

Peter Dörr, Eva-Maria Christgau

# Setzungsbedingte Verformungen des Fahrweges an Hochgeschwindigkeitsstrecken nach Einbau der Festen Fahrbahn

Die Krebs und Kiefer Beratende Ingenieure für das Bauwesen GmbH wurde für den Bereich Mitte Baulos B der Neubausstrecke Köln–Rhein/Main von der dort als Generalauftragnehmer tätigen ARGE NBS mit der Erstellung einer ganzheitlichen Betrachtung der Setzungen beauftragt.

Die Feste Fahrbahn reagiert sehr empfindlich auf Verformungen des Untergrundes. Bedingt durch die Bauweise kann ein Ausgleich lediglich im Schienenbefestigungspunkt erfolgen. Die derzeit zugelassenen Schienenbefestigungssysteme ermöglichen einen Justierspielraum von maximal 30 mm.

Daher kommt einer Abschätzung der nach Einbau der Festen Fahrbahn noch zu erwartenden Restsetzungen besondere Bedeutung zu.

## Beobachtung der Setzungen während der Bauzeit

Basis für die Erstellung zuverlässiger Setzungsprognosen ist eine sorgfältige und umfassende Beobachtung des Setzungsverhaltens vor Einbau der Festen Fahrbahn.

Für alle Erd- und Kunstbauwerke wurden zu diesem Zweck Verformungsmessprogramme erstellt.

Durch den hier abgesteckten Umfang der Kontrollmessungen ist eine kontinuierliche Beobachtung der Setzungen im gesamten Los B über die Bauzeit abgesichert.

## Festlegung der Mess- und Prognosequerschnitte

Im Bereich der Erdbauwerke wurden die Prognosequerschnitte folgendermaßen festgelegt:

- Regelabstand in Einschnitten und Geländegleichlagen ca. 100 m.
- Regelabstand in Dammbereichen ca. 50 m, in setzungsgefährdeten Abschnitten Verdichtung auf 25 m, in Hinterfüllbereichen der Brückenwiderlager Verdichtung auf 5 bis 10 m.

Die zugehörigen Messpunkte werden in Dammmitte angeordnet.

Querverkantungen werden auf der freien Strecke für Dämme gemessen, deren

### Die Autoren

Dipl.-Ing. **Peter Dörr**, Geschäftsführer und Dipl.-Ing. **Eva-Maria Christgau**, Krebs und Kiefer, Beratende Ingenieure für das Bauwesen GmbH, Darmstadt

Dammaufstandsfläche >1:5 geneigt ist. Dazu werden zusätzliche Messpunkte an den Dammschultern angeordnet.

### Messgenauigkeit

Die geodätischen Messungen erfolgen mit einer Genauigkeit für die Lage von +/- 4 mm und einer Genauigkeit für die Höhe von +/- 1 mm.

### Beobachtungszeitraum

Nach Beendigung der Dammschüttung können die geodätischen Messpunkte eingerichtet werden. Die Setzungen werden für Regelfälle im ersten Monat wöchentlich, im zweiten und dritten Monat 14-tägig und anschließend monatlich gemessen.

### Setzungsprognosen

Die oben beschriebenen Setzungsmessungen werden in einer Datenbank verwaltet.

Der Bodengutachter erstellt durch Extrapolation dieser Messwerte Setzungsprognosen. Dabei wird der Setzungsverlauf als mathematische Zeit-Setzungs-Funktion beschrieben.

Eine erste Prognose erfolgt nach drei Monaten. Weitere Messungen ermöglichen verbesserte Prognosen (Abb. 1).

### Errechnung der Restsetzungen

Die Berechnung der Restsetzungen wird in einer Datenbank vorgenommen. Ausgangswerte sind:

- Die durch den Bodengutachter erstellten und in Dateien zusammengefassten Setzungsprognosen an den Auswertungstellen
- Die Bauablaufplanung für das Einbringen des Füllbetons für beide Gleise (TL bzw. TR), da damit die endgültige Fixierung des Gleisrostes erfolgt.
- Der Termin für die Inbetriebnahme durch die Deutsche Bahn AG T1 (Mai 2002).
- Der Termin für das Ende der Nutzung T2 (Mai 2062).

