

Bemessungsansätze für den Wasserandrang von Bestandstunneln

Für Sanierungsmaßnahmen oder wasserrechtliche Belange sind Kenntnisse zum Wasserandrang im und am Tunnel erforderlich.

CONSTANZE FRÖHLICH | ANDREAS DRUMM

Durch die Umwelt- & Geo-Services des Regionalbereichs Südost der DB Engineering & Consulting GmbH wurden Ansätze zur Berechnung des Wasserzuflusses entwickelt. Hiermit eröffnen sich Möglichkeiten einer überschlägigen Ermittlung des Wasserzustroms an Tunneln ohne umfangreiche hydrogeologische Untersuchungen. Ein besonderes Augenmerk wurde hierbei darauf gelegt, für die Bemessung Spitzenwerte, also den „ungünstigsten“ Fall des maximalen Wasserandrangs zu ermitteln. Die Methodik wurde zur Erlangung wasserrechtlicher Erlaubnisse für mehrere Entwässerungen von Bestandstunneln erfolgreich angewendet. Nachfolgend werden Grundlagen der Methodik erläutert und wird die Vorgehensweise am Beispiel des Mühlhorntunnels im Elbsandsteingebirge dargestellt.

Hydrogeologische Kategorisierung von Tunneln

Im Gegensatz zu Gleis- und Brückenentwässerungen wird im Tunnel nicht das Niederschlagswasser, sondern das Berg-, Sicker- und Grundwasser entwässert. Somit ist bei der Bemessung der Entwässerung im Tunnel nicht das unmittelbar vorausgegangene Extremniederschlagsereignis zu betrachten, sondern je nach Lage im oder oberhalb des Grundwassers der Grundwasserzufluss und das Sickerwasser, das aus der Grundwasserneubildung in den Tunnel eintritt. Daher sind zur überschlägigen Berechnung der dem Tunnel zufließenden Wassermengen

- die Lage der Tunnelsohle zum Grundwasserspiegel,
- die Beschaffenheit des tunnelumgebenden Gesteins hinsichtlich des Zerrüttungsgrades und des Trennflächengefüges
- sowie die Beschaffenheit und Nutzung der Oberfläche des Tunnelleinzugsgebietes entscheidend.

In Abhängigkeit von der konkreten geologischen und hydrogeologischen Standortssituation lassen sich die in Abb. 1 dargestellten Tunneltypen und deren Auswirkung auf die Tunnelentwässerung klassifizieren. Liegt die Tunnelsohle oberhalb des Grundwasserspiegels (Typ A), so kann im Tunnel nur Sickerwasser der Grundwasserneubildung anfallen [1]. Für Tunnel im Grundwasserwechselbereich (Typ B) wird zusätzlich mit der Tunnelentwässerung das Grundwasser erfasst. Die Tunnelröhre wirkt als Drain, was zur Grundwasserabsenkung im Tunnelbereich führt. Für die Mengenberechnung des anfallenden Wassers sind dann großräumige Kenntnisse zur Geohydraulik wie Grundwasserfließrichtung, hydraulisches Gefälle, Durchlässigkeit und Größe des Einzugsgebietes erforderlich [1]. Für die Berechnung der Grundwasserneubildung und Ausgrenzung des Einzugsgebietes der Tunnelentwässerung ist ebenfalls der Gesteinstyp im Tunnelverlauf bedeutsam –

