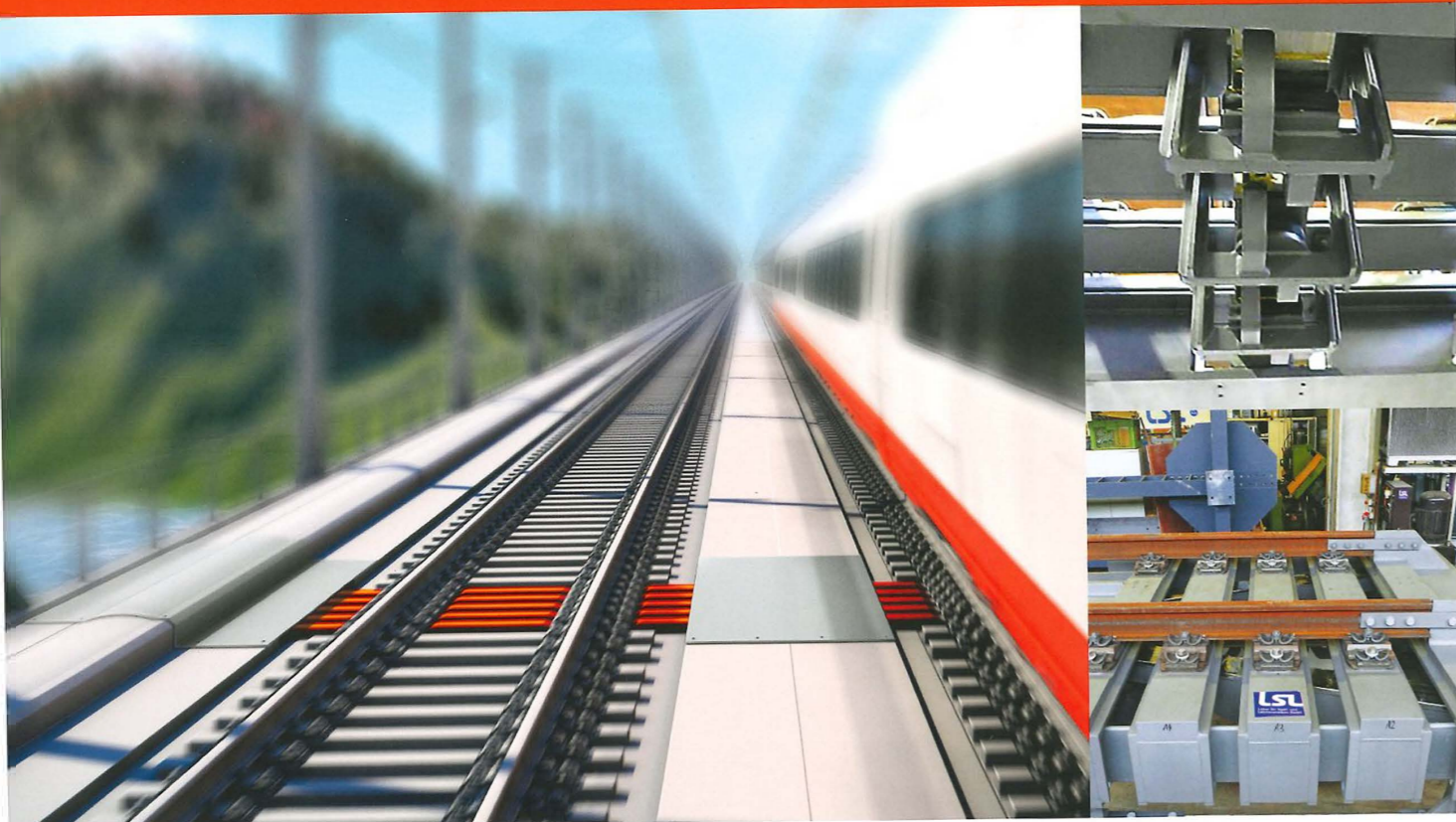


# MAURER Wanderschwele

DIE ZWÄNGUNGSFREIE MODULARDEHNFUGE FÜR BAHNBRÜCKEN



## Produktbeschreibung:

Zwischen Überbau und Widerlager auftretende Bewegungen führen bei Bahnbrücken zu zusätzlichen Schienenspannungen und Beanspruchungen der Befestigungen. Mit der Wanderschwele wurde ein Überbrückungssystem entwickelt, welches einerseits gewährleistet, dass die Schwellenabstände nicht das zulässige Maß überschreiten und andererseits mögliche auftretende Bauwerksbewegungen (Verschiebungen, Verdrehungen, Verwindungen) schadlos aufnimmt. Es ist gelungen, das bei Straßenbrücken vielfach bewährte „Steuerprinzip Schwenktraverse“, d.h. die elastische Zwangssteuerung, so weiterzuentwickeln, dass sämtliche Anforderungen des Bahnverkehrs erfüllt werden. Die Wanderschwele wird in der bauseitig vorbereiteten Aussparung ausgerichtet und durch Vergießen monolithisch mit dem Bauwerk verbunden.

