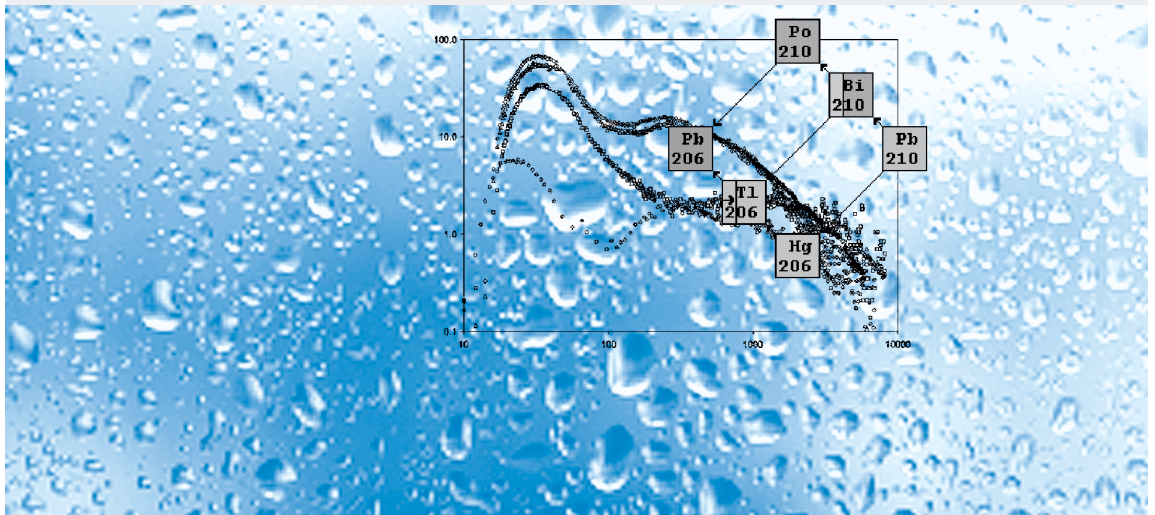


D. Hebert, B. Merkel, Ch. Wolkersdorfer (Hrsg.),
Isotope und Tracer in der Wasserforschung



Wissenschaftliche Mitteilungen

INSTITUT FÜR GEOLOGIE

19

Freiberg

2002

Wissenschaftliche Mitteilungen

19

Freiberg
2002

D. Hebert, B. Merkel, Ch. Wolkersdorfer
(Hrsg.)
A. Hasche (Gesamtredaktion)

Isotope und Tracer in der Wasserforschung

Proceedingsband zum Workshop am Geologischen Institut der
TU Bergakademie Freiberg am 21. Juni 2002

*13 Beiträge, 111 Seiten, 78 Abbildungen, 8 Tabellen,
165 Lit.*

Tracer Techniken im Bergbau – Georgi-Unterbau bei Brixlegg/Tirol

Christian Wolkersdorfer, Andrea Hasche, Katy Unger, Thomas Wackwitz

TU Bergakademie Freiberg, Lehrstuhl für Hydrogeologie, Gustav-Zeuner-Str. 12, 09596 Freiberg/Sachsen, E-Mail: c.wolke@web.de

Im gefluteten, ehemaligen Tiefbau des Silber-Schwerspat-Bergwerks Kogel bei Brixlegg/Tirol wurden zwei Tracertests durchgeführt und die physiko-chemischen sowie chemischen Parameter des Grubenwassers bestimmt. Bei den Tracertests kamen gefärbte Mikrosphären, Uranin und Steinsalz zum Einsatz, die jeweils in unterschiedlichen Teufen eines gefluteten Blindschachts dem Grubenwasser zugegeben wurden. Aus den Durchbruchkurven für die Mikrosphären und für Uranin lassen sich mittlere Fließgeschwindigkeiten von $0,02$ – $0,03$ m min^{-1} errechnen. Da nur ein Teil der zugegebenen Tracer wiedergefunden wurde, lässt sich folgern, dass zwischen den unteren und oberen Bereichen des Blindschachts möglicherweise eine hydraulische Barriere existiert.

Einleitung

Bislang finden sich in der Literatur nur wenige Tracertests in Bergwerken, wohingegen Tracer Techniken in der hydrogeologischen oder hydrologischen Erkundung von Grundwasservorkommen und oberirdischen Gewässern eine Standardmethode darstellen (KÄSS 1998). In den beiden letztgenannten Fällen wurden in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche Tracertests durchgeführt, sodass sich auf diesem Gebiet ein beachtliches Fachwissen angesammelt hat und publiziert wurde (BÄUMLE et al. 2001). Häufig verlangen auch Behörden oder Fachgutachter Tracertests als Ergänzung zu numerischen Modellierungen, um die numerisch gefundenen Fließwege des Grundwassers experimentell zu bestätigen. Dabei kommen als Tracer sowohl natürliche Tracer als auch künstliche Tracer zum Einsatz, wobei sich die erzielbaren Ergebnisse von Tracer zu Tracer unterscheiden. In der Regel werden an Tracer folgende Anforderungen gestellt: inertes Verhalten, keine Beeinflussung der physikalischen Eigenschaften des zu untersuchenden Mediums und ungehinderter Fluss mit der Fließgeschwindigkeit des Transportmediums (KÄSS 1998).

