

3

113. Jahrgang
März 2018, S. 210 -221
ISSN 0005-9900
A 1740

Sonderdruck

Beton- und Stahlbetonbau



Verankerung von Lärmschutzwänden auf Bauwerken der Deutschen Bahn und im Straßenbau

**Reibgeschweißte Edelstahl-Betonstahlanker für statische
und ermüdungsrelevante Lasten**

Bernd Bültemeier
Detlef Ulbrich
Heinrich Ehard
Ömer Bucak

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Brand



Verankerung von Lärmschutzwänden auf Bauwerken der Deutschen Bahn und im Straßenbau

Reibgeschweißte Edelstahl-Betonstahlanker für statische und ermüdungsrelevante Lasten

Lärmschutzwandverankerungen auf Straßen- und Bahnbrücken werden seit Jahren nach Richtzeichnungen der BAST und der Deutschen Bahn mit reibgeschweißten Edelstahl-Betonstahlankern ausgeführt. Für Anwendungen im Bereich der Deutschen Bahn unter Ermüdungsbeanspruchungen aus dem Eisenbahnverkehr haben sich die Randbedingungen für Planung, Bemessung und Anwendung seit Veröffentlichung des Moduls 5501 zur Richtlinie 804 im Jahr 2007 deutlich geändert. Seitdem werden nur noch Verankerungssysteme mit bauaufsichtlicher Zulassung eingesetzt. Die Befestigungsmuttern sind mit Vorspannung und unter Verwendung von NordLock-Keilsicherungsscheibenpaaren gegen unbeabsichtigtes Lösen zu sichern. Querkraften auf den Pfosten sind mit einer Schubknagge oder Querkraftbolzen, jedoch nicht über Reibung zwischen Ankerplatte und Mörtel- bzw. Betonoberfläche oder Lochleibungsdruck abzutragen. An Verankerungen im Straßenbrückenbau werden seitens der beteiligten Behörden deutlich geringere Anforderungen gestellt. Da der natürliche Wind wie auch bei der Bahn als nicht ermüdungsrelevant angesehen wird, erfolgt die Bemessung nur unter quasi-statischen Lasten. Die Ableitung der Querkraft ist nicht eindeutig geregelt und die Verwendung nicht zugelassener Verankerungen üblich. Die maßgeblichen Regelwerke rechtfertigen, dass die Erkenntnisse und Veränderungen im Bereich der Bahn für die Anwendungen im Bereich der Straße geprüft und ggf. teilweise übernommen werden.

1 Allgemeines, Einleitung

Lärmschutzwände bzw. -pfosten auf Bauwerken der Deutschen Bahn (Bild 1) und des Straßenbaus werden üblicherweise mit Ankerkörben, die aus einzelnen Ver-



Bild 1 Lärmschutzwand an einer Bahnstrecke
Noise barrier alongside a railway line

Anchoring noise barriers to structures for Deutsche Bahn and for road projects – Friction-welded stainless steel reinforcing bar anchors for static and fatigue-relevant loads

For many years, noise barriers on road and rail bridges have been fixed with friction-welded stainless steel reinforcing bar anchors according to the standard drawings of the Federal Highway Research Institute (BAST) and Deutsche Bahn. In the case of Deutsche Bahn applications with fatigue loads due to rail traffic, the boundary conditions for design, detailing and applications have changed radically since the publication of Deutsche Bahn Directive RIL 804.5501 in 2007. Since then, the only anchorage systems used have been those with a National Technical Approval. The fixing nuts must be secured against unintentional loosening by applying a preload and fitting NordLock wedge lock washers. Shear forces acting on the posts must be resisted by a shear connector or shear bolts, and not by friction between the anchor plate and the surface of the mortar or concrete. The authorities place far lower requirements on anchorages for road bridges. As with railway applications, natural wind loads are not regarded as relevant to fatigue, and so design is carried out for quasi-static loads only. Transfer of shear forces is not clearly regulated and the use of non-approved anchorages is common. The relevant codes of practice justify that the findings and changes affecting railway applications be checked and, if necessary, transferred to some road applications.

kerungsstäben bestehen, nach Richtzeichnungen oder Regelwerken der Deutschen Bahn [1–3] bzw. der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST, [4]) befestigt. Bei den Verankerungsstäben handelt es sich um reibgeschweißte Verbindungen aus einer Edelstahlgewindehülse und Betonstahl B500B nach DIN 488. Diese Systeme haben sich über einen langen Zeitraum bewährt.

Aus den Erfahrungen an den Hochgeschwindigkeitsstrecken der Deutschen Bahn haben sich in den vergangenen Jahren weitere Erkenntnisse und daraus resultierende Forderungen ergeben:

- Ansatz ermüdungsrelevanter Beanspruchungen aus dem Eisenbahnverkehr
- Verwendung von Schraubensicherungssystemen mit bauaufsichtlichem Verwendbarkeitsnachweis und Eindrehen der Befestigungsmittel mit Vorspannung
- Verwendung vollständiger Verankerungssysteme mit bauaufsichtlicher Zulassung
- Abtrag der Querkraft nicht über die Ankerstäbe, sondern über Schubknaggen, Querkraftbolzen o.Ä. ohne

Berücksichtigung der Reibung zwischen Ankerplatte und Mörtel- bzw. Betonoberfläche

- Ausbildung der Ankerplatten mit ausreichend großen Durchgangsbohrungen, sodass eine zwängungsfreie Montage der Pfosten möglich ist

Der Deutsche Verband für Lärmschutz an Verkehrswegen (DVLV) hat in Zusammenarbeit mit der Bahn hilfreiche Lösungsansätze geliefert.

Im Bereich des Eisenbahnbaus setzen sich diese Erkenntnisse bereits im Regelwerk, in technischen Mitteilungen oder EBA-Verfügungen [5] und Schritt für Schritt in der Planung und Bauausführung durch. Das Eisenbahnbundesamt (EBA) agiert dabei als Genehmigungsbehörde für die Deutsche Bahn als quasi privater Bauherr. Hier werden in der Regel nur Ankersysteme mit Zulassung verbaut. Bei Anwendungen im Straßenbau, wo die Verwaltungen hoheitlich agieren und sich auf die ZTV-Ing stützen, werden hingegen auch regelmäßig Produkte ohne bauaufsichtliche Zulassung verwendet.

Die nachfolgenden Ausführungen betrachten die o.g. Punkte im Detail. Sie beziehen sich – wenn nicht ausdrücklich anders erwähnt – auf den RS Schwerlastanker der Firma Schroeder-Neuenrade mit bauaufsichtlicher Zulassung durch das DIBt für statische und ermüdungsrelevante Beanspruchungen [6]. Sie können aufgrund produktspezifischer Eigenschaften nicht 1:1 auf im Markt ebenfalls verwendete Verankerungen ohne bauaufsichtliche Zulassung übertragen werden.

Nachfolgend werden für die nichtrostenden Stähle nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 [7] bzw. nach DIN EN 1993-1-4 [8] auch die umgangssprachlich gebräuchlichen Begriffe Edelstahl oder nichtrostender Edelstahl genutzt.

2 Verankerungssysteme

Ein Verankerungsstab besteht aus einer Gewindehülse aus nichtrostendem Stahl, die per Reibschweißung mit einem Betonstahl B500B nach DIN 488 verbunden ist (Hülsenanker, Bild 2 rechts). Die Gewindehülse dient zur Befestigung des Lärmschutzwandpfostens und der Betonstahl zur Verankerung im Beton.