## Vorteile:

- Standardausführung für Dehnwege bis 1600 mm, Radsatzlasten von 250 kN und Geschwindigkeiten bis 300 km/h
- Dauerhaft, zwängungsfrei und wasserdicht
- Verdrehungsweich und abhebesicher
- Unbeeinträchtigter Fahrkomfort
- Einfacher und lagesicherer Einbau
- Einfache Inspektion und Wartung



**NBS Wendlingen – Ulm –**  
 Qualitätskontrolle der Festen  
 Fahrbahn mit Inertialmesstechnik

**KIB –**  
 Schraubfundamente als  
 emissionsarme Alternative

**Batterietriebzüge –**  
 Erste 50-Hz-Schnellladestation  
 für den Bahnbetrieb

**Oberleitungen –**  
 Lösungsansätze für  
 effizienten Vogelschutz

**Oberbau –**  
 Bericht zum  
 4. Gleisbau Forum



**13. Tiefbaufachtagung**  
 16. - 17. Februar 2022  
 in Dresden  
 und im Livestream

# Nachhaltige Fundamente ohne Beton

Schraubfundamente als moderne Möglichkeit emissionsarmer und rückbaubarer Fundamente – eine Beschreibung der Einsatzgebiete im KIB



Abb. 1: Schraubfundament

Quelle: T. Mölter

TRISTAN MÖLTER | IAN KRUKOW | JOHANNES DILLIG

**Fundamente sind bisher fast ausschließlich in Beton bekannt. Jedoch gewinnen Schraubfundamente eine immer größere Bedeutung, da diese sich wesentlich schneller einbauen lassen. Zusätzlich können Schraubfundamente auch ohne Probleme zurückgebaut werden und dadurch zu einer großen Nachhaltigkeit beitragen. Derzeit werden Schraubfundamente für dynamische Lasten entwickelt, womit sogar Lärmschutzwände gegründet werden können.**

## Die Anfänge

Fundamente sind der breiten Allgemeinheit bisher nur in konventioneller Form aus Beton bekannt. Vom Gartenhäuschen oder kleinen Schuppen bis zum größeren Haus denkt jeder bisher an Streifen- oder Flächenfundamente aus Beton. Im Laufe der Jahre haben sich Alternativen für die Befestigung von Gartengeräten oder beispielsweise auch Wäschespinnen entwickelt. Diese Befestigungen haben eine Stahlhülse, an der ein Blechstreifen angeschweißt wird, mit welchem diese Hülse entsprechend leicht in den Boden gedreht werden konnte. Das Prinzip ähnelt einer übergroßen Spaxschraube, welche

eine Hülse hat, wie Abb. 1 zeigt. Diese Konstruktion wurde Schritt für Schritt weiterentwickelt. Die Weiterentwicklung der Konstruktion beruht auf dem jahrtausendealten und bewährten Prinzip der Pfahlgründung und wurde dahin entwickelt, dass das Schraubfundament eine sichere Fundamentlösung darstellt. Es kann Lasten tragen, die einem herkömmlichen Betonfundament in nichts nachstehen.

Ein weiterer Vorteil der Schraubfundamente ist, dass kein Graben erforderlich ist und dadurch auf Abfuhr von Abraum verzichtet werden kann. Auf Erdbewegungen kann gänzlich verzichtet werden, und das Fundament kann rückstandslos zurückgebaut werden. Dies schont die Umwelt sowohl während des Einbaus als auch nach der Verwendung. Zusätzlich ist der Montageprozess deutlich schneller als bei herkömmlichen Fundamentlösungen. Einzelfundamente können in wenigen Minuten erstellt werden.