Bislang sind nur wenige Dutzend Tracertests in Bergwerken beschrieben, wobei sich die Ergebnisse qualitativ und quantitativ zum Teil erheblich unterscheiden. Eine Zusammenfassung der bislang beschriebenen Tracertest in Bergwerken

findet sich bei WOLKERSDORFER (2002 in press). In qualitativer Hinsicht lassen sich drei Gruppen unterscheiden: erfolglose Tracertests, erfolgreiche Tracertests mit qualitativ erfassbarem Ergebnis, erfolgreiche Tracertests mit quantitativ erfassbaren Ergebnissen. Bei den quantitativ auswertbaren Tracertests ließen sich bislang in 29 Untersuchungen Fließgeschwindigkeiten („Abstandsgeschwindigkeiten“) von $0,001$ – $11,1$ m min^{-1} ermitteln, wobei Fließgeschwindigkeiten zwischen $0,3$ – $1,7$ m min^{-1} dominieren.

Ziel des folgenden Beitrags soll sein, am Beispiel zweier erfolgreicher Tracertests in einem seit mehreren Jahrzehnten gefluteten Tiroler Bergwerk Tracer Techniken für Bergwerke zu beschreiben. Dort wurden im August 2001 und im Februar 2002 Tracertests mit Mikrosphären, Uranin und Steinsalz durchgeführt sowie zahlreiche Wasserproben zur Analytik (Hauptionen, Spurenelemente) entnommen. Vor und nach den Tracertests erfolgten kontinuierliche Messungen von physiko-chemischen Parametern im gefluteten Blindschacht. Derzeit werden die Ergebnisse in zwei Diplomarbeiten (UNGER, WACKWITZ) detailliert ausgewertet.

Beschreibung des Bergwerks und Tracertests

Wenige Kilometer südwestlich des Tiroler Huttenstandorts Brixlegg, am Ausgang des Zillertales, befindet sich in der Ortschaft St. Gertraudi

der historische Bergbau Kogel mit dem Tiefbau des Georgi-Unterbau. Dort wurden seit dem Mittelalter silberhaltige Fahlerze gewonnen und in Brixlegg sowie Freiberg/Sachsen verhüttet. Zwischen 1947 und 1968 und ging man dazu über, ausschließlich Schwerspat zu gewinnen.

Mit dem Vortrieb des Georgi-Unterbau, der erhebliche Mengen an Fahlerz und Schwerspat erschloss, wurde 1887 begonnen. Ab dem Jahr 1900 teuften die Bergleute den 100 m tiefen Blindschacht ab, der seit den 50er Jahren teilweise bis ganz geflutet war (HISSELEITNER 1951, SCHMIDEGG 1953) und in den Jahren 1984 und 1988 für Prospektionsarbeiten gesümpft wurde (KRISCHKER 1990). Vom zweitrümmigen Blindschacht aus sind die Sohlen 20, 40, 70 und 100 sowie kleinere Zwischensohlen bei 10, 75 und 80 m Teufe aufgefahren (PIRKL 1961; MUTSCHLECHER 1984, KRISCHKER 1990, HANNEBERG & SCHUSTER 1994). Seit 1990 ist der Blindschacht wieder geflutet (pers. Mitt. P. GSTREIN), sodass sich seitdem stationäre Bedingungen einstellen konnten. Neben dem Blindschacht dienen die alten Abbaue der 14-Nothelfer- und Barbarazeche als hydraulische Verbindung zwischen den Sohlen. Zugang zum Grubenwasser gibt es über den Blindschacht, eine kleine Erzrolle südlich des Blindschachts sowie den „Großen See“ und „Kleinen See“, die aus dem Verschnitt des Georgi-Unterbau mit der 14-Nothelfer-Zeche entstanden.

Alle Auffahrungen des Blindschachts und der vier gefluteten Sohlen befinden sich im Bereich des devonischen Schwazer Dolomits innerhalb der Nordtiroler Grauwackenzone. Der Schwazer Dolomit ist ein hellweißer bis hellgrauer, sehr harter Dolomitstein, der im Untersuchungsgebiet stark geklüftet und brecciert ist. Innerhalb des Dolomitsteins kommen silber- und quecksilberhaltige Fahlerze (darunter „Schwazit“) sowie Schwerspat vor, wobei sich die Vererzung und die Platznahme des Baryts auf die Bereiche starker Breccierung konzentriert, nicht aber beschränkt (PIRKL 1961, WÖBKING 1982). Neben dem Schwazit sind bislang ca. 20 weitere Erzminerale beschrieben, die im Schwazer Dolomit vorkommen (GRUNDMANN & MARTINEK 1994). ARLT & DIAMOND (1998) untersuchten zahlreiche Fahlerzproben des Bergbaureviers Schwaz, darunter zwei aus dem Bereich des Georgi-Unterbau. Sie stellten im Mittel folgende Zusammensetzung fest: Cu 41 %; Ag 0,5 %; Fe 2 %; Zn 5 %; Hg 0,7 %; Mn 0,02 %; Sb 16 %; As 9 %; S 26 %.

