



Kühlung des Bergwassers am Portal Bodio

Davide Fabbri, Gianfranco Binsacca, Francesco Delmuè

Einleitung / Grundlagen / Ausgangslage / Vorgesichte

Das Entwässerungskonzept und die Kühlung des Bergwassers am Portal Bodio, wie sie in der Bauphase umgesetzt wurden und in der Betriebsphase realisiert werden, sind das Resultat einer sehr komplexen Entstehungsgeschichte. Einleitend ist es somit zweckmässig, die Entwicklung der Prognosen bezüglich Wasseranfall und Wassertemperatur am Portal Bodio kurz zusammenzufassen.

Im Vorprojekt, datiert Januar 1994, betraf ein Bericht des Dossiers «Wärmepotenzial des Bergwassers und dessen Nutzung- und Entsorgungsmöglichkeiten». Die Prognose ging im optimistischen Fall von einer Wassermenge von 340 l/s und einer Wassertemperatur von 35.5°C aus. Unter Berücksichtigung dieser prognostizierten Werte wurden im Jahre 1995 erste Berechnun-

gen für eine Kühlung des am Portal anfallenden Bergwassers anhand von Kühlweihern und für die Definition von deren optimalen Ausdehnung durchgeführt. Im Auflagerprojekt, datiert August 1995, wurden eine Wassermenge von 350 l/s und eine Wassertemperatur von 36°C angenommen. Im Bauprojekt (BP) Teilschnitt (TA) Bodio, datiert Dezember 1999, wurden auf Basis von weiteren vertieften Auswertungen und Berechnungen eine Wassermenge von 136 l/s und eine Wassertemperatur von 36°C zugrunde gelegt.

Aufgrund der Plangenehmigungsverfügung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) zum Portalbereich Bodio (italienisch) vom 27. August 1999, des Detailprojekts «Entwässerung im Trennsystem» vom 1. März 2000 (Ernst Basler + Partner AG) und der Plangenehmigung des UVEK, Detailprojekt Entwässerung im Trenn-

system, vom 26. Februar 2002 ergab sich die Notwendigkeit, das BP 1999 – für den Portalbereich Bodio – zu aktualisieren. Erste Aktualisierungen der Planung wurden in den Jahren 2005/2006 vorgenommen, jedoch erst ab 2009 im BP Brauchwasserentsorgung und Entwässerung Gotthard-Basistunnel (GBT) berücksichtigt.

Im BP Brauchwasserentsorgung und Entwässerung GBT, datiert 18. Januar 2012, basierend auf den Grundlagen aus dem BP TA Bodio vom 1999 und auf den Aktualisierungen der Planung der Jahre 2005/2006, wurden neben Kühlweihern mit einer Ausdehnung von ca. 8'000 m² auch Kühltürme vorgesehen. Im spezifischen Detailprojekt für den Portalbereich Bodio von 2012 [1–3], das aufgrund der zu diesem Zeitpunkt bekannten effektiven Wassermenge und -temperatur sowie deren Entwicklung während der Bauphase erarbeitet wurde, wurden neue Berechnungen bezüglich Kühlung des Bergwassers mit Kühlweiher und ohne Kühltürme durchgeführt. Diese sind im vorliegenden Beitrag näher erläutert. Aufgrund der Ergebnisse wurde stimmte das Bundesamt für Verkehr (BAV) dem Verzicht auf die Realisierung von Kühltürmen zu.

Die Ausschreibung der Entwässerungsanlagen im Portalbereich Bodio (Rohbauausrüstung, Los G), die infolge der Gesamtterminplanung GBT parallel zum Abschluss des BP Brauchwasserentsorgung und Entwässerung GBT und zur Erarbeitung des Detailprojekts erfolgen musste, wurde inklusive der Leistungen zur Realisierung von Kühltürmen veröffentlicht. Der Bauherr behielt sich jedoch explizit das Recht vor, auf die Realisierung von Kühltürmen zu verzichten. Der Bauherr hat im Jahre 2013 die Realisierung von Kühltürmen für die Betriebsphase somit rechtzeitig vor deren Ausführungsplanung abbestellt.