Die Gewindehülsen sind aus nichtrostenden Stählen 1.4401, 1.4404 der Gruppe A4 oder 1.4571 der Gruppe A5 gefertigt. Für Verankerungen im Bereich der Deutschen Bahn kommen nach Vorgabe der Richtzeichnung M-RKP 10 [3] bisher die Gewindegrößen M22, M24 und M27 zur Ausführung. Aus technischer und wirtschaftlicher Sicht wäre die Verwendung kleinerer und größerer Abmessungen zu begrüßen. Für Anwendungen im Straßenbau werden nach den Vorgaben der RiZ-LS1 [4] üblicherweise Gewindehülsen von der Größe M16 bis M30 eingesetzt.



Bild 2 RS-Schwerlastanker – links als Bolzenanker, rechts als Hülsenanker
RS heavy-duty anchor in the form of a stud anchor/male part (left) and socket anchor/female part (right)

Der Ankerstab bildet zusammen mit den Befestigungsmitteln – Gewindestange, Befestigungsmutter, Unterlegscheiben, ggf. Keilsicherungsscheibenpaar – das Ankersystem, welches als solches auch geprüft wurde [6].

Bei ermüdungsrelevanten Beanspruchungen ist sowohl nach der Produktzulassung als auch nach den Forderungen der Deutschen Bahn bzw. des Eisenbahn-Bundesamtes das Ankersystem als Ganzes einzusetzen. Nur bei im System abgestimmten Fertigungsprozessen, Gewindetoleranzen und Reibbeiwerten von Hülse und Gewindestange können die Werte für die Ermüdungswiderstände sowie die Angaben zu Vorspannung und Anzugsdrehmoment der Zulassung angesetzt werden. Bei der Verwendung nicht zum System gehöriger Einzelteile wird der Anwendungsbereich der Zulassung verlassen.

Alternativ ist auch die Ausführung mit reibgeschweißten Gewindebolzen aus nichtrostendem Stahl möglich (Bolzenanker, Bild 2 links). Da die aus dem Beton herausstehenden Gewindebolzen den Arbeitslauf bei der Kappenherstellung stark beeinträchtigen, ist diese Bauweise jedoch unüblich. Die deutlich höhere Ermüdungsfestigkeit der Bolzenanker bei gleicher Dimension spricht jedoch für deren Verwendung.

3 Reibschweißen

Beim Reibschweißen erfolgt die Wärmeeinbringung rein mechanisch durch Reibung. Von zwei gegenüberliegend eingespannten Werkstücken wird eines in Rotation versetzt und die Werkstücke werden zusammengepresst. Durch Druck und Relativgeschwindigkeit erwärmen sich die Werkstücke bis dicht an die Schmelztemperatur. Nach Stopp der Rotation werden die Werkstücke weiterhin zusammengepresst und verbinden sich metallisch miteinander.

Bei den hier betrachteten Ankerstäben werden die Gewindehülse bzw. der Gewindebolzen in Rotation versetzt

und der Betonstahl wird gegen das jeweilige Teil gedrückt.

Der Reibschweißprozess unterteilt sich in mehrere Abschnitte:

- Reibphase 1 – Vorreibphase, Einreibphase
- Reibphase 2 – Erwärmungsphase
- Abbremsphase
- Stauchphase – Verschweißphase

Die Vorreibphase dient zur Glättung und Reinigung der Oberflächen der beiden Werkstücke. Die in der Regel gesägten Werkstücke berühren sich nur in den Randbereichen, in denen hohe Flächenpressungen auftreten, die zu elastischen und plastischen Verformungen führen. Zusammen mit örtlichen Aufschmelzungen führt dies zu einem Einebnen der beiden Flächen. Gleichzeitig werden Verunreinigungen an der Oberfläche gelöst und durch die Radialkräfte aus der Verbindung nach außen geschleudert.

Die Erwärmungsphase führt zu einer weiteren Temperaturerhöhung und zu einem Temperatúrausgleich über den gesamten Querschnitt. Hochplastisches, aufgeschmolzenes Material wird in noch kältere Bereiche der Oberfläche gedrückt, dort kühlt es ab. Dadurch wiederum steigt die Reibung und damit die Temperatur. Dies führt zu einer gleichmäßigen Temperaturverteilung über den Querschnitt. In der Randzone der Oberflächen wird hochplastisches Material nach außen gedrängt. Die Reibschweißwulst entsteht, und die beiden Werkstücke verkürzen sich (Reibschweißverkürzung) (Bild 3).

In der Abbremsphase wird die Rotation gestoppt, die Temperatur sinkt über den gesamten Querschnitt schnell um geringe Beträge ab.

Nach der Abbremsphase beginnt mit einer Erhöhung der Anpresskraft (= Stauchkraft) die Stauch- oder Verschweißphase. Der erhöhte Anpressdruck bewirkt eine schlagartige und deutlich sichtbare Verkürzung der Werk-

stücke und Vergrößerung der Reibschweißwulst. Die beiden Werkstücke verschmelzen quasi miteinander und es wird eine metallische Verbindung erzeugt.

Durch die vergleichsweise geringe und nur kurzzeitige Erwärmung in einer Größenordnung von ca. 1200°C ergibt sich über den Reibschweißquerschnitt nur ein geringer temperaturbedingter Einfluss auf das Gefüge.

Die Tragfähigkeit der reibgeschweißten Verbindungen wird durch die Tragfähigkeit des schwächeren Werkstückes bestimmt. Das gilt – bei den hier betrachteten Betonstahl/Edelstahlankern – sowohl für statische als auch für ermüdungsrelevante Beanspruchungen (Bilder 4 und 6).

Bei den untersuchten zugelassenen Ankern stellt die Reibschweißverbindung keinen ungünstigeren Kerbfall als die beiden einzelnen Werkstoffe bzw. Werkstücke dar.

4 Nichtrostende Stähle und Korrosion

4.1 Materialauswahl

Die nichtrostenden Stähle sind für die verschiedenen Einsatzbereiche fünf Korrosionsbeständigkeitsklassen CRC I bis CRC V zugeordnet. Die Auswahl der geeigneten Stahlsorte erfolgte bis zum 01.05.2017 nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 [7] (hier noch als Korrosionswiderstandsklasse KWK bezeichnet) und seitdem nach DIN EN 1993-1-4, Anhang A [8]. Die beiden unterschiedlichen Verfahren führen jedoch zu den gleichen Ergebnissen.

Verbindungselemente aus nichtrostenden Stählen sind zusätzlich nach DIN EN ISO 3506 [9] entsprechend ihrer

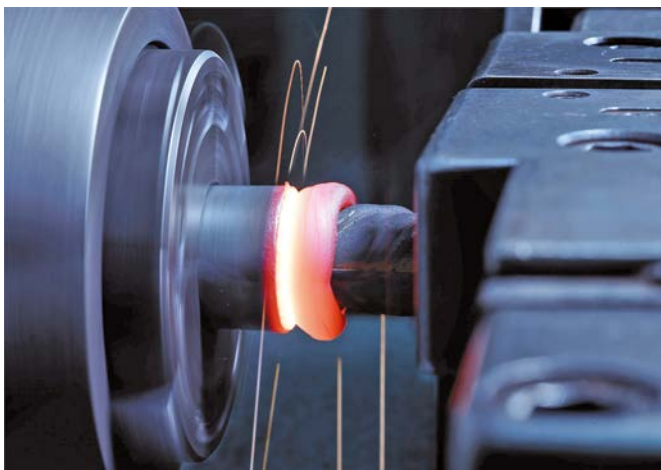


Bild 3 Darstellung der Reibphase 2
Friction welding phase 2



Bild 4 Schnitt durch einen Bolzenanker – nach einem statischen Zugversuch
Section through a stud anchor – after statical steel failure test

chemischen Zusammensetzung den Werkstoffgruppen A2 bis A5 zugeordnet (A steht für austenitisches Gefüge). Zu den Gruppen A2 und A3 gehören Stahlsorten aus der Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC II und zu den Gruppen A4 und A5 Stahlsorten der CRC III. Stahlsorten der CRC IV und V sind derzeit nicht in der genannten Norm geregelt.

