

Die Problematik des Setzungsverhaltens im Hinterfüllungsbereich von Brückenwiderlagern unter Verkehrsbelastung wurde mittels Modellversuchen untersucht. Anhand der Versuchsprogramme wurde der Einfluß maßgeblicher Parameter ermittelt, die Wirksamkeit von Übergangskonstruktionen überprüft und weitere Optimierungen an den Konstruktionen vorgenommen.

Anhand von Modellversuchen ohne Übergangskonstruktionen konnten die maßgeblichen Einflußparameter ermittelt und in eine Setzungsformel eingebunden werden. Bei den Versuchen mit Übergangskonstruktion zeigte sich, daß die Regellösungen (zementverfestigter Erdkeil und Schleppplatte) die gestellten Anforderungen an einhaltende Krümmungsradien nicht immer erfüllen. Bei der optimierten Konstruktion des umgekehrten zementverfestigten Erdkeils zeigte sich, daß mit flacher werdenden Neigungen die Setzungsbeiträge geringer werden und sich die Setzungsmulde gleichmäßiger ausbildet.

Die Setzungsprognose für die Ausführung wurde durch zwei unterschiedliche Vorgehensweisen vorgenommen und zeigte eine realistische Größenordnung. Darüber hinaus war eine gute Übereinstimmung bei beiden Extrapolationsmethoden vorhanden.

Settlements in the backfill of railway bridge abutments. The settlements in the backfill of bridge abutments under cyclic load was examined by model tests. With these model tests the influence of decisive parameters were examined, the effectiveness of the technical standards were checked and optimized constructions were developed.

By means of the model tests without transitional construction the decisive parameters could be evaluated in a settlement formula. In the model tests with the transitional constructions of the technical standard (Cement stabilization and hinged plate) the high request to the radius of curvature can probably not be fulfilled. The optimized construction of the reversed cement stabilization showed, that with reducing the gradient the settlements are getting lower and the settlement trough is smoother.

The extrapolation to the execution was done by two different methods, and presented realistic values. Furthermore these two methods showed good correlation to each other.

1 Einleitung

Bei der Planung und Ausführung von Brückenbauwerken kommt dem Übergang zum Dammbereich eine besondere Bedeutung zu,

weil dort zwischen dem starren Brückenüberbau und dem im Vergleich dazu nachgiebigen Dammbereich ein großer Steifigkeitsprung zu verzeichnen ist. Während sich das Brückenbauwerk, abgesehen von den Setzungen der Brückenpfeiler oder Widerlager, unter Verkehrsbelastung weitgehend linear elastisch verhält, sind im Dammbereich beim Hinterfüllungsbereich unter diesen Belastungen plastische Verformungen zu erwarten. Dies kann dazu führen, daß im Übergangsbereich über kurze Entfernungen hinter dem Widerlager größere Setzungsdifferenzen auftreten können, siehe Bild 1.

Für den Fahrkomfort und für die Fahrsicherheit unbedenklich sind demgegenüber langgezogene Setzungsmulden, wie sie in der Regel auf den freien Strecken ohne Kunstbauwerke eintreten können.

Im vorliegenden Beitrag wird schwerpunktmäßig das Setzungsverhalten am Übergang Brücke-Erdbauwerk für Eisenbahnstrecken behandelt. Von besonderer Bedeutung ist die Fragestellung im Hochgeschwindigkeitsverkehr mit dem Oberbausystem Feste Fahrbahn. Weitergehende Ausführungen finden sich in [5] und [6].

2 Versuchsprogramm

Da die Belastungsrandbedingungen im Untergrund durch Verkehrslasteinwirkungen nur näherungsweise bekannt sind und Stoffgesetze unter zyklischer Belastung für numerische Berechnungen noch am Anfang stehen, wurde die Fragestellung auf der Grundlage von 1-g-Modellversuchen behandelt.

Es wurden klein- (M. 1:20, M. 1:35) und großmaßstäbliche (M. 1:4) Modellversuche durchgeführt. Während im kleinen Maßstab größere Variationen möglich waren, dienten die Großversuche, bei denen von einer annähernden wirklichkeitsnahen Beanspruchung ausgegangen werden konnte, als Grundlage zur Extrapolation auf die Ausführung.