Wie sich aus der Literatur (Gutachten im Archiv der Montanwerke Brixlegg) und aus Gesprächen mit Bergleuten sowie dem Tiroler Landesgeologen ergab (pers. Mitt. H. MAYR, P. GSTREIN), war der Wasserzufluss im Tiefbau stets sehr gering. Dies zeigte sich auch im Verlauf der Untersuchungen, bei denen im Mittel 22 L Wasser pro Minute aus dem Blindschacht flossen. Eine Analyse der Hauptionen des Wassers aus dem oberflächennahen Bereich des Haupt-schachts findet sich in Tabelle 1.

Erstmals wurde am 5.12.2000 eine physikochemische Teufenbeprobung durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass der Grubenwasserkörper stratifiziert ist, wobei sich zwei Bereiche voneinander abhoben, die im Teufenbereich der 40-Meter-Sohle voneinander getrennt waren. Obwohl die Unterschiede in den physikochemischen Parametern gering waren, erwies sich bei den nachfolgenden Messungen am 30.5.2001 und 2.8.2001, dass die Schichtung auch bei Temperaturunterschieden unter 1 K und kaum vorhandenen Leitfähigkeitsdifferenzen relativ stabil ist (Abb. 1). Worauf die Schichtung zurückzuführen ist, wird derzeit in einer Diplomarbeit untersucht.

Der kombinierte Tracerversuch sollte die Strömungsverhältnisse im gefluteten, ca. 35.000 m³ Volumen umfassenden Tiefbau klären. Dabei wurde insbesondere die hydraulische Verbindung der einzelnen Sohlen und der hydraulische Kontakt zwischen dem „Großen See“ und dem Blindschacht untersucht. In zwei Tracerversuchen (August 2001, Februar 2002) kamen unterschiedlich gefärbte Mikrosphären, Uranin sowie gelöstes Steinsalz zum Einsatz.

Methodik

Als Tracer wurden dem Grubenwasser beim Versuch im August 2001 Mikrosphären (4 * je 20 mL: orange 255-9892, red 255-9893, green 255-9897, yellow-green 255-9891; Triton Technology Kalifornien), Uranin (August 2001: 1000 g) und Steinsalz (200 kg) zugegeben. Im Februar 2002 wurde als Tracer lediglich Uranin verwendet (Februar 2002: 50 g). Während die Mikrosphären mit destilliertem Wasser aus den Probefläschchen in die Traceraufgabesonde „LydiA“ (Details zur Lydia-Technik finden sich aus Platzgründen in WOLKERSDORFER et al. 2002) gespült wurden, konnte das Uranin lose als Pulver in die Traceraufgabesonde gefüllt werden. Beim zweiten Tracerversuch im Februar 2002 wurde hingegen eine Lösung von 50 g Uranin

Tab. 1: Ergebnisse der chemischen Analyse der Hauptionen und einiger Spurenelemente im Blindschacht des Georgi-Unterbau (Wasserprobe BRX-0208-BS 0,1 vom 2.8.2001, entnommen 0,1 m unter der Wasseroberfläche). Alle Angaben in mg L-1. Ag, Hg, unter der Nachweisgrenze.

| Temp | Lf | pH | Na | K | Ca | Mg | Li | Sr | Ba | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | Cu | Zn | Sb | As |
|--------|--------|-----|-----|-------|------|------|-------|-----|------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| 8,6 °C | 410 µS | 7,1 | 0,6 | < 0,5 | 60,4 | 30,5 | 0,003 | 1,0 | 0,08 | 214 | < 0,7 | 40,6 | 4,9 | 0,5 | 0,2 | 1,0 | 0,2 |

vollständig in „LydiA“ eingefüllt und das Fläschchen mit dem Tracer unter mehrmaligem Spülen mit destilliertem Wasser vollständig entleert. Das Steinsalz (in Säcken zu je 50 kg) wurde vor Ort in 100 L und 200 L Fässern unter kontinuierlichem Rühren gelöst und vor der Tracerzugabe einen Tag im Bergwerk stehen gelassen.

Im August 2001 wurden alle Tracer im Blindschacht mithilfe der Traceraufgabesonden „LydiA“ in den Teufen 10 m (yellow-green), 20 m (orange), 55 m (Uranin) und 85 m (red) freigesetzt. Die Mikrosphären (Abb. 2) im „Großen See“ (green) wurden in Ufernähe unter mehrmaligem Ausspülen des Glasfläschchens mit destilliertem Wasser direkt in das Wasser eingebracht und die Salzsole ebenfalls unter mehrmaligem Nachspülen in das Rolloch gekippt. Im Februar 2002 befand sich „LydiA“ in 10 m Teufe.