Entwässerungskonzept Bauphase

Während der Bauphase wurde das Los 503 beauftragt, sämtliches am Portal Bodio bis zum Abschluss der Ausführung der Fahrbahn durch den Unternehmer Bahntechnik

(UN BT) im Mischsystem anfallendes Wasser zu behandeln, sodass eine Einleitung in den Vorfluter gewährleistet werden konnte. Die Qualität des anfallenden Wassers wurde kontinuierlich gemessen, und das Wasser wurde entsprechend behandelt; Wassermenge und -temperatur haben sich seit 2001 in Funktion des Vortriebs und der Durchschläge ständig verändert. Während gewissen Perioden erreichte das aus dem Tunnel anfallende Wasser eine Temperatur von maximal 32°C und eine maximale Wassermenge von ca. 200 l/s.

Da in der Bauphase keine Abkühlbecken und keine Kühlweiher realisiert wurden, musste das aus dem Tunnel anfallende Wasser zeitweise mit dem Einsatz von provisorischen Kühltürmen derart heruntergekühlt werden, dass die Einleitbedingungen gemäss Gewässerschutzverordnung eingehalten werden konnten. Die Anlagen Los 503 wurde am 30. Juni 2014 ausser Betrieb genommen.

Entwässerungskonzept Betriebsphase

Die Entwässerung des GBT erfolgt im Trennsystem, das heisst, die Entwässerung des Fahrbahnbereichs (Schmutzwasser) erfolgt separat von der Entwässerung des Bergwassers. Unter Bergwasser wird das unverschmutzte Wasser, das aus dem tunnelumgebenden Fels wegdrainiert wird, verstanden. Beim sogenannten Schmutzwasser handelt es sich um potenziell verschmutztes Wasser, das aus dem Stetswasserlauf, aus der Fahrbahnentwässerung sowie aus der Entwässerung der Nebenbauwerke stammt.

Aus dem Südportal im Bodio fließen (Messungen 2014 bis 2015) aktuell ständig ungefähr 85 l/s Bergwasser mit einer Temperatur von 27 bis 30°C. Das Schmutzwasser (inklusive Stetslauf ungefähr 15 l/s) fliesst hingegen zuerst in die Rückhaltebecken, wo es auf mögliche Verunreinigungen kontrolliert wird. Wenn das Wasser sauber ist, wird es zusammen mit dem Bergwasser in die Kühlweiher eingeleitet, schlussendlich fliesst das Wasser in den Fluss Ticino.