Um den Einfluß einer Verkehrsbelastung näherungsweise zu simulieren, wurde bei den kleinmaßstäblichen Modellversuchen neben einer ortsfesten auch eine überfahrende Belastungseinrichtung entwickelt, siehe [5]. Die im Untergrund/Unterbau einwirkenden dynamischen Einflüsse infolge Verkehrsbelastungen konnten zunächst nur quasistatisch durch weitgehend abgesicherte Last-

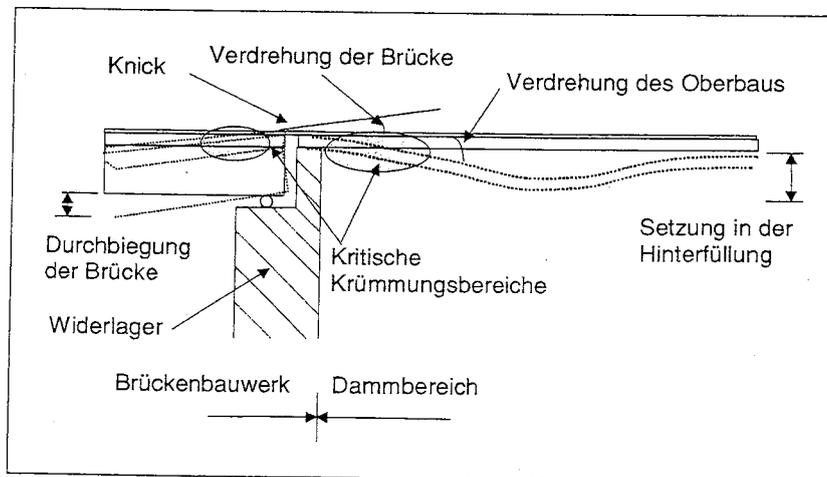


Bild 1. Schematische Darstellung des Übergangs Brücke-Damm
Fig. 1. Schematic outline of the transition bridge-embankment

erhöhungsfaktoren berücksichtigt werden. Darüber hinaus wurden zyklische Dreiaxialversuche mit Variation der Belastungsfrequenz zur Abschätzung dynamischer Einflüsse ausgeführt.

Die Modellversuche sind in drei Gruppen eingeteilt: Grundlagenversuche, Anwendungsversuche und Optimierungsversuche. Generell wurden die Randbedingungen der Ausführung möglichst realitätsnah mittels der Dimensionsanalyse auf die Modellversuche übertragen.

Bei den Grundlagenversuchen waren keine Übergangskonstruktionen vorgesehen, sondern es wurde der Einfluß der unterschiedlichen maßgeblichen Parameter Zyklenzahl, Belastung, Biegesteifigkeit des Oberbaus, die Höhe der Widerlagerwand und die Lagerungsdichte der Hinterfüllung untersucht.

Bei den Anwendungsversuchen wurden die beiden Regellösungen (zementverfestigter Erdkeil und Schleppplatte) der DB AG nach AK FF [1] bzw. DS 836 (Entwurf) [2] auf ihre Wirksamkeit hin überprüft und einem Versuch mit Schotteroberbau gegenübergestellt.

Entscheidendes Ziel der Optimierungskonstruktionen war, die un stetigen Bettungseigenschaften am Übergang im Hinterfüllungs-

bereich durch kontinuierliche bzw. stabile Übergänge zu verbessern. Dazu wurden die Konstruktionen des umgekehrten zementverfestigten Erdkeils, der horizontal liegenden zementverfestigten Bodenschicht und der vertikal zementverfestigten Bodenschichten sowie der Einbau von elastischen Zwischenlagern untersucht.

Bei allen Versuchsserien wurden neben der ortsfesten auch die überrollende Belastungseinrichtung eingesetzt, mit der ermöglicht wurde, die komplette Set-

zungsmulde zu erhalten. Einen Vergleich der sich einstellenden Setzungsmulden bei den unterschiedlichen Belastungseinrichtungen zeigt Bild 2.

3 Versuchsergebnisse

Exemplarisch für die Grundlagenversuche sind die Ergebnisse eines Versuchs in Bild 3 dargestellt. Der charakteristische gekrümmte Verlauf der Setzungen in der halblogarithmischen Darstellung (Bild 3a) ist nicht als progressiver Bruch zu beurteilen, wie die abnehmende Setzungsrate mit zunehmender Zyklenzahl in der linearen Darstellung (Bild 3b) erkennen läßt.

Der Verlauf der Setzungen in Abhängigkeit von der Zyklenzahl kann durch eine logarithmische Hyperbelfunktion angenähert werden, siehe Abschn. 4.

