

Tiefgründung von Oberleitungsmasten mit Duktillrammpfählen

Eine alternative Gründungsvariante bei unregelmäßigen Baugrundverhältnissen

UWE BURKHARDT | BERNHARD SCHRÖTTER

Das Schienennetz der Eisenbahnen in Deutschland hat derzeit eine Streckenlänge von rund 38 500 km, davon sind etwa 60 % elektrifiziert, also mit einer Oberleitung ausgestattet und damit für den Betrieb von E-Loks geeignet. Der Bund und die Länderregierungen verfolgen das Ziel, dass dieser Anteil stetig steigt und bis 2025 mindestens 70 % beträgt [1]. Setzt man voraus, dass die Streckenlänge bis dahin voll erhalten bleibt, müssen in den nächsten fünf Jahren entlang von 3850 km Eisenbahnschiene Oberleitungen installiert werden, damit dieses Ziel erreicht wird. Dazu gehört die Errichtung von 65 000 Masten, die gebraucht werden, um die Oberleitung daran aufzuhängen. Bei Bauvorhaben abseits der Bahn gehören Duktillrammpfähle seit mehreren Jahrzehnten zum Portfolio zahlreicher Baufirmen. Und das aus gutem Grund, bieten sie doch eine echte wirtschaftliche Alternative für qualitätsbewusste Bauherren. Bei der Elektrifizierung der Ammertalbahn zwischen Tübingen und Herrenberg wurden Duktillrammpfähle nun in großem Umfang für die Tiefgründung von Oberleitungsmasten entlang der 110 Jahre alten Eisenbahnstrecke genutzt.

Oberleitungsmaste und althergebrachte Gründungsarten

Oberleitungsmaste unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Funktion (Tragmaste und Abspannmaste), hinsichtlich des Materials (Stahlmaste und Betonmaste) und hinsichtlich ihrer Verbindung mit der Gründung (Aufsetzmaste, Einsetzmaste und Überstülpmaste). Während Betonmaste i. d. R. als Überstülp- oder Einsetzmaste verwendet werden, baut man Stahlmaste häufig als Aufsetzmaste. Dabei werden die Mastfüße mit Ankerbolzen verschraubt, die zuvor im Fundament eingelassen und fixiert worden sind. Je nach Belastung ist die Anzahl der verwendeten Ankerbolzen unterschiedlich und schwankt zwischen vier und 16 Stück je Mast. Innerhalb der Stahlmaste unterscheidet man:

- den Rahmenflachmast (kurz Flachmast), der aus zwei durch Bindebleche miteinander verbundenen U-Profilen besteht, die auf Mastfußplatten aufgeschweißt sind. Gebräuchlich sind Profile in den Abmessungen 100, 120, 140 oder 160 mm (Abb. 1).
- den Winkelmast (auch Gittermast), der aus vier Winkelprofilen besteht, die mittels Diagonalverstrebrungen untereinander verschweißt sind. Die Winkelprofile sind zwischen 80 x 8 mm und 150 x 14 mm groß, je nach Länge und Beanspruchung. Die Mastfüße variieren in den Dimensionen von 600 x 800 mm bis hin zu 1600 x 2000 mm.

- den Doppel-T-Mast, der bei der Deutsche Bahn AG (DB) jedoch nur in Ausnahmefällen verwendet wird, z. B. als Tragmast innerhalb integrierter Schallschutzwände [2].

Ihnen allen ist die Aufgabe gemein, dass sie den Kräften, die auf sie wirken, standhalten und diese an das Fundament und die Gründung weiterleiten. Diese Kräfte resultieren aus dem Gewicht des Kettenwerkes, aus Zugkräften, mit denen das Kettenwerk nachgespannt wird, aus Windkräften und aus aerodynamischen Belastungen. Direkt am Mast oder auch an Traversen montierte weitere Leitungen bringen zusätzliche Kräfte ein.

Die Gründungen der Oberleitungsmaste haben die Aufgabe, alle Kräfte der Oberleitungsanlage in den Baugrund zu übertragen. Die Auswahl der jeweiligen Gründungsarten (Tab. 1) wird im Wesentlichen durch:

- die bodenmechanischen Eigenschaften des Baugrundes,
- die Belastung,
- die verwendeten Mastarten,
- die technologischen Bedingungen,
- die geometrischen Randbedingungen und
- die Kosten bestimmt.

