und kritische Diskussionen darüber führen, wie der Fernpass entstanden sein könnte und wie die Ergebnisse der Wasseranalysen zu interpretieren sind. Ohne Fragen gibt es keine Antworten.

## Literatur

- Abele, G. (1964): Die Fernpaßtalung und ihre morphologischen Probleme. – Tübinger Geograph. Stud., 12:1–123, 7 Abb., 4 Bilder, 3 Tab., 1 Faltkarte.
- Ampferer, O. (1905): Geologische Beschreibung des Seefelder, Mieminger und Südlichen Wettersteinge-birges. – Jb. k.-k. geol. R.-A., 55:451–562, 16 Abb.
- Gasser, G. (1913): Die Mineralien Tirols einschließlich Vorarlbergs und der Hohen Tauern. – 548 S., Innsbruck (Wagner).
- Henzinger, J., Henzinger, C. & Hoffmann, P. (2011): Tiefgründung bei Sulfatkarst-Bohrpfahlgründung beim Neubau des Erlebnisbades Ehrenberg in Reutte. Tagungsband 8. Österreichische Geotechniktagung 2011, Wien, 2011-02-03 – 04. – S. 1-13, 10 Abb.
- Köhler, M. (1986): Lermooser Tunnel (Außerfern, Tirol) – Baugeologische Verhältnisse, Prognose und tektonische Schlußfolgerungen. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 13(15):363–379, 1 Abb., 1 Taf.
- Köhler, M. & Lumasegger, M. (1992): Hydrogeologische Untersuchung des Fernpaßgebietes. – 239 S., Innsbruck (ILF Consulting).
- More, K. S. & Wolkersdorfer, Ch. (2019): An analogue Toma Hill formation model for the Tyrolian Fernpass rockslide. – Landslides, 15 Abb., 7 Tab.; doi:10.1007/s10346-019-01211-w.
- Mostler, W. (2013): Der Fernpassbergsturz in völlig neuem Lichte. Tagungsband Geoforum Umhausen, Umhausen. – S. 20–28, 8 Abb.
- Müller, H. (1984): Hydrogeologisches Gutachten für Grundstück 1913/14 in Biberwier. – 5 S., 1 Abb.; Innsbruck (Agrargemeinschaft Biberwier).

Schuch, M. F. (1981): Bericht über die Ergebnisse der Hydrogeologischen Untersuchungen im Bereiche des Weißen-, Mitter- u. Finstersees. – 14 S., 1 Abb., 8 Beil.; Innsbruck (Michael F. Schuch).

Tilch, N., Römer, A., Gruber, A., Lotter, M., Winkler, E. & Schattauer, I. (2014): Erkundung des Untergrundes bei Weißenbach (Lechtal, Bezirk Reutte) im Umfeld der Gips-führenden Raibler Schichten mittels (aero)geophysikalischer Methoden – erste Ergebnisse Tagungsband Geoforum Umhausen, Umhausen. – S. 197–210, 10 Abb.

Wagner, B., Töpfner, C., Lischeid, G., Scholz, M., Klinger, R. & Klaas, P. (2003): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Bayerns. – GLA Fachbericht, 21:1–250, 107 Abb., 15 Tab.

Wolkersdorfer, Ch. (2014): Gutachten „Tredelloch“ 2014. – Unveröff. Bericht für Familie Tomelič in 6633 Biberwier. – 16 S., Pretoria (Tshwane University of Technology).

Wolkersdorfer, Ch., More, K. S. & Lupankwa, M. (2017): Analoge Modellierung von Tomahügeln [An analogue Toma Hill Model]. Tagungsband Geoforum Umhausen, Umhausen. – S. 61–69, 3 Abb., 2 Tab.