

# Standardisierung von Rahmenbauwerken bei der Deutschen Bahn

M. Hennecke, T. Mölter

**Zusammenfassung** Im Modul 804.9040 der Deutschen Bahn waren bis zum Ablauf der Zulassung in 2007 Rahmenbauwerke standardisiert. Aufgrund der guten Erfahrung mit dieser Standardisierung hat die DB Netz AG ein Projekt aufgesetzt, um die Standardisierungen weiterzuentwickeln auf den Stand der Technik. Die neue Standardisierung umfasst Rahmenbauwerke mit Spannweiten in Abstufungen zwischen 3,0 m bis 6,0 m. Für die Dimensionierung werden die neuen europäischen Normen angewendet. Über die Entwicklung wird nachfolgend berichtet.

## Standardization of frame structures from Deutsche Bahn

**Abstract** The Deutsche Bahn had intra-company regulations, called Modul 804.9040, for standard frame bridges until 2007. Because of the positive experience with these regulations, the DB Netz AG set up a project to develop state of art standardization of the frame bridge. The new standardization includes bridges with spans between 3.0 m and 6.0 m. The design of the frame bridges is based on the new European Regulations for Construction (Eurocodes). The following report describes about the development.

### 1 Einleitung

Der Ausbau des Eisenbahnnetzes im 19ten Jahrhundert veränderte den Brückenbau. Vor dieser Zeit wurden Brücken an bedeutenden Handelswegen und in Städten gebaut, um natürliche Hindernisse, im Wesentlichen Gewässer oder Schluchten zu überwinden. Aus diesen vorindustriellen Epochen gibt es noch heute ein paar schöne und historisch wertvolle Bauwerke. Fahrzeuge vor der Industrialisierung – Pferdekarren – konnten kleine Wasserläufe ohne ein Kunstbauwerk queren. Die Entwicklung des Eisenbahnnetzes erforderte jedoch erstmals in der Geschichte der Menschheit einen Fahrweg, der alle Hindernisse überquerte. Das löste in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine hohe Nachfrage nach Brückenbauwerken aus. In dieser Zeit wurden, abgesehen von den seit den 1980er erbauten Neubaustrrecken der Deutschen Bahn, im Wesentlichen die Strukturen des heute existierenden Eisenbahnnetzes festgelegt.

Diese Entwicklung zeigt sich auch in der Altersstruktur der Brücken. Viele Brücken sind noch Erstinvestitionen, zum Teil aus dem vorletzten Jahrhundert. Das Alter der Brücken zeugt zwar von einem hohen Nachhaltigkeitswert, aber bedingt durch das Alter und der damit korrelierten Bauwerkzustände stehen in den nächsten Jahren im großen Umfang Ersatzinvestitionen an [1].

Ein weiteres Charakteristikum der Eisenbahnbrücken ist der große Anteil von Brücken mit kleinen Spannweiten. Die spezifischen Sicherheitsanforderungen des modernen Eisenbahnverkehrs erzwingen es, kreuzungsfreie Querungen auch für geringe Verkehrsmengen zu errichten. Im Eisenbahnverkehr sind ebengleiche Kreuzungen nicht Stand der Technik.

Etwa Zweidrittel der Brücken der DB Netz AG haben eine Spannweite bis 10 m [1]. Eine statische Auswertung der Datenbank der DB Netz AG belegt den Bedarf an Brücken mit kurzen Spannweiten und zeigt besonders nachgefragte Spannweiten auf (Bild 1).

### 2 Standardisierung

Das Bestreben nach Standardisierung darf kein Selbstzweck sein, sondern sollte genauer betrachtet werden. Standardisierung ist die Vereinheitlichung von Maßen, Verfahren oder Methoden. Sie ist eine wichtige Grundlage für einen industriellen Prozess, da nur so ein Qualitätsstandard geschaffen werden kann, der von verschiedenen Protagonisten mit unterschiedlichen Erfahrungen und Fähigkeiten auf einem einheitlichen Niveau gehalten werden kann. Der weiterführende Schritt ist die Typisierung. Dabei werden nicht nur Herangehensweisen, sondern Produkte behandelt und deren Ausführungsformen auf wenige Typen vereinheitlicht. Die Typisierung ist unter den verschiedenen Ingenieurwissenschaften unterschiedlich stark etabliert. Im Maschinenbau

Brückenbestand aller Eisenbahnbrücken (EBR) nach Stützweiten

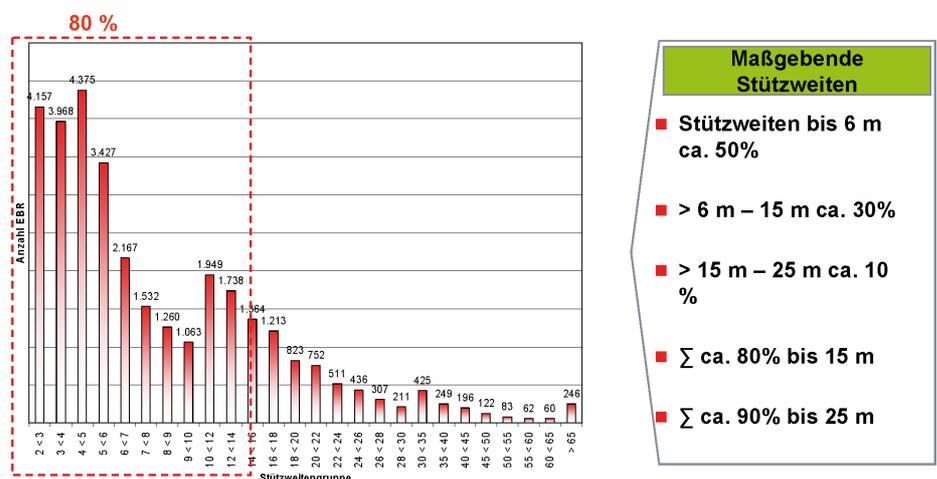
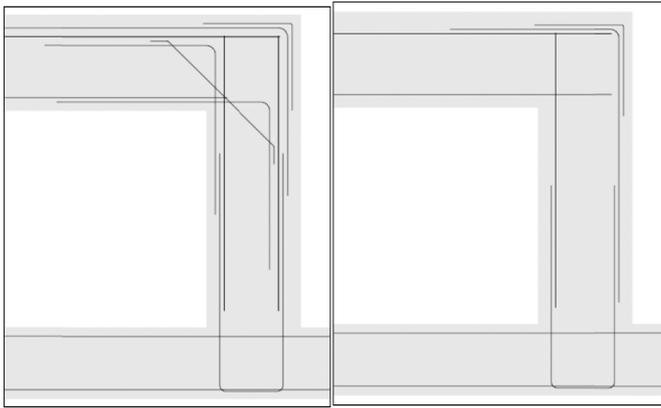


Bild 1. Statistische Auswertung von Rahmenbauwerken der Deutschen Bahn  
Fig. 1. Statistical analysis of frame structures of Deutsche Bahn

**Dr.-Ing. Markus Hennecke**  
Geschäftsführender Gesellschafter  
Zilch + Müller Ingenieure GmbH,  
München

**Dipl.-Ing. Tristan Mölter**  
I.NVT 42 (L) Arbeitsgebietsleiter  
Technologiemanagement, Fahrweg  
Konstruktiver Ingenieurbau DB Netz AG



**Bild 2. Gegenüberstellung einer individuellen Planung einer Rahmenecke (links) zu einer Standardrahmenecke (rechts)**  
 Fig. 2. Comparison of an individual planning of a frame corner (left) to a standard frame corner (right)

oder der Elektrotechnik tritt sie häufiger auf, da Produkte in großer Stückzahl hergestellt werden. Geschickte Typisierungen sind so angelegt, dass variierende Anforderungen mit einer möglichst geringen Anzahl von Typen erfüllt werden.