Rammgründungen

An Maststandorten mit tiefliegenden tragfähigen Bodenschichten und/oder mit hohem Grundwasserstand hat sich in Deutschland die Rammgründung etabliert. Bei der Rammgründung werden i. d. R. Stahlprofile oder Stahlrohre in die Erde gerammt und danach mit einem Betonkopf mit eingelassenen Ankerbolzen für die Montage der Aufsetzmaste versehen. Die verwendeten Profile haben verschiedene Querschnittsformen und Dimensionen, die Gewichte liegen zwischen 50 und 500 kg/m. Je nach Erfordernis kommen sogar noch schwerere Bauteile zum Einsatz.

Die Bemessung und Konstruktion der Rammgründungen ist im Ebs Zeichnungsverzeichnis für Regeloberleitungen der DB niedergeschrieben. Dort finden sich auch Richtwerte für Schlagzahlen, die mit dem Rammgerät im tragenden Boden erreicht werden sollen [3]. Entscheidet sich der Bauherr für eine Rammgründung, müssen wesentliche Voraussetzungen gegeben sein:

- der Baugrund muss rammbar und tragfähig sein
- das Rammprofil muss im Vorfeld zuverlässig dimensioniert werden können.

Das wiederum setzt voraus, dass eine angemessene Baugrunderkundung nach DIN EN

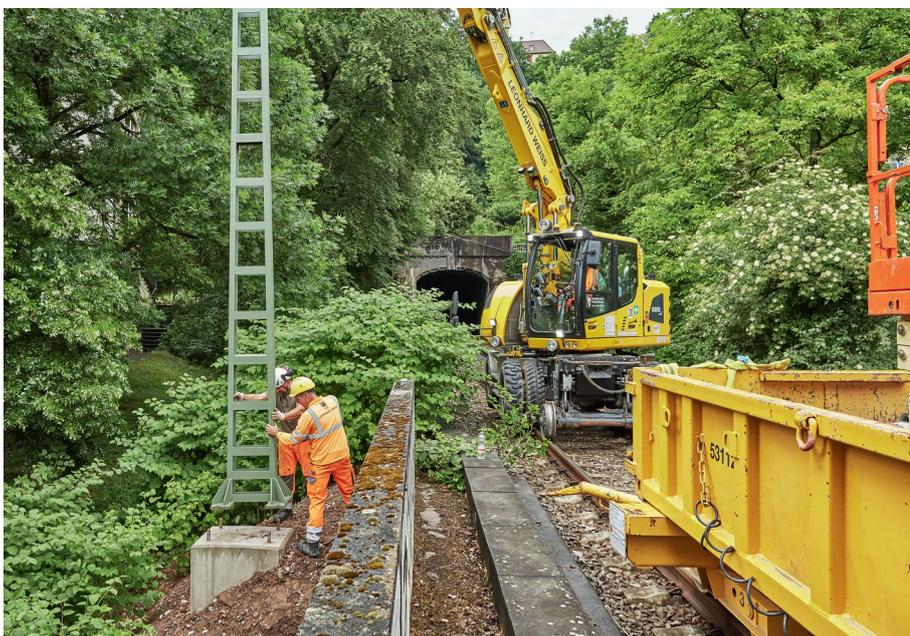


Abb. 1: Ammertalbahn, Stellen eines Flachmastes

Quelle: Leonhard Weiss GmbH & Co. KG

Tiefgründung					Flachgründung	
Rammgründung		Bohrgründung			Ortbetongründung	
Ramppfahl	Rammrohr	Mikropfahl	Großrohrbohrgründung	Ortbetonbohrpfahl	Blockfundament	Stufenfundament

Tab. 1: Gründungsarten für Oberleitungsmaste

1997 gemacht wurde und dass für die Bauausführung Geräte zur Verfügung stehen, die in der Lage sind, auch schwere Rammprofile mit mehreren 1000 kg Gewicht zu handhaben und zuverlässig einzubauen.

Wird während des Rammens aufgrund der Schlagzahlen festgestellt, dass der Boden geringer tragfähig ist als in der Berechnung angenommen, so sind Maßnahmen zu ergreifen, um die Standsicherheit der Pfähle zu gewährleisten [3]. In der Praxis bedeuten diese Maßnahmen immer Mehraufwand in Form von Zeit und Geld.