Erstmals wurden bei beiden Versuchen neue Typen von „LydiA“ eingesetzt. Diese sind mit

einer automatischen Registrierung des Freisetzungszeitpunkts ausgestattet, mit der die Zeit zwischen dem Einbringen der Sonden und dem Öffnen der Sonden festgehalten werden kann. Bei dem Mechanismus handelt es sich um einen elektronischen Betriebsstundenzähler (Modul 230) mit 0,001-stündiger Auflösung. Vor dem Zusammenbau der Sonden wird der Zähler durch einen Magnetkontakt auf Null gestellt und der Zählerstand nach dem Auseinanderbau abgelesen.

Zur Entnahme der Tracer wurde ein kleiner Volumenstrom des abfließenden Schachtwassers mittels einer Pleuger-Mini-Unterwasserpumpe (Pleuger Worthington Hamburg) abgepumpt und über einen Filter (10 µm Maschenweite, Hydro-Bios Kiel) geleitet. Als Verbesserung gegenüber früheren Versionen des Filterhalters (Eigenkonstruktion) kam erstmals ein Schnellverschluss zum Einsatz, der die Kontamination der Proben mit Kunststoffteilchen ausschließt und ein einfacheres Wechseln der Filter ermöglicht. Alle 12

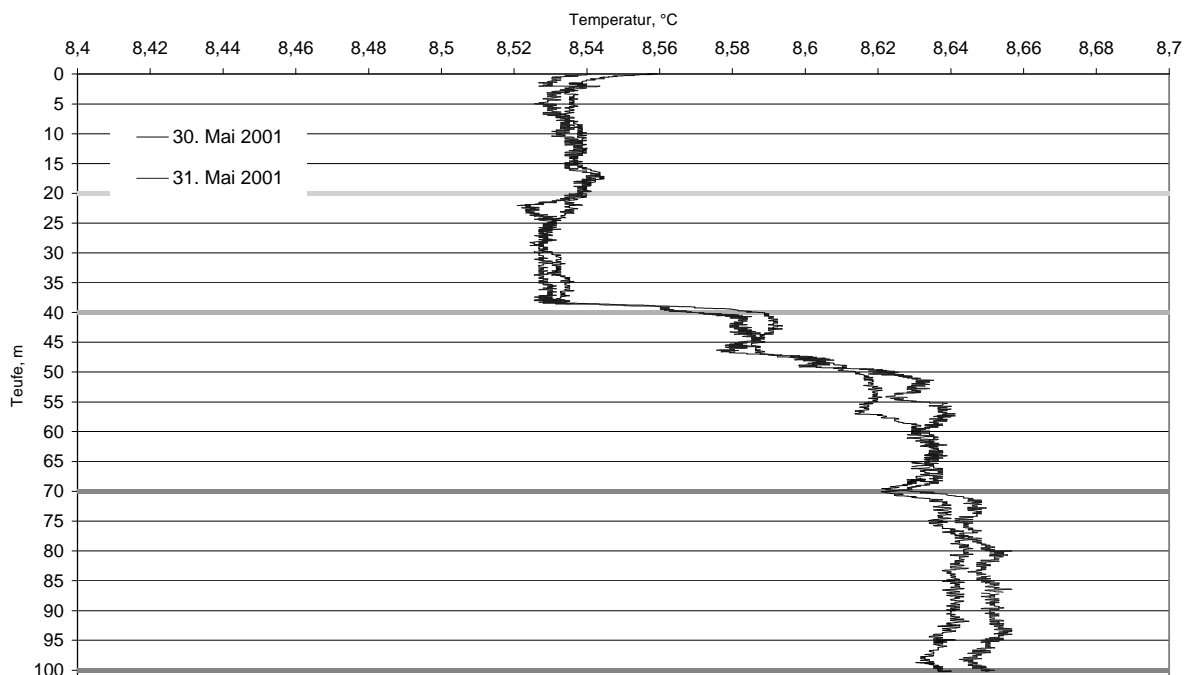


Abb. 1: Kontinuierliche Temperaturmessung im gefluteten Blindschacht des Georgi-Unterbau am 30. und 31. Mai 2001. Die angeschlagenen Sohlen 20, 40, 70 und 100 sind durch Rasterung hervorgehoben. Auffallend ist die gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse trotz der äußerst geringen Temperaturdifferenzen.