Dem Bauingenieur ist die Standardisierung durch Normen sehr vertraut. Darüber hinaus gibt es sowohl im Straßenbrückenbau als auch im Eisenbahnbrückenbau Standardlösungen für viele Details, die in Richtzeichnungen veröffentlicht werden. Diese Richtzeichnungen haben in der täglichen Praxis eine hohe Verbindlichkeit. Sie wurden eingeführt, um für Details ein einheitliches Qualitätsniveau zu schaffen. Für die Planung stellen sie eine große Hilfe dar, da nicht jedes Teil von jedem Bearbeiter neu entwickelt werden muss. Über den bisherigen Umfang hinaus kann die Standardisierung im Brückenbau weiter entwickelt werden. Wege hierzu werden in diesem Artikel aufgezeigt.

Aus der Sicht eines Betreibers großer Anlagevermögen können zahlreiche Vorteile angeführt werden:

- Effizienter Planungsprozess
- Gleichbleibende Planungsqualität
- Massensicherheit
- Ausführungssicherheit
- Einheitliche konstruktive Durchbildung
- Langlebigkeit / weniger Instandhaltung

Die Punkte der Aufstellung erschließen sich von selbst. Zur Verdeutlichung der Motivation zur Entwicklung der Standardisierung werden nachfolgend zwei Aspekte vorgestellt. Das **Bild 2** stellt zwei konstruktive Durchbildungen einer Rahmenecke dar. Die linke Seite zeigt ein Beispiel einer individuell geplanten Bewehrungsführung, die die Verfasser in der Praxis zu sehen bekommen haben. In den Ausführungsplänen waren alle möglichen Biegeformen dargestellt, ohne dass jeder eine Funktion zugeordnet werden kann. Auf der rechten Seite ist die Rahmenecke gemäß Standardisierung zu sehen. Es sind ausschließlich die Biegeformen erfasst, die notwendig sind für den Kraftfluss um die Ecke. Die standardisierten Vorgaben bieten den Vorteil, dass verschiedene Planer unabhängig von ihrem spezifischen Kenntnisstand die Rahmenecke als hervorgehobenes Konstruktionselement mit den notwendigen Bewehrungselementen einheitlich konstruieren.

Die heutige Berechnungspraxis zeichnet sich nicht zuletzt aus Gründen der Effizienz dadurch aus, dass in vielen Fällen auch für einfache statische Systeme aufwendige Modellierungen in Form von räumlichen Finite-Elemente-Modellen umgesetzt werden. Diese statischen Modelle können über graphische Oberflächen komfortabel in einem Rechner eingegeben werden. Das räumliche Tragverhalten kann mit diesen Methoden sehr gut abgebildet werden. Als negative Entwicklung ist jedoch zu beobachten, dass infolge einer diesen Berechnungen inhärente Intransparenz das Verständnis über das Tragverhalten leidet und konstruktive Details unzureichend oder falsch umgesetzt werden. Eine Finite-Elemente-Berechnung liefert zum Beispiel keine Angaben über die Ausführung einer Rahmenecke. Als Ergebnis zeigt sich die oben beschriebene Rahmenecke. Durch die Standardisierung wird der Fokus in der technischen Bearbeitung verschoben. Bei einfachen Bauwerken können die statisch-konstruktiven Themen mit weniger Aufwand abgehandelt werden und die Kreativität der Planer kann sich mehr auf die im Eisenbahnwesen wichtigen Fragen der baulichen Umsetzung richten.

Eine umfangreiche Typisierung im Bauwesen, die beinhaltet, dass überall die gleichen Bauwerke entstehen, ist für eine attraktive Kulturlandschaft nicht positiv. Gerade in Deutschland gibt es eine ausgeprägte Tradition, durch objektspezifische Planungen für viele Anwendungsfälle individuelle Lösungen zu finden. Neben der pluralistischen Gestaltung unserer Kulturlandschaft können weitere Vorteile in der Möglichkeit gesehen werden, projektspezifische Randbedingungen möglichst gut zu erfüllen. Die Standardisierung der Rahmenbauwerke der Deutschen Bahn erkennt dieses an und liefert nur die Werkzeuge, mit denen die Objekte konstruiert werden können.

### 3 Die neue Rahmenstandardisierung

Die Deutsche Bundesbahn setzte bereits in den 1970er Jahren standardisierte Rahmenbauwerke erfolgreich als Fußweg- und Bahnsteigunterführungen (FBU) ein. Durch eine typengeprüfte Statik und deren Schal- und Bewehrungspläne konnte eine schnelle Umsetzung in der Entwurfs- und Ausführungsplanung erfolgen. Die Ausführungsqualität wurde durch die klar definierten Bedingungen gesteigert. Die Zulassung für die Typisierung lief am 31.01.2007 aus [2]. Auch bei der Deutschen Reichsbahn gab es umfangreiche Erfahrungen mit typisierten Brückenbauwerken.

2010 entschloss sich DB Netz AG dazu, die Standardisierung von Rahmenbauwerken bis 6 m lichte Weite neu zu entwickeln. Als Projektgrundlage wurde ein umfangreiches Lastenheft zusammengestellt [3]. Anfang 2011 beauftragte die DB Netz AG die Zilch + Müller Ingenieure GmbH mit dem Projekt.

Bei der Weiterentwicklung der Standardisierung wird der Anwendungsbereich auf Rahmen mit lichten Weiten (B) bis 6,0 m und lichten Höhen (H) bis 5,0 m erweitert. Die typisierten Abmessungen sind in einer Matrix (Tabelle 1) zusammengefasst. Durch die Schrittweite von 1,0 m ist eine flexible Anwendung hinsichtlich lichter Weite und lichter Höhe abgedeckt. Für Abmessungen zwischen zwei Typisierungen werden die Konstruktionen des größeren Typs genommen und an die tatsächlichen Abmessungen angepasst. Bei der Standardisierung der Rahmenbauwerke wurden zusätzlich die Belange von DB Station & Service AG berücksichtigt, die

lediglich eine lichte Höhe von 2,50 m benötigen. Diese Abmessungen werden ausschließlich als Vollrahmen geplant. In den anderen Abmessungen sind Voll- und Halbrahmen zu berücksichtigen.

Die Abmessungen erfüllen im Wesentlichen die Anforderungen der Fußweg- und Bahnsteigunterführungen (FBU). Im Straßenbereich werden nur Querschnitte von Stadt- und Erschließungsstraßen erfasst. Gemäß Lastenheft galten folgende grundlegende Bemessungsparameter.

- Eisenbahnverkehrslasten LM 71
- $\alpha = 1,21$
- Überschüttung  $0 \leq h_u \leq 1,50$  [m]
- Oberbau Schotter
- Feste Fahrbahn nach Anforderungskatalog
- Hinterfüllung  $\varphi = 30^\circ$
- $\gamma = 20$  [kN/m<sup>3</sup>]
- $\gamma' = 10$  [kN/m<sup>3</sup>]

In dem Lastenheft waren weiterhin konstruktive Lösungen für die Ausbildung verschiedener Flügelvariationen sowie für Fugen- und Abdichtungsdetails gefordert.