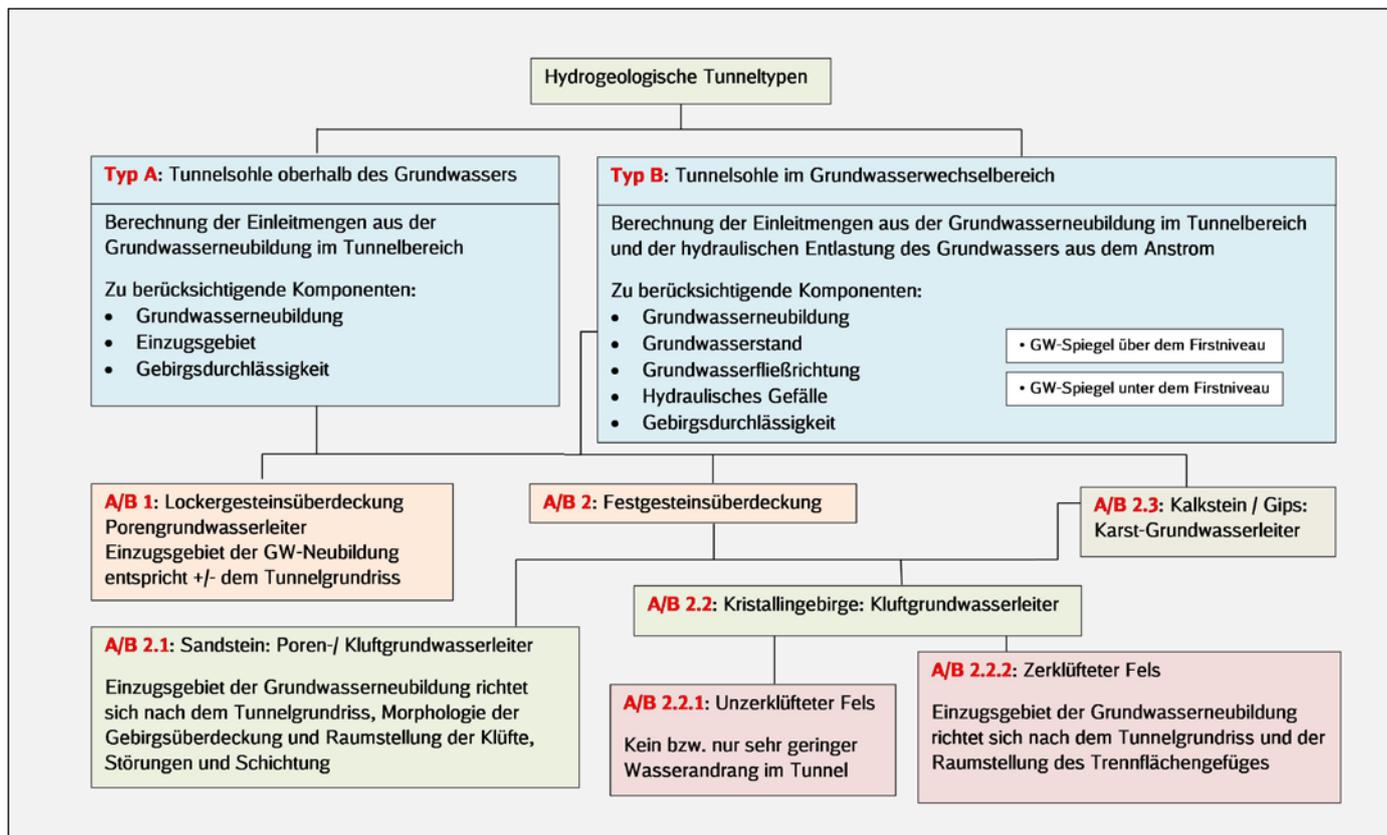


Abb. 1: Einteilung der Tunneltypen nach geologischen und hydrogeologischen Standortverhältnissen

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Engineering & Consulting / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

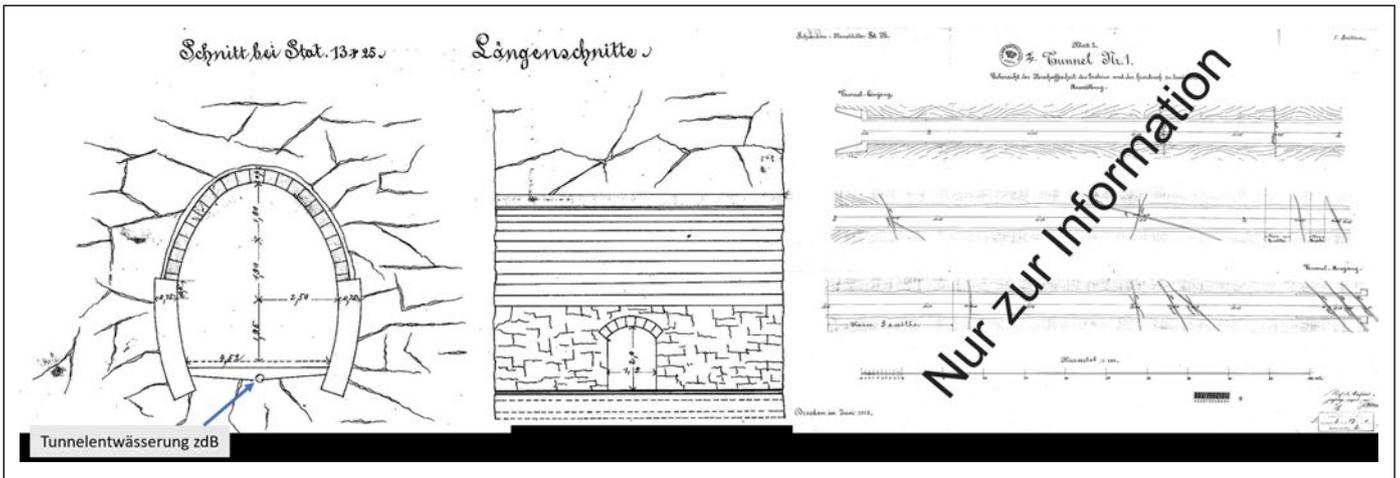


Abb. 2: Schnittdarstellung des zerklüfteten umgebenden Festgesteins im Tunnel ca. 20 m vom Südportal entfernt (links) und Raumstellungen der Trennflächen (Klüfte, Störungen), Tunnelaufnahme vom Mai 1878 Quelle: [8]