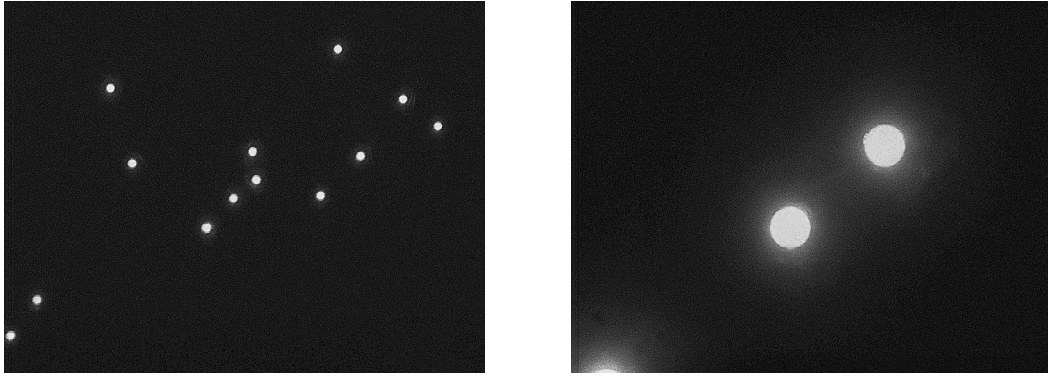


Abb. 2: Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme grüner Mikrosphären aus der Probe BRX-0708. Durchmesser der Mikrosphären 15 μm .

Stunden (7:00 Uhr, 19:00 Uhr) wurde der Filter gewechselt und der Filterhalter außerhalb des Bergwerks mit destilliertem Wasser gereinigt. Sämtliche Filter wurden im Labor mit Oxalsäure behandelt, um Karbonate und Eisenoxidhydrate in Lösung zu bringen und anschließend die Filterrückstände auf eine schwarze 8 μm Celluloseacetat Filterplatte mit Markierung (Durchmesser 47 mm, Sartorius Göttingen) gespült. Nach dem Trocknen der Filter erfolgte eine aliquote Auszählung der Tracerpartikel mittels eines Fluoreszenzmikroskops (Zeiss, Jena).

Das Uranin wurde während des Tracertests im August 2001 mit einem 2-minütlich aufzeich-

nenden Spektrofotometer (Hach DR/2500, Loveland, Colorado) nachgewiesen und das Natriumchlorid durch kontinuierliche Aufzeichnung der Leitfähigkeit (LogIn GmbH, Gommern).

Im Februar 2002 kam ein Onlinefluorimeter GGUN-FL20 Ser. # 13 (Groupe de Géomagnétisme; Université de Neuchâtel) zum Einsatz, das alle 4 Minuten ein Signal aufzeichnete und auf einer PCMCIA-Datenkarte abspeicherte. Als Nachweisgrenze konnte mit dem eingesetzten Uranin $7 \mu\text{g L}^{-1}$ bestimmt werden. Parallel zur Messung des Tracers wurden die Temperatur, Leitfähigkeit und der Abfluss aus dem Schacht kontinuierlich aufgezeichnet.

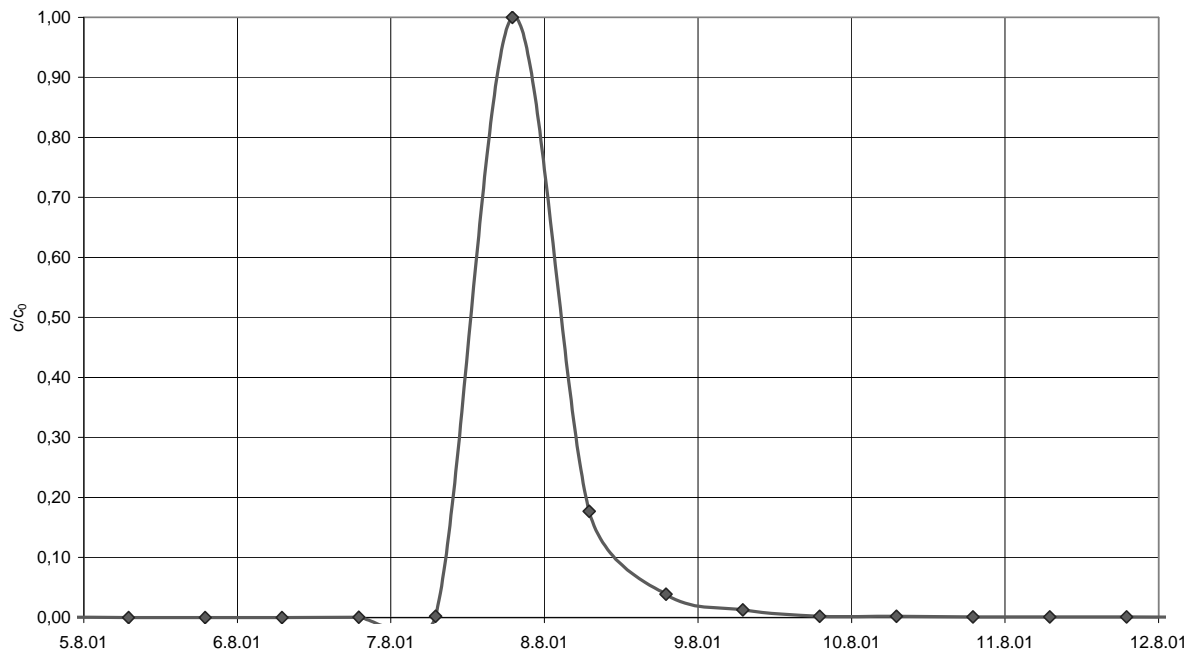


Abb. 3: Normalisierte Durchbruchkurve (c/c_0) des Tracertests im August 2001. Das Maximum entspricht einer Konzentration von 8274 grünen Mikrosphären, die Wiederfindungsrate 5,8 %. Punkte an der Kurve geben den Beprobungszeitpunkt wieder. Zugabe des Tracers am 5.8.2001 um 8:14 Uhr.

