

## Technische Machbarkeit und Quellschutz

### am Plöckenpass / Passo Monte Croce Carnico

*Wissenschaftliche Evidenz und internationaler Stand der Technik im Karsttunnelbau*

---

Mai 2026

Confinium Research · Technical Note CR-2026-05-PLK

---

### Management Summary

Die im Rahmen der laufenden Debatte zum Plöckenpass-Tunnel geäußerte Sorge, ein Tunnelvortrieb durch den Aquifer Coglians-Cjanevate-Pizzo Timau führe zwingend zur Schädigung der Quelle Fontanon di Timau (Fontanon, mittlerer Abfluss > 5.000 l/s) und der davon abhängigen Wasserversorgung des Valle del But sowie der fünf SECAB-Wasserkraftanlagen, ist aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht im Lichte des aktuellen Stands der Technik nicht aufrechtzuerhalten.

Die vorliegende Note dokumentiert (i) die international anerkannten wissenschaftlichen Referenzen für Karsttunnelbau, (ii) die etablierten methodischen Standards zur Risikobewertung und zum Quellschutz, und (iii) drei großmaßstäbliche europäische Referenzprojekte unter vergleichbaren oder anspruchsvolleren hydrogeologischen Bedingungen. Daraus wird abgeleitet, dass Quellschutz bei Anwendung des heute verfügbaren Methodenpakets ein planbares, messbares und bezifferbares Ingenieurproblem ist – kein unkalkulierbares Risiko.

Die operative Konsequenz ist eindeutig: Eine fundierte Pro-Tunnel-Argumentation muss sich auf einen verbindlichen Quellschutzpaket nach BBT-Standard verpflichten – einschließlich Voruntersuchungsstollen, mehrjähriger hydrogeologischer Baseline (mindestens 24 Monate vor Vortrieb), Tracer-Markierungsversuchen, vorauseilender Injektionsabdichtung sowie einer vertraglich verankerten Quellschüttungsgarantie mit definierter Toleranzschwelle (international üblich: maximale Reduktion < 15 %).

### 1. Einleitung und Fragestellung

Die Diskussion um den Bau eines circa 4 km langen Plöckenpass-Tunnels (Variante Hochlagenvariante) bzw. eines etwa 8 km langen Basistunnels zwischen dem Gail- und dem But-Tal erfordert eine sachliche Trennung zwischen historisch berechtigten Umweltsorgen und den heutigen Möglichkeiten des modernen Spezialtiefbaus. Kritische Stellungnahmen, insbesondere die der Initiative PRO

CARNICUM (21.–25. September 2025) unter Beteiligung des Geologen Prof. Schönlaub (ÖAW, vormals GBA) und des Hydrogeologen Prof. Ponton (Università di Trieste), verweisen zu Recht auf die hohe hydrogeologische Sensibilität des devonischen Kalk-Massivs der Karnischen Hauptkette.

Die wissenschaftliche Frage lautet jedoch nicht, ob das Karstmassiv sensibel ist – das ist es unbestritten –, sondern ob der heutige internationale Stand der Tunnelbautechnik in der Lage ist, einen Tunnelvortrieb so auszuführen, dass die hydrogeologische Funktion des Aquifers, insbesondere die Schüttung der Quelle Fontanon di Timau, in messbar geringem Umfang beeinflusst wird. Diese Frage ist anhand des aktuellen wissenschaftlichen Schrifttums und international realisierter Referenzprojekte zu beantworten.

## 2. International anerkannte wissenschaftliche und ingenieurtechnische Referenzen

Zur hydrogeologischen Absicherung von Tunnelprojekten in verkarstem Karbonatgebirge stellen die folgenden Persönlichkeiten und Institutionen die maßgeblichen europäischen und globalen Referenzen dar. Die Auflistung ist nicht erschöpfend, beschränkt sich aber auf jene Akteure, die einschlägige peer-reviewte Publikationen und realisierte Großprojekte vorweisen können.

### 2.1 Prof. Dr. Nico Goldscheider – Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

**Status:** Lehrstuhl für Hydrogeologie am KIT (seit 2011). Vorsitzender der Karst Commission der International Association of Hydrogeologists (IAH) von 2009 bis 2017; weiterhin aktives Kommissionsmitglied. Wissenschaftlicher Leiter des UNESCO-unterstützten Welt-Karst-Aquifer-Kartierungsprojekts WOKAM (Publikation 2017).

