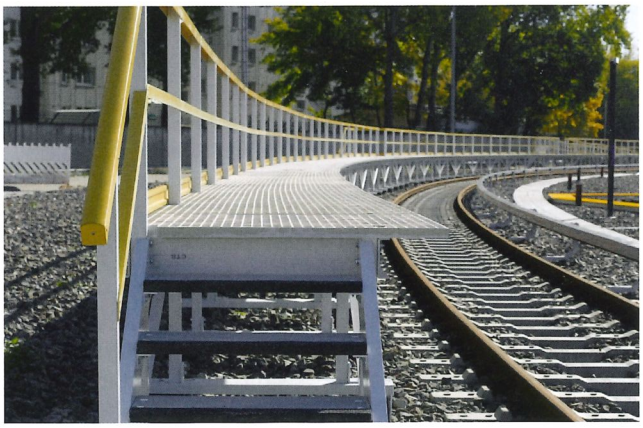

DER EI
EISENBAHN
INGENIEUR

INTERNATIONALE FACHZEITSCHRIFT
FÜR SCHIENENVERKEHR & TECHNIK

02|22

Nachhaltige Fundamente ohne Beton

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

SONDERDRUCK

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 Schraubfundamente für Elemente des KIB mit rein ruhenden Lasten, wie beispielsweise Böschungstreppen, 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: Böschungstreppen 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

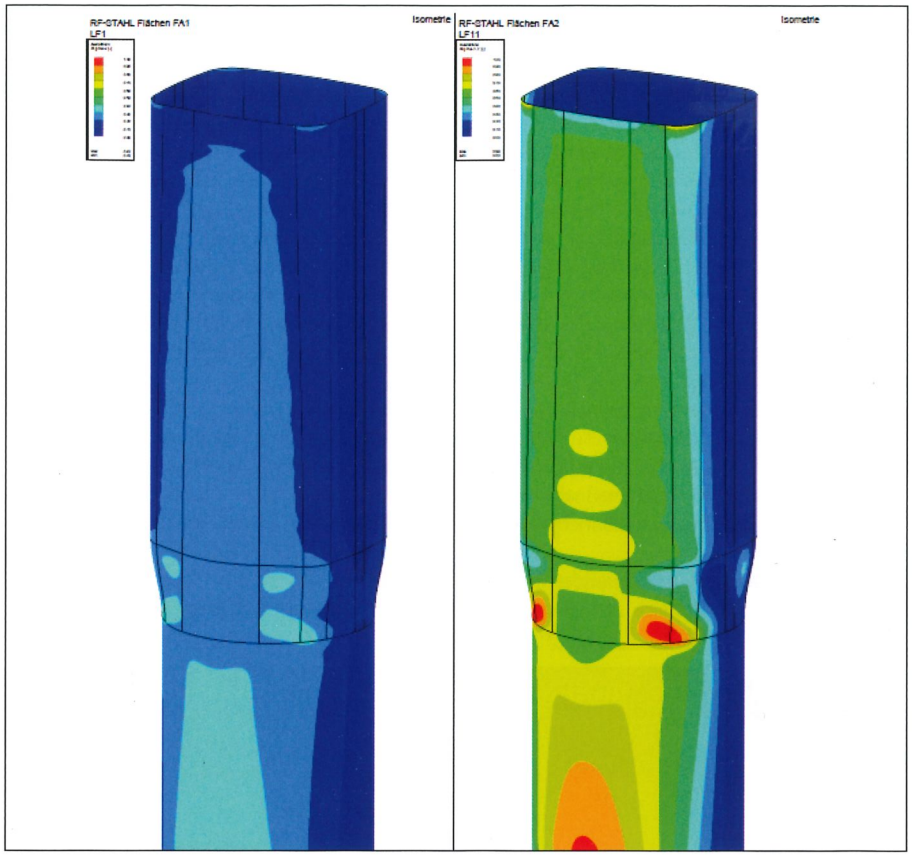

Abb. 4: FEM-Modell des Adapters für Schraubfundamente *Quelle: Dillig Ingenieure*

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 Probebelastungen auf Druck- und Horizontalbeanspruchung durchgeführt (Abb. 5). Auf dem Testgelände wurden bei verschiedenen Untergründen zyklische Versuche