Für folgende Zeiträume werden Restsetzungen berechnet:

- Setzungen nach Herstellung der Festen Fahrbahn bis zum Ende der Nutzungsdauer.
- Setzungen nach Inbetriebnahme bis zum Ende der Nutzungsdauer.

### Auswertung je Prognosestelle

Bezüglich der Restsetzungen bietet die Datenbank zwei Möglichkeiten der Auswertung:

Zum einen können die Ergebnisse der Datenbankauswertung auf Datenblättern je Prognosequerschnitt zusammengestellt werden (Abb. 2, folgende Seite).

Alle an einem Bau-km gemachten Auswertungen werden dort in einer Übersicht dargestellt. Die Entwicklung der ausgewies-

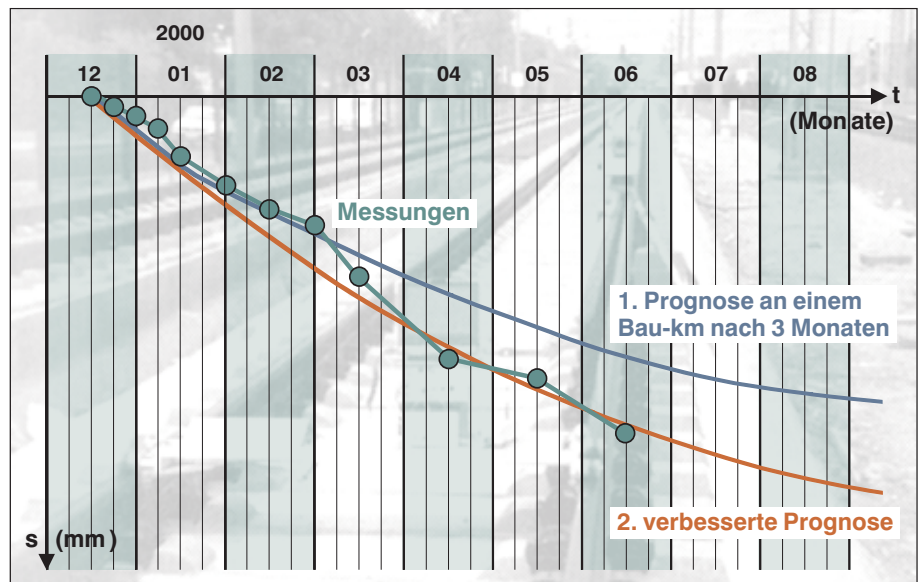


Abb. 1: Erstellung von Setzungsprognosen durch den Bodengutachter

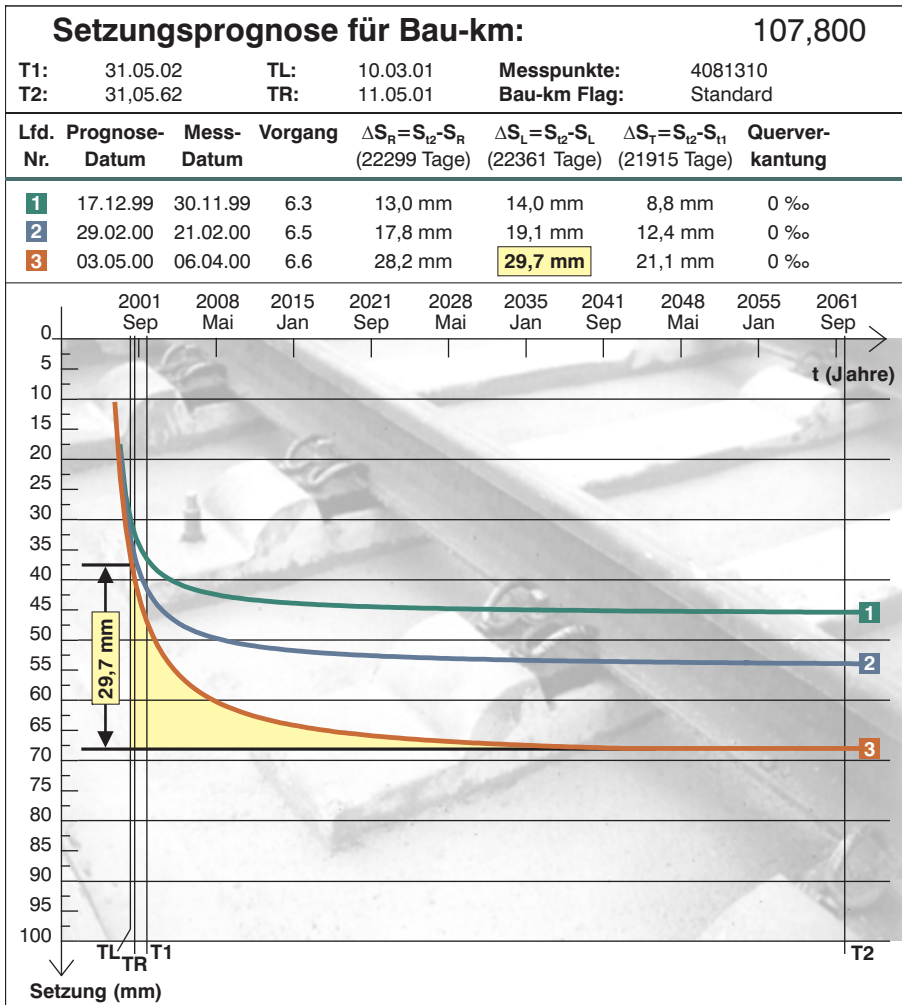


Abb. 2: Datenblatt Setzungsprognose für einen Prognosequerschnitt

enen Restsetzungen von Prognose zu Prognose ermöglicht Rückschlüsse über deren Zuverlässigkeit. Auch die Querverkantung kann bei Bedarf mit ausgegeben werden.

Die Restsetzungen werden je Gleis ermittelt, da zwischen der Herstellung des linken und des rechten Gleises ein erheblicher Zeitabstand liegen kann.

### Auswertung in Trassenachse

Das so erzeugte recht dichte Netz von Setzungsprognosen ermöglicht auch eine zweite Form der Datenbankauswertung. Sie besteht in der zusammenhängenden Darstellung der Längsentwicklung der Setzungsprognosen über einen gewählten Streckenabschnitt (Abb. 3):

- Ausgegeben werden
- Setzungen nach Herstellung des rechten Gleises bis zum Ende der Nutzungsdauer.
- Setzungen nach Herstellung des linken Gleises bis zum Ende der Nutzungsdauer.
- Eine Überlagerung beider Setzungskurven.
- Setzungen nach Inbetriebnahme bis zum Ende der Nutzungsdauer.

Die einzelnen Kurvenverläufe werden erzeugt, indem die an den Prognosestellen berechneten Werte der Restsetzungen mit-

tels einer Spline-Funktion zu einer Setzungskurve verbunden werden.

Die Berechnung wurde mit einem Spline dritten Grades durchgeführt, der zwischen den Prognosestellen relativ heftige Ausschläge der Kurve liefert und damit für die Betrachtungen auf der sicheren Seite liegt.