Bei der Auswahl der geeigneten Stahlsorte spielen neben der Exposition gegenüber Schadstoffen auch die Einbausituation und die regelmäßige Pflege eine wichtige Rolle. Sind Bauteile frei bewittert, sodass Schadstoffe regelmäßig abgewaschen werden können, oder ist das Entfernen der Schadstoffe durch Reinigungsmaßnahmen gewährleistet, dürfen ggf. auch Stähle aus einer Korrosionsbeständigkeitsklasse niedriger verwendet werden.

Nichtrostende Stähle bilden durch die Reaktion des im Werkstoff enthaltenen Chroms mit Sauerstoff und Feuchtigkeit an der Oberfläche eine dünne Passivschicht aus Chromoxid. Eine abtragende Flächenkorrosion tritt damit in der Anwendung praktisch nicht auf, lediglich in starken Säuren oder Laugen ist damit zu rechnen. Möglich sind jedoch örtliche Korrosionserscheinungen bei beschädigten oder gestörten Passivschichten unter Einfluss aggressiver Medien: Lochkorrosion, Spaltkorrosion und Spannungsrisskorrosion. Weitergehende Informationen zu diesen Korrosionserscheinungen können der einschlägigen Fachliteratur entnommen werden.

Für die hier betrachteten Verankerungen der Lärmschutzwände auf Bauwerken sind örtliche Korrosionserscheinungen nicht als kritisch anzusehen. Zum einen sind die Umgebungstemperaturen niedriger und zum anderen werden Chloridaufkonzentrationen durch freie Beregnung verhindert, sodass die A4-Werkstoffe in der Regel ausreichend sind. Anders sieht es bei Einbauteilen in Straßentunneln aus. Tausalzlösung wird durch den Verkehr in den Tunnel eingebracht und fehlende Beregnung kann zu Aufkonzentrationen von Schadstoffen führen. In Straßentunneln ist daher der Werkstoff 1.4529 der Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC V vorgesehen.

4.2 Kontaktkorrosion

Unter Kontaktkorrosion versteht man die elektrochemische Korrosion zwischen zwei Metallen unterschiedlicher Einordnung in die elektrochemische Spannungsreihe. Durch das Potentialgefälle wandern bei direktem Kontakt der beiden Werkstoffe Elektronen von der Anode, dem unedleren Metall, zu der Kathode, dem edleren Metall. Dabei wird das unedlere Material zerstört (Bild 5). Dazu ist ein Elektrolyt (Wasser) in der Umgebung erforderlich.

Begünstigt wird die Kontaktkorrosion durch ein großes Potentialgefälle, hohe Temperaturen und ein ungünstiges Flächen- bzw. Massenverhältnis, wobei ein hoher Anteil

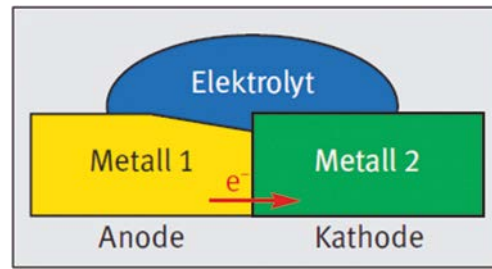


Bild 5 Schematische Darstellung der Kontaktkorrosion [10]
Schematic diagram of galvanic corrosion [10]

edleren Materials zur schnelleren Zerstörung des unedleren Materials führt.

Bei den hier betrachteten Verankerungen besteht an der Reibschweißverbindung sowie an der Kontaktfläche der Unterlegescheiben bzw. Keilsicherungsscheiben aus nichtrostendem Stahl auf der Fußplatte aus Kohlenstoffstahl die Möglichkeit zur Kontaktkorrosion.

An der Reibschweißverbindung kann bei einem fachgerechten und zulassungskonformen Einbau der Verankerungen mit einer Mindestbetonüberdeckung von 60 mm über der Reibschweißnaht – bzw. 50 mm frei von Anlaufarben dunkler als strohgelb – davon ausgegangen werden, dass im Bereich der Reibschweißverbindung nicht genügend Feuchtigkeit als Elektrolyt zur Verfügung steht und somit keine Korrosion stattfindet.

Die Kontaktfläche zwischen den Unterlegescheiben bzw. Keilsicherungsscheibenpaaren aus nichtrostendem Stahl und der Fußplatte aus Stahl ist ebenso unkritisch, da nicht ausreichend edles Material als Kathode zur Verfügung steht. Zudem sind die Pfosten und Fußplatten in der Regel korrosionsschutzbeschichtet.

5 Zulassungsversuche

Die für die Erteilung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung erforderlichen versuchstechnischen Untersuchungen wurden durch die Labor für Stahl- und Leichtmetallbau GmbH (Aninstitut der Hochschule München) mit Sitz in Kissing durchgeführt [11]. Vor dem Hintergrund des Anwendungsbereichs in ermüdungsrelevant beanspruchten Strukturen wurde das Hauptaugenmerk der versuchstechnischen Untersuchungen auf die sichere Bewertung der Ermüdungstragfähigkeit der beiden Systeme „Hülsenanker“ und „Bolzenanker“ gelegt. Darüber hinaus wurden ebenso quasi-statische Traglastversuche an den reibgeschweißten Ankersystemen durchgeführt. Die quasi-statischen Versuche bestätigten die gute rechnerische Prognostizierbarkeit der reibgeschweißten Bauteile sowohl hinsichtlich der Versagensmechanismen als auch der Versagenslasten.

Die Ermüdungsversuche wurden an verschiedenen, maßgebenden Größenkombinationen der Ankersysteme kraftgeregelt unter Zugschwellbeanspruchung für ein Span-

nungsverhältnis $R = 0,1$ durchgeführt. Somit ist über die Versuchsdauer eine konstante Schwingamplitude sichergestellt. Die Abschaltkriterien der Prüfmaschine wurden über begleitende Frequenzmessungen definiert. Entsprechende Frequenzabfälle (hier $\Delta f = 0,1$ Hz) im Falle einer Schädigung im Prüfkörper können messtechnisch erfasst werden, somit kann die entsprechende Lastwechselzahl aufgezeichnet und die zugehörige Schädigung optisch bestimmt werden. Das zugehörige Versagenskriterium stellte hierbei ein Durchriss durch die Hülse wandung bzw. ein Anriss im Betonstahl/in der Gewindehülse dar. Aufgrund der vorhandenen Beanspruchungsart konnte hier ein sehr schnelles Risswachstum festgestellt werden. Eine exemplarische, im 600-kN-Hochfrequenzpulser eingebaute Probe ist in Bild 6 zu sehen.

Bezüglich der Versagensmechanismen konnte unter Ermüdungsbeanspruchung festgestellt werden, dass die Hülseanker bei den untersuchten Kombinationen durch Anrisse in der Hülse versagen und die Hülse somit die bemessungsrelevante Komponente darstellt. Bei den Bolzenankern verhält sich dies etwas differenzierter. In Abhängigkeit von den Querschnittsverhältnissen A_{B0}/A_{BS} der Gewindebolzen A_{B0} und der Betonstähle A_{BS} tritt entweder ein Versagen im Betonstahl oder im Gewindebolzen auf.

Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen konnten die Ermüdungstragfähigkeiten der Bauteile in Form von spezifischen Nennspannungs-Wöhlerlinien für Betonstahl-, Hülse- und Bolzenversagen durch statistische Auswertung der einzelnen Versuchsergebnisse, mit freier Neigung der Wöhlerkurve, in Form von 95 %-Quantilen für eine Aussagewahrscheinlichkeit von 75 % (in Korrelation mit EC3) ermittelt werden, auf deren Basis rechnerische Bewertungen hinsichtlich weiterer praxisrelevanter Parameter, wie maximal möglicher Mörtelbettdicken oder maximal zulässiger Ankerschiefstellungen, durchgeführt wurden.