Will man das Risiko für den Eintritt eines solchen Szenarios verringern, lohnt es sich, die technischen Möglichkeiten und Varianten gut und gründlich abzuwägen. Insbesondere in der bewussten Auswahl des Gründungsverfahrens liegt dafür großes Potenzial. Statt die Lasten konzentriert über ein großes schweres Ramelement abzutragen, ist es grundsätzlich auch möglich, dass man die Last aufteilt und mehrere kleine leichte Gründungselemente einsetzt. Dafür bieten sich in rambbarem Boden Duktillrammpfähle an.

Duktillrammpfähle in Theorie und Praxis

Duktillrammpfähle, in EA-Pfähle Fertigrammpfähle aus Gusseisen bzw. Duktillpfähle genannt, wurden erstmals in Schweden in den frühen 1980er Jahren eingesetzt, allerdings

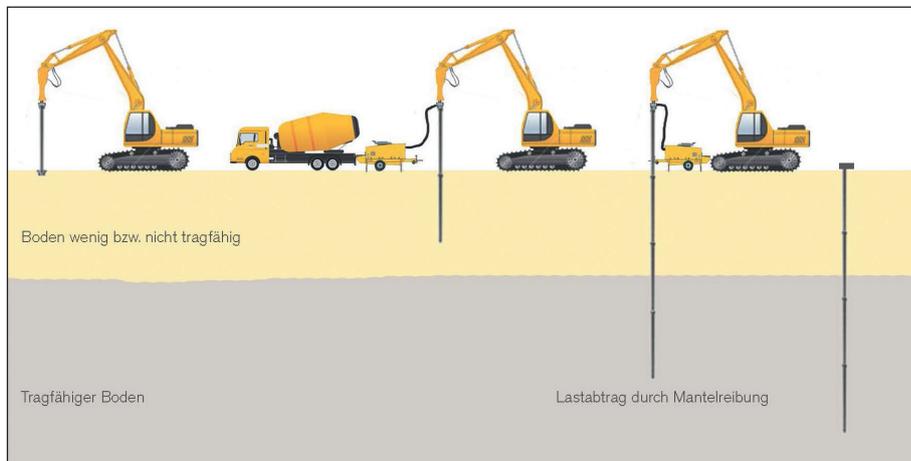


Abb. 2: Einbau mantelverpresster Duktillrammpfahl

Quelle: Tiroler Rohre GmbH

nur bei Unterfangungen in Gebäuden. 1986 kam der Duktillrammpfahl nach Österreich und wurde dort von der Firma Tiroler Rohre GmbH in Zusammenarbeit mit österreichischen und deutschen Spezialtiefbaufirmen zu dem Produkt entwickelt, wie es heute in Mitteleuropa und darüber hinaus als flexibel und vielseitig verwendbares Gründungssystem bekannt ist.

Gusseisen mit Kugelgraphit als Werkstoff verleiht dem Pfahlrohr hohe Duktilität und Festigkeit und ermöglicht damit das Einrammen der Pfähle durch leistungsfähige Hydraulik-

hämmer ohne Überbeanspruchungsgefahr. Industrielle Fertigung kombiniert mit durchgängiger Qualitätskontrolle garantieren die Einhaltung der Querschnitts- und Werkstoffparameter, wie Zugfestigkeit ≥ 450 MPa und 0,2%-Dehngrenze ≥ 320 MPa [4].

Die Pfahlsegmente werden als Schleudergussrohr in drei Durchmessern (98 mm, 118 mm und 170 mm) mit unterschiedlichen Wanddicken hergestellt. Konische Muffen, welche bei der Rohrherstellung in einem Zug mitgegossen werden, ermöglichen das einfache Zusammenfügen der 5 m langen Rohrsegmente.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Leonhard Weiss GmbH & Co. KG und Tiroler Rohre GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH



Abb. 3: Ammertalbahn, Einbau Duktiramppfahl

Quelle: Leonhard Weiss GmbH & Co. KG

Die hohe Schlagenergie beim Rammen führt zu einer starren, kraftschlüssigen Verbindung der Pfahlrohre. So können beliebige Pfahllängen hergestellt werden, die auf die tatsächlich angetroffenen Untergrundverhältnisse vor Ort angepasst werden.