Um das breite Spektrum der Rahmenbauwerke zu erfassen und auf die individuellen Randbedingungen einzugehen zu können, sieht das Lastenheft keine fertigen Ausführungspläne vor, sondern Richtzeichnungen zum Erstellen der Ausführungspläne. Als Grundlage für die Richtzeichnungen waren Typenstatiken zu verfassen. Die Richtzeichnungen und weitere Regeln zu den Rahmenbauwerken sind im neu verfassten Modul 804.9040 [4] veröffentlicht.

## 4 Projektbearbeitung

Um die Projektbearbeitung zu gliedern und inhaltlich entsprechend den Vorgaben der DB Netz AG zu steuern, waren im Lastenheft drei Projektphasen festgelegt.

### Phase 1

Die Anzahl der möglichen Typenstatiken ergibt sich aus der **Tabelle 1** potenziert mit der Anzahl der möglichen Unterteilung der Überschüttung in verschiedene Höhen. Es ist jedoch nur sinnvoll, eine zusätzliche Typenstatik anzufertigen, wenn in der Bemessung signifikante Unterschiede in den Abmessungen und der Bewehrungsführung auftreten. Ziel der Phase 1 war, durch geeignete Ansätze die Struktur der Standardisierung festzulegen. Hierzu wurden allgemei-

**Tabelle 1. Typisierungsmatrix**  
Table 1. Matrix of type

Lichte Höhe H [m]	Lichte Weite B [m]			
	3,0	4,0	5,0	6,0
2,5	F	F	F	F
3,0	F	R	R	-
4,0	-	R	R	R
5,0	-	R	R	R

**F** Ausarbeitung für Vollrahmen

**R** Ausarbeitung für Vollrahmen und flach gegründeten Halbrahmen

ne Untersuchungen und konzeptionelle Überlegungen an vereinfachten statischen Modellen durchgeführt.

Ein Bearbeitungsschritt in dieser Phase war das Festlegen der Querschnittsabmessungen. Im Stahlbeton sind die Querschnittshöhe und Betonstahlmenge maßgebend für den Bauteilwiderstand. Eine geringere Querschnittshöhe kann durch einen höheren Bewehrungsgehalt kompensiert werden. Durch die üblichen Regeln zur Mindest- und Höchstbewehrung sowie die Festigkeiten der Materialien bestehen zwar Grenzen, trotzdem lässt sich allenthalten feststellen, dass für gleiche statische Anforderungen unterschiedliche Abmessungen realisiert werden. Neben der Bemessung des Tragwiderstandes stehen im Eisenbahnbrückenbau jedoch die Anforderungen an die Steifigkeit. Hier dominiert die Querschnittshöhe. In der Phase 1 wurden Parameterstudien durchgeführt, um zu untersuchen mit welchen Abmessungen die Durchbiegungsbedingungen als auch die Grenzwerte für die Eigenfrequenzen zur Vermeidung von Resonanzerscheinungen eingehalten werden können. Folgende Verformungsgrenzwerte wurden betrachtet.

1. Begrenzung auf  $\delta_{v1} = 1/600$
2. Reisendenkomfort:  $\delta_{v2} = 0,7 \cdot 1/1400$
3. Weichen auf Brücken:  $\delta_{v5} = 4,0$  mm

Das **Bild 3** gibt einen Teil der Auswertung dieser Untersuchungen wieder.

Ein für die weitere Bearbeitung wichtiger Punkt war die Frage, wie mit der Überschüttung zwischen 0,0 m bis 1,50 m

h [m] = 0,3						h [m] = 0,3					
H <sub>0</sub> [m] =	Lichte Weite B [m]					H <sub>0</sub> [m] =	Lichte Weite B [m]				
	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0		2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
0,0	104,0	53,1	32,1	21,5	15,4	0,0	0,17	0,66	1,77	3,88	7,48
0,1	99,5	50,7	30,7	20,5	14,7	0,1	0,17	0,66	1,77	3,89	7,50
0,2	95,4	48,7	29,4	19,7	14,1	0,2	0,17	0,66	1,77	3,90	7,52
0,3	91,8	46,9	28,3	19,0	13,6	0,3	0,17	0,66	1,78	3,91	7,54
0,4	88,6	45,2	27,4	18,3	13,1	0,4	0,17	0,66	1,78	3,93	7,57
0,5	85,7	43,7	26,5	17,7	12,7	0,5	0,18	0,66	1,79	3,94	7,60
0,6	83,1	42,4	25,6	17,2	12,3	0,6	0,18	0,67	1,80	3,96	7,63
0,7	80,7	41,2	24,9	16,7	11,9	0,7	0,18	0,67	1,80	3,97	7,67
0,8	78,5	40,0	24,2	16,2	11,6	0,8	0,18	0,67	1,81	3,99	7,71
0,9	76,5	39,0	23,6	15,8	11,3	0,9	0,18	0,67	1,82	4,01	7,75
1,0	74,6	38,1	23,0	15,4	11,0	1,0	0,18	0,68	1,83	4,04	7,79
1,1	72,8	37,2	22,5	15,0	10,8	1,1	0,18	0,68	1,84	4,06	7,84
1,2	71,2	36,3	22,0	14,7	10,5	1,2	0,18	0,69	1,85	4,08	7,89
1,3	69,7	35,5	21,5	14,4	10,3	1,3	0,18	0,69	1,86	4,11	7,94
1,4	68,2	34,8	21,1	14,1	10,1	1,4	0,18	0,69	1,87	4,14	8,00
1,5	66,9	34,1	20,6	13,8	9,9	1,5	0,18	0,70	1,89	4,17	8,05

**Bild 3. Auswertung der Eigenfrequenzuntersuchungen und Verformungsberechnungen**  
Fig. 3. Evaluation of the examinations of natural frequency and deformation calculations

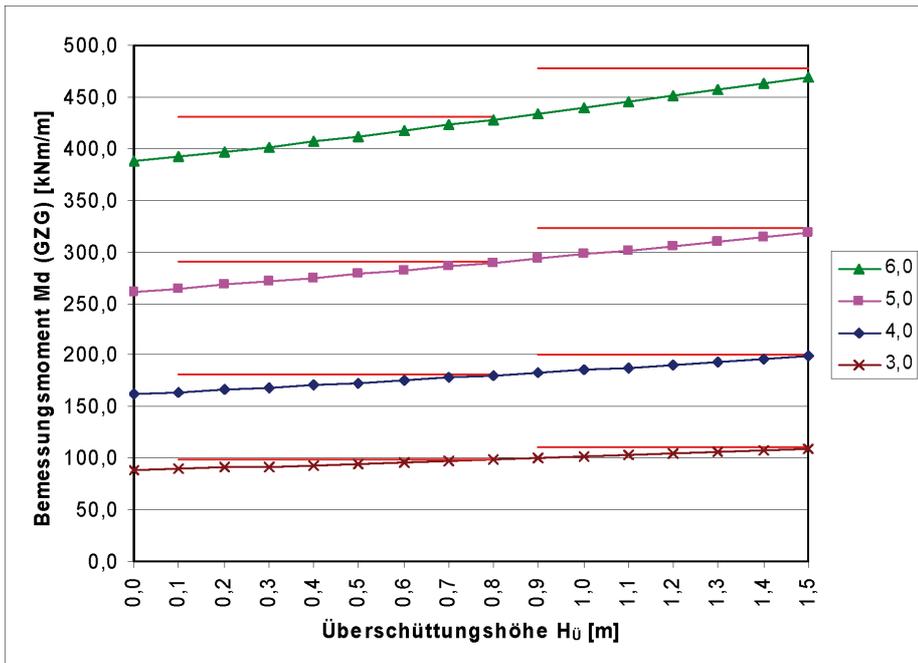


Bild 4. Darstellung der 10% – Schranke in der Bemessung für die Überschüttungshöhe  
 Fig. 4. Delineation of 10% – bound in the design for the overflow heights