handelt es sich um einen Porengrundwasserleiter im Lockergestein (Typ A/B 1) oder um einen Klüftgrundwasserleiter im Festgestein (Typ A/B 2), wobei hier auch der Sonderfall im Sandstein der Poren- und Klüftgrundwasserleiter (Typ A/B 2.1) und im Kalkstein, Gips und Anhydrit der Karstgrundwasserleiter (Typ A/B 2.3) hervorzuheben sind. Der Zerklüftungsgrad und das Trennflächengefüge haben aufgrund der erhöhten Wasserwegsamkeiten ebenfalls einen direkten Einfluss auf die Größe des Einzugsgebietes der Tunnelentwässerung.

Berechnungsbeispiel Mühlhorntunnel

Randbedingungen

Der Mühlhorntunnel befindet sich an der Strecke 6216 (Sebnitz – Bad Schandau) im Elbsandsteingebirge und weist eine Länge von ca. 377 m auf. Die Höhe des aus dem Festgestein ausgebrochenen Tunnelprofils beträgt ca. 10 m. Das im Festgestein hinter der ge-

mauerten Tunnelschale anfallende Sickerwasser wird gefasst und einer in der Tunnelsohle mittig verlaufenden Entwässerung zugeführt. Der Tunnel entwässert als Direkteinleitung in den Vorfluter Lachsbach. Im Hinblick auf die wasserrechtliche Erlaubnis für diese Direkteinleitung war der Tunnel zu bewerten. Der Tunnel verläuft mit einer Gebirgsüberdeckung von ca. 30 – 90 m im Festgestein, dem Quadersandstein der Oberen Kreideformation (Turon – t_{ES}). Oberflächenah ist der Sandstein auf den Hochflächen zu Gehängelehm (d_4) verwittert [6]. Die Tunnelsohle liegt oberhalb des Grundwasserspiegels. Das umgebende Festgestein ist stark zerklüftet und gestört [2]. Die Raumstellung der Klüfte ist Nordost/Südwest, Ost/West und Südwest/Nordost gerichtet und bildet teilweise Klüftscharen. Die Gesteinsschichtung ist nahezu horizontal eben ohne nennenswerte Neigung ausgebildet. Der Quadersandstein ist ein Poren- und Klüftgrundwasserleiter („Zweiporositätsmedi-

um“ nach [3]). Somit ist für den Wasserzustrom nicht nur die Raumstellung der Trennflächen für die Ermittlung des Einzugsgebietes relevant, sondern auch das Korngefüge des überlagernden Gesteins (Abb. 2). In den Altunterlagen von 1878 zur Errichtung des Tunnels [8] wurde die Raumstellung der Trennflächen dokumentiert.

Der Mühlhorntunnel ist aufgrund der hydrogeologischen Standortsituation dem Tunneltyp A2.1 (Abb. 1, Lage der Tunnelsohle über dem Grundwasser, Verlauf im Sandstein (Poren-/Klüftgrundwasserleiter)) zuzuordnen.

Betrachtungen zur Grundwasserneubildung

Bei der Berechnung der Wassermenge aus der Grundwasserneubildung im Tunnel sind die Größe des Einzugsgebietes und die Grundwasserneubildungsrate zu ermitteln. Die Grundwasserneubildungsrate kann über einfache Methoden als Jahresdurchschnitts-