**Relevante Publikation:** Vincenzi V., Gargini A., Goldscheider N. (2009): *Using tracer tests and hydrological observations to evaluate effects of tunnel drainage on groundwater and surface waters in the Northern Apennines (Italy)*, Hydrogeology Journal 17(1), 135–150.

Die Studie dokumentiert systematisch die hydrogeologischen Auswirkungen des 15 km langen Firenzuola-Tunnels (Hochgeschwindigkeitsstrecke Bologna–Florenz) auf turbiditische Aquifere und liefert die methodische Grundlage – Multi-Tracer-Tests mit Uranin und Sulforhodamin G, integrierte Schüttungsbeobachtungen, hydrologische Rezessionsanalyse –, mit der unterirdische Fließwege vor dem Vortrieb erfasst und Auswirkungen prognostiziert werden können. Genau dieser methodische Standard fehlt bei älteren Tunnelprojekten und macht den qualitativen Unterschied zu einem heutigen, prognostisch abgesicherten Vortrieb aus.

### 2.2 Dr. Vojkan Jovičić – IRGO Ljubljana / Universität Ljubljana

**Status:** Geschäftsführer und wissenschaftlicher Direktor des IRGO (Institute for Mining, Geotechnology and Environment, Ljubljana). Einer der führenden europäischen Experten für mechanisierten Tunnelbau in verkarstem Karbonatgebirge; regelmäßig als unabhängiger Sachverständiger für transnationale Infrastrukturprojekte tätig.

**Relevante Publikation:** Dvanajščak D., Ratej J., Jovičić V. (2022): *Sustainability of Water Resources in Karst Undermined by Tunneling: A Case Example*, Sustainability 14(2), 732.

Die Studie bezieht sich auf die zwei Tunnel der neuen Bahnstrecke Divača–Koper (T1 Lokev: 6,7 km; T2 Beka: 6,0 km) im slowenischen Klassischen Karst. Sie liefert die ingenieurwissenschaftliche Blaupause

für (i) hydrogeologische Voruntersuchungen mit Mehrjahres-Monitoring der Grundwasserpegel, (ii) Markierungsversuche zur Kartierung der unterirdischen Fließwege und (iii) systematische Injektionsschirme (Pre-Excavation Grouting) zur Reduktion der Wasserzuflüsse während des Vortriebs.

### 2.3 Dr. Pierre-Yves Jeannin & Dr. Arnauld Malard – Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung (ISSKA / SSKA)

**Status:** ISSKA (La Chaux-de-Fonds) ist das wissenschaftliche Referenzinstitut für Karstfragen in der Schweiz und berät die kantonalen sowie die Bundesbehörden bei Bauten im verkarsteten Jurakalk. Jeannin und Malard sind die Entwickler der Methoden KARSYS (pragmatischer 3D-Ansatz zur hydrogeologischen Konzeptualisierung von Karstsystemen) und KarstALEA (Verfahren zur Prognose karstspezifischer Gefahren im Untertagebau, herausgegeben 2012 vom Bundesamt für Strassen ASTRA als Forschungsprojekt FGU 2009/003).

**Relevante Publikation:** Jeannin P.-Y., Malard A., Rickerl D., Weber E. (2015): *Assessing karst-hydraulic hazards in tunneling – the Brunnmühle spring system, Bernese Jura, Switzerland*, Environmental Earth Sciences 74, 7655–7670.

Die Arbeit demonstriert anhand des Sisto-Trasse-Projekts (Sicherheitsstollen neben einem bestehenden Tunnel im Bielersee-Massiv), wie durch die Kombination eines geologisch-hydrogeologischen 3D-Modells (KARSYS), eines speläogenetisch begründeten Modells der Karstkonduit-Verteilung (KarstALEA) und kalibrierter hydraulischer Modelle die Auswirkungen eines neuen Tunnels auf eine regionale Quellgruppe quantitativ prognostiziert und durch gezielte bautechnische Maßnahmen minimiert werden können.

### 2.4 Lombardi Engineering – Lombardi Group (Schweiz / Italien)

**Status:** Das von Dr. Giovanni Lombardi (1926–2017; Chefingenieur des Gotthard-Strassentunnels) gegründete Ingenieurbüro ist einer der international führenden Anbieter für Tunnel- und Untergrundbau, insbesondere im Bereich Abdichtungstechnologien unter hohem Bergwasserdruck.