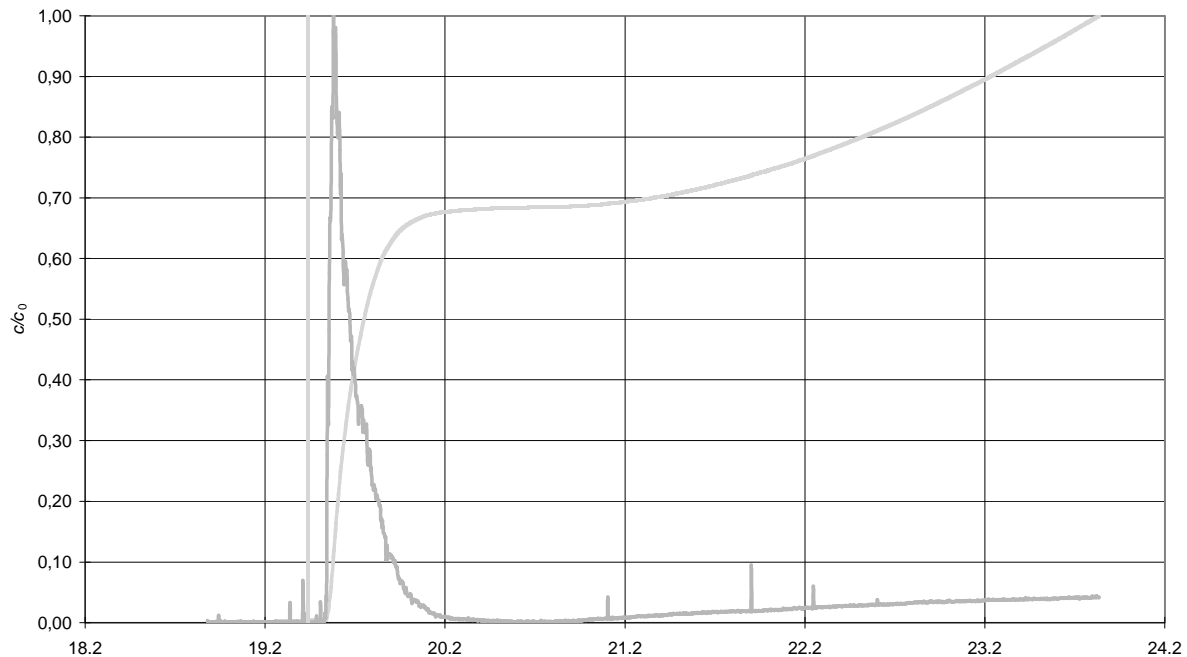


Abb. 4: Normalisierte Durchbruchskurve (c/c_0) des Tracetests mit Uranin im Februar 2002. Das Maximum entspricht einer Konzentration von $300 \mu\text{g L}^{-1}$, die Wiederfindungsrate 2,6 %. Vertikale Linie nach dem 19.2.: Injektion des Tracers.

Ergebnisse und Diskussion

Von den drei unterschiedlichen eingesetzten Tracern in den beiden Versuchen, erwiesen sich beim ersten Versuch lediglich die Mikrosphären „green“ und beim zweiten Versuch das Uranin als erfolgreicher Tracer.

Wie die abschließenden teufenabhängigen Messungen im Blindschacht zeigten (August 2001), sank die Steinsalzlösung über den Füllort in den Schacht ab und sammelte sich in dessen tieferen Bereichen. Von den Mikrosphären, die im Blindschacht eingesetzt wurden, erreichte im Untersuchungszeitraum keine die Oberfläche des Grubenwassers. Lediglich die Mikrosphären aus dem „Großen See“ ließen sich nachweisen und erbrachten eine gute Durchbruchskurve (Abb. 3). Von dem zugegebenen Uranin war ebenfalls nichts nachzuweisen, da sich die Tracersonde während des Versuchszeitraumes nur unvollständig geöffnet hatte. Bei einer abschließenden Messung des Uranins innerhalb des Schachts ließen sich jedoch zwischen 40 und 80 m Teufe $200\text{--}600 \mu\text{g L}^{-1}$ Uranin nachweisen, die annähernd Normalverteilt um die Injektionsstelle in 55 m Teufe verteilt waren.

Aus der Durchbruchskurve der grünen Mikrosphären lässt sich eine mittlere Fließzeit von ca. 52 Stunden für eine Strecke von 48 m ablesen. Damit errechnet sich eine mittlere effektive Ge-

schwindigkeit von $0,02 \text{ m min}^{-1}$ zwischen dem „Großen See“ und dem Abfluss des Blindschachts.