Tabelle 2. Zusammenstellung der Eingabe für die Dauerhaftigkeitsbemessung  
 Table 2. Compilation of the input for the durability assessment

Bauteil	Expositionsklasse-/Feuchteklasse	$c_{nom}$ [mm]
Überbau	XC4, XD1, XF2, WA (Tausalz)	45
	XC4, XF1, WF	45
Rahmenwände	XC4, XD2, XF2, WA (Tausalz)	45 / 55
	XC4, XF1, WF	45 / 55
Gründung, Bodenplatte	XC2, (XD2, XF2), WA (Tausalz)	55
	XC2, (XF1), WF	55

umzugehen ist. Um die Anzahl der Typenstatiken zu begrenzen, musste eine Abstufung gefunden werden. In Bild 4 ist dargestellt, wie sich die Bemessungsschnittgrößen der Biegemomente mit ansteigender Überschüttungshöhe verändern. In diesen Kurven sind dann mit den horizontalen Linien drei Abstufungen ( $H_{\ddot{u}} = 0; 0 < H_{\ddot{u}} \leq 0,8; 0,8 < H_{\ddot{u}} \leq 1,5 [m]$ ) dargestellt. Unterhalb dieser Abstufungen liegt der Fehler zwischen der rechnerisch richtigen Schnittgröße und der Abstufung unter 10%.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen wurden einheitliche Bauhöhen innerhalb einer lichten Weite für alle Überschüttungshöhen festgelegt. Die Bauteilhöhen für die Riegel werden auch auf die Stiele und beim Vollrahmen auf die Bodenplatte übertragen. Für die vorliegenden Abmessungen in Höhe und Breite der Vollrahmen können die Decken- und Bodenplatten noch in gleicher Konstruktionshöhe ausgeführt werden.

Für den Mindestwert der Betondruckfestigkeit gibt es Anforderungen aus den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauwerke (ZTV-ING) [5], den normativen Grundlagen und der Richtlinie 804 [6]. Grundsätzlich muss für die Rahmenbauwerke angenommen werden, dass Verkehrswege überführt werden. In [5] findet sich die Festlegung, dass für diese Bauwerke in den Expositionsklassen XF2 und XD2 die Mindestdruckfestigkeitsklas-

se C 30/37 beträgt. Die steht auch mit den Angaben in [6] nicht im Widerspruch. Auf Grundlage dieser Regelungen wurden folgende Festlegungen getroffen (Tabelle 2).

Neben den technischen waren auch wirtschaftliche Betrachtungen relevant. Für eine Standardisierung müssen Vereinfachungen getroffen werden. Diesem Ansatz könnte eine gewisse wirtschaftliche Unzulänglichkeit obliegen, wenn man sieht, dass ein Überbau mit 5,20 m Spannweite ausgeführt wird wie ein Überbau mit 6,0 m Spannweite. Die Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass die daraus resultierenden wirtschaftlichen Unzulänglichkeiten als Massenerhöhung geringer sind als die wirtschaftlichen Vorteile im Gesamtprozess. Zur Überprüfung der wirtschaftlichen Auswirkung einer Standardisierung wurden die Abrechnungsdaten mehrerer Rahmenbauwerke ausgewertet. Für sieben Bauwerke lagen die Massenangaben so detailliert vor, dass eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden konnte. In der Untersuchung wurden die Betonstahlmassen pauschal um 10% erhöht. Der Kostenanteil des Betonstahls an den Gesamtkosten liegt bei den Bauwerken in einer Größenordnung von 5% – 7%. Die Erhöhung der Betonstahlmassen um + 10% steigert die Gesamtkosten um weniger als 1%. Dem gegenüber stehen wirtschaftliche Vorteile im Planungsprozess und die Massensicherheit zwischen Entwurf und Ausführung.

### Phase 2

Die Projektphase 2 war angelegt zur Evaluierung der Festlegungen der Phase 1 und zur Klärung der Auswirkungen der geplanten Typenstatiken unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Hierzu wurden zwei Varianten verglichen. In der Phase 2 wurden die statischen Modelle aufgestellt, mit denen die Typenstatiken in der Phase 3 erstellt werden sollten. Als Modell wird ein zweidimensionaler Rahmen gewählt. Dieses Modell bildet alle Schnittgrößen aus ständigen Einwirkungen, Temperatur, Erddruck und Boden-Bauwerk-Interaktion richtig ab. Eine Plattenberechnung mit Finiten Elementen kann die mitwirkende Breite in der Platte unter flächig begrenzten Verkehrseinwirkungen besser erfassen und ein räumliches Faltwerkmodell die Einflüsse aus anschließenden Bauteilen wie Flügelwände. Diese Randbedingungen sind jedoch sehr objektspezifisch und können im Sinne einer Standardisierung nicht berücksichtigt werden. Die mitwirkende Breite wird über den Lastansatz erfasst. Damit können die Verkehrseinwirkungen in jeder geometrisch möglichen Situation auf die Rahmen angesetzt werden.

Die Bemessungsergebnisse des standardisierten Rahmens wurden mit denen des angepassten Rahmens verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass unter Berücksichtigung der normativ geforderten Mindestbewehrungen, Überschreitungen der Bewehrungsmengen in Bezug auf eine für den kleineren Rahmen angepassten Bewehrung im Wesentlichen in den Rahmenecken auftreten. Vergleichbare Aussagen lassen sich auch für die Variationen der Überschüttungshöhen treffen. In Bezug auf die Gesamtbewehrung ist eine Massenmehrung durch den standardisierten Ansatz kleiner als 10%.

### Phase 3

In der Phase 3 wurden die Typenstatiken, Richtzeichnungen und das Modul 804.9040 entwickelt. Die Typenstatik gliedert sich in einen allgemeinen Teil und den Teilen für die einzelnen Typen mit den drei Klassen der Überschüttungshöhen. Die statischen Unterlagen wurden dem Eisenbahn – Bundesamt zur Prüfung vorgelegt. Nach Abschluss der Prüfung hat das Eisenbahn – Bundesamt eine allgemeine Zulassung für die standardisierten Rahmen ausgestellt [7]. Für die Bemessung wurden in den Systemen dezidierte Punkte festgelegt (Bild 5). Aufgrund der geringen Längenabmessungen reichten diese Punkte aus.

