

Wasserprognosen im Stollenbau – ein Glücksspiel?

Water Prediction for Tunnels – a Game of Chance?

E. TENTSCHERT¹⁾

Inhalt

	Seite
1. Einleitung.....	161
2. Eingangsparameter.....	162
3. Genauigkeiten/Abweichungen	164
4. Hydrogeologisches Modell.....	165
5. Ausblick.....	167
Zusammenfassung.....	167
Literatur	167
Summary.....	168

1. Einleitung

Eine Prognose des Wasserzuflusses in einen Stollen ist eine höchst komplizierte Angelegenheit (G. ANAGOSTOU, 1995, A. STEIDL et al., 2005, U. BURGER et al., 2007). Dies vor allem wegen der vielen Einflussfaktoren, von denen die meisten aber nur bestenfalls halbquantitativ ermittelt werden können (FACHSEKTION HYDROGEOLOGIE DER DGG, 1999).

Je nach Verwendungszweck eines Stollens bzw. Tunnels sind die Anforderungen auf Wasserdurchlässigkeit oder Dichtheit unterschiedlich (A. SCHLEISS, 1987, K. LIEGLER, 2000, E. TENTSCHERT, 2000, L. SAMETZ & P. OBERLEITNER, 1991).

Im alpinen Kraftwerksbau sind Quell- und Grundwassermessungen schon seit Jahrzehnten üblich, schon lange vor den heute üblichen Umweltverträglichkeitsprüfungen (S. JACOBS & E. TENTSCHERT, 1994). Teils aus eigenem Interesse (Wassererschwerisse beim Vortrieb, Vermeidung von Wasserverlusten, Wahl der Auskleidung oder Druckentlastungsmaßnahmen bei Wasserüberdruck, Beulsicherheit bei Panzerstrecken), aber auch zur Abschätzung bzw. Vermeidung von Auswirkungen auf das Stollenbauwerk selbst (P. ARJNOI, 2009) oder auf Oberflächenwässer bzw. -quellen werden Quellmessungen und Wasserprognosen bereits seit mehr als 100 Jahren durchgeführt.

¹⁾ Univ.-Prof. Dr. Ewald H. TENTSCHERT, Technische Universität Wien, Institut für Geotechnik, Forschungsbereich Ingenieurgeologie, Karlsplatz 13, A-1040 Wien, Österreich.
E-Mail: Tentschert@tuwien.ac.at

Tab. 1: Ziele der wasserwirtschaftlichen Prognose bzw. Beweissicherung im Kraftwerksbau.
Forecast targets for water management and preservation of evidence for hydropower construction.

Bauteil	Beurteilungsziel	Anmerkungen
Damm, Sperre	Durchlässigkeit Untergrund, Abdichtungsmaßnahmen und -kontrolle, Verhinderung Verluste – Sohldruck – Erosion	–
Beileitungsstollen	Wasserverluste, Wasserzuflüsse, Einfluss auf Obertagequellen, (Auskleidung sekundär)	Bauphase: Wassergraben, Wassererschwernisse, Wasserhaltung
Druckstollen	Wasserverluste, Wasserzuflüsse, Einfluss auf Obertagequellen, Wasserdruck, Tunnelauskleidung; bei Panzerstrecken: Beulsicherheit	Bauphase: Wassergraben, Wassererschwernisse, Wasserhaltung
Krafthäuser, Kanäle	Einfluss auf das Grundwasser, Ergiebigkeit, Kühlwasserbrunnen	meist im Porengrundwasser

Das Ziel einer hydrogeologischen Prognose (Tab. 1) im Kraftwerksbau ist eine naturnahe Prognose der Wasserverhältnisse im Bau- und im Betriebszustand, es richtet sich aber auch nach den jeweiligen Bauteilen.

Natürlich sind auch noch die Bauphasen von den Betriebsphasen zu unterscheiden.

2. Eingangsparameter

Eine große Zahl von Parametern ist nötig, um zu einer Stollenwasserprognose zu kommen. Nur wenige davon sind direkt messbar, die meisten sind höchstens halbquantitativ erfassbar und daher mit großen Unsicherheiten und Streuungen behaftet.