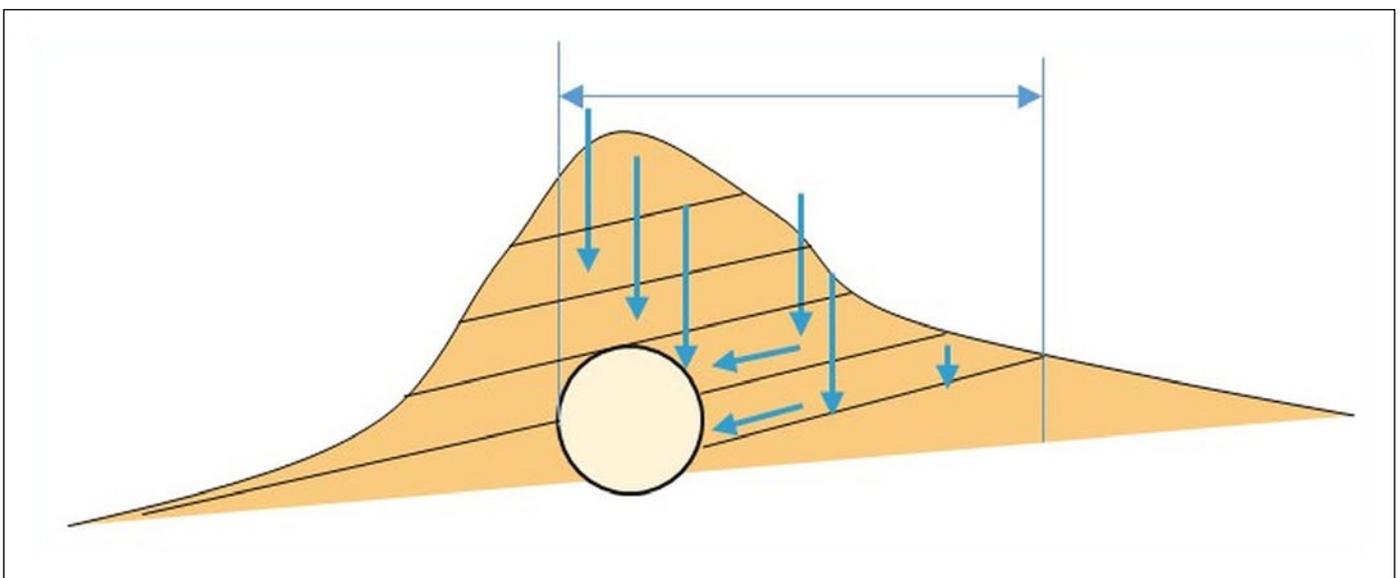


Abb. 3: Einzugsgebiet im Festgesteinsgrundwasserleiter

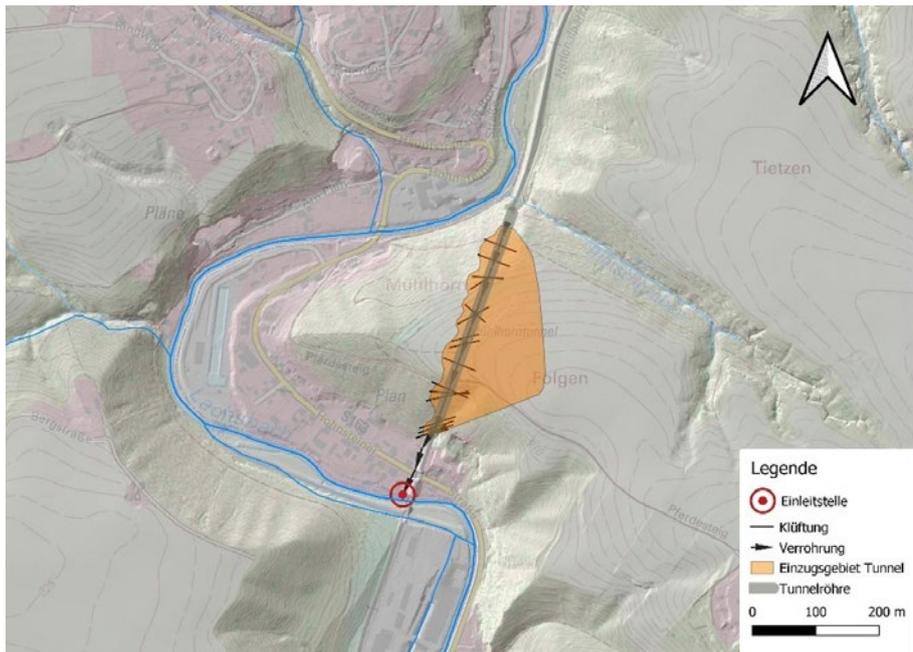


Abb. 4: Abgrenzung des Einzugsgebietes des Mühlhorntunnels (Verlauf im Poren- / Kluftgrundwasserleiter)

wert berechnet bzw. auf entsprechenden Wasserhaushaltsportalen abgerufen werden, doch sind bei der Bemessung keine Durchschnittswerte, sondern Spitzenwerte anzusetzen, um die schadlose Ableitung und die ausreichende Dimensionierung der Anlage nachweisen zu können. Hierzu wer-

den im Kapitel „Ermittlung der Spitzenwerte der Grundwasserneubildung“ weitere Festlegungen getroffen. Um die Größe des Einzugsgebietes der Grundwasserneubildung zu ermitteln, sind standortspezifische Kenntnisse zur Geologie, Hydrogeologie, Grundwasserstand- und

Grundwasserdynamik, Beschaffenheit und Nutzung der Oberfläche des Deckgebirges erforderlich.

Abgrenzung des Einzugsgebietes

Das Einzugsgebiet von Tunneln im Festgestein wird maßgebend bestimmt durch das Trennflächengefüge. Trennflächen wie Störungen, Klüfte, Schiefer- und Schichtflächen bilden Bereiche erhöhter Wasserwegsamkeiten. Daher wird durch die Raumlage der den Tunnel schneidenden Trennflächengefüge der hydraulisch wirksame Gebirgsraum im Umfeld des Tunnels und somit das Einzugsgebiet bestimmt (Abb. 3).