Bezüglich der Auswertungen wurde ausschließlich zwischen den Systemen Hülse- und Bolzenanker unterschieden. Alle durchgeführten Versuche wurden in der statistischen Auswertung berücksichtigt. Der entsprechende und konservativ gewählte Bezugsquerschnitt wurde durch, auf der sicheren Seite liegende Grenzwertbetrachtungen festgelegt.

Das Bild 7 zeigt die für die Systeme Hülseanker und Bolzenanker versuchstechnisch bestimmten Bemessungs-Wöhlerlinien ohne planmäßige Ankerschiefstellung. Hierbei stellt die durchgezogene Linie die Mittelwertkurve, die gestrichelten Linien die 5 %- und 95 %-Quantil-Kurven dar. Aus Bild 7 (oben) kann die sehr gute Korrelation der erzielten Versuchsergebnisse (hier Versagen im geschnittenen Gewinde) mit den Kerbfallvorgaben aus EC3 (Kerbfall 50 – $m = 3$) entnommen werden.

Die angesetzten, maximal zulässigen Ankerschiefstellungen wurden in Korrelation zu DIN EN 1090-2 mit maxi-

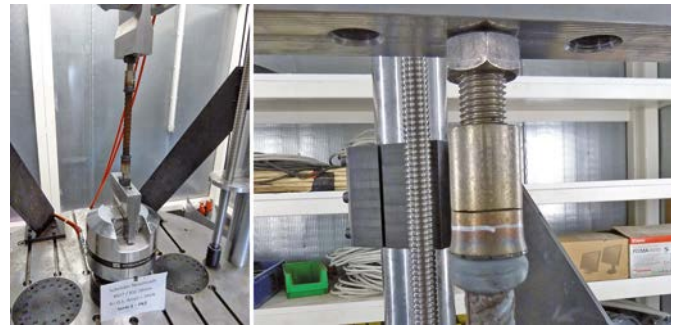


Bild 6 Hülseanker im Dauerschwingversuch sowie typisches Versagensbild
Fatigue test on socket anchor and typical failure

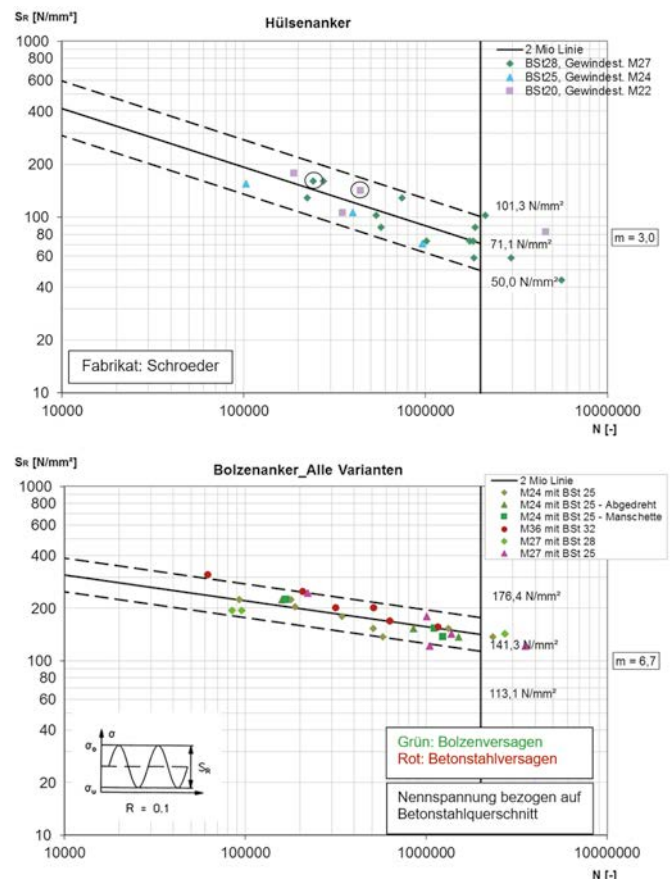


Bild 7 Wöhlerlinien für die Hülseanker- sowie Bolzenankerversuche
S-N-curves for socket anchors and stud anchor

mal 3° festgelegt. Nähere Informationen hierzu können Abschn. 6.1 entnommen werden. Die aus dieser Schiefstellung resultierende Momentenbeanspruchung und die sich hieraus ergebende Reduktion der Ermüdungstragfähigkeit wurden in den Kerbfalleinstufungen und somit in den Bemessungstabellen der Produktzulassung für die Anwendung berücksichtigt.

6 Anwendung auf der Baustelle

6.1 Einbau der Ankerstäbe

Die Ankerstäbe werden in der Regel mit der Gewindehülse bündig zur Betonoberfläche – bzw. bei Kappen mit Querneigung wenige mm höher oder tiefer – eingesetzt.



Bild 8 Ankerkorb in der Schalung – Ankerkorb nicht an den Ankerstäben mit der Bewehrung verschweißen
Anchor cradle in formwork – do not weld anchor bars of anchor cradle to reinforcement

Die maximalen Überstände der Gewindehülse aus dem Konstruktionsbeton sind der Produktzulassung zu entnehmen. Aus Korrosionsschutzgründen sind die Edelstahlteile so weit einzubetonieren, dass der Bereich mit Anlauffarben dunkler als strohgelb mit mindestens 50 mm Beton oder Mörtel überdeckt ist (Bild 8).

Um auf der Baustelle ein einfacheres, schnelleres und genaueres Arbeiten zu ermöglichen, werden die einzelnen Ankerstäbe werkseitig mit angeschweißten Fixierstäben zu Körben zusammengefügt. Bei Ankern, die für ermüdungsrelevante Beanspruchungen geeignet sind, werden die Fixiereisen nicht direkt an den Ankerstäben, sondern an aufgepressten Fixierhülsen verschweißt, um einen ungünstigen Kerbfall zu vermeiden.

Nachträgliche Schweißungen an den Ankerstäben z. B. zum Fixieren in der Schalung sind gemäß Produktzulassung nicht erlaubt. Durch nachträgliche Schweißarbeiten an den Stäben kann ein ungünstiger Kerbfall entstehen und der Ermüdungswiderstand deutlich reduziert werden.

Toleranzen für den Einbau der Ankerstäbe können der DIN EN 13670 [12] und der DIN EN 1090-2 [13] entnommen werden, in denen Ankerschrauben bzw. Fundamentanker betrachtet werden. Die zulässige Horizontalverschiebung in der Befestigungsebene beträgt längs und quer zur Trasse ± 3 mm. Für die zulässige Winkelabweichung zur Ankerachse finden sich in den Regelwerken unterschiedliche Angaben. DIN EN 1090-2 nennt hier 2,8°, allerdings für regulierbare Ankerschrauben. Die DIN EN 13670 gibt als zulässige Ausmitte den Maximalwert aus 5 mm und 1/200 des Überstandes an. Auf die Hülsenanker übertragen gelten die Werte bezogen auf OK Gewindestange. (DIN EN 13670 Anhang G – Bild G6, DIN EN 1090-2 Absatz 11.3.2 und Anhang D2, Tabelle D2.20). Eine zu große Winkelabweichung zur Ankerachse kann einen traglastmindernden Einfluss we-

gen der zusätzlichen Querkraft- und Biegebeanspruchung haben. Aus diesem Grund ist die Schiefstellung in der Zulassung auf 3° begrenzt.

Ergänzend zur bekannten Einlegemontage ist auch die nachträgliche Befestigung mit Verbundmörteln für nachträgliche Bewehrungsanschlüsse im Rahmen der Produktzulassung abgedeckt. Für die Anwendung – Planung, Bemessung und Einbau – sind in dem Fall die Vorgaben der Produktzulassungen für den Ankerstab und für den Verbundmörtel zu beachten.