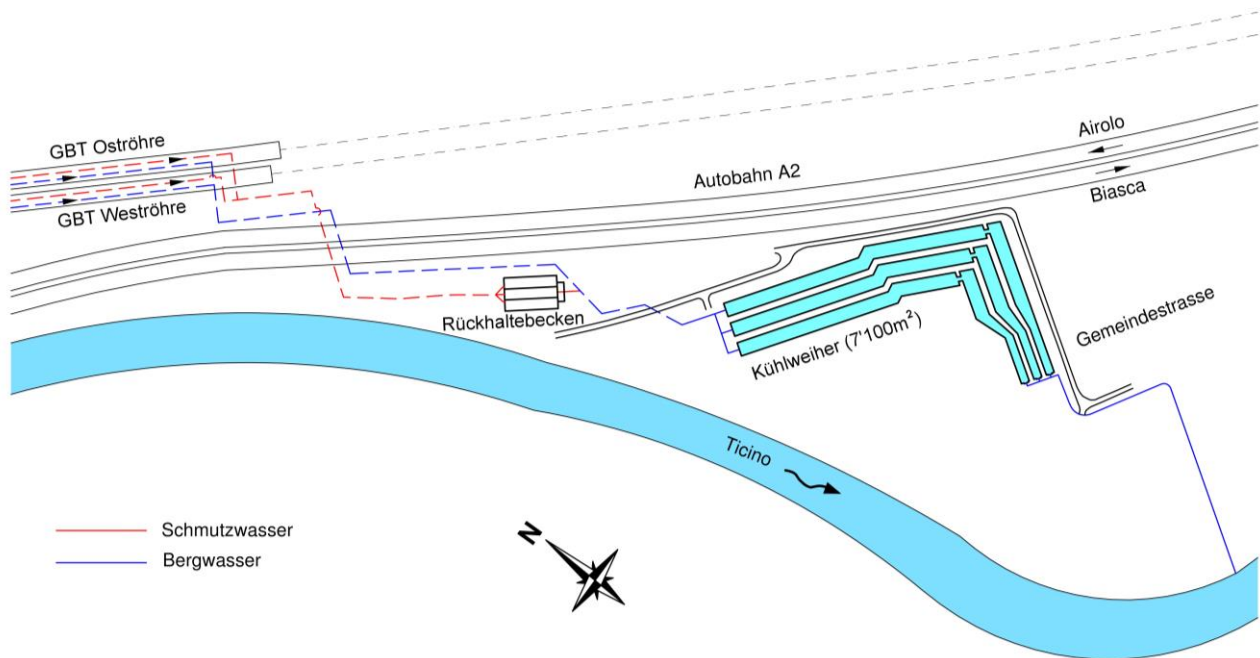


Abbildung 1: Vereinfachte Übersicht des Entwässerungskonzepts im Portalbereich Bodio (Quelle: IG GBTS)

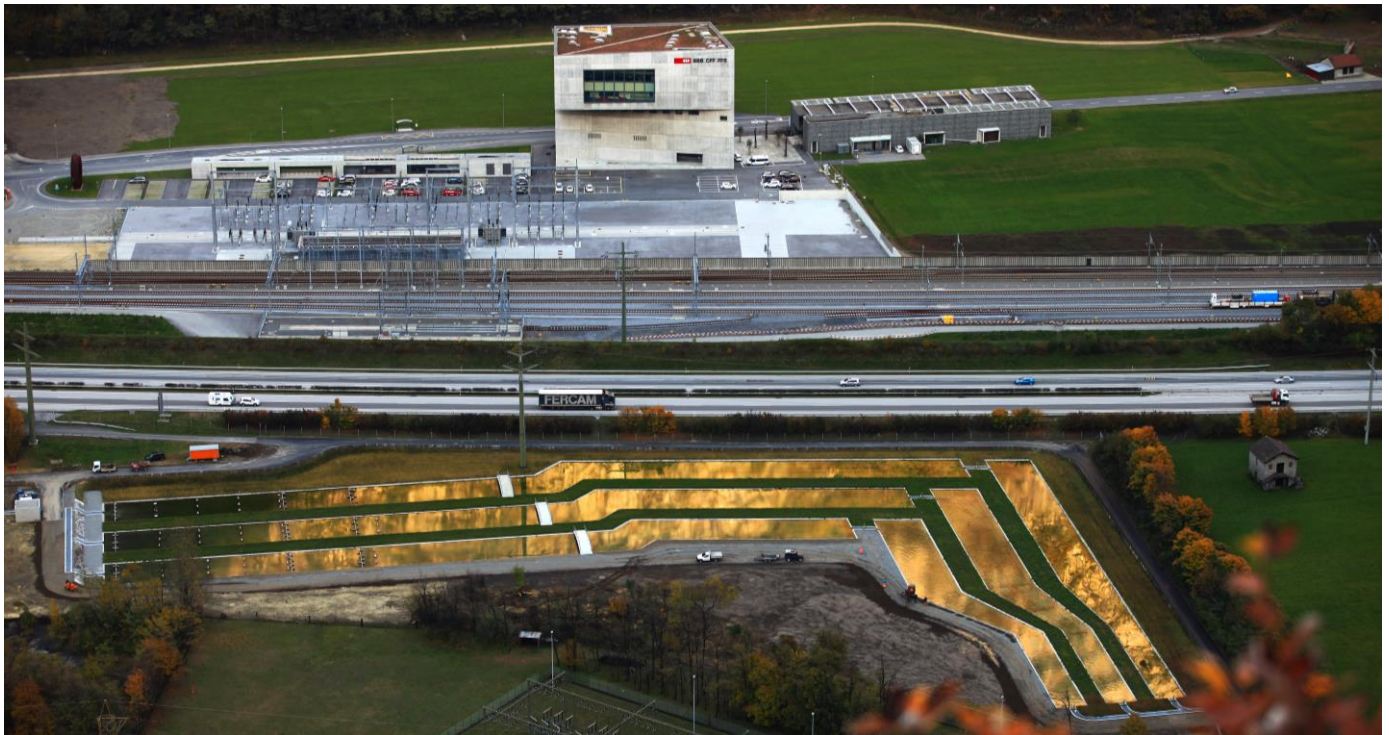


Abbildung 2: Wasserkühlung Portal Bodio (Quelle: IG GBTS)

Einleitbedingungen und Simulation der Kühlung des Bergwassers

Die Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 (Stand 1. August 2011) schreibt für die Einleitung des Berg- und Tunnelwassers in den Fluss Ticino folgende Bedingungen vor. Anforderungen an die Temperatur für Drainagewasser aus Untertagebauten: 25°C als maximale Temperatur des Vorfluters nach Einleitung, 1.5°C als maximale Erwärmung (ΔT) des Vorfluters nach Einleitung (Gewässerabschnitte der Forellenregion).