So gilt es, die Raumstellung der Trennflächen mit erhöhten Wasserwegsamkeiten zu ermitteln bzw. aus tektonischen Karten abzuleiten (Abb. 4). Am Mühlhorntunnel ist bei der Festlegung des Einzugsgebietes zusätzlich eine vertikale Fließkomponente aufgrund der Wasserwegsamkeiten in den Poren des Sandsteins zu berücksichtigen. Grundsätzlich sucht sich das Sickerwasser entsprechend der Schwerkraft folgend senkrechte Fließwege im Gestein. Für eine horizontale Entlastung sorgt die Tunnelröhre, sodass auch eine horizontale Fließkomponente an Schichtgrenzen, Kluft- bzw. Störungszonen sowie im Porenraum des Sandsteins wirkt. Im Lockergestein bzw. stark zersetzten Festgestein entspricht die horizontale Reichweite in etwa der Tunnelhöhe (hydraulisches Gefälle = 1). Die Tunnel-

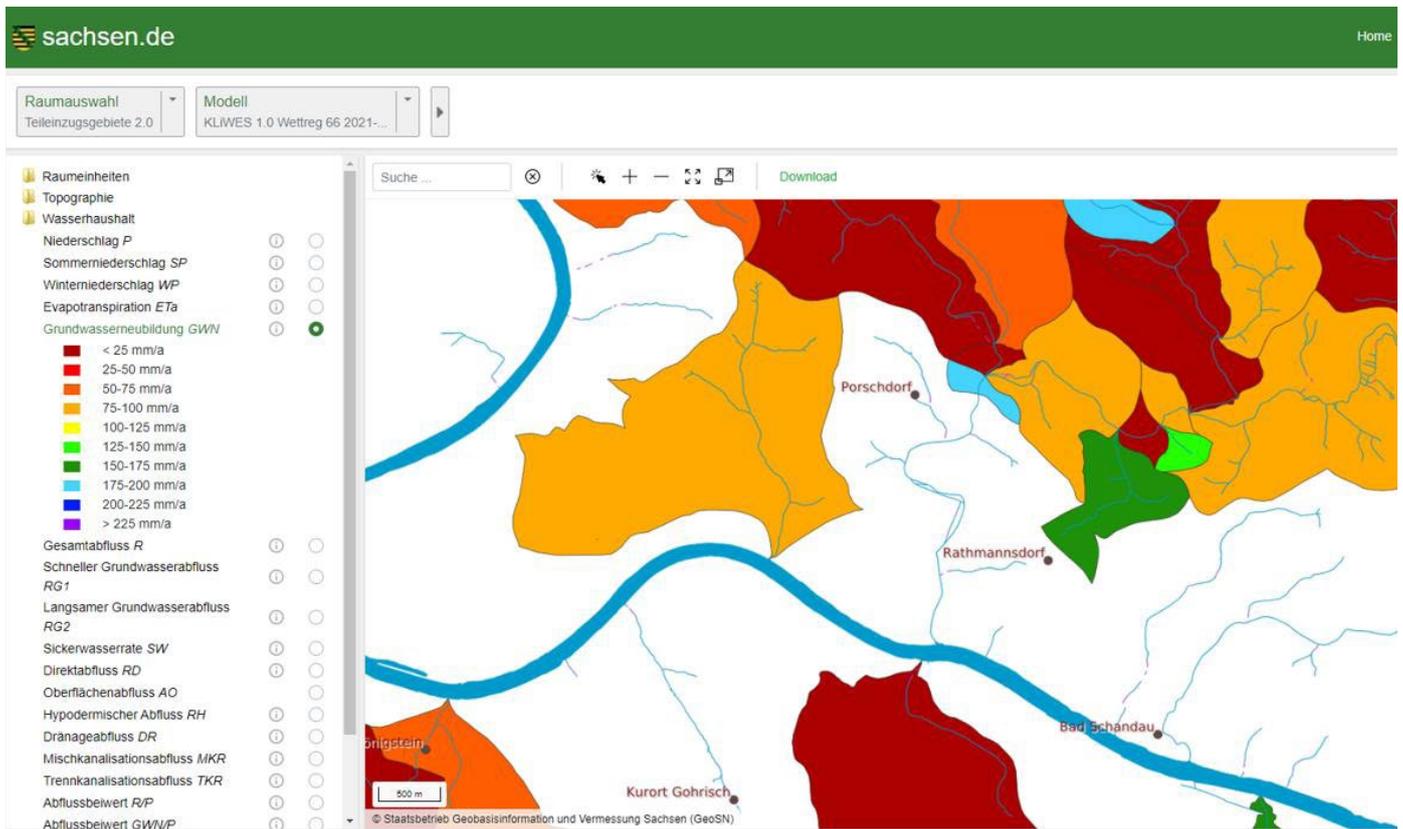


Abb. 5: Karte der mittleren Grundwasserneubildung 1988 – 2010

Quelle: [4]