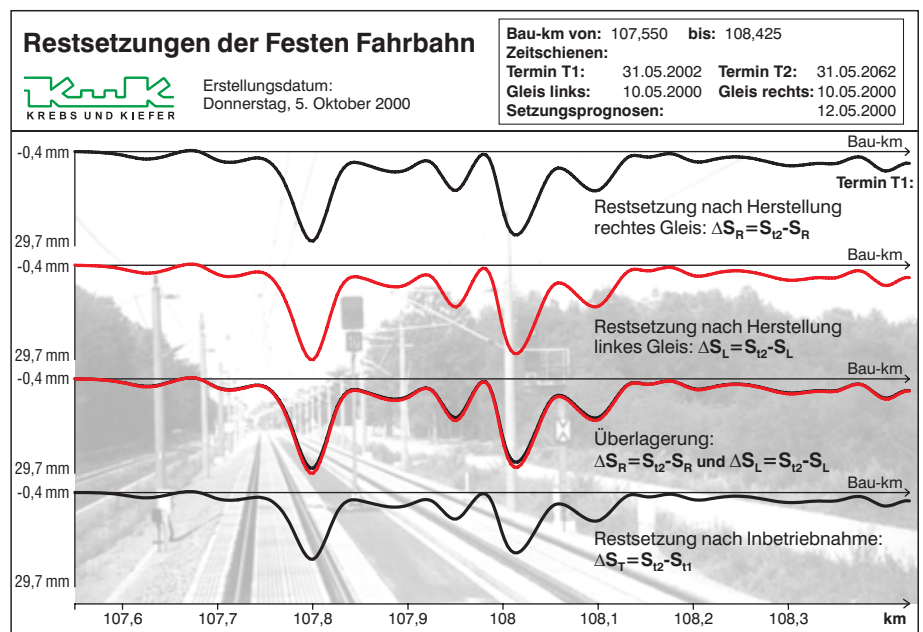


Abb. 3: Auswertung der Restsetzungen in Trassenachse

### Vorgaben der DB für den Einbau der Festen Fahrbahn

Für den Einbau der Festen Fahrbahn hat die Deutsche Bahn AG folgende Vorgaben gemacht:

- Die Feste Fahrbahn ist auf Sollgradienten herzustellen.
- Die zum Zeitpunkt der Abnahme (Inbetriebnahme) noch zu erwartenden Restsetzungen müssen durch die Regulierungsmöglichkeiten im Schienenstützpunkt ausgleichbar sein. Einzubauen ist der Ioarv 300-1. Schienenstützpunkte mit größeren Nachstellmöglichkeiten dürfen wegen fehlender Zulassung nicht eingesetzt werden.
- Eine Nachjustierung einzelner Bereiche mit Eingriffen in die Konstruktion während des Probebetriebes ist nicht möglich, da die Strecke in dieser Zeit stark belegt ist.

### Justiermöglichkeiten im Schienenstützpunkt

Abb. 4 (folgende Seite) zeigt den oben erwähnten Schienenstützpunkt Ioarv 300-1. Die in grün beschriftete Zwischenlage und die gelb bezeichneten Höhenausgleichplatten dienen der vertikalen Justierung.

Die Zwischenlage wird in einer Stärke von 2 mm bis 12 mm hergestellt. Die Höhenausgleichplatten gibt es in 6 mm und 10 mm Stärke. Es dürfen maximal zwei Stück eingebaut werden.

Der Einbau des Schienenstützpunktes erfolgt mit 6 mm Zwischenlage und ohne Höhenausgleichplatten

Daraus ergibt sich die Justierbarkeit zu  $-4/+26$  mm (vergleiche Abb. 5, folgende Seite). Davon sind gemäß Anforderungskatalog  $+20$  mm für spätere Nachregulie-