### 5 Statische Besonderheiten in der Bearbeitung

Rahmen gehören in die Gruppe der integralen Bauwerke. Das besondere Merkmal dieser Bauwerke ist die große Relevanz der Boden-Bauwerk-Interaktion. Die mechanischen Eigenschaften des Bodens, insbesondere das Verformungsverhalten, beeinflussen die Schnittgrößen in dem System der Brücke. Da die Bodeneigenschaften stärker variieren als die Eigenschaften künstlicher Baumaterialien, werden für die Bodenreaktionen Grenzwerte für die Bodeneigenschaften angesetzt. Üblicherweise gibt es Berechnungen mit oberen und unteren Grenzwerten für die Bettung. Dieser Ansatz der Modellierung erfordert jedoch verschiedene statische Systeme. Es ist nicht möglich durch einfache Überlagerung von Lastfällen die maßgebenden Schnittgrößen zu bestimmen. Die Bemessungswerte in einem Querschnitt können aus verschiedenen Systemen stammen. In einer statischen Berechnung für eine konventionelle Brücke, in der nur das Setzungsverhalten der Fundamente von Bedeutung ist, werden Setzungsunterschiede als Lastfälle eingefügt, für die es in den normativen Grundlagen einen Sicherheitsbeiwert gibt. Der Ansatz mit möglichen und wahrscheinlichen Setzungsunterschieden ist normativ seit Jahrzehnten bekannt. Der Vorteil dieses Ansatzes ist eine konsistente statische Berechnung und die Verfügbarkeit eines eingeführten Sicherheitskonzepts. In den statischen Berechnungen für die standardisierten Rahmen werden Boden-Bauwerk-Interaktionen

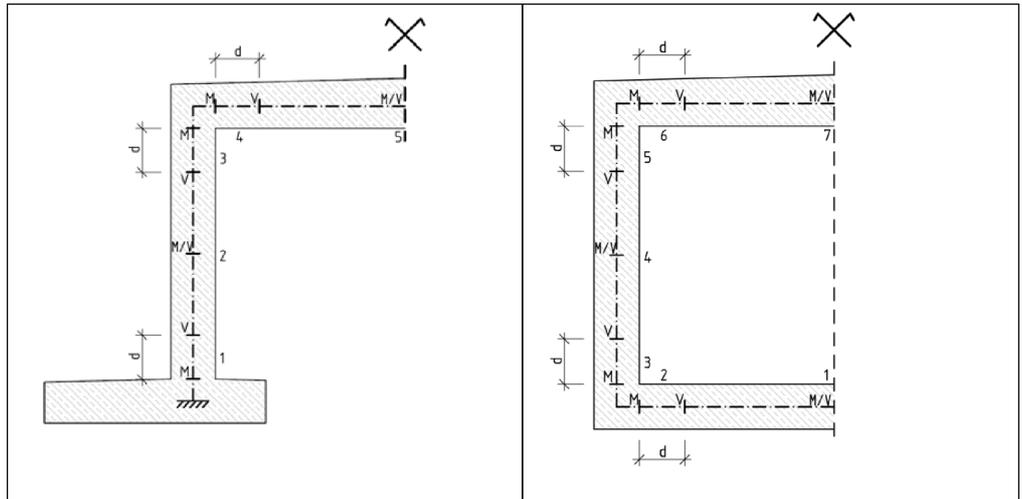


Bild 5. Bemessungsquerschnitte  
Fig. 5. Design sections

über vertikale Setzungslastfälle und einer horizontalen Verschiebung einer Rahmenecke berücksichtigt.

Die Halbrahmen werden als starr gelagert betrachtet. Variationen von Federsteifigkeiten werden über vertikale Setzungsdifferenzen und horizontale Auflagerverschiebungen auf der Einwirkungsseite berücksichtigt. In der Abstimmung mit dem geotechnischen Sachverständigen sind im konkreten Projekt die Bodenverhältnisse abzuklären. Im Modul 804.9040 finden sich die vorhandenen Bodenpressungen für die einzelnen Rahmenabmessungen.

Die Vollrahmen werden über äquivalente Ersatzlasten auf die Bodenplatte (analog einer Bodenpressung) zu den vertikalen Einwirkungen auf den Überbau anstatt Federlagerung mit Bettungsansatz modelliert. Dabei werden zwei verschiedene Grenzwertbetrachtungen für „weichen“ und „harten“ Boden berücksichtigt. In dem Grenzfall eines weichen Bodens verteilt sich die Bodenpressung über die gesamte Bodenplatte annähernd gleichmäßig. Bei einem steifen Boden dagegen konzentrieren sich die Bodenreaktionen an den Rändern. In den Typenstatiken sind beide Ansätze als alternative Lastfälle berücksichtigt. Für das konkrete Projekt ist mit den geotechnischen Sachverständigen zu klären, dass der Bettungsmodul des Bodens in den folgenden Grenzen liegt.

$$10 \text{ MN/m}^3 \leq k_s \leq 100 \text{ MN/m}^3$$

Die horizontale Bettung wird über Lastfälle auf der Einwirkungsseite berücksichtigt. Die horizontalen Einwirkungen aus Bodeneigengewicht und ständiger Auflast auf die Widerlagerwände werden mit dem Erdruchdruckbeiwert bestimmt. Hier kann ein erdstatisches Gleichgewicht angenommen werden. Die entsprechenden Einwirkungen unter Eisenbahnverkehrslasten müssen differenzierter betrachtet werden, da diese einseitig auftreten können. Aus der einseitigen Belastung wird das Tragwerk auf der einen Seite durch den horizontalen Erddruck belastet und auf der anderen Seite gibt es Einwirkungen aus der Bodenreaktion. Diese Reaktionen können mit Bettungsfedern erfasst werden. Über gesonderte Betrachtungen wurde der Erddrucklastfall kalibriert, der mit der Bodenreaktion vergleichbar ist. Die horizontale Verschiebung, die sich für die Bodenreaktion im

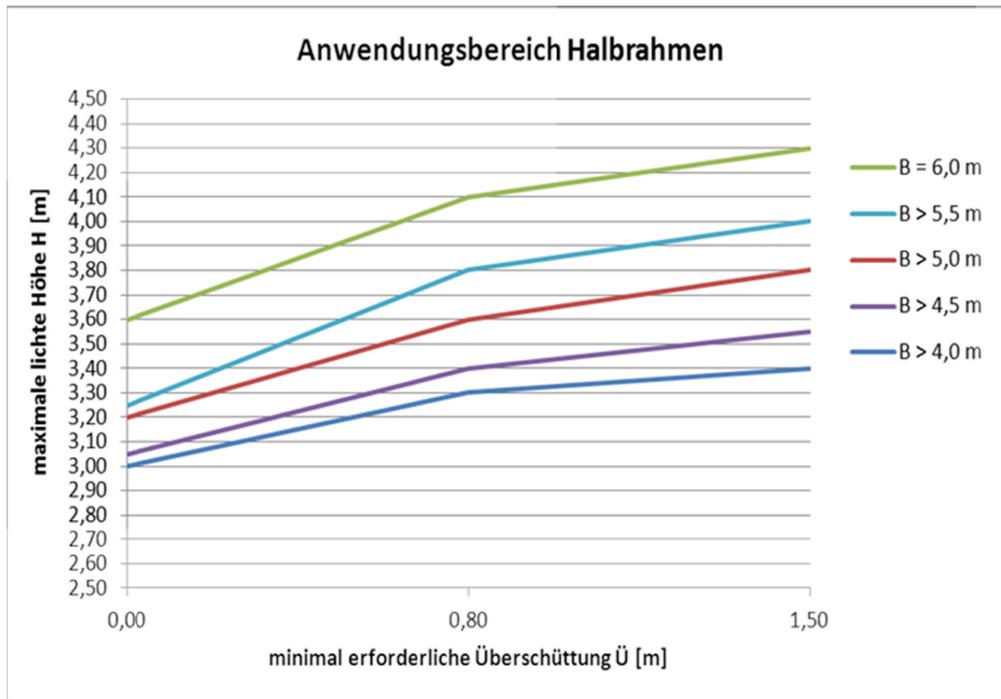


Bild 6. Abgrenzung der Anwendung von Halbrahmen gegenüber Vollrahmen  
Fig. 6. Demarcation of the application of half-frame as compared with full frame

Tabelle 3. Mindestbewehrung  
Table 3. Minimum reinforcement

Bauteilhöhe h [cm]	Durchmesser [mm]	Stababstand s [cm]
50	16	12,5
60	20	15,0
70	20	15,0

Rahmen einstellt, wird als gesonderter Lastfall berücksichtigt.