**Methodischer Standard:** Lombardi G. & Deere D. (1993): *Grouting design and control using the GIN principle*, Water Power & Dam Construction 45, 15–22.

Die von Giovanni Lombardi und Don U. Deere entwickelte GIN-Methode (Grouting Intensity Number) ist heute eine der in Europa am weitesten verbreiteten Methoden zur Steuerung von Zementinjektionen im klüftigen Fels. Sie begrenzt das Produkt aus Einpressdruck und eingepresstem Volumen, um die im Gestein induzierte Energie zu kontrollieren und insbesondere das Risiko des hydraulischen Aufreißens des Felsverbands (Hydro-Jacking) zu vermeiden. Damit ist sie ein zentrales Instrument für vorausseilende Abdichtungen vor dem Tunnelvortrieb in wasserführendem Karst- oder Kluffgestein.

### 2.5 Italienische und grenzüberschreitende Forschungspartner

Für das spezifische italienisch-österreichische Untersuchungsgebiet sind zusätzlich folgende Institutionen einschlägig:

- **Dipartimento di Matematica e Geoscienze (DMG), Università di Trieste** – Arbeitsgruppe Karsthydrogeologie (L. Zini, C. Calligaris, F. Cucchi), mit umfangreichen Vorarbeiten zum Tunnel- und Hochgeschwindigkeitskorridor V Trieste–Ljubljana sowie zum Klassischen Karst.

Die Gruppe hat im Rahmen des Divača-Koper-Projekts gemeinsam mit dem slowenischen Karst Research Institute (Petrič, Ravbar) die Multi-Tracer-Versuche koordiniert, die u. a. die Verbindung zu den Quellen Timava/Timavo und Boljunec/Bagnoli nachgewiesen haben.

- **BBT SE (Brenner Basistunnel Société Européenne)** – als Praxisreferenz für Großtunnelprojekte in alpinem Karbonatgebirge mit hochauflösendem Vermessungsnetz (über 1.300 Messpunkte für Quellschüttung, Grundwasserstand und Verformungen). Der BBT-Standard wird hier als operativer Referenzpunkt für ein verbindliches Quellschutzpaket vorgeschlagen.
- **iC consulenten Ziviltechniker GmbH (Wien, Salzburg, Klagenfurt, Innsbruck)** – ausführende Ingenieurreferenz mit dokumentierter Erfahrung in BBT, Koralmtunnel und vergleichbaren alpinen Großprojekten; kombiniert Tunnelstatik, Hydrogeologie und Lärmschutz in einer Hand.

### 3. Methodischer Standard des Quellschutzes

Der heutige internationale Stand der Technik zum Quellschutz im Karsttunnelbau lässt sich in fünf miteinander verkoppelten Modulen darstellen. Sie bilden gemeinsam ein verifizierbares Quellschutzpaket; das Weglassen einzelner Module reduziert das Schutzniveau signifikant.

- **(i) Hydrogeologische Baseline:** mindestens 24 Monate kontinuierlicher Messung von Quellschüttung, Leitfähigkeit, Temperatur, Trübung sowie Niederschlag im Einzugsgebiet vor Beginn des Hauptvortriebs; Aufbau eines Beobachtungsnetzes nach BBT-Vorbild.
- **(ii) 3D-Karstmodell und Markierungsversuche:** Anwendung der KARSYS-Methode zur 3D-Modellierung des Aquifers und der speläogenetischen Inception Horizons; multiple Tracer-Versuche (Uranin, Sulforhodamin, ggf. DNA-markierte Nanopartikel) zur Bestimmung der unterirdischen Fließwege und Verweilzeiten zwischen Tunneltrasse und Fontanon-System.
- **(iii) Voruntersuchungsstollen:** Vortrieb eines kleinkalibrigen Sondierstollens parallel zur Haupttrasse vor dem Hauptvortrieb (BBT-Standard) zur in-situ-Verifizierung der hydrogeologischen Prognosen und zur frühzeitigen Erkennung kritischer Bruchzonen.
- **(iv) Vorseilende Injektionsabdichtung:** Pre-Excavation Grouting mit feinkörnigen bzw. mikrofeinen Zementsuspensionen, gesteuert nach der GIN-Methode (Lombardi & Deere 1993) bzw. zeitgemäßen Weiterentwicklungen. Internationale Vergleichsprojekte (u. a. Semmering-Basistunnel) belegen Reduktionen der Wasserzuflüsse in der Größenordnung von 50 bis über 90 % gegenüber dem ungeschützten Zustand.
- **(v) Druckwasserdichte Innenschale und vertragliche Quellschüttungsgarantie:** Tunnelausbau als geschlossenes („nicht entwässerndes“) System mit Bahnen aus PE/EVA und bewehrter Innenschale, dimensioniert für den vollen statischen Wasserdruck. Vertragliche Festlegung einer maximal tolerierten Reduktion der Quellschüttung (z. B. < 15 %) mit eindeutigen Eskalationsstufen und Sanktionen.