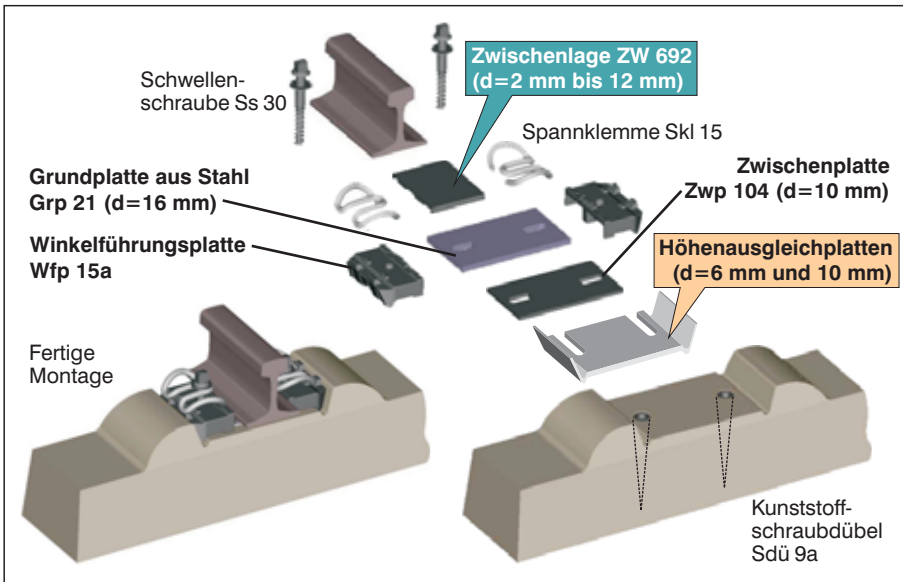


Abb. 4: Schienenstützpunkt loarv 300-1

rungen durch die Deutsche Bahn AG vorzuhalten.  $-4/+6$  mm können bei der Herstellung der Festen Fahrbahn zum Ausgleich von Bautoleranzen verwendet werden.

### Oberbauinspektionen

Nach Inbetriebnahme finden regelmäßige Oberbauinspektionen statt.

Verfahrensweise und Grenzwerte sind in der DB-Richtlinie 821 Oberbau inspizieren festgeschrieben:

- Prüfungen der Gleisgeometrie mit Gleismessfahrzeugen. Sie werden im Regelfall alle 2 Monate durchgeführt. Festgestellt werden örtliche Gleisfehlagen.
- Fahrtechnische Prüfungen. Sie erfolgen alle 4 Monate. Gemessen werden Radkräfte und Beschleunigungen im Fahrzeugkasten. Durch Restsetzungen entstehende Setzungsmulden bewirken Veränderungen der vertikalen Beanspruchung und beeinflussen so die Ergebnisse dieser Fahrtechnischen Prüfung.

DS 800 0110 Linienführung	
Ausrundung $r_a$ für $v = 300$ km/h (Ermessensbereich, Regelwert)	= 36.000 m
Ausrundung $r_a$ für $v = 300$ km/h (Ermessensbereich, Ermessensgrenzwert)	= 22.500 m
Ausrundung $r_{a,Kuppe}$ für $v=300$ km/h (Genehmigungsbereich, Zustimmungswert)	= 14.400 m
Ausrundung $r_{a,Wanne}$ für $v=300$ km/h (Genehmigungsbereich, Zustimmungswert)	= 11.700 m