Aus nachstehender Tab. 2 ist ersichtlich, dass nur vom Niederschlag (allerdings nur für die Messstelle – nicht aber für den Gebietsniederschlag) halbwegs gesicherte Messdaten vorliegen.

Die in den Lehrbüchern lakonisch zitierte Formel $A_u = h_N - A_o - E_T$ (unterirdischer Abfluss = Niederschlag minus Oberflächenabfluss minus Evapotranspiration) klingt einfach, ist aber in Wahrheit schwer nachzuvollziehen. Selbst der Oberflächenabfluss, an sich eine als exakt messbar angenommene Zahl, hat je nach Messmethode einige Prozent Abweichungen. Dadurch kann eine Einsickerung von einigen Prozenten nicht festgestellt werden (das können für den Stollen mehrere „Zehner-Liter“ sein!). Viel größer noch ist der Fehler bei der Bestimmung – oder besser Abschätzung – von E_T (zusätzlich noch verstärkt durch das Problem der Höhenabhängigkeit mit unterschiedlichen Höhengradienten – ein ähnliches Problem wie bei der Bestimmung des Gebietsniederschlages). Nur bei sehr großen Wasserverlusten ist überhaupt ein Verlust in Richtung unterirdischen Abfluss nachweisbar – und das wäre dann bereits eine „Versinkung“ wie bei der Donauschwinde oder der Reka im slowenischen Karst.

Die **Trennflächenparameter** sind meist nur an wenigen Aufschlüssen messbar, die Öffnungsweite überhaupt nur in Bohrungen oder in mittels Tunnelbohrmaschine (TBM) aufgefahrenen Stollen (wegen der dort geringeren Auflockerung). Die Extrapolation über einen vom Stollen zu durchhörternden Gebirgsabschnitt ist ein weiterer Unsicherheitsfaktor (D. CESANO et al., 2003, E. TENTSCHERT, 1980, D. T. SNOW, 1970).

Die **hydrologischen Parameter** bekommen Unsicherheiten bzw. Streuungen durch die Extrapolation der Niederschlagswerte zum Gebietsniederschlag, der insbesondere im Gebirge sehr stark variieren kann (B. JOHANNES, 2001). Die Starkregen führen natur-

Tab. 2: Eingangsparameter für eine Stollenwasserprognose. (Fortsetzung S. 164.)
Input parameters for a prediction of tunnel water inflow. (Continuation p. 164.)

Parameter	Einflussfaktoren	Variabilität	Anmerkung
Geologie			
Gesteinsverteilung	unbekannte Störungen, Geometrieänderung, Aufschlussdichte, Komplexität	verschieden	auch: Maßstabsfrage
Trennflächen, Zerlegungsgrad	Tektonik, Überlagerung, Verwitterung	verschieden	an Oberfläche höher, im Bohrkern abhängig von Richtung und Bohrverfahren
hydraulische Kommunikation der Trennflächensysteme	Intensität, Spannungen, Verfüllung	verschieden	–
Grad der Verwitterung	Tiefe, Klima, Expositionsalter, Zwischenlagen	verschieden	Einfluss von Störungen!
Grad der Verkarstung	Dolomitisierung, Zwischenlagen, Vorflutniveau, Expositionsalter	verschieden	Karsthydrogeologie ist überhaupt ein eigenes Kapitel
Verfüllung der Trennflächen	Tektonik, Zerreißung in situ, Verfüllung von oben	verschieden	oft nur partiell gefüllt
Öffnungsweiten, Kluft-Hohlraumvolumen	Spannungen, Korrosion, Zerlegung, Verwitterung	verschieden	sehr variabel
Hydrologie			
Niederschlag gemessen	Lage der Messtation	$\pm 5\%$	Messstationen meist in den Tälern!
Gebietsniederschlag	Mikroklima, Luv-/Leelagen, Messnetzdicke, Höhengradient, Wetterlagen	bis $\pm 15\%$	besonders im Hochgebirge schwierig!
Starkregen	Klima, Topographie	–	Intensität, Anteil, zeitliche Verteilung
Evapotranspiration	Vegetation, Lage, Jahreszeit, Boden, Seehöhe, Klima	bis $\pm 25\%$	Lysimeterversuche gelten nur für Versuchsfeld, Problematik Gebietsextrapolation
Schneedecke	Dauer, Ablationsgeschwindigkeit	–	Auffüllung Kluftspeicher
Oberflächenabfluss	Verdunstung, Versickerung, Umläufigkeit Messstelle	1–4 %	je nach Messmethode
Temperatur	Überlagerung, Verweildauer, aufsteigende Thermen	–	–
Chemismus	Säuren, lösliche Minerale	–	–
Isotope	Verweildauer, Einzugsgebiet		Probenreihe, Vergleichsproben
Hydrogeologie			
Einzugsgebiete	Geologie, Tektonik	bis $\pm 15\%$	hydrologisch, orographisch
Relief	Topographie	–	in Kombination mit Verteilung Aquifer/Stauer
Schuttbedeckung	Geologie, Klima, Tektonik	–	Zwischenpuffer für Felseinsickerung