Die Einhaltung der maximalen Temperatur des einzuleitenden Wassers von 30.0°C wurde für die Bauphase vorgeschrieben, da in dieser Phase das aus dem Tunnel fliessende Wasser als Industrierwasser betrachtet wird. In der Betriebsphase handelt es sich hingegen um reines Drainagewasser. Für die Einhaltung der Einleitungsbedingungen spielen die Temperatur und die Wasserführung des Flusses Ticino eine bedeutende Rolle. Wenn das flussaufwärts liegende Kraftwerk Nuova Biaschina (AET) nicht in Betrieb ist und gleichzeitig wenig Wasser im Fluss abfließt, kann die maximale Erwärmung des Vorfluters um 1.5°C nach Einleitung des warmen Wassers aus dem Tunnel nicht eingehalten werden. Solche ungünstigen Randbedingungen kommen eher im Winter vor. Um die Gewässerschutzverordnung einzuhalten, muss das Wasser vor Einleitung heruntergekühlt werden. Um die Wassertemperatur zu senken, kommt schlussendlich die passive Kühlung mittels Kühlweihern zur Anwendung, die Lösung mit aktiver Kühlung anhand von Kühltürmen, ursprünglich vorgehen, konnte beseitigt werden. Ein passives Kühlungssystem braucht keine elektrische Energie und weist einen einfacheren Unterhalt auf.

Um die Kühlweihern zu dimensionieren, wurden die Wärmetauschprozesse zwischen Atmosphäre und Wasser simuliert. Die Simulation wurde mit den durchschnittlichen klimatischen Bedingungen der

Region Bodio während eines gesamten Jahres durchgeführt. Die berücksichtigten Wärmetauschprozesse zwischen Luft und Wasser sind Evaporation, Konvektion und Sonnenstrahlung. Die Kühlweihern sind ständig mit Wasser gefüllt, nach kurzer Zeit erhöht sich die Temperatur des Kühlweihernbodens und gleicht sich fast derjenigen des Wassers an. Demzufolge wird der Wärmegradient zwischen Erdreich unter dem Kühlweihernboden und Wasser in den Becken sehr klein. Die Folge ist, dass nur wenig Wassermenge in das Erdreich gelangen kann: Der Beitrag des Wärmetauschprozesses zwischen Boden und Wasser könnte vernachlässigt werden. Das entscheidende Element für die Abkühlung des Wassers ist die Kontaktfläche zwischen Wasser und Luft, je grösser sie ist, desto mehr Kühlungseffekt gibt es. Die Wassertiefe in den Becken von 50 cm ist für die Abkühlung von untergeordneter Bedeutung, die Verweilzeit ist viel wichtiger.

Die Ergebnisse der Simulationen, welchen die Durchflussdaten in der Periode 2000 bis 2011 zugrunde gelegt wurden, wurden benutzt, um die Temperaturerhöhung des Flusses Ticino zu berechnen. Die Berechnungen ergaben, dass der Kühlweihern mit einer Fläche von rund 7'100 m² für die Temperaturabsenkung genügend gross ist, um die Gewässerschutzverordnung während fast des ganzen Jahres einzuhalten. Nur während Perioden mit extrem wenig Wasser im Ticino ist die Temperaturerhöhung des Flusses ein bisschen höher als 1.5°C. Die Überschreitung von wenigen Zehntelgrad Celsius kann gemäss Rücksprache mit den involvierten Behörden toleriert werden. Im Bild 3 ist die monatliche durchschnittliche Wassertemperaturabnahme in den Kühlweihern dargestellt. Zur Ergänzung des Detailprojekts wurde im Auftrag des Bauherrn auch einen Spezialbericht zur Überprüfung des Einflusses der Einleitung des warmen Wassers in den Fluss auf die Wasserfauna erfasst [4].