## Schraubfundamente bei der Deutschen Bahn im Konstruktiven Ingenieurbau

Die Vorteile von Schraubfundamenten wollte die Deutsche Bahn AG (DB) auch nutzen. Jedoch ist für den Einsatz im Konstruktiven Ingenieurbau (KIB) eine Zulassung des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) erforderlich. Um diese Zulassung zu erlangen, wurden zunächst nur Versuche für ruhende Beanspruchung (rein statische Beanspruchung) gemacht. Ziel war es, die Schraubfunda-

mente für Elemente des KIB mit rein ruhenden Lasten, wie beispielsweise Böschungstreppe, Podestanlagen, Bahnsteige, Geländer oder ähnliches, zu realisieren. Die Versuche initiierte die Firma CTS Composite Technologie System GmbH aus Geesthacht, die damit ihre GFK-Produkte noch schneller und einfacher montieren wollte. Nachdem die Versuche alle erfolgreich realisiert wurden, erteilte das EBA eine Zulassung zur Betriebserprobung. Seit diesem Zeitpunkt konnten mehrere Projekte erfolgreich umgesetzt werden (Abb. 2 und 3).

## Die Weiterentwicklung zum dynamischen Lastabtrag

Die Erfahrungen mit rein ruhend belasteten Schraubfundamenten führten dazu, dass man sich mit dem Thema nicht ruhender Belastungen beschäftigte.

Um für Schraubfundamente die Nachweise für dynamische Belastungen zu erbringen, waren Annahmen und Versuche erforderlich. Zur Bemessung der Schraubfundamente dient ein Standardfall einer innerstädtischen Lärmschutzwand, der den allergrößten Teil der zukünftigen Anwendungsfälle abdeckt. Als Lärmschutzelemente sind sowohl Aluminiumkassetten als auch Betonelemente berücksichtigt. Der Standardfall wird nach Stand der Technik bemessen, wobei das Schraubfundament zunächst wie ein Rammrohr behandelt wird. Inwieweit dies



Abb. 2: Böschungstreppe auf Schraubfundamenten gelagert

Quelle: CTS

zutreffend ist, werden die geplanten Versuche am Bahndamm zeigen. Damit keine Umgewöhnung für Baufirmen bei der Befestigung der Lärmschutzwandpfosten erforderlich ist, machte man sich Gedanken über die Verbindung zwischen Schraubfundament und den Lärmschutzwandpfosten. Bisher werden Lärmschutzwandpfosten in Rammrohre konventionell mit Beton vergossen. Bei der Entwicklung des Schraubfundaments für Lärmschutzwände gestaltete man den oberen Teil des Schraubfundaments wie ein Rammrohr, damit dort der Lärmschutzwandpfosten konventionell wie

bei Rammrohren mit Beton vergossen werden kann. Alternativ wurde eine zweite Variante entwickelt, welche einen Adapter vorsieht, an der Lärmschutzwandpfosten angeschraubt werden können. Der Durchmesser des Schraubfundaments ist kleiner als der eines herkömmlichen Rammrohrs. Um dennoch ausreichend Toleranz zur Positionierung des Pfostens innerhalb des Rohrs zu erhalten, wird der Kopfbereich in einen annähernd rechteckigen Querschnitt überführt. Dies führt zu einem Übergangsbereich zwischen Kreis- und Rechteckquerschnitt mit

Spannungsspitzen, die für die Bemessung maßgebend werden können. Ein dreidimensionales CAD-Modell des Rohrkopfes wird in ein Flächenmodell mit finiten Elementen überführt, das die erforderlichen Spannungen liefert. Infolge der Zugvorbeifahrten entstehen Druck-Sog-Wellen mit einer hohen Anzahl von Lastwechseln. Diese werden als quasi-statische Last im Grenzzustand der Tragfähigkeit berücksichtigt. Zusätzlich ist ein Nachweis der Dauerfestigkeit erforderlich, um Ermüdungsversagen auszuschließen. Abb. 4 zeigt die Verteilung der maßgebenden Span-