Parameter	Einflussfaktoren	Variabilität	Anmerkung
Hydrogeologie			
Bodenbildung	Geologie, Klima	–	Zwischenpuffer für Felseinsickerung
Einsickerungsraten	Boden, Schutt, Relief	> 100 %	insbesondere bei mächtiger Überlagerung
Felsdurchlässigkeit	Zerlegung, Öffnung	verschieden	–
Bergwasserspiegelhöhe	Dargebot, Aquifer, Ausfluss	verschieden	über/unter dem Stollen (Bohrungen, Quellaustritte) – Stockwerke?!
benetztes Felsvolumen	Stauer, Wasserspiegel, Wasserscheide (unterirdisch)	bis 50 %	Abschätzung Einflussbereich?
Kluft-Hohlraumvolumen	Zerlegung, Wasserspiegel	> 100 %	entwässerbarer Bereich

gemäß zu höheren Oberflächenabflüssen als ein Landregen, welcher ebenso wie das langsame Abtauen der Schneedecke einen höheren Beitrag zur Grundwassererneuerung leistet.

Die **hydrogeologischen Parameter** sind in der Folge teils von den beiden vorher genannten Gruppen abhängig, teils verfügen sie über eigene spezifische Unsicherheiten. Besonders die Einsickerungsfaktoren sind ein eigenes Kapitel. Wenn beispielsweise über einem gering durchlässigen Fels eine mächtige Schuttauflage – möglichst in einem flachen Hochtal oder Kar – liegt, so kann diese als Zwischenspeicher dienen, welche dann über eine Art „Tröpfcheninfusion“ relativ große Einsickerungsfaktoren bedingen kann.

Zusätzliche Einflüsse für die Tunnelwässer sind:

- Stollendurchmesser (Summe der Eintrittsöffnungen),
- Vortriebsart (Auflockerung an der Tunnelwandung),
- Vortriebsgeschwindigkeit (wegen der Wechselwirkung Zuflüsse/Ausflussverhalten).

3. Genauigkeiten/Abweichungen

Die Daten für ein hydrogeologisches Modell unterscheiden sich in:

- beschreibende Daten, die einer Interpretation bedürfen und dann halbquantitativ abgeschätzt werden können,
- quantitative Daten (Quellmessungen, Wasserspiegelhöhen etc.) – diese sind wieder zu unterteilen in:

Primärdaten (z. B. Niederschlagsmenge, punktuelle Kluftmessungen und

Sekundärdaten (z. B. Gebietsniederschlag, Extrapolation der Zerlegungsgrade).

Außerdem ist zu unterscheiden zwischen statischen – also zeitlich konstanten – und dynamischen, variablen Daten sowie zwischen punktuellen, linearen oder flächenbezogenen Daten.

Die Übertragung punktueller oder linearer Daten auf den Modellraum macht naturgemäß Vereinfachungen, Generalisierungen, Inter- bzw. Extrapolationen erforderlich. Man muss sich auch immer wieder bewusst machen, dass in der Geologie eine unvermeidliche Unschärfe der Daten in unterschiedlichem Ausmaß charakteristisch ist (FACHSEKTION HYDROGEOLOGIE DER DGG, 1999).