Herstellung

Die Herstellung der Duktiramppfähle ist in der DIN EN 12699 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Verdrängungspfähle geregelt. Ergänzende Ausführungsdetails finden sich in der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-34.25.230 des DIBt [5]. Duktiramppfähle können ohne und mit Mantelverpressung ausgeführt werden. Bei der Ausführung ohne Mantelverpressung entspricht der Durchmesser des Pfahlschuhs dem Durchmesser des ersten Gussrohrs (Anfängerrohr). Dieser Pfahltyp wird in der Regel als Aufstandspfahl auf sehr festem Untergrund (z. B. Fels) eingesetzt. Die Hohlseele der Gussrohre wird nach Herstellung des Pfahls mit Zementmörtel oder Beton ausgefüllt.

Bei der Ausführung mit Mantelverpressung wird ein Pfahlschuh mit einem umlaufenden Überstand zum Anfängerrohr von mindestens 40 mm verwendet. Während des Rammvorgangs wird permanent Zementmörtel durch die Hohlseele der Gussrohre zum Pfahlfuß gepumpt und füllt den Ringraum, der durch den überstehenden Pfahlschuh gebildet wird. Dieser Pfahltyp wird in der Regel als „schwimmende“ Gründung in nichtbindigen und bindigen Böden eingesetzt (Abb. 2).

Hat der Pfahl die Endtiefe erreicht, wird das überstehende Pfahlrohrstück mit einem Winkelschleifer abgeschnitten und der Pfahl mit einer Pfahlkopfplatte abgeschlossen. Diese Pfahlkopfplatten sind statisch auf die maximalen Tragfähigkeiten bemessen und stellen den Kraftschluss zum darüber liegenden Fundament sicher. Das abgetrennte Reststück wird als Anfängerrohr beim nächsten Rammvorgang eingesetzt.

Die 5 m langen, schlanken und relativ leichten Pfahlrohre ermöglichen den Einsatz von wendigen und handelsüblichen Gerätschaften, benötigt werden ein Standardbagger (ab 20 t), ein zum Pfahltyp passender Hydraulikhammer mit speziellem Schlagstück und eine Betonpumpe (Abb. 3).

Bemessung

Die Bemessung von Duktiramppfählen ist – bezogen auf den Einsatz als Druckpfahl – in der „Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-34.25.230“ des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) [5] beschrieben. Unter Punkt 3.2.2.2 sind dort in der Tabelle 4 die Bemessungswerte der Querschnittstragfähigkeit von Pfählen angegeben. Abhängig vom Gussrohrtyp, vom eingesetzten Zementmörtel und Pfahltyp (ohne/mit Mantelverpressung) variieren die Werte zwischen 450 kN



Abb. 4: Ammertalbahn, simultane Probelastung an drei Duktiramppfählen

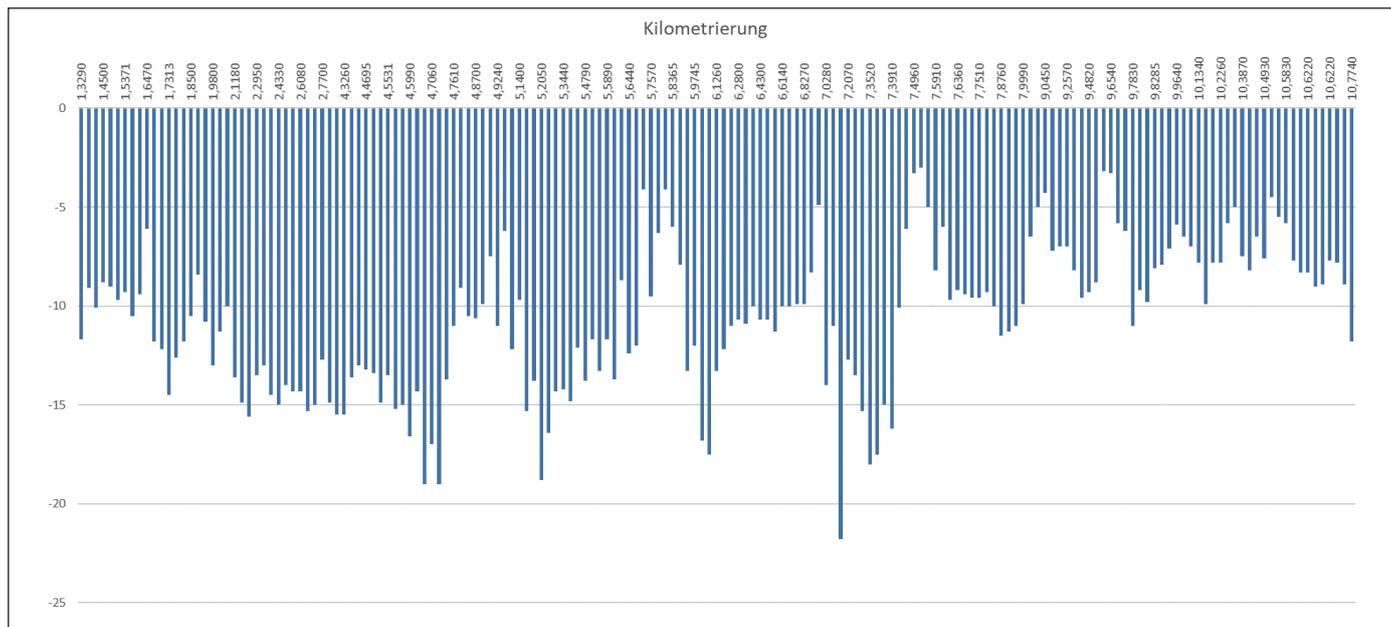
Quelle: IGS Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart



Abb. 5: Ammertalbahn, Oberleitungsmaste gestellt

Quelle: Leonhard Weiss GmbH & Co. KG

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Leonhard Weiss GmbH & Co. KG und Tiroler Rohre GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH



Tab. 2: Ammertalbahn, Einbaulängen der Duktillarmpfähle km 1,329 bis 10,774

Quelle: Leonhard Weiss GmbH & Co. KG

und 2137 kN. Der Nachweis der äußeren Tragfähigkeit ist gemäß Punkt 3.2.1 durch Probelastungen zu erbringen oder auf der Grundlage von Erfahrungswerten zu ermitteln. EA-Pfähle vermerkt dazu unter Punkt 5.1 (5), dass die Erfahrungswerte aus Probelastungen abgeleitet sein sollten. Im Fall der Verwendung von Erfahrungswerten wird üblicherweise auf die in EA-Pfähle für Verpressmörtelpfähle angeführten Werten (Tab. 5.26, 5.27) zurückgegriffen. Falls Probelastungen durchgeführt werden, wird i.d.R. statischen Probelastungen der Vorzug gegeben. Dynamische Probelastungen zeigen insbesondere bei nichtbindigen Böden vergleichbare Ergebnisse und können vor allem bei Großprojekten als kostengünstigere Variante zur Verdichtung der Bodeninformationen herangezogen werden. Die übliche Praxis bezüglich Nachweis der äußeren Tragfähigkeit hängt von der Größe und den Gegebenheiten des Projekts und auch vom jeweiligen Erfahrungsschatz der ausführenden Spezialtiefbaufirma ab.

Die Verwendung des Duktillarmpfahls als Zug- und Wechsellastpfahl ist seit vielen Jahren übliche Praxis und heute Stand der Technik in Österreich und Deutschland. Analog zu den in EA-Pfähle Pkt. 2.2.6 beschriebenen Mikropfählen wird ein Tragglied aus Stahl in den noch flüssigen Zementmörtel im Duktillarmpfahlrohr eingestellt und anschließend mit der statisch erforderlichen Verankerungslänge in den Fundamentblock einbetoniert. Damit ist der zum Ableiten der Zugkräfte notwendige Kraftschluss zwischen Pfahl und darüber liegendem Fundament gewährleistet. In Österreich ist der Duktillarmpfahl als Druck-, Zug- und Wechsellastpfahl mit der

BMK-Zulassung GZ 2020-0.094.414 zugelassen. In Deutschland ist die DIBt-Zulassung in fortgeschrittener Bearbeitung, bei Projekten

mit Zugpfählen wird die Ausführungsplanung derzeit i.d.R. vom Prüfingenieur geprüft und freigegeben.