Die Rahmen sind in der Standardisierung als Voll- und Halbrahmen entwickelt. Die beiden Typen unterscheiden sich in ihrer Gründung. Die Vollrahmen sind im Querschnitt ein Kasten. Die Gründung erfolgt über die Bodenplatte zwischen den Wänden. Auf der Rückseite ist kein Sporn erforderlich. Die Halbrahmen haben ein Streifenfundament unter den Widerlagerwänden, das vor und hinter der Widerlagerwand übersteht. Der Vorteil der Vollrahmen ist die geringere Längenausdehnung, die sich positiv auf die Größe der Baugrube auswirkt. Bei größeren Spannweiten haben die Halbrahmen einen Vorteil bezüglich der Massen, wenn das Volumen der Streifenfundamente kleiner wird als das einer durchgehenden Bodenplatte.

In der Standardisierung erfolgt die Unterscheidung zwischen einem Vollrahmen und einem Halbrahmen über einen erdstatischen Nachweis. Für einen Vollrahmen kann ein erdstatisches Gleichgewicht angenommen werden. Die Gleitsicherheit bedarf keiner zusätzlichen Nachweise. Bei Halbrahmen kann im Prinzip auch ein erdstatisches Gleichgewicht angenommen werden. Bei dieser Annahme werden die Horizontalkräfte aus dem Erddruck über Biegung in den Riegel geleitet. Diese führt zu großen Beanspruchungen in den Rahmenecken. Eine Erweiterung des Ansatzes ist, die Reibungskräfte in der Gründungssohle anzusetzen. In der statischen Berechnung ergibt sich jedoch die Schwierigkeit

festzulegen, ob in dem statisch unbestimmten System die Steifigkeiten richtig erfasst sind. Der nächste Schritt ist, für die Gründung die Gleitsicherheit nachzuweisen. Für die Gleitsicherheit bedarf es einer ausreichenden Auflast, die durch einen entsprechend großen hinteren Fundamentsporn erreicht wird. Angesichts der relativ kurzen Spannweiten kann der Materialbedarf für diesen hinteren Fundamentsporn größer sein als für eine durchgehende Bodenplatte eines Vollrahmens. Mit dem Nachweis der Gleitsicherheit wird ein Entscheidungskriterium gefunden, um zwischen Halb- und Vollrahmen zu unterscheiden. In Bild 6 werden die unteren Anwendungsgrenzen der Halbrahmen aufgezeigt.

Die Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite aus Zwang ist in den weniger beanspruchten Bauwerksbereich eine maßgebende Komponente. Die heute gebräuchlichen Regelungen zur Mindestbewehrung, die mit dem DIN Fachbericht 102 [8] in den Brückenbau eingeführt wurden, ermöglichen eine detaillierte Berechnung der Bewehrungsmenge. In der Praxis ist jedoch festzustellen, dass sich wesentliche Parameter kaum ändern und die tatsächliche Bewehrungsabstufung aus baupraktischen Überlegungen meist gröber ist. Für den täglichen Gebrauch können vereinfachte Angaben gemacht werden. Für einen Beton der Betongüte C 30/37 kann die Tabelle 3 angewendet werden. Die Tabelle wurde in dem allgemeinen Teil der Typenstatik hergeleitet. Dabei berücksichtigt wurde der Ansatz von Maurer für dicke Bauteile [9].

### 6 Umsetzung in das neue Modul 804.9040

Die Ergebnisse aller Untersuchungen sowie die Erstellung der Typstatiken wurden anschließend in Modul 804.9040 verarbeitet. So werden Planer künftig mittels Checklisten und Flussdiagrammen (Bild 7) geleitet.

Im Modul 804.9040 werden grundlegende Hinweise und Planungsgrundsätze zur Anwendung von Rahmenbauwerken, Typenstatik und Versuchsverfahren gegeben. Die konkreten Arbeitsschritte sind:

1. Überprüfen der Anwendungsgrenzen anhand einer Checkliste
2. Auswahl der notwendigen Zeichnungen
3. Verfassen der Schal- und Bewehrungspläne für das Objekt.

Zum Verfassen der Unterlagen greift der Anwender auf die Unterlagen im Modul 804.9040 zu. Maßgebend sind für den Anwender die Pläne für den Rahmen, mit den nächst größten Abmessungen (lichte Höhe und lichte Weite). In den Plänen findet der Anwender alle Angaben zur Bewehrung, Biegeform, Durchmesser, Bewehrungsraster und Übergrei-