Der Einfluß der maßgeblichen Einflußparameter

- Biegesteifigkeit des Oberbaus
- Belastung
- Höhe des Widerlagers
- Lagerungsdichte des Hinterfüllungsmaterials

wurde derart bestimmt, daß bei ansonsten gleichen Versuchsrandbedingungen lediglich diese Parameter variiert wurden. Zur quantitativen Auswertung der Parameter wurden die Setzungen jeweils in Abhängigkeit von den Parametern

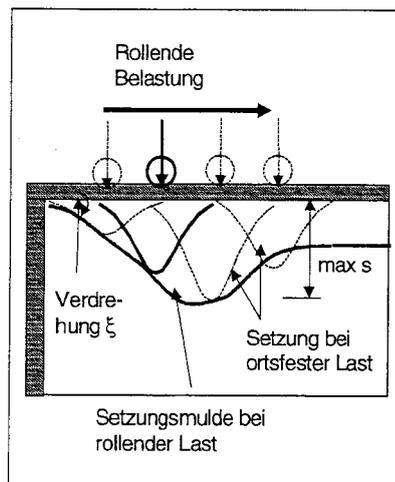


Bild 2. Vergleich der Setzungsmulden bei ortsfester und überrollender Belastungseinrichtung Fig. 2. Comparison of the settlements troughs at fixed and moving loading system

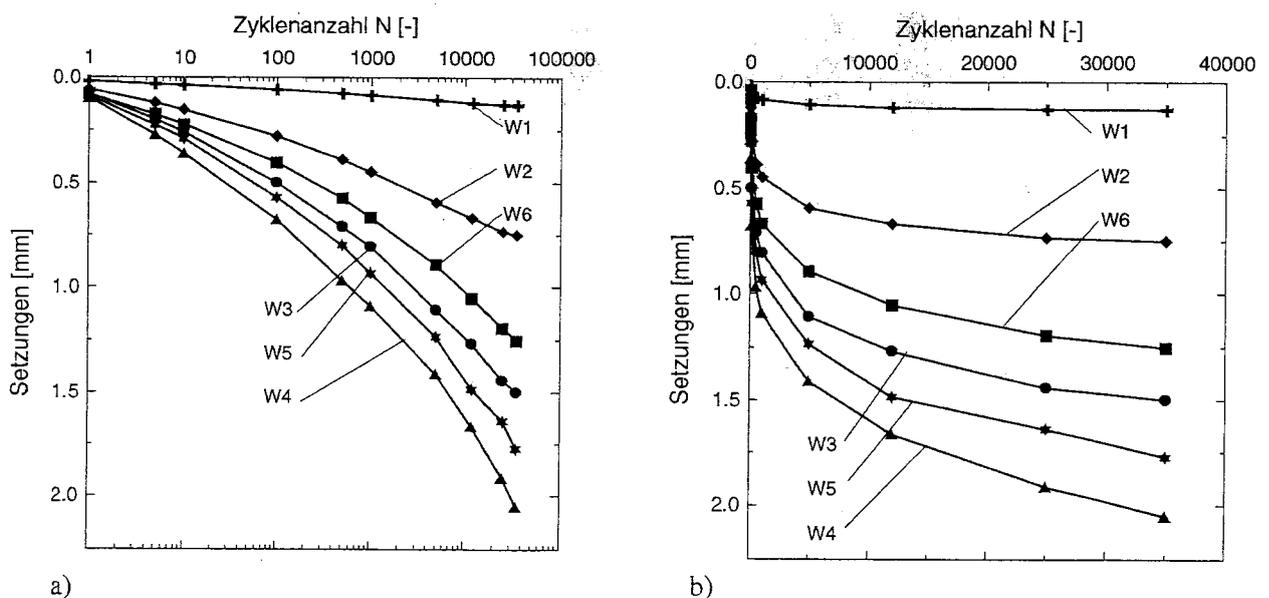


Bild 3. Setzungen in Abhängigkeit von der Zyklenzahl, a) halblogarithmische Darstellung, b) lineare Darstellung

Fig. 3. Settlements in dependence on cycles, a) half logarithmic representation, b) linear representation

aufgetragen. Beispielhaft verdeutlicht Bild 4 den Einfluß der Biegesteifigkeit des Oberbaus.

Durch die sich jeweils ergebenden weitgehend parallelen Geraden ist eine lineare Unabhängigkeit der Parameter gezeigt. Das negative Vorzeichen resultiert in diesem Fall aus den abnehmenden Verformungen bei größerer Biegesteifigkeit.

Die Setzungsmulden der großmaßstäblichen Anwendungsversuche nach 1 Million Lastwechsel sind in Bild 5 dargestellt. Die maximalen Setzungen traten jeweils im Schwerpunkt der Lasteinleitung auf. Beim Vergleich der Setzungsmulden vom zementverfestigten Erdkeil und Schleppplatte fällt auf, daß die Schleppplatte einen Knick in der Setzungsmulde begünstigt.

Der Einfluß aus starrer bzw. elastischer Lagerung des Widerlagers ist im maßgebenden Punkt der maximalen Setzungen als unbedeutend zu beurteilen.

In Bild 6 sind die Setzungsmulden der Optimierungsversuche und Anwendungsversuche nach 1 Million Lastwechsel gegenübergestellt. Durch die Ausbildung von Konstruktionen, die weiter in den Damm hineinreichen, ist auch eine Verlagerung des Maximalpunkts der Setzungsmulde in Dammrichtung zu erzielen, woraus tendenziell sanftere Setzungsmulden mit größeren Krümmungsradien resultieren.