6.2 Montage der Pfosten

Bei der Pfostenmontage kann man zwischen ruhend oder quasi-statisch und ermüdungsrelevant beanspruchten Verankerungen unterscheiden.

Bei beiden beginnt die Montage zunächst gleich:

1. Handfestes Eindrehen der Gewindestangen in die Hülsenanker.
2. Untere Stellmuttern auf die Gewindestangen aufdrehen.

Bei Systemen mit Ermüdungslasten im Bereich der Deutschen Bahn geht es wie folgt weiter (die Fotos zeigen eine Montage noch ohne Schubknagge vor der EBA-Verfüllung [5]):

3. Einlegen einer Elastomerscheibe auf die Stellmutter (Bild 9). Alternativ kann auch eine Stellmutter aus kompressiblem Material verwendet werden.
4. Pfosten aufsetzen und mit den unteren Stellmuttern ausrichten.
5. Befestigungsmuttern mit Keilsicherungsscheibenpaaren als Schraubensicherung handfest anziehen; keine zusätzlichen Unterlegscheiben anordnen. Aktuell sind dafür nur die Keilsicherungsscheibenpaare der Fa. NordLock [14] zugelassen.
6. Fußplatte mit Mörtel unterfüttern oder vergießen.
7. Nach Erhärten des Mörtels die Befestigungsmuttern mit dem erforderlichen Anzugsdrehmoment anziehen (Bild 10).

Im Straßenbau wird gemäß der RiZ LS 1 [4] häufig auf die Elastomerscheibe unter der Fußplatte verzichtet und als Schraubensicherung lediglich eine Kontermutter auf die Befestigungsmutter gedreht. Bei dieser Vorgehensweise wird die Fußplatte nicht gegen das Mörtelbett verspannt, es wird keine Vorspannung in der Verankerung erzeugt und die Ankerstäbe werden mit Zug- und Druckkräften beansprucht. Dies ist bei Systemen mit vorwiegend ruhenden Beanspruchungen zulassungskonform, jedoch bei mit Wind beanspruchten Verankerungen kritisch zu hinterfragen. Bei ermüdungsrelevant beanspruchten Verankerungen verdoppelt sich die Spannungsschwingbreite in den Ankerstäben durch den zusätzlichen Druckanteil und die Dauerstandfestigkeit sinkt. Zu



Bild 9 Montageschritte 1, 2 und 3: eingedrehte Gewindestangen mit Stellmutter und Elastomerscheiben
Assembly steps 1, 2 and 3: threaded bars screwed in and fitted with adjusting nuts and elastomeric washers



Bild 11 Ankerkorb 8M27 – ca. 4–5 cm Mörtelbett und 40 mm dicke Fußplatte, Durchgangsbohrungen mit 30 mm Durchmesser; auch bei Einhaltung der Toleranzen nach DIN EN 13670 bei Einbau des Ankerkorbes ist eine Montage des Pfostens so nicht möglich
Anchor cradle 8M27 – approx. 4–5 cm grout bed, 40 mm thick base plate, 30 mm holes; even when adhering to the tolerances of DIN EN 13670 when installing the anchor cradle, it is not possible to set up the post in this way



Bild 10 Nach Montageschritt 7 – Pfosten mit Unterermörtelung der Fußplatte
After assembly step 7 – post with bed of grout under base plate

bedenken ist auch, dass die Keilsicherungsscheiben aufgrund definierter Anzugsdrehmomente aus der Zulassung für die Planung und Ausführung deutlich mehr Sicherheit gegenüber Kontermuttern bieten.

An der Schnittstelle Pfostenmontage entsteht regelmäßig ein Konflikt zwischen Toleranzen aus dem Betonbau und denen des Stahlbaus (Bild 11). Häufig werden Durchgangsbohrungen in der Fußplatte mit einem relativ geringen Übermaß, basierend auf der DIN EN 1090-2 (Tabelle 11) [13] oder DIN/SPEC 1021-4-1 (Tabelle 1) [15] hergestellt, z.B. eine 26-mm-Bohrung bei M24. Diese Werte gelten jedoch für Befestigungen mit gewünschter Querkraftaufnahme. Da die hier betrachteten Ankerstäbe nur Ankernormalkräfte aufnehmen dürfen, müssen die Durchgangsbohrungen entsprechend größer gewählt werden. Dabei sind die zulässigen Toleranzen bei Einbau der Ankerkörbe zu berücksichtigen und die Durchgangsbohrungen entsprechend zu vergrößern (vgl. Produktzulassung [6], EBA-Verfugung [5]).

7 Bemessung

7.1 Einwirkungen

Die Pfosten der Lärmschutzwände stehen senkrecht, gelegentlich mit leichter Neigung zur Vertikalen, und werden in der Regel am unteren Ende mit einer Fußeinspannung gehalten. Das obere Ende ist frei.

Auf die Lärmschutzwände und -pfosten wirken veränderliche Lasten aus natürlichem Wind w_{Pfoften} und zusätzlich bei Anwendungen an Bahnstrecken Belastungen aus dem Eisenbahnverkehr q_{Pfoften} , in der Regel senkrecht zur Wand bzw. Pfostenachse (Bild 12). Während die Beanspruchungen des natürlichen Windes in der Regel als quasi-statisch angenommen werden, beansprucht die eisenbahnduzierte Druck-Sog-Welle die Lärmschutzanlage dynamisch und ermüdungsrelevant. Aus dem Eigengewicht g_{Pfoften} der Konstruktion ergibt sich im Pfosten eine Drucknormalkraft in nur geringer Höhe, die zudem für die Bemessung der Verankerung üblicherweise keine Rolle spielt.

Im Pfostenfuß treten somit Biegemomente, Horizontalkräfte und Vertikalkräfte auf. Aus dem Einspannmoment ergibt sich ein Kräftepaar mit Zug- und Druckkräften in Richtung der Ankerachse (Bilder 12 und 13).

Bei Anwendungen mit Schraubensicherungssystem, obligatorisch bei ermüdungsrelevanten Beanspruchungen, wirken zusätzlich Zugkräfte auf die einzelnen Ankerstäbe, die sich aus dem erforderlichen Anzugsdrehmoment und der daraus resultierenden Vorspannkraft für das Funktionieren der Schraubensicherung ergeben. Die Vorspannkräfte sind vergleichsweise hoch und in der Regel maßgeblich für die Ermittlung der Verankerungslänge.

Zusammengefasst wirken auf Höhe der Fußplatte und bezogen auf die Ankerachse vorwiegend ruhende und er-

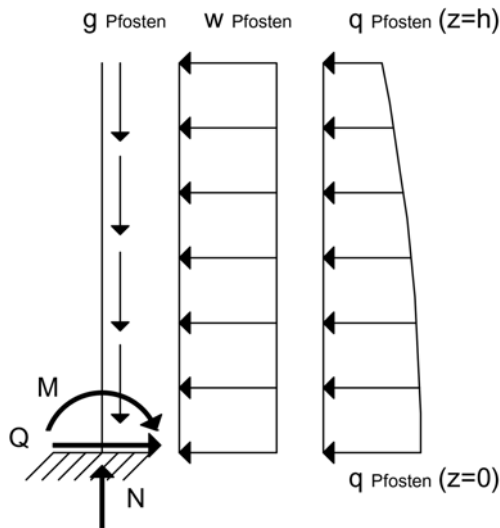


Bild 12 Statisches System mit Darstellung der Einwirkungen und Auflagerreaktionen
Structural system illustrating the actions and support reactions

müdungsrelevante, vorwiegend nicht ruhende Normal- und Querkkräfte.