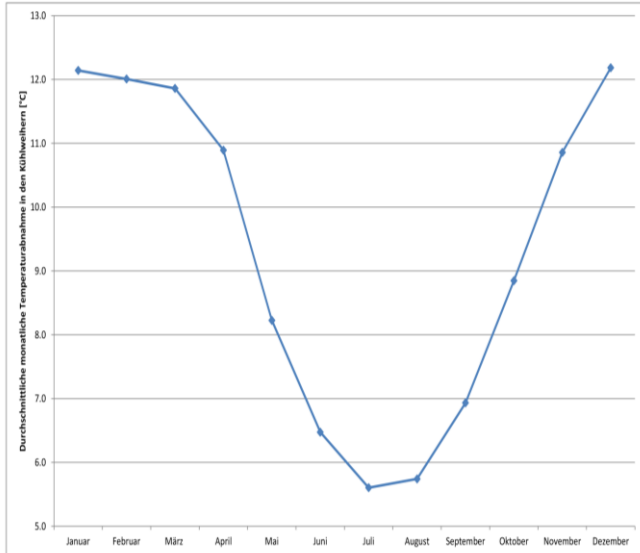


Abbildung 3: Durchschnittliche monatliche Temperaturabnahme in den Kühlweihern (°C) (Quelle: IG GBTS)

Der Abbildung 3 ist zu entnehmen, dass im Winter eine durchschnittliche Temperaturabnahme von ungefähr 12°C und im Sommer von ungefähr 6°C prognostiziert wird. Während kälterer Perioden ist die Abkühlung noch grösser. Im Sommer wird sich während sehr heisser, feuchter Tage mit starkem Sonnenschein und Windstille in seltenen Fällen das Wasser während der Mittagsstunden sogar ein bisschen erwärmen.

Technische Aspekte und Besonderheiten

In früheren Projektphasen wurde vorgesehen, die Kühlweihern mit Abdichtungsfolie wasserdicht auszubilden. Eine 5 cm dicke, darüber liegende Betonschicht hätte die Abdichtungsfolie vor Beschädigungen geschützt und eine Reflexion der Sonneneinstrahlung bewirkt, was einer unerwünschten Erwärmung des Wassers entgegenwirkt. Im Rahmen der Detailabklärungen während der Ausführungsplanung [5] wurde erkannt, dass sich die einwandfreie Realisierung der Anschlüsse und der Stösse der Abdichtungsfolie als technisch sehr schwierig ergeben hätte. Schlussendlich wurde aber beschlossen, einen 25 cm dicken Betonboden auszuführen, dessen Kosten mit denjenigen der Lösung mit Abdichtungsfolie vergleichbar sind.

Die Kühlweihern sind 10 m breit im ersten, oberen Teil und werden schmaler im unteren Teil, wo sie nur noch 6 m breit sind. Diese Lösung wurde erforderlich, um sich den Landparzellen im Besitz der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) anzupassen. Die Gesamtlänge der Kühlweihern beträgt fast 300 m. Wenn alle drei Kühlweihernlinien im Betrieb sind, beträgt die minimale Fließgeschwindigkeit ungefähr 8 mm/s, im unteren Teil des Kühlweihern, wo die Becken nur 6 m breit sind, 14 mm/s. In Abbildung 4 ist ein Querschnitt eines einzelnen Kühlweihern ersichtlich.

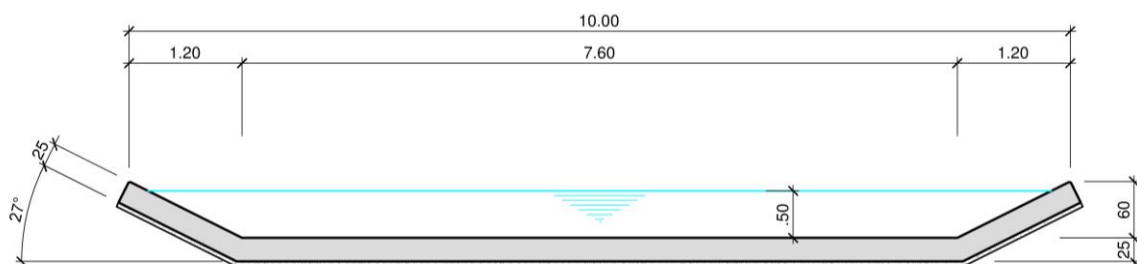


Abbildung 4: Querschnitt Kühlweihern (Quelle: IG GBTS)

Die Kühlweiher bestehen aus Stahlbeton NPK G mit einer Dicke von 25 cm und wurden nach Dichtigkeitsklasse 3 nach Norm 272 (2009) des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) ausgeführt. Jede 20 m gibt es eine 3 cm breite Dilatationsfuge, um Risse in den Kühlweihern zu vermeiden. Das Bergwasser wird mittels eines 1 m breiten Betonkanals, der sich in drei Einleitungen verästelt, in die Kühlweiher übergeben. Die Speisung der Kühlweiher erfolgt anhand von drei manuell regulierbaren Überfallwehren, das Wasser kann so gleichmässig in die drei Kühlweiher verteilt werden. Im Falle von Unterhaltsarbeiten und Reinigungsarbeiten können die Kühlweiher alternierend betrieben werden.