In Tab. 2 sind einige Parameter mit Streubreiten angegeben, andere nur mit der Bemerkung „variabel“. Dies deshalb, weil z. B. der Bekanntheitsgrad bzw. die Prognostizierbarkeit der geologischen Grundparameter von den lokalen Verhältnissen abhängt und daher nicht generalisiert werden kann.

Dabei muss eine Unschärfe in der Geologie noch nicht zwingend eine Unschärfe in der hydrogeologischen Prognose bedeuten: wenn z. B. die lithologische Abgrenzung zwischen Paragneis und Hornblendegneis nicht sicher ist, sich die beiden aber hydrogeologisch ähnlich verhalten, wird sich das nicht auswirken. Andererseits kann auch eine gut zutreffende geologische Prognose bei einer kleinen Änderung z. B. der Klüftigkeit eine große Änderung der hydrogeologischen Prognose bewirken, besonders wenn es einen langen Stollenabschnitt betrifft.

Aus der Erfahrung von bereits ausgeführten Bauwerken sind plausible Größenordnungen der Kluft-Hohlraumvolumina oder der Einsickerungsraten eingrenzbar, ohne diese Daten wären noch extremere Variabilitäten möglich (E. TENTSCHERT, 1980, E. TENTSCHERT et al., 2008). Genau genommen handelt es sich um **Einsickerungsmengen**, die erst auf ein angenommenes Einzugsgebiet bzw. auf ein benetztes Felsvolumen umgelegt werden müssen, um zu einer **Einsickerungsrate** zu gelangen.

Dabei sind gerade diese sehr wichtig zur Bestimmung der Speicherkapazität des Gebirges. Sie können an ausgeführten Stollenbauwerken mittels unterschiedlicher Ansätze ermittelt werden (falls vorhanden!):

- Wasserbilanzen Stollenzufluss – Quellabflüsse, Trockenwetterabfluss,
- Injektionsgutaufnahmen (besonders an Kontrollbohrungen),
- Kluftmessungen in Bohrlöchern (akustisches oder optisches Bohrloch-Log),
- Kluftmessungen in Stollen (bei TBM-Vortrieb – bei Sprengvortrieb durch Auflockerungen nicht geeignet).

4. Hydrogeologisches Modell

Die Erarbeitung einer in sich konsistenten hydrogeologischen Modellvorstellung ist die Grundlage für alle weiteren Parameterstudien oder numerische Modelle – diese erfolgt aber oft höchstens ansatzweise. Grundsätzlich müssen wir drei Szenarien unterscheiden:

- Momentaner Zufluss, welcher sich aus der Absenkung im Gebirgskörper ergibt und aus dem benetzten Kluftvolumen gespeist wird. Je nach Durchlässigkeit bzw. Speicherkapazität des Gebirges wird dieses Volumen verschieden schnell ausfließen. Zusätzlich bleibt vorerst noch offen, ob eine Absenkung bis zum Stollenniveau eintritt oder aber ein Beharrungswasserspiegel über dem Stollen verbleibt.
- Stationärer Zufluss (Beharrungszustand), welcher der Grundwassererneuerung aus der laufenden Einsickerung entspricht.
- Hydraulische Eigenschaften von Störungszonen, welche je nach Zustand unterschiedliche hydraulische Eigenschaften haben können (Kluftletten in der Kernzone, erhöhte Zerrüttung in der Randzone („damage zone“) oder die Kernzone ist auch durchlässig in sandig-kiesigem Zustand).

Für eine Stollenwasserprognose im Sinne der Fig. 1 muss man die angenommene Bergwasserabsenkung (bei verschiedenen Absenkekurven, welche nicht so elegant ermittelt werden können wie bei einem seichten Pegelkreuz) in Einzeltutritte auflösen – hierbei können bei kurzfristig hintereinander auftretenden Wassereintritten sehr viel höhere