Diesbezüglich zeigen die Ergebnisse der Versuche mit dem entwickelten umgekehrten zementverfestigten Erdkeil und den vertikalen zementverfestigten Bodenblöcken ähnliche Tendenzen.

Anhand einer numerischen Analyse dieser beiden Konstruktionen konnte festgestellt werden, daß bei flacher werdenden umgekehrten Erdkeilen sich kontinuierlichere Setzungsmulden einstellen. Dagegen blieb bei den vertikal zementverfestigten Bodenblöcken der Sprung in der Setzungsmulde am Übergang von gebundenem zu ungebundenem Material erhalten. Somit wird der umgekehrte zementverfestigte Erdkeil als optimierte Konstruktion angesehen (Bild 7). Praktische Planungen dazu finden sich in [6].

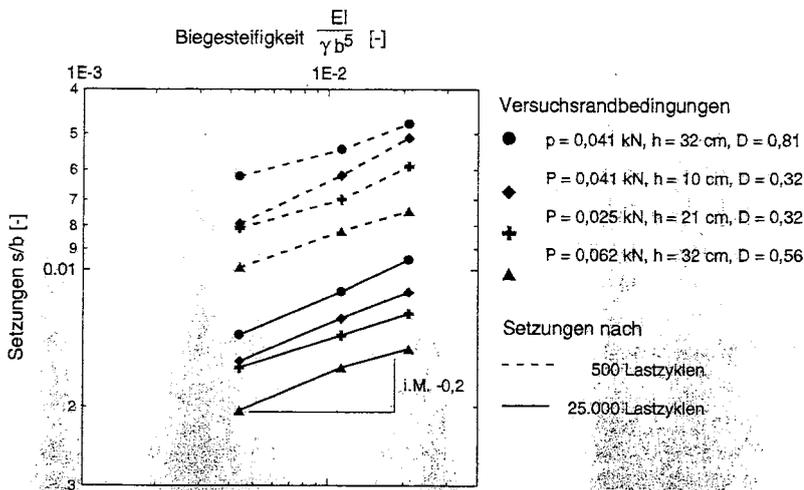


Bild 4. Setzungen in Abhängigkeit der Biegesteifigkeit des Oberbaus
Fig. 4. Settlements in dependence of the stiffness of the superstructure

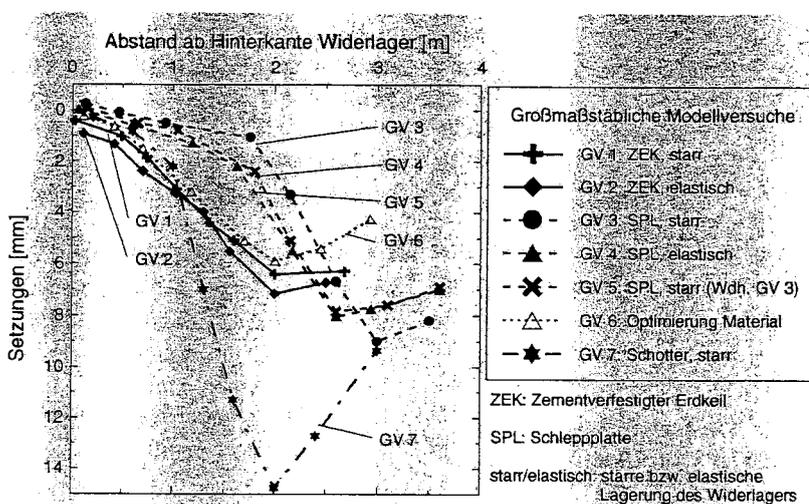


Bild 5. Vergleichende Darstellung der Setzungsmulden nach 1 Million Lastwechseln der großmaßstäblichen Versuche GV 1 bis GV 7 bei ortsfester Lasteinleitung
Fig. 5. Comparison of the settlement hollow after 1 million cycles of the full scale tests GV 1 to GV 7 with fixed loading system