Abb. 3: Podestanlage und temporärer Bahnsteig

Quelle: CTS

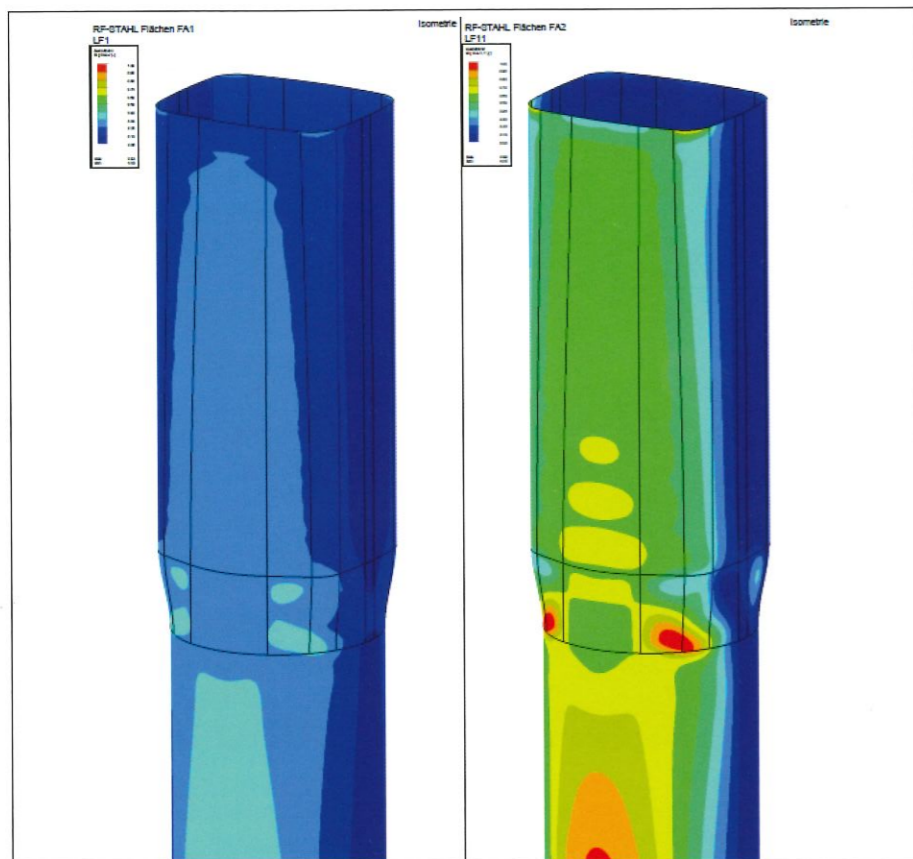


Abb. 4: FEM-Modell des Adapters für Schraubfundamente

Quelle: Dillig Ingenieure

nungsanteile für beide Fälle, mit deren Hilfe die Belastungsgrenzen des umgeformten Rohrs festgelegt werden können.

Alternativ zur Einspannung des Pfostens im Rohr ist ein Schraubanschluss mit Fußplatte vorgesehen. Die Bemessung erfolgt mit Standardverfahren. Zur Schubübertragung dient eine Schubknagge, die ebenfalls in Beton eingebunden wird. Dennoch ist erheblich weniger Beton erforderlich als bei der ersten Variante, da nur eine kleine Schubknagge eingespannt wird und nicht der gesamte Pfosten. Außerdem entfällt die Kaltumformung des Rohrs, denn die genaue Positionierung des Pfostens erfolgt über Langlöcher in der Fußplatte. Die Fußplatte ist jedoch relativ groß, weil sie außerhalb des Rohrquerschnitts verschraubt werden muss. Deshalb sind zusätzliche Rippen erforderlich, um die Biegemomente, insbesondere infolge Ermüdungsbelastung, aufnehmen zu können.

Um die Theorie mit der Praxis zu validieren, wurden Schraubfundamente sowohl an einer Eisenbahnstrecke als auch auf einem Testgelände mit entsprechenden Untergründen getestet. Tab. 1 zeigt das Versuchskonzept. Auf der Eisenbahnstrecke in Laufach wurden Zugversuche sowie Probelastungen auf Druck- und Horizontalbeanspruchung durchgeführt (Abb. 5). Auf dem Testgelände wurden bei verschiedenen Untergründen zyklische Versuche

sowie anschließend statisch kombinierte Probelastungen (Zug und Druck) durchgeführt.

**Baulärm und Erschütterungen**

Die Gründung von Lärmschutzwandpfosten an Bahnanlagen erfolgt aktuell mittels gerammter Stahlrohrpfähle. Diese werden mit baggermontierten Hochfrequenz-Vibrationspfahlrammen eingebracht. Im Ergebnis resultieren hohe Lärm- und Erschütterungsemissionen für die Anwohner. Dies führt bei Anwohnern immer wieder zu fehlender Akzeptanz, was wiederum oft Verzögerungen bei der Realisierung der Projekte durch Baustopps zur Folge hat.