Im Februar 2002 ließen sich bessere Ergebnisse erzielen, da die negativen Erfahrungen aus dem Test im August mit einfließen. Das Uranin erbrachte eine gut auswertbare Durchbruchskurve innerhalb des vorhergesagten Zeitintervalls, deren Verlauf der des Augusts 2001 ähnelt.

Im Untersuchungszeitraum vom 18.—24.2. blieb die Wassertemperatur des abfließenden Wassers mit $9,2 \text{ }^\circ\text{C}$ und die Leitfähigkeit mit ca. $430 \mu\text{S}$ recht konstant. Gleiches gilt für den Abfluss, der sich im Mittel bei $31,5 \text{ L min}^{-1}$ ($43\text{--}48 \text{ m}^3/\text{Tag}$) befand, wohingegen die Unterwasserpumpe $0,726 \text{ L min}^{-1}$ ($1 \text{ m}^3/\text{Tag}$) förderte. Von den eingesetzten 50 g Uranin ließen sich 1,3 g wiederfinden, sodass die Wiederfindungsrate 2,6 % betrug. Wie die Durchbruchskurve zeigt (Abb. 4), steigt der Uraningehalt des Grubenwassers nach dem ersten Peak am 19.2. wieder geringfügig an. Dies erklärt sich möglicherweise dadurch, dass nach dem Öffnen von „LydiA“ ein Teil der dichteren Uraninlösung im Schacht absinkt und danach mit dem aufströmenden Grubenwasser ausgetragen wird. Bei längerer Versuchsdauer wäre die Wiederfindungsrate daher noch weiter angestiegen. Die genauen Ursachen für die geringe Wiederfindungsrate des Uranins werden derzeit (April 2002) in Laborversuchen ermittelt.

Im Bereich des Peaks beträgt der Uraningehalt des Grubenwassers $300 \mu\text{g L}^{-1}$ bei einem Hintergrundwert von $3 \mu\text{g L}^{-1}$, der noch aus dem Tracertest im August 2001 stammt. Am Ende des Tracertests beträgt die Uraninkonzentration noch $15 \mu\text{g L}^{-1}$. Bis auf den Blindwert liegen alle Werte über der unteren Nachweisgrenze des Fluorimeters mit dem verwendeten Uranin von $7 \mu\text{g L}^{-1}$ und unter der oberen von etwa $7.000 \mu\text{g L}^{-1}$.

Aus den vorgenannten Ergebnissen des Tracertests ergibt sich eine mittlere effektive Geschwindigkeit des Grubenwassers von $0,03 \text{ m min}^{-1}$. Dies ist um 1 Zehnerpotenz größer, als bei Piston-Fluß durch den Schacht zu erwarten gewesen wäre (ca. $0,004 \text{ m min}^{-1}$) und bestätigt einen oftmals bei Tracertests in Bergwerken beobachteten Effekt. Dieser Unterschied erklärt sich aus der großen Wandrauigkeit eines gezimmerten Schachtes mit zwei voneinander getrennten Trümmern. Dadurch ergibt sich eine bevorzugte Strömungsrichtung im zentralen Bereich des Schachts, die zur Folge hat, dass der Tracerdurchbruch früher erfolgt, als bei einem Piston-Fluß-Modell.

Beim Vergleich der beiden Durchbruchkurven fällt die größere Dispersion beim ersten Tracertest auf. Dies ist auf den längeren Fließweg des Grubenwassers von ca. 48 m gegenüber dem kleineren Fließweg von 10 m beim zweiten Tracertest zurückzuführen.

Schlussfolgerung

Durch die beiden Tracertests im gefluteten Tiefbau des Georgi-Unterbau Stollens ließ sich nachweisen, dass die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten im oberen Bereich des Schachts $0,02\text{—}0,03 \text{ m min}^{-1}$ betragen. Dieser Wert ist zehnmal größer, als nach den Berechnungen auf Basis eines Piston-Fluß-Modells errechnet worden war.

Gründe für die Schichtung im Schachtkörper ließen sich durch die Ergebnisse des Tracertests nicht finden, da kein Tracer aus größeren Tiefen des Schachts an der Wasseroberfläche nachgewiesen werden konnte. Möglicherweise sind die einzelnen Bereiche des Schachts hydraulisch nur unzureichend miteinander verbunden, sodass ein Stofftransport von unten nach oben nur diffusiv erfolgt. Aus der Vertikalverteilung der Uraninkonzentration des August-Tests lässt sich schließen, dass der Stofftransport zwischen der 40- und 70-m-Sohle diffusiv zu erfolgen scheint. Im anderen Falle hätte die Uraninverteilung von der

Injektionsstelle aus nach oben oder unten verschoben sein müssen.