Bahndammsanierungen mit Mikropfählen TITAN

DAUERHAFT
 DIBt-Zul. Z-34.14-209
 100+ Jahre

- Bahndamm sichern wegen möglicher Rutschungen / Verformungen der Böschung
- Dammkörper stabilisieren, um Setzungen und Schwingungen im Gleisbereich zu reduzieren
- sicherer Lastabtrag in den tragfähigen Baugrund
- überall – Bauen direkt vom Gleis aus möglich

Weitere Infos: www.ischebeck.de

ISCHEBECK®
TITAN

FRIEDR. ISCHEBECK GMBH
 Loher Str. 31-79 | DE-58256 Ennepetal

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Leonhard Weiss GmbH & Co. KG und Tiroler Rohre GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH



Weitere Informationen

Seit 2015 betreiben die Universität Kassel, Fachgebiet Geotechnik, und Tiroler Rohre GmbH ein Forschungsprojekt, das voraussichtlich noch im Jahr 2021 Tabellen mit Erfahrungswerten für charakteristische Pfahlmantelreibung und charakteristischen Pfahlspitzendruck (analog zu den Tabellen in EA-Pfähle) explizit für den Dukttilrampfpfahl hervorbringt. Die Datengrundlage für diese Auswertungen bilden über 300 ausgeführte Projekte mit statischen und z.T. auch dynamischen Probelastungen.

Rammaufnahme als zusätzliche Bodenerkundung

Das Messen und Dokumentieren der Rammzeiten pro Meter Rammvortrieb, die Rammaufnahme, ist ein wichtiger Bestandteil des Herstellprozesses. Dieser „gemessene Eindringwiderstand“ ermöglicht die Überprüfung der Bemessungsannahmen, Feststellung von lokalen, gravierenden Abweichungen gegenüber der zugrundeliegenden Bodenerkundung und versetzt die Ausführenden in die Lage, dass sie die Pfahllängen unmittelbar an tatsächlich angetroffene, lokal unterschiedliche Bodenverhältnisse anpassen können.

Dukttilrampfpfähle im Ammertal

Die Ammertalbahn verbindet südlich von Stuttgart die gut 20 km voneinander entfernten Städte Tübingen und Herrenberg. Dabei verläuft sie größtenteils durch das Tal des Flüsschens Ammer, das nicht nur als Namensgeber fungiert, sondern Jahrtausende lang das Relief und den Baugrund südlich des Schönbuchs entscheidend gestaltet hat. So verläuft die Bahntrasse teils in anmoorigen Talablagerungen, teils in den Schichten des Gipskeupers, des Lettenkeupers oder des Lößlehms. Im Talabschnitt wurden 13 m mächtige Ablagerungen erbohrt: Auelehme gefolgt von 30 cm bis 4 m dicken Torfschichten und tonig-schluffigen Talkiesen. Am Übergang zum unterlagernden Keuper wurde meist ein steifer bis halbfester Verwitterungslehm erkundet. Nur Letzterer sowie der Keuper selbst sind für den setzungsarmen Lastabtrag unter den Oberleitungsmasten geeignet. Die Empfehlung des geotechnischen Sachverständigen lautete folgerichtig, dass hier aufgrund der angetroffenen Untergrundverhältnisse in erster Linie an eine Gründung auf duktilen Gussrammpfählen zu denken sei [7]. Der Bauherr, der Zweckverband ÖPNV im Ammertal, folgte sowohl seinem Baugrundgutachter wie auch den Empfehlungen der