Beim Testeinbau der Schraubfundamente (Abb. 5) wurden deshalb vergleichende Schallpegelmessung (nach AVV Baulärm) sowie Erschütterungsmessungen zwischen gerammten Stahlrohrpfählen und Schraubfundamenten durchgeführt. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen auf, dass das Eindrehen eines Schraubfundaments wesentlich leiser als das Rammen eines Stahlrohrpfahls

ist. Der resultierende Schalleistungspegel beim Einbringen eines Schraubfundaments liegt ca. 9 dB(A) unter dem Schalleistungspegel eines an gleicher Stelle eingerammten Stahlrohrpfahles. Gemessen und verglichen wurden im Testeinbau die reale Kombination aus Mobilbagger mit Anbaugeräten und den jeweils montierten Hebezeugen. Der Testeinbau wurde in nicht bindigen Böden durchgeführt. Ein vorläufiger Vergleich zwischen den beiden Schalleistungspegeln nach den Vorgaben der AVV Baulärm führt für ein Mischgebiet zur Reduzierung des benötigten Mindestabstandes zur Bebauung von ca. 64 m (bei Rammrohren) auf 24 m (bei Schraubfundamenten). In der Folge wird deshalb mit dem Einsatz von Schraubfundamenten die Akzeptanz der Anwohner für Lärmschutzbaumaßnahmen steigen, und mögliche Ersatzmaßnahmen für den Schallschutz der Anwohner können reduziert werden.

Auch die aus dem Einbau resultierenden Erschütterungen können im Vergleich zum „Rammrohr-

verfahren“ durch das „Schraubverfahren“ um ein Vielfaches gesenkt werden. In örtlichen Lagen mit angrenzender Bebauung kann dies zur erheblichen Reduzierung von Schadensrisiken beitragen. Gemäß den vorläufigen Ergebnissen liegen die aufgezeichneten Messwerte beim „Schraubverfahren“ weit unterhalb der für Gebäude schädlichen Schwingungen (am Fundament 2,50 [mm/s]), wohingegen beim „Rammverfahren“ bei angrenzender Bebauung die Richtwerte nach DIN 4150-2 massiv überschritten worden wären. Exemplarisch ist dies in Abb. 6 für einen Abstand von 30 m zum Einbringort dargestellt.

**Zusammenfassung**

Schraubfundamente gewinnen eine immer größere Bedeutung. Vorteile sind die Wetterunabhängigkeit, keine Aushärte- und Trocknungszeiten von Beton sowie der Entfall von Grabarbeiten, was wiederum zu dem Entfall von Abfuhr von Abraum führt. Weiterhin sind Schraubfundamente präzise statisch und dyna-



Abb. 5: Testeinbau der Schraubfundamente

Quelle: Krinner

Bodenart		Boden nicht bindig	Boden bindig
Versuchsstandort		Laufach Nr. 5 (KRB 523)	Laufach Nr. 4 (KRB 521)
statische PB kombiniert	Druck (axial zur Pfahlachse)	1x	1x
	Horizontal (quer zur Pfahlachse)	1x	1x
statische PB zusätzlich	Zug (axial zur Pfahlachse) – Rammrohrpfahl	–	1x
	Zug (axial zur Pfahlachse) – KSF	–	1x
Versuchsstandort Testgelände (z. B. Straßkirchen o. ä.)		Testgelände?	Testgelände Krinner
zyklische PB horizontal	1. Vorversuch statische PB horizontal	1x	1x
	2. zyklische PB (100 000 Lastzyklen)	1x	1x
	3. postzyklische statische PB horizontal	1x	1x

Tab. 1: Konzept Probelastungen

Quelle: Boley Geotechnik

**KRINNER Schraubfundamente**  
Effizient – betonlos – beständig

Jetzt  
Beratertermin  
vereinbaren

**CTS**<sup>®</sup>  
The Composite Company

**mit EBA Zulassung** **PREMIUM PARTNER** **KRINNER Das Schraubfundament**

Kontakt aufnehmen  
Mercatorstr. 43  
21502 Geesthacht  
Telefon: +49 41 52 8885-0  
E-Mail: info@ctscm.de  
Internet: www.ctscm.de

**BERATUNG | LIEFERUNG | MONTAGE**

Schnell, sicher und sofort belastbar: KRINNER Schraubfundamente ermöglichen gezieltes Bauen ohne Zweiteigetechnik und Sperrung der Gleisanlagen. Das spart enorm viel Zeit und verkürzt die Bauzeiten auf ein Minimum.