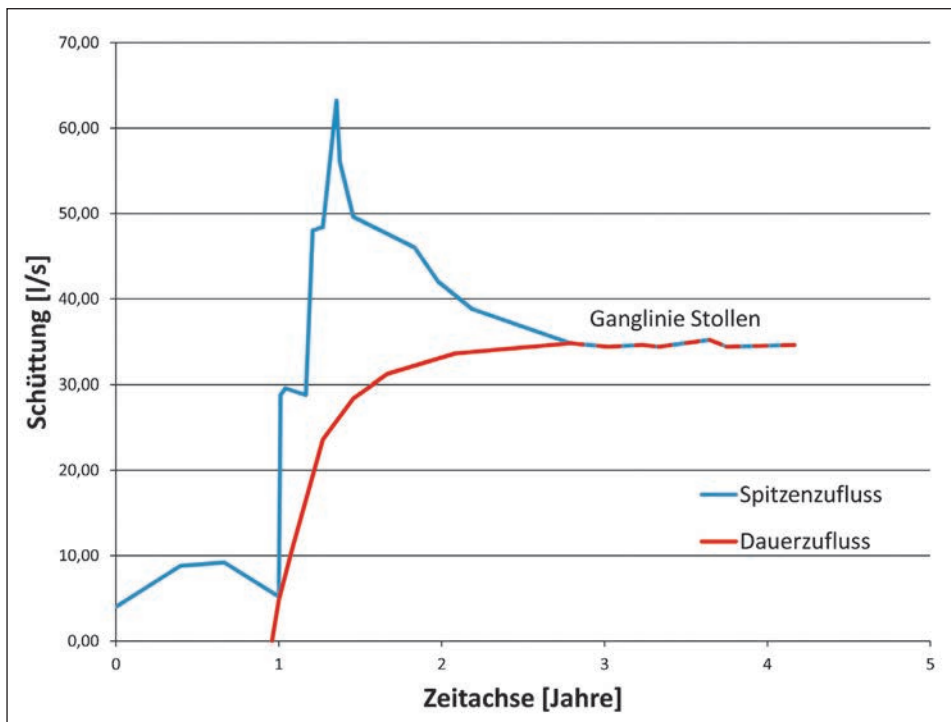


Fig. 1: Abtrennung Basis- zu Spitzenzufluss bei Stollenwassertritten (aus einem ausgeführten Sondierstollen) – entsprechend dem Trockenwetterabfluss von MAILLET für Quellganglinien. Die Fläche unter der roten Linie entspricht der Grundwassererneuerung.
 Borderline between base flow and peak flow for water inflow in tunnels (from an actual existing tunnel) – equivalent to the dry-weather flow of MAILLET's hydrograph for springs.

Spitzenzuflüsse entstehen als bei zeitlich etwas auseinander liegenden, ohne das abgesenkte Volumen zu verändern.

In Tab. 3 wird eine prognostizierte Wasserbilanz für einen Stollenabschnitt im Dolomit dargestellt. Durch die Variabilität der Eingangswerte kommt naturgemäß eine große Breite bei den kalkulierten Wassermengen (in Tab. 3 „Kalk.“) zustande. Die Einsickerung ist für die stationäre Beharrungswassermenge verantwortlich, das ausfließbare Kluftvolumen stellt die Summe der Zutrittsspitzen beim Vortrieb dar, welche dem abgesenkten

Tab. 3: Parameterstudie „Einsickerung bei variierenden Annahmen“ (nach E. TENTSCHERT, 1991).
 Parameter study “infiltration with varying assumptions” (after E. TENTSCHERT, 1991).

Einzugs- gebiet E (hyd.) [km ²]	Bergwasser- spiegel über Stollen [m]		Niederschlag h_N		Einsickerung (% h_N) [l/s im E (hyd.)]			benetztes Felsvolu- men V_F [Mio. m ³]	Kluftvolumen (bei % von V_F) [Mio. m ³]			
									0,5 %	1,0 %	2,0 %	4,0 %
4,2–5,5	Min.	90	1400	186	9	19	37	189	0,9	1,9	3,8	7,6
	Max.	250	1700	296	15	30	59	688	3,4	6,9	13,8	27,5
	Kalk.	170	1550	246	12	25	49	425	2,1	4,3	8,5	17,0

Volumen entsprechen. Dieses muss dann noch für die Abschätzung der Wassererschwer-nisse auf den Verlauf des Stollenvortriebes aufgeteilt werden. Das ist prinzipiell nach Zuordnung zu den Zerlegungsgraden möglich, diese sind aber nur punktuell bekannt und müssen auch erst grob interpoliert werden.