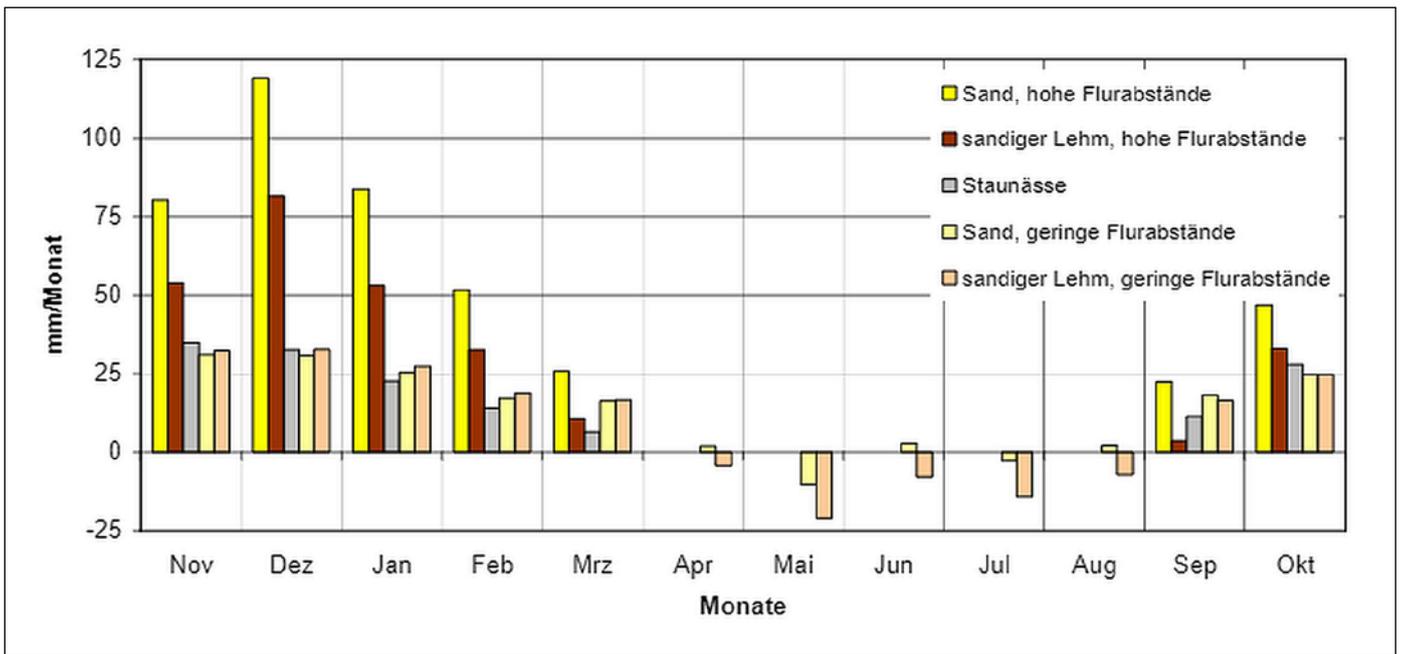


Abb. 6: Monatliche Grundwasserneubildung unterschiedlicher Böden und Flurabstände bei Grünlandnutzung und geringer Hangneigung Quelle: [7]

höhe beträgt ca. 10 m. Die Reichweite der horizontalen Fließkomponente wird auf der sicheren Seite liegend für den ungeklüfteten Sandstein mit 13 m und in ausgebildeten Klüftzonen mit 20 m angesetzt. Die für den Mühlhorntunnel ermittelte Einzugsgebietsgröße beträgt 59 880 m².

Oberflächenbeschaffenheit und Nutzung im Tunneleinzugsgebiet

Wesentliche Wasserhaushaltskomponenten, die direkten Einfluss auf die Grundwasserneubildung haben, sind die Anteile des Niederschlages, die durch Verdunstung, Evapotranspiration und den Oberflächenabfluss nicht der Grundwasserneubildung zugutekommen. Aus diesem Grunde sind die Morphologie der Oberfläche, die Nutzung und Vegetation im Tunneleinzugsgebiet zu betrachten.

Ermittlung der Spitzenwerte der Grundwasserneubildung

Aus dem Informationssystem des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) [4], wird für den umgebenden Tunnelbereich eine mittlere Grundwasserneubildungsrate (Jahreswert 1988 – 2010) zwischen 121 mm/a (hellblau) und 248 mm/a (dunkelblau) ausgewiesen (Abb. 5).