7.2 Lastabtrag über den Anker

Die hier betrachteten reibgeschweißten Edelstahl-Betonstahlanker sind als reine Zugstäbe – mit Einschränkungen auch als Druckstäbe – anzusehen. Sie werden als Endverankerungsstoß nach DIN EN 1992-1-1 [16] bemessen und dürfen daher keine Kräfte quer zur Ankerachse aufnehmen. Bei entsprechender Verankerungslänge im Beton können auch in Ankergruppen oder am Rand die vollen Stahltragfähigkeiten in den Beton eingeleitet wer-

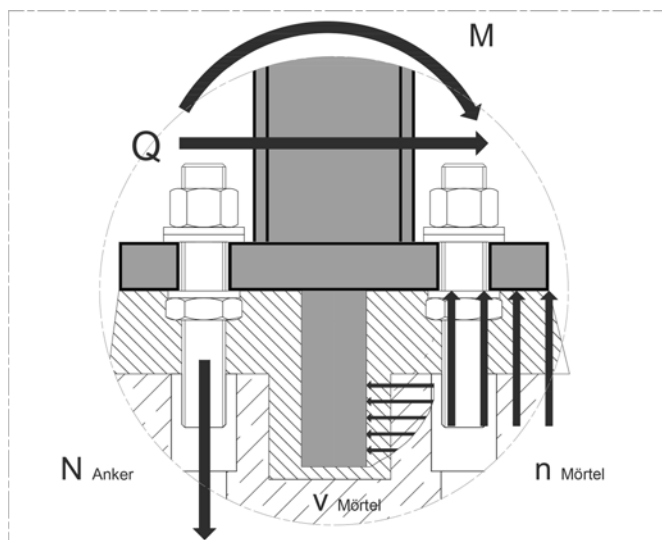


Bild 13 Abtrag der Lasten bei einer Verankerung mit Elastomerscheibe: Druckkräfte werden nicht in die Ankerstäbe, sondern in das Mörtelbett übertragen, zur besseren Übersichtlichkeit ohne Berücksichtigung des Eigengewichts der Konstruktion und der Vorspannung
How the loads are carried via an anchorage with elastomeric washer; compressive forces are not transferred to the anchor bars, instead to the grout bed (self-weight of the structure and preload of the connection omitted to improve clarity)

den, da die Betonüberdeckung des Ankerstabes aus Korrosionsschutzgründen üblicherweise die Anforderung an die Betonüberdeckung zur Sicherung der Verbundwirkung deutlich übertrifft.

Daraus ergibt sich, dass eine strikte Trennung der Normalkräfte in Richtung der Ankerachse von den Querkräften senkrecht zur Ankerachse erforderlich ist.

Zuglasten aus dem Fußmoment werden über die Fußplatten auf die Befestigungsmutter und die Gewindestange in den Ankerstab übertragen.

Grundsätzlich sind die Ankerstäbe auch für die Aufnahme von statischen Druckkräften geeignet. Diese werden aber bei fachgerechter Montage auf das Mörtelbett und dann auf den Beton übertragen. Bauaufsichtlich zugelassene Ankersysteme für die Aufnahme ermüdungsrelevanter Drucklasten sind den Autoren nicht bekannt.

7.3 Abtrag der Querkraften

Für den Abtrag der Querkraften stehen im ersten Ansatz verschiedene Wege zur Auswahl:

- Aktivierung der Reibung zwischen Fußplatte, Mörtelbett und Betonoberfläche
- Zusätzliche Schubknaggen oder -dorne von unten, in der Regel mittig mit der Fußplatte verschweißt (Bild 14)
- Zusätzliche Dübel oder Kopfbolzen, möglichst in der Nulllinie des Biegemoments angeordnet, sodass dort keine Zugkräfte aus dem Einspannmoment wirken

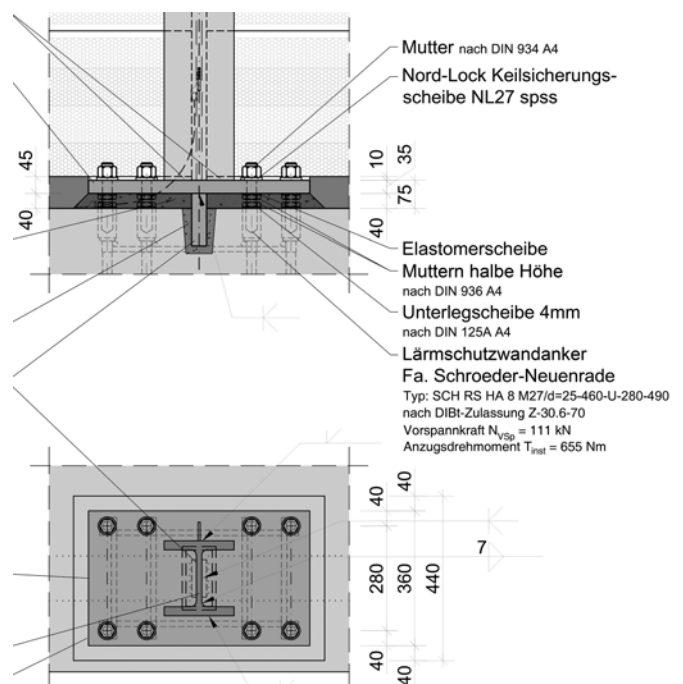


Bild 14 Ankerkorb mit Schubknagge
Anchor cradle with shear connector

Über Jahre wurde die Querkraft sowohl bei Verankerungen im Straßenbau unter angenommenen vorwiegend ruhenden Einwirkungen als auch im Bereich der Deutschen Bahn mit zusätzlichen ermüdungsrelevanten Lasten über Reibung abgetragen. Mit Ansatz der Flächenpressung unter der Fußplatte aus dem Einspannmoment sowie einer ggf. aufgetragenen Vorspannung und Reibbeiwerten im Bereich zwischen $\mu = 0,2$ bis $0,3$ können Reibungskräfte ermittelt werden, die ausreichend groß zur Lagesicherung des Pfostens sind.

Dahingegen sieht die DIN EN 1993-1-8 „Bemessung von Anschlüssen“ [17] in Kapitel „6.2.2. Querkraft“ unter Absatz 6 zur Aktivierung der Reibung nur die Druckkraft in der Stütze vor. Mit der recht geringen Druckkraft aus dem Eigengewicht der Stütze und den unklaren Reibungsverhältnissen zwischen Fußplatte und Mörtelbett kann der Nachweis in der Regel nicht geführt werden. Zudem gilt die Norm nur für vorwiegend ruhende Lasten, ist also für eisenbahnspezifische Anwendungen nicht geeignet.

Bei der Bemessung von Befestigungsmitteln wie Kopfbolzen oder Dübel nach DIN/SPEC 1021-4-1 wird die Reibung nicht berücksichtigt, „da es schwierig ist, die Wirkung der Reibung auf den Widerstand vertrauens-erweckend zu quantifizieren“ ([15], Kapitel 5.2.1).

Auch wenn beide Regelwerke nicht explizit die hier betrachteten Verankerungsstäbe betrachten, wird deutlich, dass der Ansatz der Reibung zur Aufnahme der Querlasten

- für Anwendungen im Straßenbau bei Betrachtung des Windes als quasi-statisch in der Regel nicht ausreichend ist, und
- für vorwiegend nicht ruhende Beanspruchungen aus dem Eisenbahnverkehr im Bereich der Deutschen Bahn sowie bei einer wirklichkeitsnäheren Betrachtung des Windes als ermüdungsrelevant bzw. dynamisch je nach Schwingungsanfälligkeit der Wand auch im Straßenbau nicht gerechtfertigt ist.