Abb. 5: Testeinbau der Schraubfundamente *Quelle: Krinner*

sowie anschließend statisch kombinierte Probebelastungen (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 Stahlrohrpfahles ist. Der resultierende Schallleistungspegel beim Einbringen eines Schraubfundaments liegt ca. 9 dB(A) unter dem Schallleistungspegel 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 Schallleistungspegeln 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 „Rammrohrverfahren" 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-

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 Probebelastungen

Quelle: Boley Geotechnik

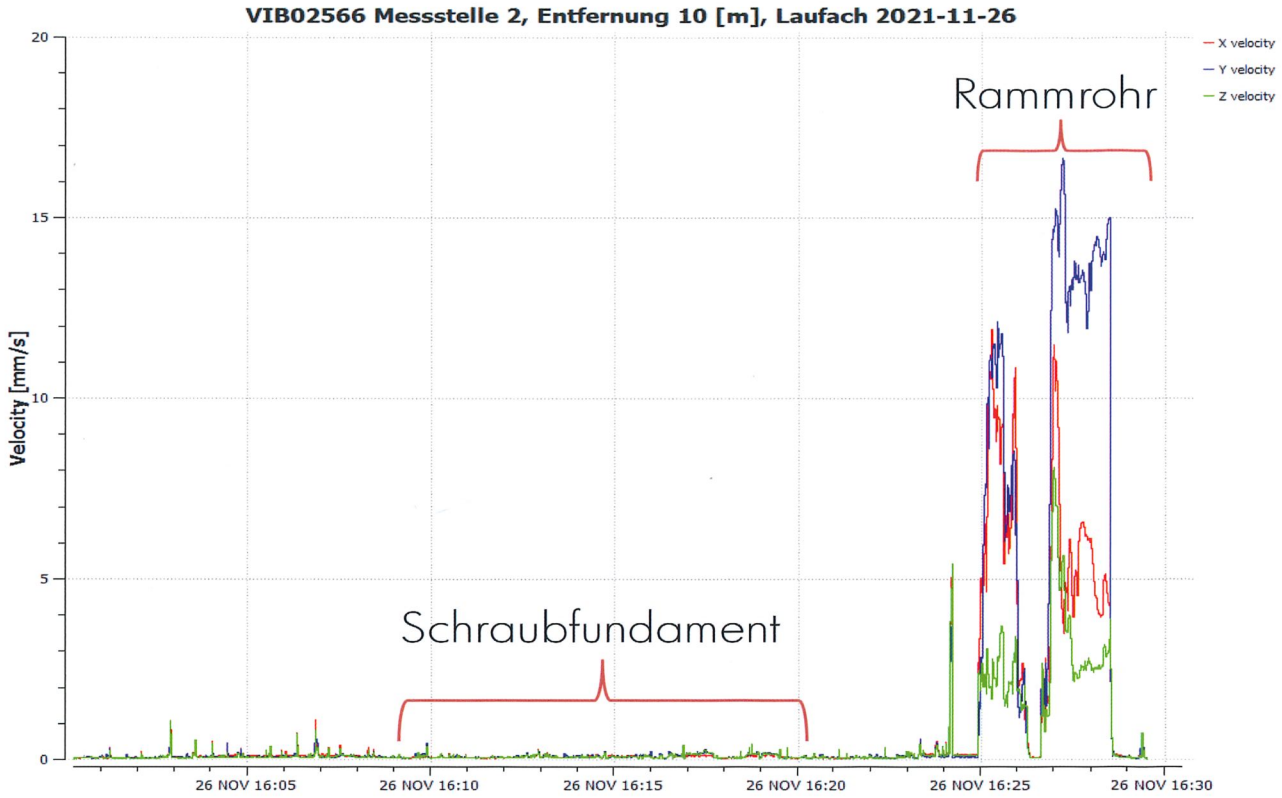

Abb. 6: Schwinggeschwindigkeiten in X,Y,Z – Richtung [mm/s] (Dilling|Prinz Ingenieurteam) *Quelle: Krinner*

misch berechenbar. Baulärm und Erschütterungen werden gegenüber herkömmlichen Gründungsbauverfahren erheblich reduziert. Geringe Rück- oder Umbaukosten fördern den Umweltgedanken, da auf eine Geländezerstörung gänzlich verzichtet wird. Allein dieser Aspekt ist in der derzeitigen Diskussion um Nachhaltigkeit ein unschätzbarer 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