5. Ausblick

Die Eingangswerte für eine hydrogeologische Stollenzuflussprognose sind nach wie vor nur sehr schlecht oder nicht scharf erfassbar. Daraus kann man folgerichtig auch keine genaue Stollenwasserprognose erwarten. Umso verwunderlicher ist es, wenn in hydrogeologischen Gutachten für einen Stollenabschnitt zu lesen ist: Spitzenzufluss 21,76 l/s, permanenter Zufluss 4,87 l/s. Sicher, man kann einfache (E. TENTSCHERT, 1980, 1991), etwas umfangreichere (P. GATTINONI & L. SCESI, 2010, GATTINONI et al., 2009, 2010a) oder komplizierte (U. BURGER et al., 2007) Computermodelle einsetzen, um einen Stollenwasserzufluss zu berechnen.

Bleibt nur die Frage offen: Woher und in welcher Qualität bekomme ich die nötigen Eingangswerte? (E. TENTSCHERT, 2009), wie habe ich sie verarbeitet – und habe ich das Gesamtsystem verstanden?

Oder, um es mit dem Ahnherrn der Felsmechanik, Leopold MÜLLER-SALZBURG (1984) zu sagen: „We have the know-how – but do we understand the know-why?“

Zusammenfassung

Stollenwasserprognosen sind nach wie vor mit großen Unschärfen behaftet, da sowohl die geologischen als auch die hydrologischen Eingangsparameter ebenso wie die maßgebenden Prozesse nicht exakt erfasst werden können. Es werden die Schwierigkeiten diskutiert, welche sowohl bei der Erfassung als auch bei der Verarbeitung der unscharfen Daten auftreten. Es wäre korrekter und ehrlicher, in einer Prognose 20–30 l/s (was in Anbetracht der Umstände bereits sehr genau ist) anzugeben, als eine nicht erreichbare Genauigkeit (z. B. 21,76 l/s) vorzutäuschen.

Literatur

- ANAGNOSTOU, G. (1995): The influence of tunnel excavation on the hydraulic head.– Int. J. Num. Anal. Meth. Geomech., **19**, 725–746.
- ARJNOI, P. (2009): Effects on drainage conditions on porewater pressure distributions and lining stresses in lined tunnels.– Tunneling and Underground Space Technology, **24**, 376–389.
- BURGER, U., L. SAN NICLÒ, D. BÖSEL & P. PERELLO (2007): Hydrogeologische Modelle – Hilfsmittel für die Planung am Beispiel des Brenner-Basistunnels.– In: MARSCHALLINGER, R. & W. WANKER (Hrsg., 2007): Computeranwendungen in Hydrologie, Hydrogeologie und Geologie.– Beiträge zur Fachtagung Salzburg 2007, 160–188, Salzburg.
- CESANO, D., A. C. BAGTZOGLU & B. OLOFSSON (2003): Quantifying fractured rock hydraulic heterogeneity and groundwater inflow prediction in underground excavations: the heterogeneity index.– Tunneling and Underground Space Technology, **18**, 19–34.
- FACHSEKTION HYDROGEOLOGIE DER DGG (1999): Hydrogeologische Modelle – Ein Leitfaden.– Schriftenreihe der DGG, H. 8, 49 S., Hannover.