Bei der Bemessung von Schubknaggen, Querkraftdornen, Dübeln o.Ä. zur Aufnahme der Querkraft ist zu beachten, dass es sich hier um eine Abstandsmontage handelt. Auf die Querkraftsicherung wirkt zusätzlich ein Biegemoment. Dübelssysteme oder Einbetonieranker haben aufgrund der verfügbaren Abmessungen für diese Anwendung im Vergleich zu Schubknaggen vergleichsweise geringe Tragfähigkeiten. Bei eisenbahnspezifischen Anwendungen ist weiterhin zu berücksichtigen, dass Dübel oder Einbetonieranker in der Regel keinen Verwendbarkeitsnachweis für die Abstandsmontage unter Ermüdungslasten haben. Eine Ausnahme stellt die Betonschraube der Fa. TOGE Dübel GmbH & Co. KG mit einer EBA-Zulassung dar [18].

Daher werden im Bereich der Deutschen Bahn seit kurzer Zeit regelmäßig Schubknaggen geplant und ausgeführt. Das EBA hat sich mit einer Verfügung [5] vom 08.09.2017 eindeutig positioniert und ebenfalls für er-

müdungsrelevante Beanspruchungen Schubknaggen oder Querkraftbolzen gefordert. Im Bereich des Straßenbaus werden Schubknaggen nur zögerlich eingesetzt.

7.4 Besonderheiten bei ermüdungsrelevanten Beanspruchungen

Bei Anwendungen im Bereich der Deutschen Bahn mit ermüdungsrelevanten Beanspruchungen sind im Vergleich zu Verankerungen mit rein statischer Belastung zusätzliche Anforderungen bei der Bemessung und der Konstruktion der Anker zu beachten.

Da zwischen der Fußplatte und der unteren Stellmutter eine Elastomerscheibe angeordnet ist oder eine untere Stellmutter aus nachgiebigem Material eingesetzt wird, wird die Zugkraft über die Gewindestange in den Ankerstab und von dort in den Beton eingeleitet, und das Mörtelbett unter der Fußplatte ist überdrückt. Diese Konstruktion gewährleistet bei fachgerechtem Einbau der Untermörtelung, dass Druckkräfte aus der Fußplatte in das Mörtelbett und nicht in die Ankerstäbe eingeleitet werden. Bei einem nicht fachgerechten oder beschädigten Mörtelbett besteht die Gefahr, dass die Vorspannung in der Verbindung abgebaut wird, nicht mehr ausreichend für das Funktionieren der Keilsicherungsscheiben ist und dass die Fußplatte auf die Elastomerscheiben drückt, die nicht dafür ausgelegt sind. Insofern ist auf den fachgerechten Einbau der Untermörtelung mit geeignetem Material mit Verwendungsnachweis zu achten, bspw. nach Anlage 01 des Moduls 5101 der Richtlinie 804 [19] mit Verwendbarkeitsnachweis.

In Modul 804.5501 wird gefordert, dass ein Nachweis für ein ständig überdrücktes Mörtelbett zu führen ist. Dazu werden die maßgeblichen charakteristischen Einwirkungsgrößen üblicherweise aus dem Wind oder aus der Kombination Wind und Eisenbahnverkehr angesetzt.

Die Nachweisführungen für die Schraubensicherung und das überdrückte Mörtelbett sind theoretischer Natur und liegen auf der sicheren Seite, da die Streuung der tatsächlichen Vorspannkraft in der Verbindung bei Aufbringen des Anzugsdrehmoments auf der Baustelle abzudecken ist. Daher wird die Reduzierung der Kräfte innerhalb der vorgespannten Verbindung aufgrund der Klemmwirkung sowohl in der Produktzulassung als auch in Modul 804.5501 nicht zugelassen. Die Stahlteile werden sowohl statisch als auch ermüdend mit den vollen Zuglasten nachgewiesen. Bei der Nachweisführung ist Kriechen und Schwinden des Verfüllmörtels zu berücksichtigen.

In der Produktzulassung der Ankersysteme sind die erforderlichen minimalen Vorspannkräfte für das Funktionieren der Schraubensicherung und die maximalen Vorspannkräfte für das Ankersystem sowie die zugehörigen Anzugsdrehmomente enthalten. Die angegebenen minimalen Vorspannkräfte enthalten einen Zuschlag für die Relaxation der Stahlteile, der experimentell ermittelt wurde.

7.5 Beanspruchbarkeiten der Ankersysteme

Die Tragfähigkeit der Ankerstäbe gegen vorwiegend ruhende und ermüdungsrelevante Lasten in Achsrichtung bezüglich Stahlversagen ist der Produktzulassung zu entnehmen.

Die dort angegebenen Materialwiderstände gelten auch bei Ausnutzung der im Betonbau üblichen Toleranzen wie unter 6.1 beschrieben.

Die Lasteinleitung in den Beton berechnet sich als Endverankerungsstoß nach DIN EN 1992 [16]. Bei nachträglich eingesetzten Ankern ist die Lasteinleitung in den Beton entsprechend den Vorgaben der Zulassung für den Verbundmörtel nachzuweisen.

7.6 Bemessung nach der Richtzeichnung LS1 im Straßenbau unter Berücksichtigung der ZTV-Ing

Für Verankerungen auf Bauwerken im Straßenbau sind Mindestabmessungen der Verankerungen nach dem Bemessungsdiagramm LS1 einzuhalten und zusätzlich ist ein statischer Nachweis zu führen.

Das Diagramm ist im Vergleich zu einer individuellen Bemessung nach der Produktzulassung des Verankerungssystems häufig unwirtschaftlich. So ergibt das Bemessungsdiagramm bei einem charakteristischem Einspannmoment von $M_{E,k} = 26 \text{ kNm}$ z. B. einen Ankerkorb Typ 1 mit einem Gewinde M27 und Betonstahl $d = 25 \text{ mm}$. Mit dem vereinfachten Ansatz des Spreizmaßes $a_{\text{quer}} = 240 \text{ mm}$ als Hebelarm ergibt sich aus dem Moment eine Zugkraft pro Ankerstab von $N_{E,k} = 26 \text{ kNm} / (2 \times 24 \text{ cm}) = 54 \text{ kN}$, somit als Bemessungslast $N_{Ed} = 1,5 \times 54 \text{ kN} = 81 \text{ kN}$. Dafür ist ein Hülseanker M22 auf Betonstahl $d = 20 \text{ mm}$ mit einem Bemessungswiderstand $N_{Rd,S} = 106 \text{ kN}$ ausreichend.

Das Bemessungsdiagramm enthält keine Vorgaben zur Festigkeitsklasse der verwendeten Gewindehülsen und -stangen sowie für den Querschnitt der Gewindehülsen. Die Querkraft wird nicht betrachtet und der Lastabtrag bleibt ungeklärt. Die Verwendung von Schubknaggen ist im Straßenbau jedoch noch wenig verbreitet, sodass der Lastabtrag häufig nicht regelkonform über die Reibung oder die Ankerstäbe erfolgt.

Die ZTV-ING fordert in Teil 8 „Bauwerksausstattung“, Abschnitt 6 „Befestigungseinrichtungen und Unterfütterung von Ankerplatten“ [20] bei Verwendung nicht zugelassener Verankerungen als tragendes Befestigungsmittel eine fünffache Sicherheit gegen Versagen. Damit ergibt sich mit dem o. g. Bemessungsbeispiel $N_{Ed} = 81 \text{ kN}$ und $N_{Ek} = 54 \text{ kN}$ eine erforderliche Versagenslast des einzelnen Verankerungsstabes von $N_{Rk} = 5 \times 54 \text{ kN} = 270 \text{ kN}$. Daraus resultiert ein erforderlicher Betonstahlquerschnitt von $A_S = 270 \text{ kN} / 550 \text{ N/mm}^2 = 491 \text{ mm}^2$ – also ein Betonstahl $d = 25 \text{ mm}$.