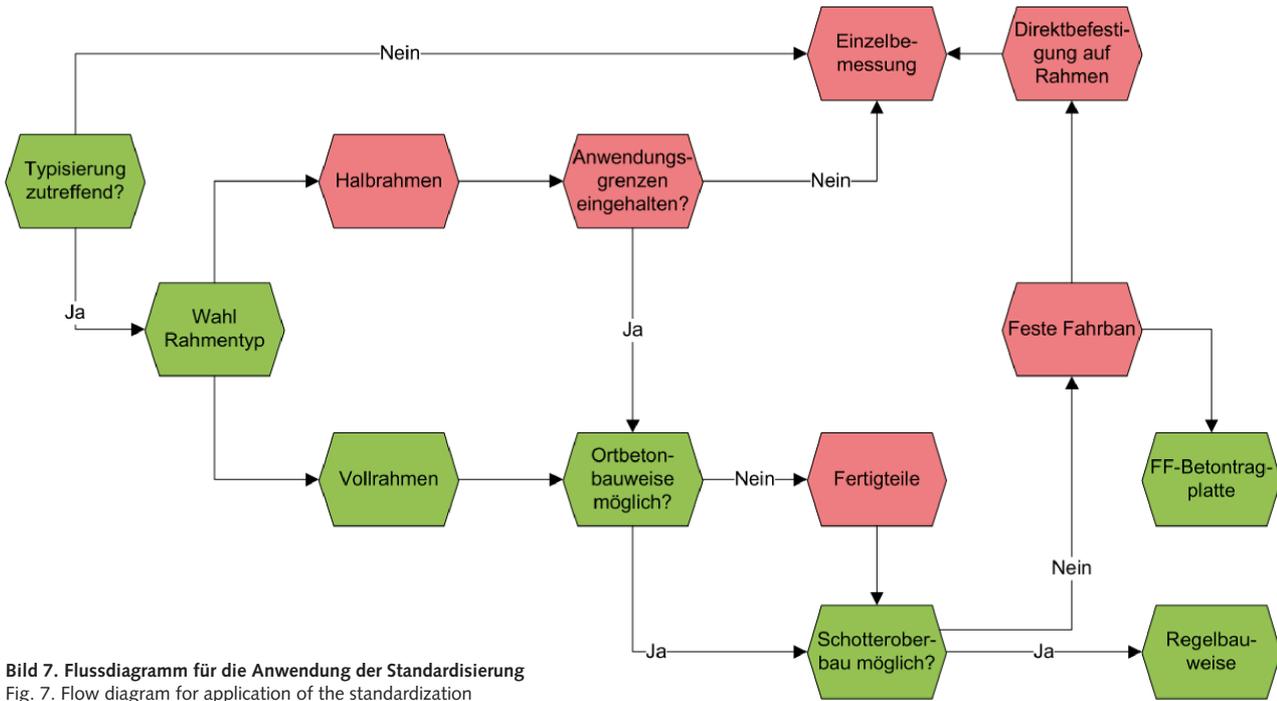


Bild 7. Flussdiagramm für die Anwendung der Standardisierung  
Fig. 7. Flow diagram for application of the standardization

fungsstöße. Die Angaben umfassen die Biegebewehrung, Bügel und konstruktive Bewehrung. Die Anpassung an die konkreten Abmessungen erfolgt über variable Schenkellängen und Verlegebereiche. Die lichten Höhen und Überschüttungen haben Einfluss auf die Bewehrungsabstufung und die Querkraftbewehrung. Über Tabellenangaben werden verschiedene Anwendungsgrenzen in einer Richtzeichnung behandelt (Bild 8). Das Paket der Richtzeichnungen umfasst nicht nur die Angaben zur Konstruktion des Hauptbauteils, sondern auch der Nebenbauteile wie Flügel, Kappen und konstruktive Details aus der Abdichtung.

Die Tabellen 4 und 5 geben einen Überblick über den Vergleich zwischen dem alten Modul 804.9040 und dem neuen.

### 7 Zusammenfassung

Die Deutsche Bahn hat 2010 beschlossen, die Standardisierung der Rahmenbauwerke, deren allgemeine Zulassung 2007 auslief, zu erneuern. Hierzu wurde mit einem Lastenheft ein Projektansatz aufgelegt, der nicht nur die neuen europäischen Normen erfasst, sondern auch eine signifikante Erweiterung des Anwendungsbereichs beinhaltet. Das Pro-

Bauehr: DB Netz AG Technologieanlagen / Entwurfstechnik Konstruktiver Ingenieurbau, UVT 42 03 RheinstraÙe 3 80434 Mönchen		Bauehr: DB Netz AG Technologieanlagen / Entwurfstechnik Konstruktiver Ingenieurbau, UVT 42 03 RheinstraÙe 3 80434 Mönchen		M-RB-H56-2 Richtzeichnung Planar: Modul: 804.9040 Blattgr.: 100,0 x 29,7 cm
Maßstab: 1 : 50		Schal-/Bewehrungsplan Halbrahmen Lichte Weite 5m < B ≤ 6m		Einwirkungen/Lastmodelle: LMT1, SW/0, SW2 (α=1,21) Höhen- und Koordinatensystem
Projekt: Standardisierte Rahmenbauwerke				
Bauwerksnummer Kilometer		Brückennummer Kennzahl		Barcode

Verlegeübersicht Stahlpositionen

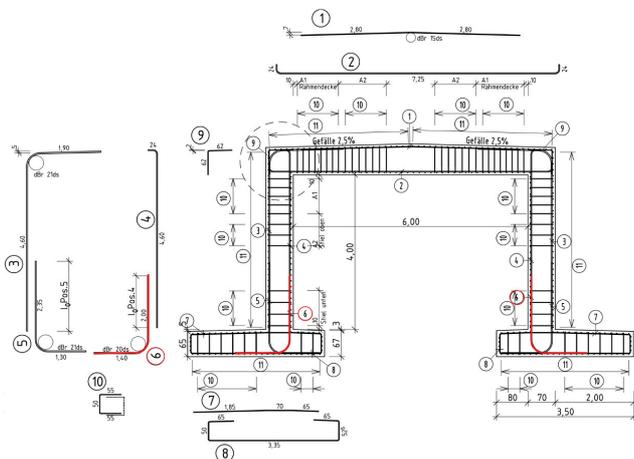


Bild 8. Anwendung der Bewehrungsrichtzeichnung  
Fig. 8. Application of the Reinforcement Standard Drawings

Tabelle 2										
Stahl-/Biegeleiste, 5m < B ≤ 6m; 0 < ü ≤ 1,5m										
H = 4m					4m < H ≤ 5,2m					
Pos. Nr.	Stück je 11m	Ø	Abstand [cm]	Länge³ [cm]	Stück je 11m	Ø	Abstand [cm]	Länge³ [cm]	Øbr /r45	AußenmaÙe und Innenraden in cm-m
1	16/20 <sup>4</sup>	15	7,00	7,00	16/20 <sup>4</sup>	15	7,00	7,00	15	B/2+h-0,20m 2,5% B/2+h-0,20m 2,5%
2	25	15	7,68	7,68	25	15	7,68	7,68	7	6ds+dbr/2 B+h-0,20m
3	25/20 <sup>4</sup>	15	6,50	6,50	25/20 <sup>4</sup>	15	7,70	7,70	21	6ds+dbr/2 H+h-0,10m
4	16/20	15	4,79	4,79	20	15	5,99	5,99	7	6ds+dbr/2 H+h-0,10m
5	20/25 <sup>4</sup>	15	3,65	3,65	25/20 <sup>4</sup>	15	3,75	3,75	21	2,35·v <sup>27</sup>
6	20/25 <sup>4</sup>	15	3,40	3,40	20/25 <sup>4</sup>	15	3,50	3,50	20	2,00·v <sup>27</sup>
7	16/20 <sup>4</sup>	15	3,20	3,20	16/20 <sup>4</sup>	15	3,20	4,4/7	4/7	1,85 70 65

Tabelle 3													
Querkraftbewehrung													
H = 4m					4m < H ≤ 5,2m								
Ø	Position	Rahmendekke A1	Rahmendekke A2	Fundament A1	Stiel oben A1	Stiel oben A2	Stiel unten	Rahmendekke A1	Rahmendekke A2	Fundament A1	Stiel oben A1	Stiel oben A2	Stiel unten
ü=0	Position	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ü=0	Ø	14	12	10	10	10	10	12	12	10	12	10	10
ü=0	Anzahl	8	8	7	8	8	5	10	8	7	8	10	10
ü=0	Länge [m]	1,05	1,20	1,20	1,05	0,60	1,20	1,25	1,20	1,20	1,05	1,35	1,35
ü=0	s [cm]	15	15	20	15	20	15	17,5	20	20	15	15	15
0<ü≤80	Position	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
0<ü≤80	Ø	12	12	10	10	10	10	12	12	10	12	10	10
0<ü≤80	Anzahl	8	6	7	8	5	9	6	7	7	10	10	10
0<ü≤80	Länge [m]	1,05	1,05	1,20	1,05	0,60	1,20	1,25	1,00	1,20	1,35	1,35	1,35
0<ü≤80	s [cm]	15	17,5	20	15	15	15	17,5	20	20	15	15	15
80<ü≤150	Position	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
80<ü≤150	Ø	12	12	10	10	10	10	12	12	10	12	10	10
80<ü≤150	Anzahl	8	7	7	10	5	8	5	7	10	10	10	10
80<ü≤150	Länge [m]	1,05	1,225	1,20	1,35	0,60	1,225	1,00	1,20	1,20	1,35	1,35	1,35
80<ü≤150	s [cm]	15	17,5	20	15	15	15	17,5	20	20	15	15	15