Landschaft

Alle Aussenanlagen des Entwässerungssystems wurden sorgfältig in die Landschaft integriert; dies erfolgte in en-

ger Zusammenarbeit mit der Begleitgruppe für Gestaltung (BGG). Besondere Begutachtung wurde den Kühlweihern geschenkt, da sie ein grosses und sichtbares Bauwerk sind. Die Linienführung der Kühlweiher wurde so gewählt, dass sie sich an diejenige der Gemeindestrasse und der Autobahn A2 gut anpasst (vgl. Abbildungen 1 und 2). Das gesamte Areal der Kühlweiher wird mit Steinplatten aus Gneis der abgerissenen alten SBB-Linie begrenzt, so wurden typische Elemente der Landschaft aufgewertet. Für die Überquerung der Kühlweiher wurden drei Stahlbeton-Bogen-Passerellen realisiert. Um das Bauwerk noch besser in die Landschaft zu integrieren, wurden verschiedene Bäume gepflanzt: Föhren, Eichen und Linden. Begrünt wurde die Fläche von 16'700 m² rund um die Kühlweiher und Rückhaltebecken mit autochthonen Trockenwiese-Grasarten. Nördlich des Kühlweihers wurde eine Fettwiese von 3'300 m² eingesät.

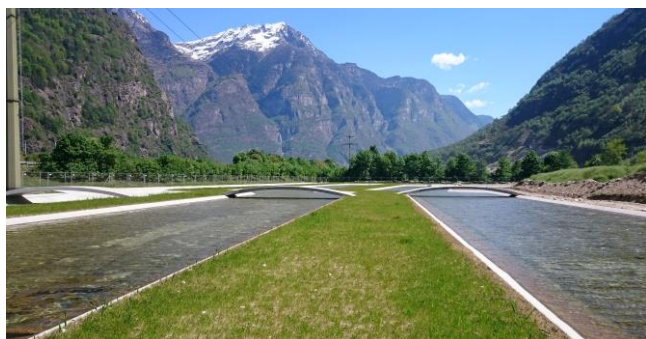


Abbildung 5: Blick Richtung Süden in Wasserfliessrichtung, Foto am 24. April 2015 aufgenommen (Quelle: IG GBTS)



Abbildung 6: Blick Richtung Süden in Wasserfliessrichtung, Foto am 19. Februar 2015 aufgenommen um 9 Uhr (Quelle: IG GBTS)

Referenzen

- [1] IG GBTS. Progetto di Dettaglio, Sistema separato smaltimento acque di galleria, "RelazioneTecnica". LO 5492.2-R-005, 23. November 2012
- [2] IG GBTS. Progetto di Dettaglio, Sistema separato smaltimento acque di galleria, "Effetti immissione dell'acqua di galleria nel fiume Ticino". LO 5492.2-R-006, 23. November 2012
- [3] IG GBTS: Progetto di Dettaglio, Sistema separato smaltimento acque di galleria, "Studio sull'abbassamento della temperatura dell'acqua di galleria nei laghetti di raffreddamento". LO 5492.2-R-007, 23. November 2012
- [4] OIKOS 2000. Galleria di base del San Gottardo – Portale Bodio, "Sistema separato smaltimento acque di galleria – Valutazione degli effetti sulla fauna ittica e sull'ecosistema acquatico", rapporto, 8. Mai 2012
- [5] IG GBTS: Progetto Esecutivo, Sistema separato smaltimento acque di galleria, Lotto 516, Baubeginn 4. März 2014, Bauende ca. Ende 2015

Impressum

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften

www.satw.ch

August 2016

Dieser Artikel entstand für die SATW Rubrik „Im Fokus“ zum Thema Gottardo 2016.

Gestaltung: Claudia Schärer

Bilder: IG GBT Süd