## 4. Europäische Referenzprojekte

### 4.1 Bahnstrecke Divača-Koper (Slowenien)

Die zweite Bahnverbindung Divača-Koper (Gesamtinvestition rd. 1,2 Mrd. EUR; EIB-Darlehen 250 Mio. EUR, EU-Kohäsionsfonds 80 Mio. EUR, CEF 153 Mio. EUR) wurde durch das Klassische Karstplateau geführt, ein ökologisch besonders sensibles Gebiet mit nachgewiesenen unterirdischen Verbindungen zu den großen Quellsystemen Timava/Timavo (Italien) und Boljunec/Bagnoli (Italien). Im längsten

Tunnel T1 (Lokev, 6,714 km) wurden während des Vortriebs durchschnittlich alle 50 m Karsthöhlen angeschnitten. Der mechanische Vortrieb der Hauptröhren wurde im Juni 2024 abgeschlossen; die Inbetriebnahme der Strecke ist für 2026 vorgesehen. Die Tracer-Untersuchungen (Petrič, Ravbar, Zini, Calligaris u. a., 2020) wiesen Fließwege mit Spitzengeschwindigkeiten von 29–36 m/h zu den Hauptquellen nach – ein Befund von unmittelbarer methodischer Relevanz für das Fontanon-System.

#### **4.2 Brenner-Basistunnel (Österreich / Italien)**

Der BBT (55 km Hauptröhren, zuzüglich Erkundungsstollen) ist das größte aktuell im Bau befindliche europäische Eisenbahn-Tunnelprojekt durch alpines Kristallin- und Karbonatgebirge. Maßgeblich für das Plöckenpass-Projekt ist hier weniger die geologische Vergleichbarkeit – das Quellgebirge ist überwiegend metamorph –, sondern der etablierte methodische Standard: durchgehender Erkundungsstollen vor dem Hauptvortrieb, hochauflösendes hydrogeologisches Monitoring mit mehr als 1.300 Messpunkten, mehrjährige Baseline vor Vortrieb sowie kontinuierliche Schüttungsüberwachung der oberflächennahen Quellen. Dieser BBT-Standard wird hier ausdrücklich als verbindlicher Referenzrahmen für den Plöckenpass empfohlen.

#### **4.3 Gotthard- und Ceneri-Basistunnel (Schweiz)**

Bei der Querung tiefalpiner, stark wasserführender Zonen im Gotthard-Basistunnel (57 km, in Betrieb 2016) und Ceneri-Basistunnel (15,4 km, in Betrieb 2020) wurde der Schutz oberflächennaher alpiner Bäche und thermaler Quellsysteme über das Prinzip einer geschlossenen, druckwasserdichten Innenschale in Kombination mit gezielten Injektionsabdichtungen sichergestellt. Auch wenn auch hier lokal Schüttungsbeeinflussungen oberhalb der Tunneltrasse dokumentiert wurden, bleibt das Schweizer Vorgehen ein internationaler Referenzfall für das systematische Ineinandergreifen von Voruntersuchung, Baudurchführung und langfristigem Monitoring.