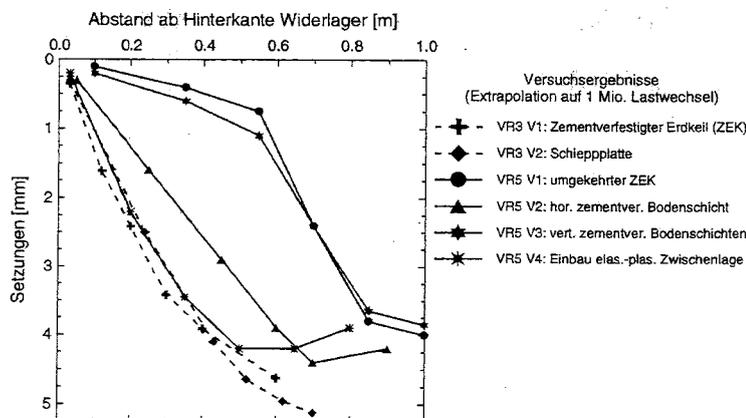


Bild 6. Vergleichende Setzungsmulden der kleinmaßstäblichen Optimierungsversuche nach 1 Million Lastwechseln
Fig. 6. Comparison of the settlement hollow of the optimized small scale model tests after 1 million load cycles

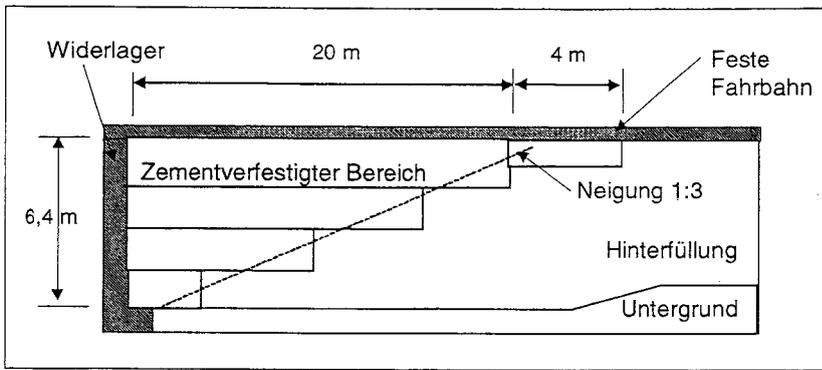


Bild 7. Schematische Darstellung der optimierten Konstruktion des umgekehrten zementverfestigten Erdkeils

Fig. 7. Schematic outline of the optimized construction of the reversed cement stabilization

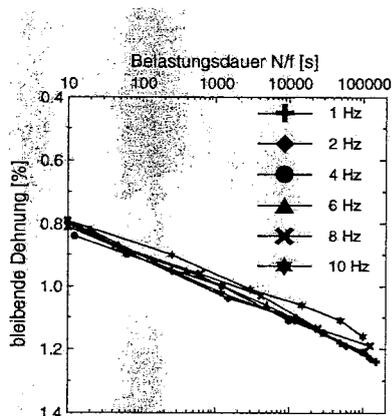


Bild 8. Dreiaxialversuche, bleibende Dehnungen in Abhängigkeit von der Belastungsdauer

Fig. 8. Triaxialtests, plastic strains in dependence of the load time

Die Ermittlung des Einflusses der Belastungsfrequenz erfolgte über Dreiaxialversuche. Die Bodenteilchen im Untergrund erfahren ihre Belastung in Abhängigkeit von der Tiefe. In den oberen Schichten sind die Bodenteilchen einer hohen und in den tieferen Schichten einer niedrigen Belastungsfrequenz ausgesetzt. Deshalb wurde bei den Dreiaxialversuchen die Frequenz variiert, siehe Bild 8.

Da für alle Bodenteilchen zwar die Frequenz unterschiedlich, jedoch die Dauer der Belastung gleich ist, wurden die Versuche nicht in Abhängigkeit der Lastwechsel sondern der Belastungsdauer ausgewertet. Man sieht, daß das Verformungsverhalten unabhängig von der Frequenz annähernd gleich ist.

Somit konnte die gewählte Belastungsfrequenz der Modellversuche mit 1 Hz als geeignet bestätigt und näherungsweise 1 Belastungszyklus als 1 Überfahrt angesehen werden.

4 Extrapolation auf die Ausführung

Um Modellversuchsergebnisse auf die Ausführung übertragen zu können, müssen Maßstabeffekte berücksichtigt und beurteilt werden, die hauptsächlich aus dem spannungsabhängigen Materialverhalten des Bodens resultieren. Dies ist zum einen durch die Ausführung von Versuchen mit einer Modellfamilie möglich. Eine Modellfamilie beinhaltet Modellversuche in unterschiedlichen Modellmaßstäben, siehe Franke/Muth [3]. Die andere Vorgehensweise stellt die Methode mit dem Exponenten β dar, siehe Hettler [4], welche mit Gl. (1) ausgedrückt wird:

$$\varepsilon \approx \left(\frac{b_P}{b_M} \right)^\beta \quad (1)$$

Darin ist b eine charakteristische Abmessung (Breite des Festen Fahrbahnsystems) im Prototyp (Index P) und Modell (Index M). β wird durch zwei Dreiaxialversuche, bei denen das Spannungsverhältnis bei gleichen Verformungen verglichen wird, ermittelt.