**ANWENDUNGSGEBIETE**

- Hang- und Böschungstreppen
- Lampen
- Podeste
- Lärmschutzwände
- Signale
- Geländer
- Zäune

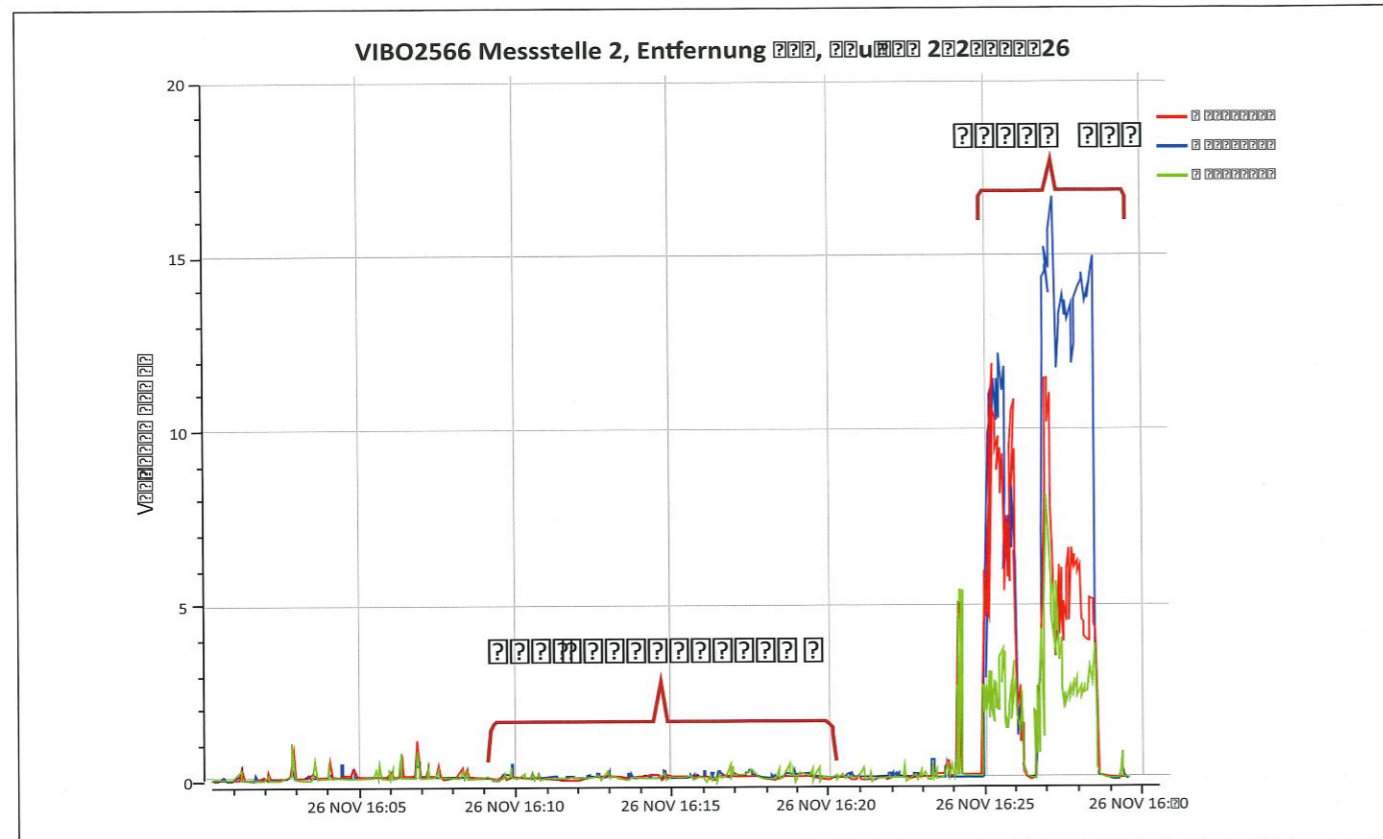


Abb. 6: Schwinggeschwindigkeiten in X,Y,Z – Richtung [mm/s] (Dilling|Prinz Ingenieurteam) Quelle: Krinner

misch berechenbar. Baulärm und Erschütterungen werden gegenüber herkömmlichen Gründungsverfahren erheblich reduziert. Geringe Rück- oder Umbaukosten fördern den Umweltgedanken, da auf eine Geländeerstörung gänzlich verzichtet wird. Allein dieser Aspekt ist in der derzeitigen Diskussion um Nachhaltigkeit ein unschätzbare Pluspunkt. Zukünftig werden für den Einsatz von Schraubfundamenten noch weitere Möglichkeiten erprobt, was mit großer Sicherheit zu weiterer Akzeptanz der Bauindustrie führen wird.