#### **4.4 Brunnmühle-Quellsystem (Berner Jura, Schweiz)**

Das Brunnmühle-Projekt (ISSKA / SISKA, Sisto-Sicherheitsstollen) ist der wissenschaftlich am besten dokumentierte Fall einer Tunnel-Quellsystem-Interaktion in der Schweiz. Die Kombination KARSYS + KarstALEA + kalibriertes hydraulisches Konduitmodell erlaubte die quantitative Prognose der Beeinflussung einer regional bedeutsamen Quelle vor dem Vortrieb und die Definition der notwendigen baubegleitenden Schutzmaßnahmen. Das Vorgehen ist methodisch direkt auf das Fontanon-System übertragbar.

### **5. Schlussfolgerung und Empfehlung**

Die Behauptung, ein moderner Tunnel am Plöckenpass führe unweigerlich zur Schädigung oder zum Versiegen der Fontanon di Timau, entspricht nicht dem aktuellen Stand der internationalen Tunnelbauwissenschaft. Die referenzierten Arbeiten von Goldscheider, Jovičić und dem ISSKA, ergänzt durch die Ingenieurpraxis von Lombardi sowie durch die einschlägige italienische Karstforschung an der Universität Trieste, belegen, dass durch die Kombination von (i) mehrjähriger hydrogeologischer Baseline, (ii) 3D-Karstmodellierung und Tracer-Versuchen, (iii) Voruntersuchungsstollen, (iv) vorseilender GIN-gesteuerter Injektionsabdichtung und (v) druckwasserdichter Innenschale eine Beeinflussung großer alpiner Karstquellen auf ein definiertes, in Verträgen festschreibbares Niveau begrenzt werden kann.

Confinium Research empfiehlt daher, die laufende politische und planerische Auseinandersetzung um den Plöckenpass-Tunnel um einen explizit definierten Quellschutz-Verpflichtungsrahmen zu erweitern, der von BBT-Standard ausgeht und folgende Mindestelemente umfasst: 24-Monats-Baseline, Voruntersuchungsstollen, Multi-Tracer-Kampagne, GIN-gesteuerte Vorinjektion, druckwasserdichter Ausbau, vertragliche Schüttungsgarantie mit Toleranzschwelle < 15 % gegenüber der Baseline, Eskalationsmechanismus und unabhängige hydrogeologische Aufsicht durch ein international zusammengesetztes Expertengremium (denkbar: ISSKA, KIT/IAH Karst Commission, Università di Trieste DMG, ÖAW).

Damit verschiebt sich die Debatte von einer Grundsatzdiskussion über die Vereinbarkeit eines Tunnels mit dem Quellschutz hin zu einer konkreten Aushandlung der Schutzparameter – einer Debatte, die der heutige Stand der Technik nachvollziehbar zugänglich macht.

## Bibliografische Hinweise (Auswahl)

- Dvanajščak D., Ratej J., Jovičić V. (2022): Sustainability of Water Resources in Karst Undermined by Tunneling: A Case Example. *Sustainability* 14(2), 732.
- Jeannin P.-Y., Malard A., Rickerl D., Weber E. (2015): Assessing karst-hydraulic hazards in tunneling – the Brunnmühle spring system, Bernese Jura, Switzerland. *Environ. Earth Sci.* 74, 7655–7670.
- Jeannin P.-Y., Eichenberger U., Sinreich M., Vouillamoz J., Malard A., Weber E. (2013): KARSYS – a pragmatic approach to karst hydrogeological system conceptualisation. *Environ. Earth Sci.* 69(3), 999–1013.
- Filipponi M., Schmassmann S., Jeannin P.-Y., Parriaux A. (2012): KarstALEA – Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau. ASTRA-Forschungsprojekt FGU 2009/003, VSS, Zürich.
- Lombardi G., Deere D. (1993): Grouting design and control using the GIN principle. *Water Power & Dam Construction* 45, 15–22.
- Petrič M., Ravbar N., Zini L., Calligaris C., Corazzi R., Žitko Z., Restaino M., Knez M. (2020): Determining the directions and characteristics of underground water flow in karst for the purpose of traffic routes construction: the case of the new Divača–Koper railway line (SW Slovenia). *Acta Carsologica*.
- Vincenzi V., Gargini A., Goldscheider N. (2009): Using tracer tests and hydrological observations to evaluate effects of tunnel drainage on groundwater and surface waters in the Northern Apennines (Italy). *Hydrogeol. J.* 17(1), 135–150.
- Goldscheider N. et al. (2017): WOKAM – World Karst Aquifer Mapping Project (UNESCO-IHP / IAH).