Während über die Methode des Exponenten β viele Extrapolationen möglich sind, ist die Anzahl bei den Modellfamilien wegen des wesentlich größeren Aufwands geringer.

Die extrapolierten Setzungsmulden für unterschiedliche Erdkeile zeigt Bild 9. Dabei handelt es sich um eine Extrapolation, die direkt aus den Modellversuchsergebnissen gewonnen wurde.

Es wird deutlich, daß mit flacher werdenden umgekehrten zementverfestigten Erdkeilen die Setzungsbeträge geringer werden und die Setzungsmulde gleichmäßiger wird.

Für die praktische Vorgehensweise ergeben sich gegenüber der formalen Übertragung in Bild 9 Setzungsreduktionen in der Größenordnung von 45 bis 55 %. Diese resultieren im einzelnen aus:

a) ca. 10 %:

In den Modellversuchen wurde festgestellt, daß sich im räumlichen System größere Setzungen einstellen als im ebenen System. Die Ursache dafür war ein zu beobachtender Materialtransport quer zum Damm, der durch den in den Modellversuchen verwendeten trockenen Sand begünstigt wurde. In der Realität ist das Material i. d. R. erdfeucht, und eine Dammbegrünung wirkt einem Materialtransport entgegen. Somit wird für die praktische Anwendung eine Reduzierung der Setzungen von ca. 10 % angenommen.

b) ca. 10 bis 15 %:

Berücksichtigung von Vorwegnahmesetzungen aus dem Bauzustand aufgrund hoher maschineller Verdichtung.

c) ca. 25 bis 30 %:

Berücksichtigung der wirklichen ICE-Last gegenüber der UIC 71-Last.

Damit sind beim umgekehrten zementverfestigten Erdkeil mit einer Neigung von 1:3 und dem Oberbau Feste Fahrbahn gemäß [5] und [6] Setzungen von etwa 10 bis 15 mm zu erwarten, die als Setzungsdifferenz zum Brückenwiderlager wirksam sind.

Unter der Annahme starrer Körper, kleiner Verformungen und der linearen Unabhängigkeit der untersuchten Parameter ist eine Faktorenzerlegung bei der Auswertung, siehe Abschn. 3, möglich.

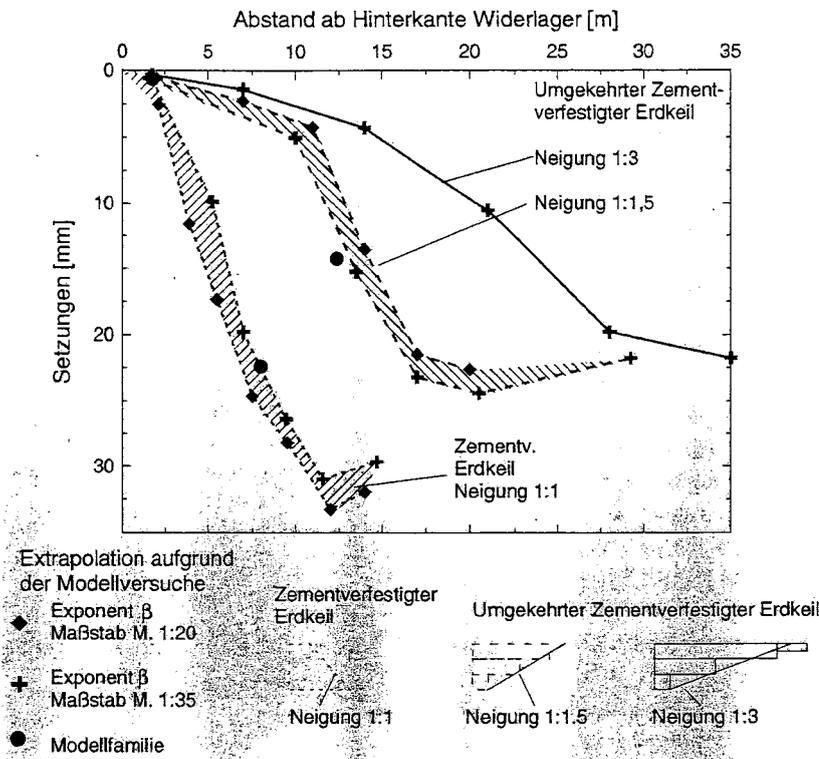


Bild 9. Extrapolierte Setzungsmulden auf Grundlage der Modellversuche nach 1 Million Lastwechseln für unterschiedliche Zementverfestigte Erdkeile für die Belastung 1,3fache UIC 71-Last
Fig. 9. Extrapolated settlement trough on basis of the model tests after 1 million load cycles for different cement stabilizations for the 1,3times UIC load