Unter Zugrundelegung des Maximalwertes von 248 mm/a (auf der sicheren Seite liegend) ist bezogen auf das Einzugsgebiet der Tunnelentwässerung A1 von 59 880 m² eine durchschnittliche Abflussmenge von 0,47 l/s zu berechnen.

Die ermittelte Abflussmenge von 0,47 l/s stellt einen Durchschnittswert der jährlichen Grundwasserneubildungsrate dar. Als Bemessungsgrundlage sind jedoch Spitzenwerte, also der „ungünstigste“ Fall des maximalen Wasserandrangs am Tunnel nach Perioden starker Niederschläge, heranzuziehen. Unter dieser Prämisse ist der Zeitraum mit der geringsten Verdunstung und Evapotranspiration in Verbindung mit einem langanhaltenden Regenereignis oder Schneeschmelze zu betrachten. J. Meßer [7] untersuchte die monatlichen Grundwasserneubildungsrate für verschiedene Bodenarten im mitteleuropäischen Raum und kam zu dem Ergebnis, dass in dem Monat Dezember die größten Grundwasserneubildungsrate zu verzeichnen sind. In diesem Monat findet im mitteleu-

ropäischen Raum die geringste Verdunstung und Evapotranspiration statt (Abb. 6). Das gemäß KOSTRA-Atlas ergiebigste Regenereignis (größte Wassermenge über einen langen Zeitraum) ist das 72-stündige Regenereignis. Auf einer ebenen Oberfläche mit belebter Bodenzone ohne Versiegelung kann der Oberflächenabfluss gleich null gesetzt werden, sodass davon auszugehen ist, dass der gesamte Regenabfluss der Grundwasserneubildung zugutekommt. In einem Waldgebiet hingegen beträgt die Verdunstungsrate im Monat Dezember ca. 15 % [10]. Am Mühlhorntunnel wird deshalb im Waldgebiet eine 15-prozentige Verdunstung bzw. Evapotranspiration angesetzt.

Aspekt des verzögerten Abflusses

Die Wassermengen aus der Grundwasserneubildung erreichen die Einleitstelle aufgrund des Sickerweges im Gebirge verzögert. Das Sickerwasser muss erst die Gebirgsüberdeckung passieren, um in der Tunnelentwässerung bzw. an der Einleitstelle anzukommen.

Damit der Wasserandrang nicht überdimensioniert bemessen wird, ist die Zeitspanne

Parameter	Einheit	Zahlenwert
Wiederkehrintervall, Jährlichkeit T	[a]	10
Dauerstufe D	[h]	72
Niederschlagsspenden rN	[l/(s*ha)]	4,5
Abzügl. Verdunstungsrate 15 %	[l/(s*ha)]	3,8
Entwässerte Tunnelfläche AE	[m ²]	59 880
Der Grundwasserneubildung zugeführte Wassermenge Q aus einem 72-stündigen Starkregenereignis im Monat Dezember	[l/s] [m ³ /72 h]	22,74 5998

Tab. 1: Berechnungswerte

Trimble Track Survey & Scanning

Parameter	Einheit	Zahlenwert
Spitzenwasserabfluss (Grundwasserneubildung nach 72-stündigem Regenerereignis im Monat Dezember) ohne Verzögerung bis zur Einleitstelle	[l/s]	22,8
Spitzenwasserabfluss unter Berücksichtigung der Verzögerung	[l/s]	4,9
Jahresdurchschnittswert der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet	[l/s]	0,47
Quellschüttmessung	[l/s]	0,05

Tab. 2: Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Wassermengen aus der Tunnelentwässerung

des verzögerten Eintritts in die Tunnelentwässerung aus dem Durchlässigkeitsbeiwert und der Mächtigkeit der Gebirgsüberdeckung zu berechnen.

Der Mühlhorntunnel wird vom Gebirge ca. 30–90 m (im Durchschnitt 60 m) überlagert. Für das Festgestein wird in [5] eine horizontale Durchlässigkeit von $>1E-5 - 1E-4$ m/s ausgewiesen. Die vertikale Durchlässigkeit beträgt im Regelfall $\frac{1}{2}$ kf-Wert der horizontalen Durchlässigkeit. Unter Ansatz des oberen Wertes der Spannweite der Durchlässigkeiten entspricht der kf-Wert im vorliegenden Fall vertikal = $5E-5$ m/s.

$$T (\text{verzögerter Abfluss}) = 60 \text{ m} / 5E-5 \text{ m/s} = 1,2 E6 \text{ s} = 13,88 \text{ Tage}$$

Die aus dem 72-stündigen Regenerereignis zu ermittelnde Wassermenge ist demzufolge auf 13,88 Tage aufzuteilen.