**VDEI** Fachausschuss  
KONSTRUKTIVER INGENIEURBAU



**Dr.-Ing. Ian Krukow**  
Tragwerksplanung  
Dillig Ingenieure GmbH, Simmern  
i.krukow@dillig.de



**Dipl.-Ing. Tristan Mölter**  
Bauartverantwortung  
Brückenbau u. LS-Anlagen Technik  
DB Netz AG, München  
tristan.moelter@deutschebahn.com



**Dipl.-Ing. Johannes Dillig**  
Geschäftsführender Gesellschafter  
Dillig Ingenieure GmbH, Simmern  
j.dillig@dillig.de

**WISSEN, WAS BAHNEN BEWEGT**

www.eurailpress.de

# 50-Hz-Schnellladestation für Batterietriebzüge

Als erste Schnellladestation ihrer Art konnte „VOLTAP“ von der Furrer+Frei AG und der Stadtwerke Tübingen GmbH erfolgreich in Betrieb genommen werden.

## FELIX DSCHUNG

Von der fortschreitenden Entwicklung der Batterietechnik, welche – Stichwort „Tesla“ – vor allem durch die Automotive-Industrie getrieben wird, profitiert auch die Bahnbranche. So erscheint mittlerweile die Ausstattung moderner Triebzüge mit Traktionsbatterien ein gangbarer Weg, dieselbetriebene Triebwagen zu verdrängen. Diese versehen bislang ihren Dienst vor allem auf vielen nachfrageschwachen Nebenbahnen. Gleichzeitig drängen sich analog zur eMobility im Bereich des Straßenverkehrs Fragen auf, wie die Nachladung dieser Fahrzeuge erfolgen soll. Oberste Maßgabe ist dabei, die zur Verfügung stehenden Schnittstellen zu nutzen und auf eine möglichst hohe Kosteneffizienz zu achten.

## Ausgangslage

Vor etwa vier Jahren waren die ersten Anfragen zum Thema „Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Züge“ zu vernehmen. Dabei kristallisierte sich recht schnell heraus, dass die diversen Fahrzeughersteller unterschiedliche Ideen verfolgten, die jedoch zu zueinander inkompatiblen technischen Lösungen geführt hätten. Beispielsweise hätte dann ein Zug von Stadler nicht ohne weiteres durch eine Ladestation aufgeladen werden können, die ursprünglich für einen Zug aus dem Hause Siemens aufgebaut wurde. Es war offensichtlich, dass der Bahnsektor die Fehler der Automotive-Industrie rund um das Steckerchaos bei der Einführung der eMobility auf der Straße unbedingt vermeiden musste [1]. Schließlich gelang es in Zusammenarbeit mit dem Verband der Bahnindustrie (VDB), der Technischen Universität Berlin, der Technischen Universität Dresden und anderen Interessensvertretern ein gemeinsames Forum zu schaffen, in welchem die wichtigsten Randparameter, die im Betrieb batterieelektrischer Züge zu beachten sind, erläutert werden konnten.

## Randbedingungen

Es war von Anfang an offensichtlich, dass der Umstieg von einer dieselbetriebenen zu einer mit alternativen Antrieben aus-

gerüsteten Flotte mit einem erheblichen Finanzierungsbedarf verbunden ist. Dabei stellen jegliche Aufwendungen auf Seiten der Infrastruktur, z. B. für den Aufbau einer erforderlichen Ladeinfrastruktur, zusätzliche Markteintrittsbarrieren dar. Berücksichtigt man ferner den Umstand, dass in anderen Ländern die Möglichkeiten, den Umstieg auf alternative Antriebe zu subventionieren, weit weniger gegeben sind als in Deutschland, führt dies zur Erkenntnis, dass auf eine möglichst hohe Kosteneffizienz beim Bau der Ladeinfrastruktur geachtet werden muss. Dies ist ebenfalls im strategischen Interesse der Fahrzeughersteller, die auf diese Weise ihr Absatzpotenzial für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben vergrößern können.