**Tabelle 4. Gegenüberstellung von Konstruktionsmerkmalen in Modul 9040 (alt) und Modul 9040 (neu)**

Table 4. Comparison of constructions details in module 9040 (old) and module 9040 (neu)

Allgemeines	Modul 9040 gültig bis 2007	Modul 9040 gültig ab 2013
Rahmentyp	nur Vollrahmen	Halb <sup>*)</sup> - und Vollrahmen
Gründungs- / Bettungsansätze	V: Ansatz von Bettungs- und Federkennwerten als Grenzwertbetrachtung: E <sub>s,min</sub> = 10 MN/m <sup>2</sup> E <sub>s,max</sub> = 250 MN/m <sup>2</sup> H: ohne Bettung	V: Ersatzlasten auf Bodenplatte analog zur Einwirkung auf Überbau bzw. ggf. mit Umlagerung (Vollrahmen) H: Berücksichtigung zusätzlicher Ersatzlast anstatt horiz. Bettungsansatz, vgl. Abschnitt
Lichte Weiten [m]	2,5; 3,0; 4,0	(2,0) 3,0 bis 6,0
Lichte Höhen [m]	2,6 (+/- 5 cm)	2,5; (2,0) 3,0 bis 5,2
Überschüttung Ü	max. 1,80 m von OK Rahmen bis UK Schiene	max. 1,50 m von OK Bauwerk bis UK Schotteroberbau
Betonfestigkeit	B45 (C 35/45)	C 30/37
Betondeckung c <sub>nom</sub>	innen 4,0 cm außen 5,0 cm	innen 4,5 cm außen 5,5 cm
Vorhaltemaß c	10 mm	5 mm
Haupttragbewehrung	in 1. Lage	In 2. Lage

1) Berücksichtigung von Setzungsdifferenzen bei starrer Lagerung anstatt Variation der Steifigkeit bzw. Federlagerung

jekt wurde von Zilch + Müller Ingenieure umgesetzt. In der Bearbeitung wurde Wert darauf gelegt, die Boden – Bauwerk – Interaktionen über einfache Ansätze zu berücksichtigen. Dies war eine wesentliche Grundlage, um Typenstatiken für ein breites Einsatzgebiet aufstellen zu können. Die Ergebnisse sind im Modul 804.4090 der DB Netz AG veröffentlicht. Für die Anwendung der Standardisierung im Netz der DB hat das Eisenbahn – Bundesamt eine Zulassung erstellt. Dem Planer werden eindeutige Hinweise an die Hand gegeben, so dass die relativ einfachen Systeme der Rahmen mit

**Tabelle 5. Gegenüberstellung der wesentlichen Unterschiede der Lasten**

Table 5. Comparison of the main differences between the loads

Lastfälle	Modul 9040 gültig bis 2007	Modul 9040 gültig ab 2013
Ständige Lasten ohne Wasserdruck	Eigengewichte, Überschüttung	Eigengewichte, Überschüttung
Beidseitig aktiver Erd- druck ohne Wasserdruck	= 25°, / ' = 21/11 = 35°, / ' = 19/11	= 30°, / ' = 20/10 <sup>2)</sup>
Beidseitiger Erdruhedruck ohne Wasserdruck	= 25°, / ' = 21/11 = 35°, / ' = 19/11	= 30°, / ' = 20/10 <sup>2)</sup>
Ständige Lasten mit Wasserdruck	Wasser bis OK Bauwerk	Wasser bis 1/3 H und bis OK Bauwerk
Beidseitig aktiver Erd- druck mit Wasserdruck	= 25°, / ' = 21/11 = 35°, / ' = 19/11 Wasser bis OK Bauwerk	= 30°, / ' = 20/10 <sup>2)</sup> Wasser bis 1/3 H und bis OK Bauwerk
Beidseitiger Erdruhedruck mit Wasserdruck	= 25°, / ' = 21/11 = 35°, / ' = 19/11 Wasser bis OK Bauwerk	= 30°, / ' = 20/10 <sup>2)</sup> Wasser bis 1/3 H und bis OK Bauwerk
Verkehrslast über dem Bauwerk	UIC 71, V <sub>k</sub> = 1,0 (ohne Klassifizierung) Ersatzflächenlast	LM 71, = 1,21, Lastbild mit Lastausbreitung 4:1
Beidseitiger Erdruhedruck aus Verkehr	UIC 71, V <sub>k</sub> = 1,0 = 25°	LM 71, = 1,21 Lastausbreitung 4:1 = 30° <sup>2)</sup>
Einseitiger Erdruhedruck aus Verkehr	UIC 71, V <sub>k</sub> = 1,0 = 25°	LM 71, = 1,21 Lastausbreitung 4:1 = 30° <sup>2)</sup>
Bremsen und Anfahren	UIC 71, V <sub>k</sub> = 1,0	LM 71, = 1,21
Temperatur	gemäß DS 804 T <sub>M</sub> = +/- 5 K T <sub>N</sub> = 0	gemäß EC + Ril 853 T <sub>M</sub> = +/- 10 K T <sub>N</sub> = + 29 K / - 16 K

2) Berücksichtigung ggf. zusätzlicher Ersatzlast zur Variation der Bodenkennwerte bei Abweichungen zu Kennwerten der Hinterfüllung

kurzen Stützweiten auf einem einheitlichen Niveau umgesetzt werden können. Konstruktionsdetails werden ebenfalls vorgegeben, was die Qualität der Bauwerke erheblich steigert und die Langlebigkeit gewährleistet.

**Literatur**

[1] Marx, Geissler, Bolle: Die Bestandsbrücken der Bahn – eine Jahrhundertaufgabe, in: 16. Dresdner Brückensymposium 2006, Tagungsband S. 225 – 238  
 [2] Modul 804.9040 Typengeprüfte Richtzeichnungen für Fußweg- und Bahnsteigunterführungen, Deutsche Bahn, 01.04.2002 (gültig bis 31.01.2007)  
 [3] Lastenheft: Standardisierung von Rahmenbauwerken sowie Fußweg- und Bahnsteigunterführungen (FBU), Deutsche Bahn, 26.08.2010  
 [4] Modul 804.9040 Standardisierte Rahmenbauwerke, DB Netz AG, 01.09.2013

[5] Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING), Gesamtfassung, Teile 1–10, Bundesanstalt für Straßenwesen, Stand 04/2013  
 [6] Ril 804: Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten, Deutsche Bahn, gültig ab 01.06.2010 – V02  
 [7] Eisenbahn – Bundesamt: Zulassung für standardisierte Rahmenbauwerke im Sinne des Moduls 9040 der Richtlinie 804 zur Unterführung von Strecken der Eisenbahn des Bundes als Bauart 27.06.2013  
 [8] DIN-Fachbericht 102:2009–03 – Betonbrücken, Beuth Verlag GmbH, Berlin  
 [9] Entwurf DIN Handbuch Betonbrücken, DIN EN 1992–2, Stand 31.08.11