einschlägigen geotechnischen Regelwerke und hat statische Pfahlprobelastungen an Dukttilrampfpfählen zur Ermittlung der Trageigenschaften in Auftrag gegeben. In Abstimmung mit dem Baugrundgutachter, dem Planer Oberleitung, dem Planer Gründung und der ausführenden Baufirma wurden drei Teststandorte festgelegt, die die maßgebenden Baugrundverhältnisse repräsentieren. An jedem Standort wurden im Januar 2020 drei Testpfähle eingebaut und nach vier Wochen Ruhezeit vom Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart geprüft. Die insgesamt neun Pfähle wurden mit duktilen Gussrohren TRM 118/9,0 mm (Durchmesser 118 mm, Wanddicke 9,0 mm) und Zuggliedern aus Gewindestahl B500B D = 32 mm hergestellt und mit Zementmörtel der Festigkeitsklasse C 25/30 verpresst. Die Probelastungen wurden als Zugprüfungen an jeweils drei Pfählen gleichzeitig durchgeführt, dabei wurde das Normenhandbuch EC 7, DIN 1054/A1: 2012-08 und EA-Pfähle: 2012 (System A) zugrunde gelegt. Alle Pfähle konnten problemlos auf die planmäßige Prüfkraft von 270 kN und anschließend weiter bis zur maximal zulässigen Prüfkraft 350 kN belastet werden. Die Messergebnisse zeigen, dass alle Pfähle tragfähigen Baugrund erreicht haben, sodass die maximale Prüfkraft 350 kN mit Kriechmaßen von maximal 0,68 mm und bleibenden Verschiebungen von maximal 3,48 mm eingeleitet werden konnte [8] (Abb. 4). Mit dem Nachweis, dass die mit dem Zugglied bewehrten Dukttilrampfpfähle den Anforderungen der Ausführungsplaner, des Prüfeningenieurs und des Baugrundes genügen, wurde die Planung fertiggestellt und zwischen Mai und November 2020 in die Tat umgesetzt. An 180 Maststandorten wurden größtenteils vom Gleis aus mit gängiger Zweiwegetechnik Dukttilrampfpfähle eingebaut (Abb. 5, Tab. 2). Wie vom Baugrundgutachter prognostiziert, standen die tragfähigen Bodenschichten

recht unterschiedlich an und wurden oft erst jenseits der 10 m-Marke angetroffen. Mit der unkomplizierten Längen Anpassung der Dukttilrohre und Zugglieder konnten alle Pfähle so hergestellt werden, wie es die jeweiligen Rammzeiten unmittelbar erforderten.

Fazit

Die Dukttilrampfpfähle sind gemäß ihrer Zulassung auf den Einsatz als Druckpfähle beschränkt [5]. Wird das Druckelement Gussrohr jedoch mit einem eingestellten Zugglied kombiniert, wie das z. B. in der EA-Pfähle Pkt. 2.2.6 beschrieben ist [6], verfügt man damit über einen Pfahl, der nachweislich in der Lage ist, Druck- und Zugbelastungen aus den Mastfundamenten in (beliebig) tief liegende tragfähige Bodenschichten abzutragen. Im Gegensatz zu den üblichen Rammgründungen mit schweren Profilträgern oder Rammrohren können die Dukttilrampfpfähle jedoch mit Standardzweiwegebaggern der 22 t-Klasse problemlos vom Gleis aus eingebaut werden. Mit der Aufzeichnung der Rammzeiten im Verhältnis zur Einbautiefe bekommt der Bauherr für jeden einzelnen Pfahl die Gewähr, dass dieser die erforderliche Einbindetiefe im tragfähigen Baugrund erreicht hat – auch wenn die Baugrunderkundung im Vorfeld auf eine Voruntersuchung mit großem Untersuchungsrasster beschränkt blieb. ■

QUELLEN

- [1] Allianz pro Schiene: Newsletter 12.11. 2020
- [2] Fendrich, L.; Fengler, W.: Handbuch Eisenbahninfrastruktur, 2. Auflage 2013, Springer Vieweg ISBN 978-3-642-30020-2
- [3] Deutsche Bahn: Zeichnungsverzeichnis Regeloberleitung der DB, München 1990
- [4] Österreichisches Institut für Bautechnik: Europäische Technische Bewertung ETA-07/0169, OIB 2017
- [5] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung TRM Dukttilrampfpfahl Z-34.25-230, DIBt 2018
- [6] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V.: Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ (EA-Pfähle), 2. Auflage; DGGT 2012
- [7] Fundinger, A.: Baugrunduntersuchungen Regionalstadtbahn Neckar-Alb Modul 1 – Elektrifizierung Ammertalbahn, ihb 2019
- [8] Crienitz, S.: Elektrifizierung Ammertalbahn Belastungsversuche an Mikropfählen, Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart, IGS 2020



Dipl.-Ing. Uwe Burkhardt
 Leiter Spezialtiefbau Bahn
 Leonhard Weiss GmbH & Co. KG,
 Satteldorf
 u.burkhardt@leonhard-weiss.com



Bmstr. Dipl.-Ing. Bernhard Schrötter
 Leiter Anwendungstechnik
 Pfahlsysteme
 Tiroler Rohre GmbH, AT-Hall in Tirol
 bernhard.schroetter@trm.at