Da die batterieelektrischen Fahrzeuge für Deutschland auf bereits elektrifizierten Strecken die dort vorhandene Oberleitungsinfrastruktur nutzen werden, sind sie für das Bahnspannungssystem AC 15 kV 16,7 Hz vorzubereiten. Daher ist der Gedanke zunächst naheliegend, dieses Bahnspannungssystem auch zur Aufladung der Traktionsbatterien an Stellen fern des elektrifizierten Netzes zu verwenden. Da an diesen Orten jedoch in der Regel nur eine 50-Hz-Versorgung durch das Landesnetz gegeben ist, hat das Bahnspannungssystem AC 15 kV 16,7 Hz den Einsatz eines landseitigen Umrichters zwingend zur Folge.

Die Versorgung des Fahrzeugs mit AC 15 kV 16,7 Hz hat unbestreitbar den Vorteil, dass das bisherige Fahrzeugdesign nicht abgeändert werden muss. Ebenfalls ist durch den Umrichter eine vollkommen symmetrische Belastung des vorgelagerten Drehstromnetzes möglich. Denn die direkte Kopplung einer einphasigen Last, wie sie ein typisches Eisenbahnfahrzeug darstellt, mit einem Drehstromsystem führt unweigerlich zu einer Schiefast in Form einer Leistungsunsymmetrie, welche wiederum zu einer Spannungsunsymmetrie im Drehstromnetz führt. Allerdings konnte gerade der Umrichter als Hauptkostentreiber bei der Gestaltung einer Ladeinfrastruktur identifiziert werden. Die Ursachen für die Nachteile von Umrichtern sind dabei systembedingt und sollen im Folgenden kurz erläutert werden.

## Systembedingte Nachteile von Umrichtern

Leistungsfähige Umrichter sind teuer. Der Verzicht auf einen Umrichter bedeutet ein großes Kosteneinsparungspotenzial, führt jedoch zwangsläufig zur Verwendung der Landesfrequenz. Auf Aspekte der Spannungsunsymmetrie soll im weiteren Beitrag gesondert eingegangen werden.

Die meisten Umrichter sind Teil eines komplexen Gesamtsystems, bestehend aus mehrphasigem Eingangs- und einphasigem Ausgangstransformator, Kühltechnik sowie Steuerungssystemen. Selbst bei Verwendung hochzuverlässiger Komponenten hat eine solche Anlagenkomposition unweigerlich höhere Verluste und eine geringere technische Zuverlässigkeit im Vergleich zu einer Anlage, die im Wesentlichen nur aus einem einzigen Transformator besteht. Hinsichtlich der Verluste spielen nicht nur die Leerlaufverluste eine Rolle, die bei Zugladestationen aufgrund der langen Leerlaufzeiten durchaus signifikant ausfallen können, sondern auch jene bei Leistungsabgabe, da die Wirkungsgrade der einzelnen Teilkomponenten miteinander multipliziert werden müssen. Werden beispielsweise für die beiden Transformatoren Wirkungsgrade von 98,8 % und für den Umrichter inklusive der dazu notwendigen Nebenaggregate ein Wirkungsgrad von 95 % unterstellt, ergibt sich für die Kette „Eingangstransformator – Umrichter – Ausgangstransformator“ ein Gesamtwirkungsgrad von  $\eta = 0,988 \cdot 0,95 \cdot 0,988 = 0,927 = 92,7 \%$ . Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass während der Umwandlung 7,3 % der Energie in Form von Wärmeenergie abzuführen sind. Weil bei einer 50-Hz-Station nur ein Transformator benötigt wird, fallen die Verluste dort mit 1,2 % wesentlich geringer aus.

Ersatzteile für Komponenten der Leistungselektronik sind in der Regel nur über wenige Jahre nach Errichtung der Anlage problemlos zu beziehen. Jedoch soll eine Zugladestation auch noch nach Jahrzehnten einsatzbereit sein. Dies führt zu einem aufwendigen Ersatzteilmanagement, welches vom Wohlwollen eines kleinen Anbietermarkts abhängt. Da es aus Gründen des Wettbewerbs sinnvoll erscheint, hinsichtlich der Auswahl der Umrichterhersteller zu diversifizieren, entsteht auf diese Weise gleichzeitig ein „Teilezoo“ zueinander inkompatibler Ersatzteile. Mitun-