Das Berechnungsbeispiel zeigt, dass die Verwendung nicht zugelassener Systeme aus technischen und wirtschaftlichen Gründen unsinnig ist. Selbst dann, wenn Fragen des Bauordnungsrechtes und Haftungsfragen im Schadensfall außen vorgelassen werden.

In Tab. 1 sind die wesentlichen Unterschiede zwischen Anwendungen im Bereich des Straßenbaus und des Eisenbahnbaus dargestellt.

8 Weitere Anwendungsbereiche

Neben der Verankerung von Lärmschutzwandpfosten werden die reibgeschweißten Edelstahl-Betonstahl-Anker auf den Bauwerken der Deutschen Bahn zur Verankerung weiterer Ausrüstungsgegenstände wie Geländer, Signalmasten, Oberleitungsmasten, KVZ-Schränke u. Ä., genutzt. Wobei die Signalmaste und Oberleitungsmaste fast ausschließlich mit Bolzenankern verankert werden.

Bei den Oberleitungs- und Signalmasten werden von der Deutschen Bahn in Modul 5601 der Ril 804 [2] die gleichen Anforderungen wie an die Verankerungen von Lärmschutzwandpfosten gestellt, die Verankerungen sind ebenso auf vorwiegend ruhende und ermüdungsrelevante Lasten zu bemessen. Die Aussagen zum Abtrag der Querkraft und zur ermüdungsgerechten Montage gelten daher analog. Allerdings besteht zu diesem Punkt noch kein Konsens zwischen den Fachabteilungen aus dem Brückenbau und der Oberleitungstechnik, die die Masten bzw. die Verankerungen zurzeit lediglich für vorwiegend ruhende Beanspruchungen auslegen.

Eine Schnittstelle zwischen den Anforderungen der Deutschen Bahn und den Richtzeichnungen der BAST gibt es bei der Verankerung des Berührungsschutzes an Straßenbrücken über Oberleitungsanlagen. Die Ausführung ist bei der BAST in der Richtzeichnung ELT2 [21] geregelt.

Tab. 1 Vergleich der Anwendungen im Straßenbau und Eisenbahnbau
Comparison of applications for road and rail

	Eisenbahn	Straße
Lasten	quasi-statisch und Ermüdung	i. d. Regel nur quasi-statisch
Abtrag der Querkraft	Schubknagge oder – dorn	Reibung, Lochlaibung
zugelassene Systeme	ja – immer	häufig Anker ohne Zulassung und Mischen von Komponenten
Schraubensicherung	NordLock	NordLock oder Kontermutter
Vorspannung	gemäß Zulassung bei Verwendung der NordLock Keilsicherungsscheiben	
		bei Kontermuttern nicht definiert

Daher werden trotz Verwendung der Anker oberhalb von Bahnstrecken und damit im Einflussbereich von ermüdungsrelevanten Beanspruchungen, wenn auch mit deutlich geringerem Maß als bei der Verankerung von Lärmschutzwandpfosten, häufig Verankerungen eingesetzt, die nicht den Anforderungen der Deutschen Bahn entsprechen.

Literatur

- [1] DB Netz AG: *Ril 804.5501 Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken*. Januar 2013.
- [2] DB Netz AG: *Ril 804.5601 Verankerungen in Beton*. Januar 2013.
- [3] DB Netz AG: *Rahmenplanung Talbrücken 804.9020 Richtzeichnung M-RKP10*.
- [4] Bast Bundesanstalt für Straßenwesen: *Richtzeichnung LS 1*. Dezember 2014.
- [5] Eisenbahnbundesamt: *Verankerung von Masten und Lärmschutzwandpfosten mit Ankerkörben auf Ingenieurbauwerken und Fundamenten an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes, vom 08.09.2017*.
- [6] DIBt Deutsches Institut für Bautechnik: *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.6-70 RS-Schwerlastanker vom 26.08.2016, Fa. Friedrich Schroeder GmbH & Co KG*.
- [7] DIBt Deutsches Institut für Bautechnik: *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen*. 12.05.2017.
- [8] Deutsches Institut für Normung, DIN EN 1993-1-4:2015-10, *Allgemeine Bemessungsregeln – Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen, Deutsche Fassung EN 1993-1-4:2006+A1:2015*.
- [9] Deutsches Institut für Normung, DIN EN ISO 3506:2010-04, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen – Teil 1: Schrauben, Deutsche Fassung EN ISO 3506-1:2009*.
- [10] Merkblatt der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei: *Merkblatt 829 Edelstahl rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen*.
- [11] Ö. BUCAK: *Gutachterliche Stellungnahme zur Tragfähigkeit eines reibgeschweißten Schwerlastverankerungssystems der Fa. Friedrich Schroeder GmbH & Co. KG*. 18.07.2016.
- [12] Deutsches Institut für Normung, DIN EN 13670: 2011-03, *Ausführung von Tragwerken aus Beton, Deutsche Fassung EN 13670:2009*.
- [13] Deutsches Institut für Normung, DIN EN 1090-2: 2011-10, *Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken, Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011*.
- [14] Eisenbahn-Bundesamt: *Zulassung Nord Lock Keilsicherungsfederscheibenpaare Typ NLXsp und NLXspss vom 21.06.2013, Zulassung für Nord-Lock Keilsicherungsscheibenpaare vom 16.12.2013*.
- [15] Deutsches Institut für Normung, DIN/Spec 1021-4-1: *Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton – Teil 4-1: Allgemeines; Deutsche Fassung CEN/TS 1992-4-1:2009-8*.
- [16] Deutsches Institut für Normung, DIN EN 1992-1-1:2011-01, Eurocode 2: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004+AC 2010*.

Neben den klassischen Anwendungen im Verkehrswegebau bieten sich die reibgeschweißten Ankerstäbe mit bauaufsichtlicher Zulassung für vielfältige Verwendungen im Bauwesen an. Optimal geeignet sind Anwendungen mit hohen statischen und/oder ermüdungsrelevanten Beanspruchungen unter Korrosionsbeanspruchungen.

- [17] Deutsches Institut für Normung, DIN EN 1993-1-8:2010-12, *Bemessung von Anschlüssen, Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+A6:2009*.
- [18] Eisenbahn-Bundesamt: *Zulassung für Betonschrauben der Firma TOGE Dübel GmbH & Co. KG für durch zuginduzierte Einwirkungen dynamisch beanspruchte Verankerungen im Konstruktionsbeton von Ingenieurbauwerken*. 02.09.2015.
- [19] Deutsche Bahn: *Ril 804.5101 Brückenlager – Planung, Einbau und Gütesicherung*. Januar 2013.
- [20] Bast Bundesanstalt für Straßenwesen: *ZTV-Ing, Teil 8 Bauwerksausrüstung, Abschnitt 6: Befestigungseinrichtungen und Unterfütterung von Ankerplatte*. 2014/12.
- [21] Bast Bundesanstalt für Straßenwesen: *Richtzeichnung ELT2*. Dezember 2013.

Autoren



Dipl.-Ing. Bernd Bültemeier
Friedrich Schroeder GmbH & Co KG
Hönnestraße 24
58809 Neuenrade
bernd.bueltemeier@schroeder-neuenrade.de



Dipl.-Ing. Detlef Ulbrich
ibvm Verbindungen im Metallbau
Fichtenweg 2
15370 Fredersdorf
dul@ibvm.net



Dipl.-Ing. (FH) Heinrich Ehard M.Eng.
Labor für Stahl- und Leichtmetallbau GmbH
Römerstraße 23
86438 Kissing
info@laborsl.de



Prof. Dr.-Ing. Ömer Bucak
Labor für Stahl- und Leichtmetallbau GmbH
Römerstraße 23
86438 Kissing
info@laborsl.de