Damit kann Gl. (2) als Näherungslösung zur Abschätzung der Setzungen unter Verkehrsbelastung im Hinterfüllungsbereich verwendet werden. Die Parameter c in Tabelle 1 für Gl. (2) berücksichtigen die beiden o. g. Aspekte a) und c). Um die Vorwegnahmesetzungen abzuschätzen, können in erster Näherung die mit Gl. (2) ermittelten Setzungen nach 100 Lastwechseln auf Null gesetzt werden, siehe [5].

$$s_N \text{ [mm]} = s_1 + \frac{c \cdot \ln N}{(1 - 0,047 \cdot \ln N)} \times P^{0,6} \cdot EI^{-0,2} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot h}{1 + 0,34 \cdot h} \right) \cdot f(D) \quad (2)$$

- s_1 Setzungen nach dem ersten Lastwechsel in mm
- c Faktor zur Beschreibung der Setzungenentwicklung in Abhängigkeit von der Belastung und der Übergangskonstruktion, siehe Tabelle 1

Tabelle 1. Parameter c in Abhängigkeit von der Übergangskonstruktion und der Belastung für praktische Anwendungen
Table 1. Parameter c in dependence of the transition construction and the load for practical use

Belastung	Zementverfestigter Erdkeil	umgekehrter zementverfestigter Erdkeil	
	Neigung 1:1	Neigung 1:1,5	Neigung 1:3
Gesamtlastbild ICE	0,254	0,178	0,162
1 Achse UIC 71	0,164	0,115	0,105
Gesamtlastbild UIC 71	0,314	0,221	0,202

- N Lastwechselanzahl (eine Zugüberfahrt wird einem Lastwechsel gleichgesetzt, siehe Abschn. 3)
- P Achslast in kN
- EI Biegesteifigkeit des Festen Fahrbahnsystems in kNm^2
- h Widerlagerwandhöhe in m
- $f(D)$ Funktion der Lagerungsdichte, für $D = 1$ gilt $f(D) = 1$.

5 Praktische Anwendung

Zunächst wird ein Anwendungsbeispiel vorgestellt, bei dem als Übergangskonstruktion der umgekehrte zementverfestigte Erdkeil angenommen wird, der als optimierte Konstruktion anzusehen ist. Die Abmessungen sind Bild 7 zu entnehmen. Die weiteren Annahmen sind nachfolgend angegeben:

- Belastung: ICE-Last mit $k_{\text{dyn}} = 1,3 \Rightarrow P = 1,3 \cdot 200 = 260 \text{ kN}$; Parameter $c = 0,162$ (Tabelle 1)
- Biegesteifigkeit: $EI = 435\,000 \text{ kNm}^2$ [5]
- Widerlagerwandhöhe: $h = 6,4 \text{ m}$
- Lagerungsdichte: $D > 0,8 \Rightarrow f(D) = 1,0$ [5].

Die Setzungen nach dem ersten Lastwechsel können mit einer Setzungsberechnung nach DIN 4019 abgeschätzt werden, wobei als Lastbreite die Breite der hydraulisch gebundenen Tragschicht mit $b = 4 \text{ m}$ und die Lasteinflusstiefe zu $z = 4 \text{ m}$ (entspricht ca. 5 m unter Schienenoberkante) angenommen wird.

Mit dem Setzungseinflussbeiwert von $f = 0,57$ für ein Tiefenverhältnis von $z/b = 1,0$, einem Seitenverhältnis von $a/b = 15/4 = 3,75$ ($a = \text{ca.}$ -Länge des ICE-Triebwagens) sowie eines Zusammendrückungsmoduls von $E_m = 60 \text{ MN/m}^2$ ermittelt sich die bleibende Setzung s_1 zu

$$s_1 = \frac{\sigma \cdot k_{\text{dyn}} \cdot b}{E_m} \cdot f = \frac{\left(\frac{800}{15 \cdot 4} \right) \cdot 1,3 \cdot 4}{60} \cdot 0,57 = 0,65 \text{ mm}$$

Durch Einsetzen dieser Werte in Gl. (2) lassen sich die Setzungen

nach einer bestimmten Anzahl von Lastwechseln ermitteln.

$$s_N = 0,65 + \frac{0,162 \cdot \ln N}{(1 - 0,047 \cdot \ln N)} \times \\ \times 260^{0,6} \cdot 435\,000^{-0,2} \times \\ \times \left(\frac{0,5 \cdot 6,4}{1 + 0,34 \cdot 6,4} \right) \cdot 1,0$$

Für $N = 100$ ergibt sich

$$s_{100} = 0,65 + 2,01 = 2,7 \text{ mm}$$

und für $N = 1$ Million

$$s_{1\text{Mio}} = 0,65 + 13,48 = 14,1 \text{ mm.}$$

Um die Vorwegnahmesetzungen aus dem Bauzustand zu berücksichtigen, werden die Setzungen nach 100 Lastwechseln auf Null gesetzt, siehe [5]. Somit betragen die Setzungen nach 1 Million Lastwechseln unter Berücksichtigung von Vorwegnahmesetzungen $s_{1\text{Mio}} \approx 11,4$ mm.

