

Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes von Böden

Unter Berücksichtigung der Neufassung des Arbeitsblattes DWA-A 138-1 werden Verfahren zur Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes beschrieben.

ANDREAS DRUMM | CONSTANZE FRÖHLICH | ANNETTE SCHABER

Für die Planung und Bemessung von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser im Bahnbereich sind Kenntnisse zur Durchlässigkeit der Böden des Versickerungshorizontes erforderlich. Nachfolgend werden unter Bezugnahme auf die Neufassung des Arbeitsblattes DWA-A 138-1 [2] Feldverfahren zur Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes und Auswertungsmethoden hierzu beschrieben. Weiterhin werden Methoden zur Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes aus der Korngrößenverteilung gestörter Bodenproben behandelt.

Neufassung der DWA-A 138

Grundlage für die Planung und Bemessung von Versickerungsanlagen ist das Arbeitsblatt DWA-A 138. Die Neufassung des Arbeitsblattes DWA-A 138, das Arbeitsblatt DWA-A 138-1 [2], enthält gegenüber der alten Fassung vom April 2005 [1] wesentliche Änderungen.

Dies betrifft unter anderem die zulässigen Methoden zur Ermittlung der als Bemessungsgrundlage herangezogenen Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte). Nach [2] ist die Abschätzung des k_f -Wertes anhand von Boden- oder Geodaten-Karten oder der Bodenansprache von Erdaufschlüssen grundsätzlich keine geeignete Bemessungsgrundlage. Vorzugsweise sollte gemäß [2] der Durchlässigkeitsbeiwert für Planungen durch Feldversuche bestimmt werden. In [2] werden geeignete Bestimmungsmethoden sowie Korrekturfaktoren f_k zur Festlegung der Bemessungs- k_f -Werte benannt.

Im Gegensatz zu [1] geht in [2] die Umrechnung der wassergesättigten Durchlässigkeit $k_{f,u}$ zur ungesättigten Durchlässigkeit $k_{f,u}$ mit

$$k_{f,u} = \frac{k_f}{2}$$

nicht mehr in die Formeln zur Bemessung der Versickerungsanlagen ein. Um weiterhin Bemessungen auf Basis der ungesättigten Durchlässigkeit $k_{f,u}$ zu gewährleisten, wurden daher in [2] die Korrekturfaktoren angepasst. Neben den gegenüber [1] geänderten Korrekturfaktoren für die einzelnen Bestimmungsmethoden $f_{Methode}$ wird in [2] zusätzlich ein u. a. von der Variabilität und dem Kenntnisstand der Bodenverhältnisse sowie der Anzahl der Versuchsstandorte abhängiger Korrekturfaktor f_{Ort} eingeführt. Der Korrekturfaktor f_k berechnet sich wie folgt:

$$f_k = f_{Ort} * f_{Methode} \leq 1$$

Der maximal mögliche Korrekturfaktor f_k laut [2] beträgt demnach 1.

Im Folgenden werden die in Tab. 1 aufgeführten Feldversuche sowie deren Auswertung beschrieben. Aufgrund schwieriger Geländeverhältnisse sind gelegentlich Feldversuche schwer oder kaum realisierbar. In solchen Fällen ist es häufig zumindest möglich, gestörte Bodenproben zur Ermittlung der Korngrößenverteilung zu entnehmen. Daher wird die Methodik der Sieblinienauswertung kurz behandelt.

Feldversuche

Großflächige Feldversuche in Testgrube / Probeschurf

Großflächige Feldversuche können z. B. in Baggerschürfen durchgeführt werden. Die Durch-

führung von Feldversuchen in Testgruben / Probeschürfen bieten sich für die Bestimmung des k_f -Wertes in größerer Tiefe an. Problematisch ist hierbei, dass man für die Versuchsdurchführung größere Wassermengen benötigt, die in der Regel nur mit einem größeren Wassertank bzw. Tankwagen herangeschafft werden können. Für Feldversuche in Probeschürfen gibt es Versuchs- und Auswertungsvarianten für stationäre und instationäre Verfahren.

Nachfolgend wird ein instationäres Verfahren mit Auswertung nach Lang und Huder et al. [3] beschrieben. Hierfür wird über einer Grundfläche von mindestens 1 m² eine Grube bis zur Tiefe der Schicht ausgehoben, für die der k_f -Wert ermittelt werden soll. Die Versuchsdurchführung erfolgt dann dergestalt, dass der Schurf zunächst ca. eine Stunde lang immer wieder mit Wasser aufgefüllt wird, um eine Wassersättigung des Bodens zu erreichen. Danach wird das Absinken des Wasserstandes in einem bestimmten Zeitraum gemessen.

Bei der Auswertung nach [3] wird anhand der Grubenabmessungen zuerst die wirksame Versickerungsfläche und dann der äquivalente Durchmesser einer zylindrischen Grube berechnet, welcher in die Formel für den k_f -Wert eingeht.

$$k_f = d/28 * 1/h_m * \left(\frac{\Delta h}{\Delta t}\right) \text{ [m/s]}$$

mit

- L, B Länge und Breite der Grube
- $A_w = L * (B + h_m)$ wirksame Versickerungsfläche
- $d = -h_1 + \sqrt{(h_1^2 + (4 * A_w / \pi))}$ äquivalenter Durchmesser einer zylindrischen Grube
- $h_m = (h_1 + h_2) / 2$ mittlere Druckhöhe für den Messzeitraum Δt

Thema / Kriterium	Korrekturfaktoren
Variabilität der Bodenverhältnisse und Umfang / Anzahl der Versuchsstandorte (Mindestanforderungen)	$f_{Ort} = 0,3$ bis 1
Bestimmungsmethode:	
großflächige Feldversuche in Testgrube / Probeschurf ($\geq 1 \text{ m}^2$)	$f_{Methode} = 1$
kleinflächige Feldversuche:	
– kleine Testgrube / Probeschurf ($< 1 \text{ m}^2$)	$f_{Methode} = 0,9$
– Doppelzylinder-Infiltrometer	$f_{Methode} = 0,9$
– Open-End-Test	$f_{Methode} = 0,8$
Laborverfahren mit gestörten Proben / Sieblinienauswertung für Sandböden	$f_{Methode} = 0,1$

Tab. 1: Feldversuche und Sieblinienauswertung mit Korrekturfaktoren nach DWA-A 138-1 [2]

Quelle: Andreas Drumm



Abb. 1: Versuchsdurchführung kleine Testgrube (nach Mahabadi / Zunker) Quelle: Christian Oltmanns

- Δt Differenz, Zeitintervall $t_1 - t_2$
- h_1 Ausgangsdruckhöhe, Füllhöhe bei Beginn
- h_2 Druckhöhe zur Messzeit t_2 am Ende
- Δ_h Druckdifferenz $h_1 - h_2$.

Kleine Testgrube / Probeschurf (< 1 m²)

Es ist eine Schürfgrube mit Abmessungen von mind. 30 cm x 20 cm und einer Schurftiefe von mindestens 30 cm auszuheben (Abb. 1). Für Rigolenversickerungen müssen

entsprechend tiefere Schürfe ausgeschachtet werden.

Die Schurfsohle ist eben herzurichten und der bei der Schurfdurchführung festgestellte Untergrundaufbau ist aufzunehmen sowie zu dokumentieren. Der Schurf ist so lange vorzubewässern, bis eine annähernde Sättigung erreicht ist.

Bei annähernd konstantem Wasserstand im Schurf wird die Absenkung des Wasserstandes im Schurf pro Zeiteinheit gemessen. Durch die permanente Zufuhr von Wasser wird der Wasserstand annähernd konstant gehalten.

Die niedrigste Versickerungsrate (Q_{min}) – nach der Durchführung von mehreren Versuchsintervallen errechnet – entspricht nach Mahabadi [4] annähernd der des gesättigten Schurfkörpers. Der k_f -Wert berechnet sich gemäß Mahabadi [4] und nach Zunker [5] wie folgt:

Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]:

$$k_f = \frac{Q_{min}}{\left(\frac{s+h}{s}\right) * L * d}$$

- L: Länge des Schurfes [m]
- d: Breite des Schurfes [m]
- h: Wasserstand im Schurf [m]
- S: Abstand des Grundwassers zur Schurfsohle [m]



Beständig flexibel.



- Präzise Feuchte- und Temperatur-Überwachung in der Umgebungsluft zur genauen Steuerung der Raum- und Prozessluft
- Verschiedene Bauformen für eine Vielzahl an Applikationen
- Langlebigkeit der Produkte, mit geringem Wartungsaufwand
- Einfache Installation über etablierte Schnittstellen, geringer Montageaufwand
- Optionales CO₂-Modul zur Überwachung der Luftqualität

More than **sensors + automation**

www.jumo.net

Feuchte- und Temperatur-Messumformer mit optionalem CO₂-Modul JUMO hydroTRANS Serie

Die Messumformer der JUMO hydroTRANS Serie arbeiten mit dem kapazitiven Messverfahren. Die verschiedenen Ausführungseignen sich für den Einsatz im Gebäudemanagement und der Klimaüberwachung. Die Feuchtemessgeräte sind mit verschiedenen Schnittstellen verfügbar und zeichnen sich durch Montagefreundlichkeit, Robustheit und eine zuverlässige Sensorik aus.

Wir sind dabei:
Railway-Forum 2023



Abb. 2: Versuchsdurchführung Doppelring-Infiltrometer

Quelle: Andreas Drumm

- Q_{\min} : Mindestversickerungsrate [m^3/s]; niedrigste, bei annähernder Sättigung des Bodens gemessene Versickerungsrate.

Doppelzylinder-Infiltrometer

Der Doppelzylinder-Infiltrometer, bestehend aus einem Innen- und einem Außenring, ist aus nichtrostendem Stahlblech gefertigt und an der Unterkante mit einer Schneide versehen. Der Durchmesser des Innenrings sollte 28 cm bis 32 cm betragen, der des Außenrings jeweils das Doppelte des Innenrings. Die Ringe

müssen mindestens 25 cm hoch sein (Abb. 2). Die Bestimmung der Wasserinfiltration in Böden gemäß DIN 18682-7 [6] kann mit einem stationären und einem instationären Verfahren realisiert werden. Die Durchführung des stationären Verfahrens ist mit einem apparativen Aufwand zur Gewährleistung einer konstanten Stauhöhe von 10 cm durch Mariotte'sche Flaschen oder Schwimmventile verbunden. Daher wird nachfolgend die leichter realisierbare Variante des instationären Verfahrens gemäß DIN 18682-7, Pkt. 4.3.3 beschrieben.

Der Innen- und der Außenring sind ca. 5 cm tief in den Boden einzuschlagen. Eventuelle Hohlräume oder Undichtigkeiten und somit potenzielle Wasserumfläufigkeiten, die durch das Einschlagen der Ringe im Bereich des Ringspaltes entstehen können, sind mit geeignetem Material, z.B. Bentonit an der Ringaußenseite abzudichten.

Der Außenring und sofort danach der Innenring sind mit Wasser bis zu einer Höhe von etwa 5 cm bis 10 cm zu füllen. Danach ist die Messung zur Bestimmung des Infiltrationsverlaufes direkt zu starten. Hierbei wird die Infiltrationsrate über eine Messung der Absenkung im Innenring pro Zeitintervall mittels Messbrücke und Stoppuhr bestimmt.

Während der Messungen dürfen die Ringe nicht trockenfallen. Daher sind Außen- und Innenring nach einem Messdurchgang wieder aufzufüllen. Die Messungen werden so lange wiederholt, bis die Infiltrationsrate einen nahezu konstanten Wert erreicht hat, d.h. die Infiltrationsmenge pro Zeiteinheit sich nicht mehr wesentlich ändert. Dann kann von einer ausreichenden Sättigung des Bodens ausgegangen werden.

Der k_f -Wert berechnet sich nach [6] wie folgt:

Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]:

$$k_f = I_D * 0,001$$

- I_D : Infiltrationsrate des Doppelzylinder-Infiltrometers [mm/s] (Infiltrationsrate wird aus der Ablesung der Absenkung auf der Skala des Messzylinders der Messbrücke ermittelt):

$$I_D = \frac{H_W}{t_I}$$

- H_W : Höhenänderung des Wasserspiegels im Innenring des Doppelzylinder-Infiltrometers [mm/s]
- t_I : Infiltrationszeit [s].

Open-End-Tests gemäß USBR

In der Regel werden Open-End-Tests unter stationären Bedingungen gemäß USBR Earth Manual 1963 [7] in Sondierlöchern von Kleinrammbohrungen (KRB) durchgeführt (Abb. 3). Es besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit einer Durchführung in Handbohrungen.



Abb. 3: Versuchsdurchführung Open-End-Test

Quelle: Andreas Drumm

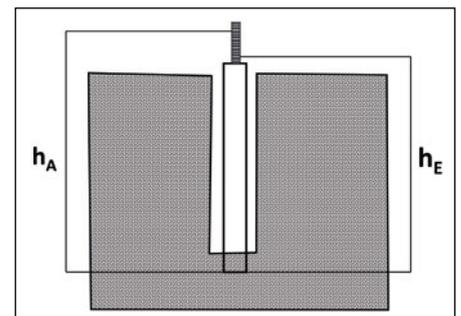


Abb. 4: Eingangsgrößen Anfangshöhe h_A und Endhöhe h_E des Open-End-Tests

Quelle: Andreas Drumm

Methode	Anwendungsbereich	Formel
Beyer [8]	U = 1 – 20, nicht für bindige Böden	$k_f = C * d_{10}^2$ oder s. Abb. 5
Hazen [9]	U < 5, nicht für bindige Böden	$k_f = 0,0116 * (d_{10} \text{ in mm})$
Mallet & Paquant [10]	U > 20 (gemischtkörnige Sedimente)	$k_f = 0,0036 * (d_{20} \text{ in mm})$

$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ (dimensionslos)
 d_{60} = Korndurchmesser bei 60-prozentigem Siebdurchgang
 d_{20} = Korndurchmesser bei 20-prozentigem Siebdurchgang
 d_{10} = Korndurchmesser bei 10-prozentigem Siebdurchgang / Schlammung
 C = Proportionalitätsfaktor (empirischer Gesteinsbeiwert)

Tab. 2: Methoden zur Ermittlung des k_f -Wertes aus der Korngrößenverteilung

Quelle: Constanze Fröhlich

Petrographische Bedingungen	U	Gültigkeitsbereich	C
reiner Sand, kiesiger Sand	1 – 3	$d_{10} = 0,1 - 0,6 \text{ mm}$	0,0139
reiner Sand, kiesiger Sand	3 – 5	$d_{10} = 0,1 - 0,6 \text{ mm}$	0,0116
schwach schluffiger Sand für $d_{0,01} < 2 \%$	5	$d_{10} = 0,1 - 0,6 \text{ mm}$	0,0093
schwach schluffiger Sand für $d_{0,01} < 2 \%$	5	$d_{10} = 0,08 - 0,6 \text{ mm}$	0,0070
schwach schluffiger Sand für $d_{0,01} < 4 \%$	5	$d_{10} = 0,06 - 0,6 \text{ mm}$	0,0046

Tab. 3: Abhängigkeit des empirischen Beiwertes C von der Gesteinsart

Quelle: [8]

Vor Durchführung des Open-End-Tests wird eine KRB oder Handbohrung mindestens bis zum Tiefenniveau der Unterkante der Versickerungsanlage abgeteuft und der Untergrundaufbau aufgenommen und dokumentiert. Dann wird ein Pegelrohr (Vollrohr) in das Sondierloch derart eingebracht, dass eine Infiltration nur über die Rohrquerschnittsfläche in die Bohrsohle erfolgen kann.

Bevor die eigentliche Messung durchgeführt wird, ist eine ausreichende Vorsättigung im Versickerungshorizont sicherzustellen. Danach wird Wasser in das Pegelrohr von oben eingegeben, wobei ein freier Spiegel innerhalb des Rohres, nach Möglichkeit an der Rohroberkante, gemessen wird. Durch Wasserzugaben ist der Wasserspiegel im Rohr möglichst konstant zu halten. Es sind jeweils die Anfangshöhen (h_A) und die Endhöhen (h_E) am Beginn und am Ende vorgegebener Messintervalle und die innerhalb eines Messintervalls zugeführte Wassermenge zu notieren (Abb. 4).

Der k_f -Wert berechnet sich nach [7] wie folgt:

- Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]:

$$k_f = \frac{Q}{5,5 * r * H}$$

- r: Pegelinnenrohrradius [mm]
- H: mittlere Überstauhöhe [m]:

$$H = (h_A + h_E) * 0,5$$

- Q: Durchfluss [ml/s]:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Laborverfahren Sieblinienauswertung

Für die Berechnung des k_f -Wertes aus der Korngrößenverteilung von Bodenproben gibt es je nach Bodenart und Korngrößenzusammensetzung verschiedene Berechnungsansätze. Die Eignung der Berechnungsansätze hängt maßgeblich vom Feinkornanteil (< 0,063 mm (Schluff)) sowie von der Ungleichförmigkeitszahl des Korngemisches ab (Tab. 2, Tab. 3 und Abb. 5).

Häufig wird zur Ermittlung von k_f -Werten für Bemessungen auf vorhandene Baugrundgutachten zurückgegriffen. Nach Feststellung der Autoren erfolgt die Sieblinienauswertung im Rahmen von Baugrunderkundungen häufig automatisiert nur nach einer Bestimmungsmethode. Daher empfiehlt es sich, Sieblinienauswertungen aus vorliegenden geotechnischen Gutachten kritisch zu hinterfragen und ggf. die Auswertung vorliegender Sieblinien selbst mit der für den jeweiligen Boden am besten geeigneten Auswertungsmethode durchzuführen. Sieblinienauswertungen zur k_f -Wert-Ermittlung werden in [12] eingehend beschrieben.

Da die Berechnung des k_f -Wertes aus der Korngrößenverteilung von Bodenproben je nach Bodenart und Korngrößenzusammensetzung verschiedene Berechnungsansätze hat, empfiehlt es sich, Sieblinienauswertungen aus vorliegenden geotechnischen Gutachten kritisch zu hinterfragen und ggf. die Auswertung vorliegender Sieblinien selbst mit der für den jeweiligen Boden am besten geeigneten Auswertungsmethode durchzuführen. Sieblinienauswertungen zur k_f -Wert-Ermittlung werden in [12] eingehend beschrieben.

Abschließende Bemerkungen

Untersuchungsmaßnahmen im Bahnbereich zeichnen sich häufig durch schwer zugängliche Untersuchungspunkte aus. Unter diesen Rahmenbedingungen hat sich in der langjährigen Praxis der Autoren die Durchführung

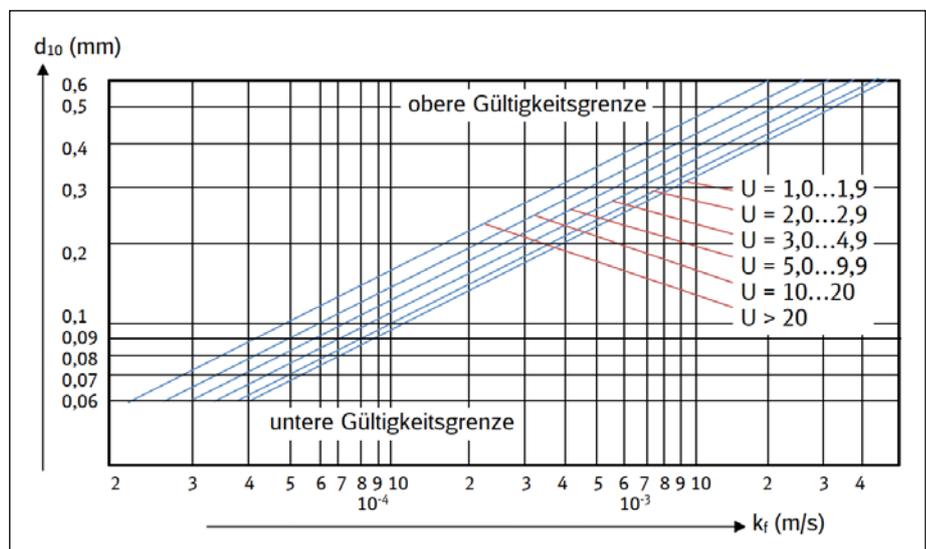


Abb. 5: k_f -Wert-Bestimmung nach Beyer

Quelle: [8]

von Feldversuchen in kleinen Testgruben als am besten praktikable Variante erwiesen. Für diese Untersuchungsmethode sind wenige, leicht transportierbare Arbeitsmittel sowie eine begrenzte Wassermenge erforderlich.

Für Versickerungsanlagen mit tief liegender Versickerungsebene, z. B. Schachtversickerungen oder tieferliegende Rigolen, empfehlen sich Versuche in tief angelegten großflächigen Schürfen bzw. Open-End-Tests in Bohr- oder Sondierlöchern.

Aufgrund der punktuellen Infiltration besitzen die beschriebenen Methoden nur eine lokale Aussagekraft. Die Bestimmung von Durchlässigkeiten für flächige Versickerungen, z. B. Muldenversickerungen und Flächenversickerungen, sollte daher integral, in Auswertung mehrerer an einem Standort ermittelter Durchlässigkeitsbeiwerte erfolgen.

Daher empfiehlt sich für entsprechende Versickerungsanlagen die Durchführung von mehreren Feldversuchen bzw. Entnahmen gestörter Bodenproben an mehreren Beprobungspunkten. Maßgebend für die erforderliche Anzahl der Versuche bzw. Probenahmen ist die Heterogenität bzw. Homogenität der Bodenverhältnisse vor Ort [2].

Im Rahmen der vorliegenden Publikation kann nur eine Auswahl der potenziellen Un-

tersuchungsverfahren beschrieben werden. Für weitergehende Informationen wird auf die Fachliteratur, z. B. [4, 11, 12], verwiesen. ■

QUELLEN

[1] Arbeitsblatt DWA-A 138 (April 2005): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser
 [2] Arbeitsblatt DWA-A 138-1, Gelbdruck (November 2020): Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb
 [3] Lang, H. J.; Huder, J.; Amann, P.; Puzrin, A. M. (2010): Bodenmechanik und Grundbau, Berlin
 [4] Mahabadi, M. (2012): Regenwasserversickerung Regenwassernutzung – Planungsgrundsätze und Bauweisen, Eugen Ulmer KG, Stuttgart
 [5] Zunker, F. (1930): Das Verhalten des Bodens zum Wasser. Handbuch der Bodenlehre VI, Berlin
 [6] DIN 19682-7 (2015): Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Teil 7: Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelring-Infiltrimeter, DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW)
 [7] Earth Manual (1963): A Guide to the Use of Soils as Construction Materials for Hydraulic Structures. First Edition, Revised Reprint, Chapter 17, U.S. Bureau of Reclamation (USBR), Denver, CO
 [8] Beyer, W. (1964): Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilung. In: Wasserwirtschaft-Wassertechnik (WWT) Bd. 14, 6/1964, S. 165 - 169
 [9] Hazen, A.: Experiments on the purification of sewage at the Lawrence Experimental Station. 24th Annual Report to the State Board of Health, Commonwealth of Massachusetts, Public Document 34, Write and Potter Printing Co., 1894, S. 393–555
 [10] Mallet, Ch.; Paquant, J. (1954): Erdstaudämme, 345 S., Technik Verlag, Berlin
 [11] Hölting, B. (1992): Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, 4. Auflage, 415 S. (Ferdinand Enke Verlag), Stuttgart
 [12] Langguth, H.-R.; Voigt, R. (2004): Hydrogeologische Methoden, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New-York

VDEI Fachausschuss

GEOTECHNIK



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



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

Dipl.-Geol. Annette Schaber

Technische Expertin
 DB Netz AG, FA Geotechnik, Karlsruhe
 annette.a.schaber@deutschebahn.com

100 Jahre Fachwissen

Technik und Management moderner Bahnen



Bewerben Sie Ihre Dienstleistung oder Ihr Produkt in den Rubriken

- Fahrweg & Bahnbau
- Fahrzeuge & Komponenten
- Ausrüstung & Betrieb
- Projekte & Management
- Forschung & Entwicklung

Anzeigenschluss: 25.10.2023

Buchen Sie jetzt

Ihren Firmeneintrag

Ihr Businessprofil

Ihre Anzeige



Ihr Ansprechpartner: Tim Feindt ■ tim.feindt@dvvmedia.com ■ Telefon +49 40 237 14 220