Keiner der im unteren Bereich des Schachts zugegebenen Tracer (unterhalb der 20-m-Sohle) war an der Schachtoberfläche wiederzufinden. Im Vergleich zu Tracertests in anderen Bergwerken (Niederschlema/Alberoda, Straßberg/Harz) fällt folglich auf, dass keine konvektive Durchmischung des Schachtkörpers vorhanden zu sein scheint. Offensichtlich verhindert die fehlende Verbindung zu anderen Schächten, dass sich eine großräumige Konvektion aufbauen kann, die für eine Mischung des Grubenwassers sorgt. Auf diese – bislang wenig beachtete – Tatsache wies bereits UERPMANN (1980) hin. Folglich könnte der Bereich zwischen den 40- und 70-m-Sohlen als hydraulische Barriere wirken, die den Stoffaustausch zwischen dem unteren und dem oberen Bereich des Schachts erschwert.

Danksagung

Die Autoren danken den Montanwerken Brixlegg für die Genehmigung zur Publikation der Ergebnisse. Ganz besonderer Dank gilt dem Team 2000 für deren logistische Unterstützung im Rahmen der beiden Tracertests. Persönlicher Dank an Robert Stibich und Gerold Sturmmeier für die Hilfe bei den Befahrungen und Armin Hanneberg für alle guten Hinweise. Die Finanzierung des Projekts erfolgte zum Teil aus Mitteln des EU Projekts PIRAMID (EVK1-CT-1999-00021).

Literatur

- ARLT, T. & DIAMOND, L. W. (1998): Composition of tetrahedrite-tennantite and „schwazite“ in the Schwaz silver mines, North Tyrol, Austria. – *Mineralogical Magazine*, **62**: 801—820, 8 Abb., 5 Tab.; London.
- BÄUMLE, R., BEHRENS, H., EINSIDL, F., GOLDSCHNEIDER, N., GRUST, K., HÖTZL, H., KÄSS, W., KENNEDY, K., KINZELBACH, W., KOZEL, R., MÜLLER, I., MÜLLER, J., NIEHREN, S., ROSSI, P., SCHNEGG, P.-A., SEILER, K.-P., WITTHÜSER, K., WOHNLICH, S. & ZOJER, H. (2001): Comparative Tracer Studies in Groundwater. – *Beitr. Hydrogeologie*, **52**: 103—230, zahlr. Abb., zahlr. Tab.; Graz.
- GRUNDMANN, G. & MARTINEK, K.-P. (1994): Erzminerale und Gangarten des Bergbaugebietes Schwaz-Brixlegg. – *Mineralien Magazin*, **19**: 28—40, 44 Abb.; München.

- HANNEBERG, A. & SCHUSTER, H. (1994): Geschichte des Bergbaus in Schwaz und Brixlegg. – Mineralien Magazin, Lapis, **19**: 13—21, 16 Abb., 3 Tab.; München.
- HISSLEITNER, G. (1951): Geologischer Gutachtenbericht über den Schwerspatbergbau Großkogel bei Brixlegg. – Unveröffentlichtes Gutachten, Archiv Montanwerke Brixlegg.
- KÄSS, W. (1998): Tracing Technique in Geohydrology. – 581 S., 270 Abb., 40 Tab., 8 Plat.; Rotterdam (Balkema).
- KRISCHKER, A. G. (1990): Die Baryt-Fahlerz-Lagerstätte St. Gertraudi/Brixlegg. – 206 S.; Innsbruck (Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Innsbruck).
- MUTSCHLECHNER, G. (1984): Erzbergbau und Bergwesen im Berggericht Rattenberg. – 163 S., 68 Abb., 1 Tab.; Innsbruck (Eigenverlag Gemeinden Alpbach, Brixlegg, Rattenberg und Reith im Alpbachtal).
- PIRKL, H. (1961): Geologie des Trias-Streifens und des Schwazer Dolomits südlich des Inn zwischen Schwaz und Wörgl (Tirol). – Jb. Geol. B.-A., **104**: 1—150, 9 Abb., 7 Taf.; Wien.
- SCHMIDEGG, O. (1953): Die Erzlagerstätten am Reiter Kopf und am Reiter Kogel. – Schlern-Schriften, **101**: 17—25, 3 Abb.; Innsbruck.
- UERPMMANN, E.-P. (1980): Hydrogeologische Fragen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle. – 128 S., 21 Abb., 5 Tab.; Clausthal (Unveröff. Diss. TU Clausthal).
- WÖBKING, H. (1982): Untertägige Eigenpotentialmessungen in den Bergbauen Grosskogel bei Brixlegg und Falkenstein bei Schwaz. – Berg- und Hüttenm. Mh., **127**: 476—483, 8 Abb.; Wien.
- WOLKERSDORFER, C. (in Druck): Mine water tracing. – Geolog. Soc. Special Publ.; London.
- WOLKERSDORFER, C., FELDTNER, N. & TREBUŠAK, I. (2002): Mine Water Tracing – A Tool for Assessing Flow Paths in Flooded Underground Mines. – Mine Water and the Environment, **21**: 7—14, 3 Abb., 3 Tab.; Berlin.