Aus der Beispielrechnung geht im Vergleich zu Meßergebnissen hervor, daß Gl. (2) die Zusammenhänge näherungsweise zutreffend beschreibt und damit geotechnische Nachweise für praktische Planungsaufgaben möglich sind.

Eine Übertragung auf Straßenbrücken ist nur bedingt möglich, da die Straßenaufbauten i. d. R. nicht die in den Modellversuchen

vorausgesetzte Elastizität (und damit Ausbildung von Hohllagen) besitzen, sondern sich eher plastisch verhalten. Zudem setzt Gl. (2) eine Übergangskonstruktion in Form eines zementverfestigten Bereichs voraus, die im Straßenbau jedoch nicht üblich ist. Dies liegt zum einen daran, daß die Anforderungen an einzuhaltende Krümmungsradien im Straßenbau nicht so hoch sind, und zum anderen Sanierungen im Vergleich zur Festen Fahrbahn leichter durchzuführen sind. Darüber hinaus ist eine Abschätzung für die Anzahl der Lastwechsel durch den sehr unterschiedlichen Verkehr (LKW und PKW) und deren Geschwindigkeiten nur schwer möglich. Eine Anwendung von Gl. (2) auf den Straßenbau wäre somit mit Unsicherheiten behaftet und deshalb nur bedingt zu empfehlen. Das Problem des Steifigkeitssprungs zwischen Brücke und Erdbauwerk ist aber auch im Straßenbau gegeben.

Literatur

- [1] Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn. 3. Überarbeitete Auflage (1995), Deutsche Bahn AG.

[2] DS 836 (1997, Entwurf): Vorschrift für Erdbauwerke, Deutsche Bahn AG.

[3] Franke, E., Muth, G.: Scale effect in 1g-model tests on horizontal loaded piles. Proc. XI ICSEME, San Francisco, Vol 2 (1985), pp. 1011-1014.

[4] Hettler, A.: Maßstabeffekte bei Erddruck in Sand. Mitteilungen Institut für Geotechnik, Dresden, Heft 4 (1997), S. 49-72.

[5] Jaup, A.: Anwendung von 1 g Modellversuchen auf das Setzungsverhalten im Hinterfüllungsbereich von Brückenwiderlagern. Schriftenreihe Geotechnik, Universität Kassel, Heft 7 (1999).

[6] Kempfert, H.-G., Jaup, A., Stadel, M.: Geotechnische Konstruktionen am Übergang Brücke-Erdbauwerk. Vorträge der Baugrundtagung in Hannover, Eigenverlag DGGT (2000), S. 295-301.

Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Achim Jaup, Lahmeyer International GmbH, Friedberger Straße 173, 61118 Bad Vilbel

Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Kempfert, Universität Gh Kassel, Fachgebiet Geotechnik, Mönchebergstraße 7, 34125 Kassel

Kirche mit Solardach

Die denkmalgeschützte St.-Georg-Kirche in der 240 Einwohner zählenden Gemeinde Burgwalde im thüringischen Eichsfeld macht bundesweit von sich reden: Ausgestattet mit einer leistungsstarken Photovoltaik-Anlage gilt sie als Pilot- und Demonstrationsobjekt an Kirchen in Deutschland.

Der installierte 5-kW_p-Generator speist je nach Sonneneinstrahlung jährlich rd. 4500 kWh in das Netz des Stromerzeugers ein. Durch die Integration der Solar-Module in speziell ausgeformte Dachziegel per einfachem Klemm-

mechanismus entfielen die sonst üblichen optisch störenden Gestelle auf dem Dach, wodurch denkmalpflegerische Bedenken ausgeräumt und die Genehmigung der Unteren Denkmalschutzbehörde erlangt werden konnte. Die kaum sichtbare Integration der Solar-Module in die Dacheindeckung verändert den Charakter des Kirchengebäudes nicht. Schönheit und Ästhetik des schlichten Gotteshauses blieben erhalten.

Realisiert wurde die Maßnahme im Zuge der Dachrenovierung aus Anlaß des 300jährigen Kirchenjubiläums. Die Entscheidung für die Dachziegelauswahl fiel zugunsten des Flachdachziegel-Modells Tiefa-XL, veredelt mit grauer Sinter-Engobe. Dieser Ziegel harmoniert optimal zur Schieferendeckung von Kirchturm und Giebel.



[Foto: Laumans]