Abb. 6: Trassierungsgrenzwerte

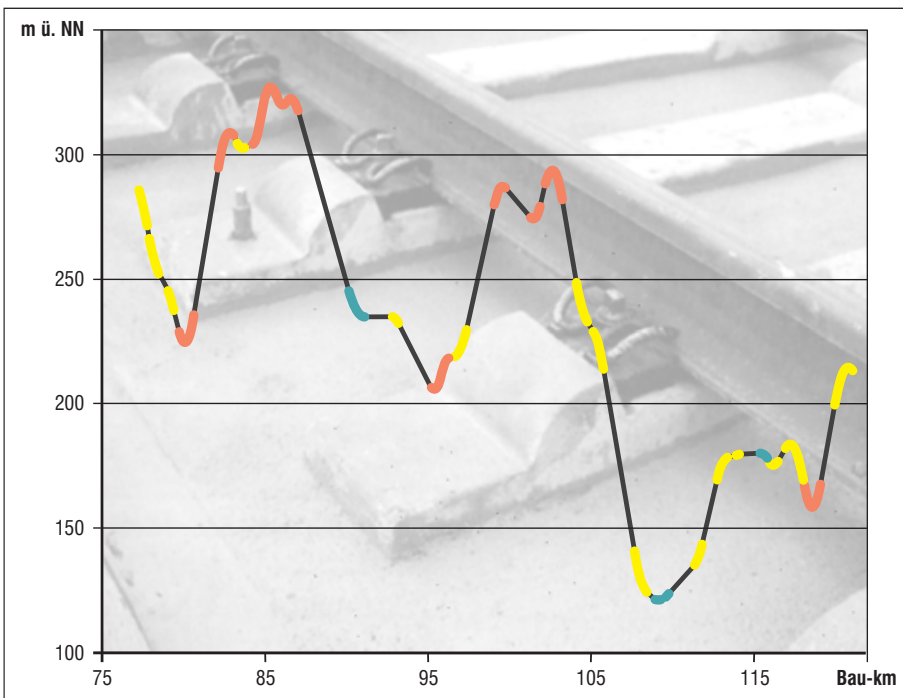
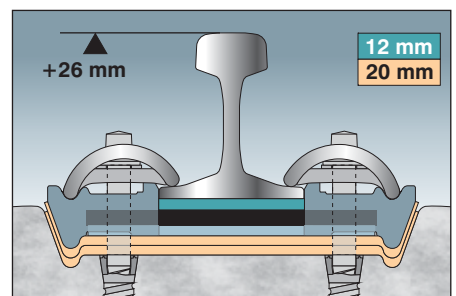
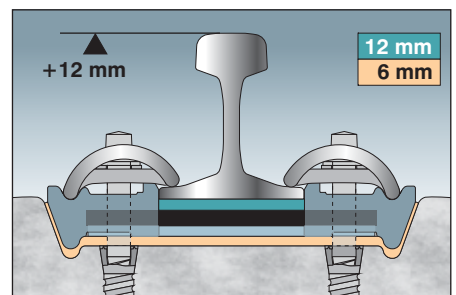
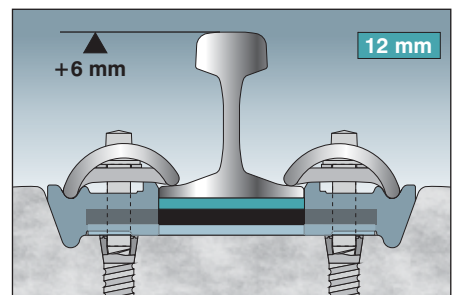
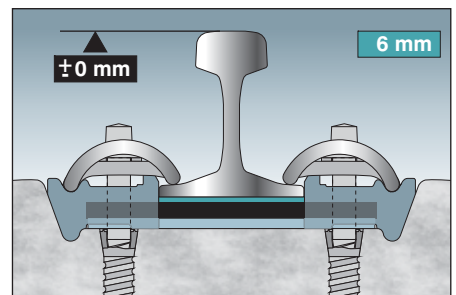
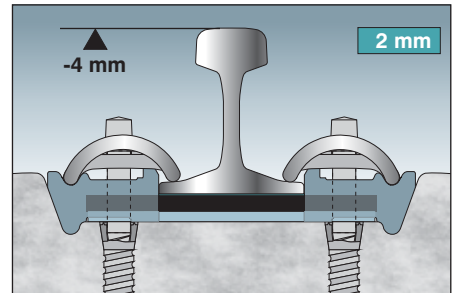


Abb. 7: Gradiente der NBS Köln - Rhein/Main mit Trassierungsparametern

### Grenzparameter für die Trassierung

Eine planmäßige Begrenzung der vertikalen Beanspruchungen nimmt die Deutsche Bahn vor, indem sie in der DS 800 0110 Linienführung geschwindigkeitsabhängig Trassierungsgrenzwerte formuliert. Sie sind für Neubaustrecken in Abb. 6 zusammengestellt.



Setzungsausgleich mit:  
 ■ Zwischenlage  
 ■ Höhenausgleichplatten

Bautoleranzen:  $-4/+6$  mm  
 Setzungsausgleich: 15 mm  
 Instandhaltungsreserve: 5 mm

Abb. 5: Beispiele für Justiermöglichkeiten im Schienenstützpunkt

### Einhaltung der Trassierungs-grenzparameter

Die Neubaustrecke Köln – Rhein/Main, Los B wurde wegen der engen Bündelung mit der Autobahn in großen Bereichen mit Grenzparametern trassiert. In Wannen wurden die Ausrundungsradien bis auf 14000 m reduziert, auf Kuppen bis auf 16000 m.

Abb. 7 (vorherige Seite) zeigt die Gradiente der NBS mit Kennzeichnung der Trassierungsparameter wie folgt:

Abschnitte ohne Ausrundung werden in schwarz dargestellt.