Berechnung

Die Berechnung der innerhalb des Tunnels abgeleiteten und in den Vorfluter eingeleiteten maximalen Wassermenge Q mit

$$Q = \max. GW_{\text{neu}} (= rN_{72h(10a)}) * A_E$$

ist der Aufstellung in Tab. 1 zu entnehmen. Die maximal in die Vorflut eingeleitete Wassermenge Q beträgt bei dem theoretischen Spitzenwert der Grundwasserneubildung (Regendauer 72 h/Häufigkeit zehn Jahre im Monat Dezember) 5898 m^3 . Unter Berücksichtigung der Verzögerung durch die Gebirgsüberdeckung des Tunnels von 13,88 Tagen entspricht diese Wassermenge

$$5898 * 1000 / 86400 * 13,88 = 4,9 \text{ l/s}$$

Plausibilitätsprüfung

Die berechneten Werte werden dem berechneten Spitzenwert (72-stündiges Regenerereignis im Monat Dezember) und dem Jahresdurchschnittswert gegenübergestellt (Tab. 2). Die Messung der Wasserschüttung der Tunnelentwässerung erfolgte im August 2022 nach einer extremen Trockenwetterperiode. Der Messwert der Realmessung liegt daher unterhalb des Jahresdurchschnittswertes, was im Hinblick auf die vorausgegangene Trockenwetterperiode ebenfalls plausibel erscheint. ■

QUELLEN

- [1] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (2017): Leitfaden Ermittlung geologisch-geoteknischer Grundlagen für die Planung tiefliegender Tunnel, Salzburg
- [2] <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/ida/pages/map/command/index.xhtml>, Thema Tektonik Störungen, August 2022
- [3] Stober, I. (1986): Strömungsverhalten in Festgesteinsaquiferen mit Hilfe von Pump- und Injektionsversuchen. In: Geologisches Jahrbuch, C42, S. 37-38
- [4] <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/ida/pages/map/command/index.xhtml>, Thema Wasserhaushalt Mittlere Grundwasserneubildung, September 2022
- [5] <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/ida/pages/map/command/index.xhtml>, Thema Hydrogeologie Grundwasserneubildung, Februar 2023
- [6] Geologische Spezialkarte des Königreichs Sachsen. 1:25.000 Sektion 84: Königstein und Hohnstein, Königliches Finanz-Ministerium. Bearbeitet unter der Leitung von Hermann Credner, 1892
- [7] MeBer, J. (2013): „Ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildung in Mitteleuropa“, Essen
- [8] Dokumentation der Tunnelaufnahme vom Mai 1878, IZ-Plan, DB-internes Planarchiv, Abruf August 2022
- [9] Deutscher Wetterdienst: KOSTRA-DWD - Rasterdaten zu Niederschlagshöhen und -spenden in Abhängigkeit von der Niederschlagsdauer D und der Jährlichkeit T (Wiederkehrintervall) unter https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/return_periods/precipitation/KOSTRA/KOSTRA_DWD_2010R/
- [10] Suttmöller, J.; Meesenburg, H. (2018): „Einfluss von forstlicher Bestandesentwicklung und Klimawandel auf Wasserhaushaltskomponenten im Einzugsgebiet der Langen Bramke im Harz“. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 62, S. 184–198

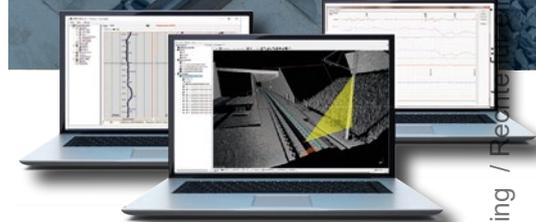
VDEI *Fachausschuss*
GEOTECHNIK



Dipl.-Geol. Constanze Fröhlich
Projektleiterin Wasserrechte
DB Engineering & Consulting GmbH,
Dresden
constanze.froehlich@db-eco.com



Dipl.-Geol. Andreas Drumm
Projektleiter Wasserrechte
DB Engineering & Consulting GmbH,
Leipzig
andreas.a.drumm@db-eco.com



INTERGEO
Halle 27
Stand E27.27

Gleiskontrolle
Bestandsaufnahme
Feste Fahrbahn
Vormessen
Lichtraumprüfung
Laserscanning

Bei den **Trimble® GEDO Systemen** werden moderne Technologien entsprechend der jeweiligen Anwendungen individuell kombiniert. Das **Trimble GEDO CE 2.0** Gleismesswagen kann mit Tachymeter, GNSS, Laserscanning und Inertialmesstechnik ausgerüstet werden. Der flexible und modulare Aufbau ermöglicht die Anpassung der **Trimble GEDO Systeme** an neue Herausforderungen und künftige Entwicklungen.

Mehr Informationen:
gedo.trimble.com

Trimble

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Engineering & Consulting / Rechte vorbehalten Downloads und Ausdrucken für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH