

Bewehrte Stützkonstruktion im PFA 2.1 der NBS Wendlingen – Ulm

Ausführung und Qualitätssicherung einer Bewehrte-Erde-Konstruktion

MARLIS PETZOLD | PETER WER

Im Zuge des Baus der Neubaustrecke Wendlingen – Ulm wurde im Planfeststellungsabschnitt 2.1c zwischen km 37,390 und km 37,750 eine Bewehrte-Erde-Konstruktion aus Stahlgitterelementen und Bewehrungsbändern hergestellt. Nach RIL 836 ist für deren Errichtung eine Unternehmensinterne Genehmigung der DB Netz AG und eine Zustimmung im Einzelfall durch das Eisenbahn-Bundesamt notwendig. In beiden Genehmigungen wurden mehrere Auflagen erteilt, die während der Bauausführung erfüllt werden mussten.

Überblick NBS Wendlingen – Ulm, PFA 2.1

Aufgrund des hohen Zugverkehrs auf den bestehenden Gleisanlagen der Bahnstrecke Stuttgart – Ulm soll die Eisenbahninfrastruktur zwischen Stuttgart und Augsburg durch den Bau von zwei neuen Gleisen verbessert werden. Im Bundesverkehrswegeplan 1992 ist die ABS/NBS Stuttgart – Ulm im vordringlichen Bedarf als Überhang aus dem Bundesverkehrswegeplan 1985 (BVWP 85) enthalten. Der Bundesverkehrswegeplan 2003 ordnet die Strecke ebenfalls in den vordringlichen Bedarf ein und führt sie als laufendes und fest disponiertes Vorhaben auf. Sie wird ebenfalls in der Anlage zu § 1 des Bundesschienenwegeausbaugesetzes genannt.

Die Aus- und Neubaustrecke Stuttgart – Ulm untergliedert sich in zwei Teilbereiche:

▪ Bereich Stuttgart – Wendlingen

Umbau des Stuttgarter Hauptbahnhof vom Kopfbahnhof zum Durchgangsbahnhof, Anbindung des Flughafens Stuttgart sowie Neubau des Teilstücks Flughafen-Wendlingen (Bahnprojekt Stuttgart 21).

▪ Bereich Wendlingen – Ulm

Neubau einer Hochgeschwindigkeitsstrecke Wendlingen – Ulm einschl. der Umgestaltung des Bahnhofs Ulm Hauptbahnhof (NBS Wendlingen – Ulm).

Der Bereich Wendlingen – Ulm gliedert sich wiederum in folgende Planfeststellungsabschnitte (PFA):

- PFA 2.1 Albvorland
- PFA 2.2 Albaufstieg
- PFA 2.3 Albhochfläche
- PFA 2.4 Albabstieg
- PFA 2.5 Bf Ulm.

Nach Inbetriebnahme der rund 60 km langen Neubaustrecke (NBS) wird diese mit einer Geschwindigkeit von bis zu 250 km/h befahren (Abb. 1) und zu einer erheblichen Fahrzeitverkürzung zwischen Stuttgart und Ulm beitragen.

Ausführung Bewehrte-Erde-Konstruktion Räumliche Einordnung

Die Bewehrte-Erde-Konstruktion befindet sich im PFA 2.1c, Weilheim an der Teck, und liegt zwischen der Eisenbahnüberführung (EÜ) über die Lindach im Westen und über die L 1200 im Osten. Die Stützkonstruktion reicht

von km 37,390 bis km 37,750 und besitzt damit eine Gesamtlänge von 360 m.

Die Stützkonstruktion ist zwischen der Bundesautobahn (BAB) 8 im Norden und der NBS Wendlingen – Ulm im Süden angeordnet. Aus Abb. 2 geht hervor, dass die Bewehrte-Erde-Konstruktion Bestandteil des Abrolldammes ist. Dieser dient dem Schutz der Eisenbahnstrecke vor abkommenden Fahrzeugen aus dem Straßenverkehr. Grund für diese Art der Ausführung ist der oberhalb der Bewehrten Erde geplante „Grünweg“. Die NBS verläuft in diesem Bereich auf einem Damm, an den sich eine Seitenablagerung anschließt. Die Seitenablagerung dient der Ablagerung von Überschussmassen aus dem Bauvorhaben der NBS. Die maximale Höhe der Bewehrte-Erde-Konstruktion beträgt ca. 3,75 m. Die Außenhaut ist ca. 70° zur Waagerechten geneigt (Abb. 3).

Aufbau der Stützkonstruktion

Gemäß RIL 836.4303 [4] wird eine Bewehrte-Erde-Konstruktion als ein „Verbundkörper aus Bodenmaterial, Bewehrungsbändern aus Stahl und einer mit den Bewehrungsbändern verbundenen Außenhaut aus Stahl oder Stahlbeton“ definiert. In diesem Projekt wurde die Außenhaut aus Stahlgitterelementen hergestellt, die mit einer Steinpacklage befüllt wurden (Abb. 3). Die Stahlgitterelemente bestehen aus verschweißten und feuerverzinkten Stabstählen B500A mit Stabdurchmessern von 8 mm und 14 mm. Die Maschenweite beträgt 10 cm x 10 cm. Ein Vliesstoff der Geotextilrobustheitsklasse IV trennt die Steinpacklage vom Füllboden, der

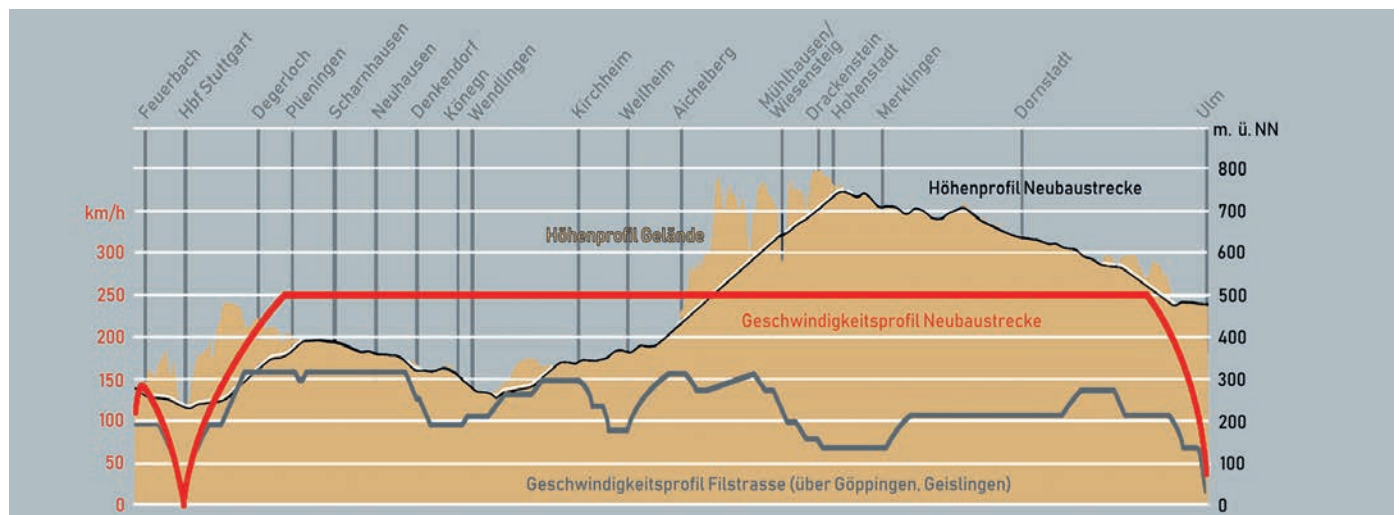


Abb. 1: Schematische Darstellung der Geschwindigkeitsprofile

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2019

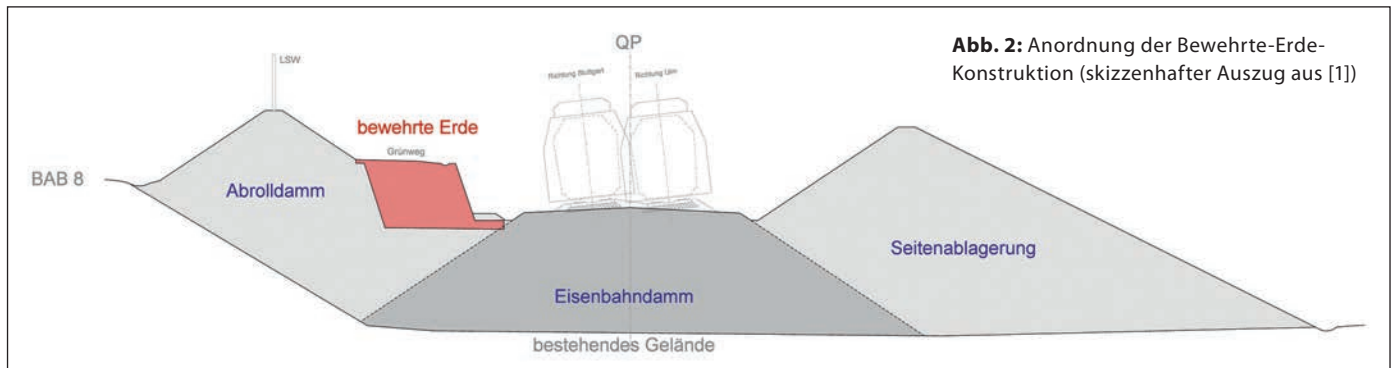


Abb. 2: Anordnung der Bewehrte-Erde-Konstruktion (skizzenhafter Auszug aus [1])

aus einem Kalksteinschotter mit der Körnung 0/45 besteht. Im Füllboden wurden die einzelnen Lagen der Bewehrungsbänder verlegt. Insgesamt wurden sechs Lagen an Bewehrungsbändern übereinander angeordnet.

- Die Bewehrungsbänder sind warmgewalzte und feuerverzinkte Stahlbänder mit Querrippen und einem rechteckigen Querschnitt von 50 mm x 4 mm.
- Die Länge der Bewehrungsbänder beträgt 3,50 bzw. 4,50 m in der obersten Bewehrungslage.
- Der Abstand der Bewehrungsbänder beträgt im Regelfall ca. 0,8 m.

Die Stahlgitterelemente wurden auf einem Montagefundament aus Beton C12/15 gegründet. Um eine ausreichende Entwässerung gewährleisten zu können, wurde unterhalb der gesamten Bewehrte-Erde-Konstruktion eine 50 cm dicke Sohlschicht aus einem Kalksteinschotter 0/45 hergestellt, die mit einem Quergefälle von 2% ausgebildet wurde und an die Tiefenentwässerung angebunden wird. Eingebettet ist die Stützkonstruktion in das für die Herstellung des Abrolldammes verwendete Material, einem bindigen Hinterfüllboden. Der Aufbau des Abrolldammes erfolgte gleichzeitig zur Bewehrte-Erde-Konstruktion, sodass ein unmittelbarer Anschluss zwischen Füll- und Hinterfüllboden geschaffen werden konnte.

Bauausführung und Qualitätssicherung

Nach den Vorgaben der RIL 836.4303 [4] bedarf die Planung und die Errichtung einer Bewehrte-Erde-Konstruktion sowohl einer Unternehmensinternen Genehmigung (UiG) durch die DB Netz AG als auch einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) durch das Eisenbahn-Bundesamt (EBA). Für das vorliegende Bauvorhaben wurden beide Genehmigungen erteilt. Die UiG und die ZiE enthalten mehrere Auflagen, die während der Baumaßnahme zu erfüllen waren. Zu den wesentlichen Auflagen zählen:

- das Erstellen und Umsetzen eines Qualitätssicherungsplanes,
- die Durchführung von Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen beim Einbau des Füll- und Hinterfüllbodens,
- der Nachweis der in den statischen Nachweisen zugrundegelegten Scherparameter des Füllbodens,

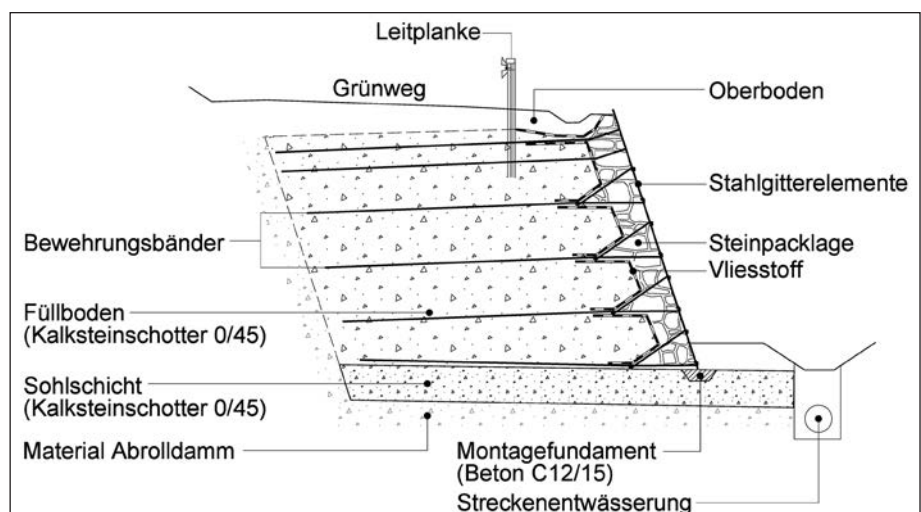


Abb. 3: Aufbau Bewehrte-Erde-Konstruktion (skizzenhafter Auszug aus [2])



Abb. 4: Einbau des Füllbodens und der Bewehrungsbänder

Genehmigung unbefristet genehmigt für DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH /
 Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 V-Media Group, 2019



Abb. 5: Verschrauben des Bewehrungsbandes mit dem Stahlgitterelement

- die Durchführung von geodätischen Messungen zur Überprüfung von Verformungen der Stützkonstruktion,
- das Festlegen von Schwellen-, Eingreif- und Alarmwerten für Verformungen der Stützkonstruktion nach ihrer Herstellung und
- das Überprüfen der Dauerhaftigkeit der Testbänder.

Bei Eigenüberwachungsprüfungen des bauausführenden Unternehmens und bei Kontrollprüfungen der Bauüberwachung wurden auf der Gründungssohle Messungen des Verformungsmoduls E_{v2} durchgeführt. Gemäß Tabelle 4 im Merkblatt über Stützkonstruktionen aus stahlbewehrten Erdkörpern (M SASE) [5] werden folgende Abnahmekriterien für die Gründung vorgegeben:

- Verformungsmodul $E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$ und
- Verdichtungsgrad $D_{pr} \geq 100\%$ für weit gestufte Kiese (Bodengruppe GW gemäß DIN 18196).

Bei den durchgeführten Messungen wurden E_{v2} -Werte von jeweils $> 100 \text{ MN/m}^2$ erreicht. Das Verdichtungsverhältnis E_{v2}/E_{v1} war bei den Messungen jeweils $\leq 2,3$, sodass gemäß ZTV E-StB [7] auch die Anforderung an den Verdichtungsgrad von $D_{pr} \geq 100\%$ erfüllt wurde. Die Ergebnisse entsprachen demnach den Anforderungen gemäß M SASE [5].

Im Anschluss erfolgte die Herstellung der Sohlschicht. Sowohl die bodenchemischen Parameter als auch die Einbau- und Verdich-

tungsanforderungen sollten gemäß Ausführungsplanung [2] den Vorgaben für den Füllboden entsprechen. Um die Dauerhaftigkeit der feuerverzinkten Bewehrungsbänder zu gewährleisten, waren folgende bodenchemische Parameter einzuhalten:

- pH-Gehalt: $5 \leq \text{pH} \leq 10$,
- $5 \text{ Cl} + \text{SO}_4 \leq 1000 \text{ ppm}$ und
- spezifischer Bodenwiderstand $> 1000 \Omega \text{cm}$.

Als Material wurde wiederum ein Kalkstein-Brechkorngemisch 0/45 verwendet.

Die Abnahme der Sohlschicht erfolgte ebenfalls über Messungen des Verformungsmoduls E_{v2} im Rahmen von Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen. Die gemäß M SASE [5] vorgegebene Anforderung von $E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$ wurde mit Ausnahme einer Messung erreicht.

Nach erfolgtem Einbringen der Sohlschicht wurde mit dem Einbau der 1. Reihe der Stahlgitterelemente und der 1. Lage der Bewehrungsbänder begonnen (Abb. 4). Als Steinpacklage wurden die Frontelemente mit Rundkornwacken 100/300 befüllt. Damit ist deren Korngröße größer bzw. gleich der Maschenweite der Stahlgitterelemente. Die 1. Lage der Bewehrungsbänder wurde direkt auf die Sohlschicht gelegt und im Anschluss mit den Stahlgitterelementen verschraubt (Abb. 5).

Nachdem der Vliesstoff zur Trennung des Füllbodens von der Füllung der Frontelemente mit Rundkornwacken verlegt wurde, wurde die



Abb. 6: Anordnung der Verformungsmesspunkte

1. Schüttlage des Füllbodens eingebaut. Der Einbau des Füllbodens zwischen zwei Lagen Bewehrungsbändern erfolgte grundsätzlich in zwei Schüttlagen. Für den Füllboden galten gemäß Ausführungsplanung [2] und M SASE, Tabelle 4 [5] dieselben Einbau- und Verdichtungsanforderungen wie für die Sohlschicht. Beim Einbau der Bewehrungsbänder wurde beachtet, dass diese erst bei einer Überdeckung von 20 cm Füllboden überfahren werden dürfen, um Beschädigungen der vor Korrosion schützenden Zinkschicht zu vermeiden. Für die Überwachung des geforderten Verdichtungsgrades wurde von der bauausführenden Firma die Bewehrte-Erde-Konstruktion in insgesamt acht Prüffelder mit einer jeweiligen Länge von 50 m unterteilt. Gemäß dem Prüfplan [6] und ZTV E-StB [7] war eine Prüfung je angefangene 1000 m² Einbaufläche auszuführen. Da mit dem leichten Fallgewichtgerät ein indirektes Prüfverfahren für den Nachweis des Verdichtungsgrades zur Anwendung kam, wurde gemäß RIL 836.4103 die Anzahl der Prüfungen verdoppelt. Bei einer Einbaufläche des Füllbodens von ca. 1700 m² ergaben sich somit vier Messungen des dynamischen Verformungsmoduls E_{vd} auf jeder Schüttlage. Da es sich um ein grobkörniges Material handelt, konnte nach ZTV E-StB [7] auf den Verdichtungsgrad geschlussfolgert werden. Für einen Verdichtungsgrad von $D_{pr} \geq 100\%$ war ein E_{vd} -Wert von $\geq 50 \text{ MN/m}^2$ nachzuweisen, dieser konnte bei allen Messungen nachgewiesen werden. Der Nachweis der Scherparameter der Füllböden erfolgte anhand von drei Großrahmenscherversuchen. Der in der statischen Berechnung angesetzte Reibungswinkel von 35° wurde in allen Versuchen bestätigt. Neben dem Nachweis einer ausreichenden Verdichtung wurde in der ZiE ebenfalls die Überwachung der Verformungen gefordert. Das umfasste die Erstellung eines Messkonzeptes und die Festlegung von Eingreif-, Schwellen- und Alarmwerten. Um die Verformungen zu überwachen, wurden daher an den Stahlgitterfrontelementen Messpunkte für geodätische Verformungsmessungen installiert (Abb. 6).

Die Messquerschnitte weisen einen Abstand von 50 m auf, sodass es an der Bewehrte-Erde-Konstruktion acht Messquerschnitte gibt. In Abhängigkeit von der Bauhöhe sind maximal vier Messpunkte übereinander angeordnet. In der ZiE wurde festgelegt, dass innerhalb der ersten zwei Jahre nach Fertigstellung der Stützkonstruktion acht Messkampagnen durchzuführen sind. Die Messungen sollten zum Zeitpunkt der Fertigstellung sowie zwei Wochen, ein Monat, zwei Monate, sechs Monate, ein Jahr und zwei Jahre nach Fertigstellung durchgeführt werden. Folgende Grenzwerte wurden in Abstimmung mit dem Ausführungsplaner, dem Bauherrn und dem EBA-Gutachter festgelegt:

- Schwellenwert 5 cm,
- Eingreifwert 10 cm und
- Alarmwert 15 cm.

Bei den bisher durchgeführten Messkampagnen wurden weder horizontale noch vertikale Verformungen festgestellt. Daran ist ersichtlich, dass die Bewehrte-Erde-Konstruktion trotz ihrer filigranen Ausführung eine stabile, robuste und sehr verformungsarme Bauweise darstellt.

Zur Überprüfung der Dauerhaftigkeit der eingebauten feuerverzinkten Bewehrungsbänder wurden in fünf Stahlgitterelementen je vier Testbänder angeordnet (Abb. 6). Nach fünf Jahren, zehn Jahren und 20 Jahren wird jeweils ein Testband in dem betreffenden Stahlgitterelement gezogen und durch einen Sachverständigen für Korrosion und Korrosionsschutz begutachtet.

Zusammenfassung

Im Planfeststellungsabschnitt (PFA) 2.1c der NBS Wendlingen – Ulm wurde im Jahr 2018 eine Bewehrte-Erde-Konstruktion als Verbundkör-

per aus Bodenmaterial, Bewehrungsbändern aus Stahl und einer mit den Bewehrungsbändern verbundenen Außenhaut aus Stahl errichtet. Zur Absicherung einer hohen Bauqualität wurden Eignungsprüfungen und Einbaukontrollen der verwendeten Böden und Baustoffe in erheblichem Umfang durchgeführt. Für die zwischenzeitlich in der Baupraxis gängige Bauweise der Stützkonstruktionen aus Bewehrter Erde ist bei deren Errichtung im Bereich von Bahnanlagen eine UiG der DB Netz AG und eine ZiE des EBA erforderlich. Der genehmigungstechnische Aufwand bei der Errichtung der vorgestellten Bewehrte-Erde-Konstruktion war zwar im Vergleich zu anderen Ausführungsvarianten der Stützbauwerke relativ groß. Allerdings konnte durch Wahl einer Bewehrte-Erde-Konstruktion ein im Vergleich zu anderen Bauweisen optisch ansprechendes und sich gut in die örtlichen Gegebenheiten integrierendes Bauwerk erstellt werden. ■

QUELLEN

- [1] Ingenieur- und Vermessungsbüro Ruzicka GmbH: Ausführungsplanung, Offene Strecke Damm D2, Allgemeine Planung Damm D2, 10.01.2018
- [2] Bewehrte Erde Ingenieurgesellschaft mbH: Ausführungsplanung, Bewehrte-Erde-Stützkonstruktion, Bahnkilometer 37,4 bis 37,8, 20.06.2017
- [3] Wer, P.; Petzold, M.: 12. Tiefbaufachtagung in Dresden 13.-14.02.2019, Bahnprojekt Stuttgart-Ulm, Projektvorstellung Neubaustrecke Wendlingen-Ulm, Qualitätssicherung einer Bewehrten-Erde-Konstruktion im PFA 2.1, 13. und 14.02.2019
- [4] DB Netz AG: Richtlinie 836, Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten, Fassung vom 20.12.1999a mit 1. bis 5. Aktualisierung, gültig ab 01.07.2018
- [5] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über Stützkonstruktionen aus stahlbewehrten Erdkörpern (M SASE), FGSV 562, Ausgabe 2010
- [6] ARGE NBS Weilheim an der Teck: Kurzbeschreibung zum Einbau Füllboden Bewehrte Erde, Bereich von Bau-KM ca. St. 37,3+90 und St. 37,7+57 einschließlich dazugehöriger Anlagen, 14.06.2018
- [7] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau ZTV E-StB, FGSV 599, Ausgabe 2017



Dipl.-Ing. (FH) Marlis Petzold, M.Sc.
 Projektleiterin
 Gepro Ingenieurgesellschaft mbH,
 Dresden
 marlis.petzold@gepro-dresden.de



Dipl.-Ing. Peter Wer
 Teamleiter Technik
 DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH,
 Stuttgart
 peter.wer@deutschebahn.com



Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt von DVV Media Group, 2019