- GATTINONI, P. & L. SCESI (2010): An empirical equation for tunnel inflow assessment to sedimentary rock masses.– *Hydrogeology Journal*, **18/8**, 1797–1810.
- GATTINONI, P., L. SCESI & S. TERRANA (2009): Water flow in fractured rock masses: numerical modeling for tunnel inflow assessment.– *Geophysical Research Abstracts*, Vol. **11**, EGU2009-468, 2009, EGU General Assembly 2009, Wien.
- GATTINONI, P., L. SCESI & S. TERRANA. (2010a): Tunnel inflow assessment in discontinuous rock masses: From numerical modeling to empirical equations.– *Url: <http://www.ctta.org/FileUpload/ita/2009/papers/P-02/P-02-02.pdf>* [15.6. 2012].
- JACOBS, S. & E. TENTSCHERT (1994): Stollen in Bergwasser: Prognose, Prophezeiung und Realität der Auswirkungen.– *Felsbau*, **6/1994**, 466–473, Essen.
- JOHANNES, B. (2001): Ausmaß und Ursachen kleinräumiger Niederschlagsvariabilität und Konsequenzen für die Abflussbildung.– Unveröff. Dissertation, Lehrstuhl für Bodenkunde, Technische Universität München, 180 S., München (ISBN 978-3-8265-9551-6).
- LIEGLER, K. (2000): Die Nutzung des aufgelassenen Triebwasserstollens des KW Gerlos als Trinkwasserreservoir.– *Bull. angew. Geol.*, H. **5/2**, 213–220, Zürich.
- MÜLLER-SALZBURG, Leopold: (1984): We have the know-how – but do we understand the know-why?– *Tunnels & Tunnelling International*, **June 1984**, S. 82.
- SAMETZ, L. & P. OBERLEITNER (1991): Wasserversorgung mit Bergwasser aus Triebwasserwegen von Wasserkraftanlagen.– *ÖZE*, Jg. **44/3**, 82–86.
- SCHLEISS, A. (1987): Einfluss der Sickerwasserströmungen in Betonauskleidung und Fels auf die Bemessung von durchlässigen Druckstollen.– *Österr. Wasserwirtschaft*, **39 (1/2)**, 39–50.
- SNOW, D. T. (1970): The frequency and apertures of fractures in rock.– *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, **7**, 23–40.
- STEIDL, A., T. SUTTERLÜTTI, H. MÜLLER, B. FRIEG, R. LEITNER & T. KOHL (2005): Hydrogeologische Charakterisierung und Modellierung Koralpe.– *Tagungsband, Koralmtunnel 2005*, 19–21, Technische Universität Graz (Eigenverlag).
- TENTSCHERT, E. (1980): Kraftwerksgruppe Sellrain-Silz: Kluftwasserhaushalt der Druckschächte.– *Geol.-Pal. Mitt. Innsbruck*, Bd. **10/5**, 204–207, Innsbruck.
- TENTSCHERT, E. (1991): Hydrogeologische Prognose und tatsächlicher Bergwasserhaushalt für den Druckstollen Strassen-Amlach, Tirol.– *Geotechnik*, **14**, 74–80.
- TENTSCHERT, E. (2000): Trinkwassergewinnung von Kluftwasser aus Triebwasserstollen.– *Bull. Angew. Geologie*, Vol. **5/No. 2**, 205–212, Zürich.
- TENTSCHERT, E., U. BURGER & P. PERELLO (2008): Hydrogeologie und Bergwasserschutz in Planung und Genehmigung.– *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, **10 (2008)**, 391–396.
- TENTSCHERT, E. (2009): Präzision und Genauigkeit in der Ingenieurgeologie. Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse-Schiene-Verkehr.– *Festschrift anlässlich des 80. Geburtstages von Univ.-Doz. Dr. phil. Walter Eppensteiner (2009)*, 39–45, Wien.
- TENTSCHERT, E. (2010): „Geologie und Quellwasserschutz im Tunnelbau“.– In: GMEINER, A. (Hrsg., 2010): „Durst – Die Europäische Quellwasserkonferenz – Interdisziplinäre Schnittstellen im Trinkwassersektor“, 85–100, Wien (LIT Verlag, ISBN 978-3-643-50193-6).

Summary

The prediction of water inflow in tunnels contains big uncertainties, because the geological input parameters as well as the hydrological ones are not accurately determinable. The difficulties with the assessment and the calculation of the uncertain data are discussed. It would be more accurate and scientifically honest, to predict an inflow of 20 to 30 l/s (that would represent a high accuracy considering the circumstances) instead of pretending a not achievable accuracy (i. g. 21,76 l/s).

Schlüsselwörter: Hydrogeologie, Kluftwasser, Wasserprognose, Tunnel- und Stollenbau, Wasserkraft

Keywords: hydrogeology, joint water, water prediction, tunnelling, waterpower