Ausrundungsradien von mindestens 36000 m in grün.

Ausrundungsradien von < 36000 m bis 22500 m in gelb.

Ausrundungsradien von < 22500 m in rot.

Nach Einbau der Festen Fahrbahn verändern die sich infolge von Restsetzungen einstellenden Setzungsmulden die Ausrundungsradien der Gradiente örtlich.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass der Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn (3. Aufl.) in Kapitel 6.2 bei Erdbauwerken mit gleichmäßigem Setzungsverhalten über Längen von mehr als 20 m Restsetzungen von 30 mm zulässt.

Geht man davon aus, dass von diesen 30 mm 15 mm im Schienenstützpunkt ausgeglichen werden können, ergibt sich für die verbleibenden 15 mm über eine Länge von 20 m ein örtlicher Ausrundungsradius von ca. 3400 m!

Das Längsgefälle der Strecke Köln - Rhein/ Main wurde von der Deutschen Bahn AG auf 40‰ begrenzt. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass das trassierte Streckenlängsgefälle im Bereich von Setzungsmulden nur unwesentlich verändert wird.

### Bewertung für eine Nutzungsdauer von 60 Jahren

Für den Großteil der Strecke NBS Köln - Rhein/Main Los B haben die Berechnungen ergeben, dass keine Restsetzungen größer 15 mm zu erwarten sind.

In einem Bereich von ca. 400 m lagen die prognostizierten Restsetzungen an den Prognosequerschnitten bisher bei bis zu 20 mm. Sowohl Baugrundverhältnisse als auch Prognose weisen hier auf die Ausbildung örtlich eng begrenzter Setzungsmulden hin. Abb. 8 zeigt den Verlauf der für eine Nutzungsdauer von 60 Jahren berechneten Restsetzungen mit Beobachtungsstand Mai 2000.

Inzwischen wurden dort geotechnische Maßnahmen zur Reduzierung dieser Werte eingeleitet. Die Stelle ist aber geeignet, daran die Auswirkungen von Restsetzungen auf die Feste Fahrbahn zu interpretieren.

Bei km 108,0 ist die örtliche Setzungsmulde lediglich ca. 70 m lang und weist am Tiefpunkt des Splines einen Maximalwert von ca. 23 mm auf. Geht man davon aus, dass von diesen 23 mm 15 mm im

Schienenstützpunkt ausgeglichen werden, verbleibt eine Setzungsmulde mit einer Tiefe von 8 mm und einem Ausrundungsradius von weniger als 6250 m. Die Trassierung erfolgte in diesem Bereich für eine

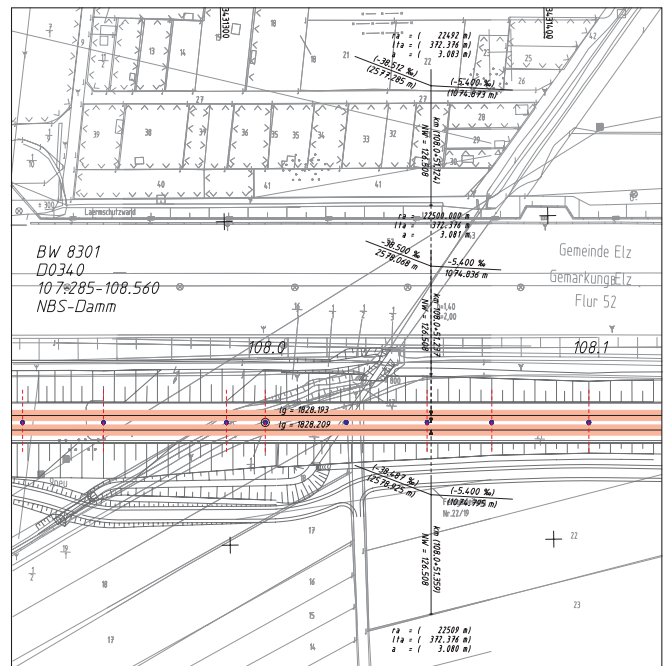
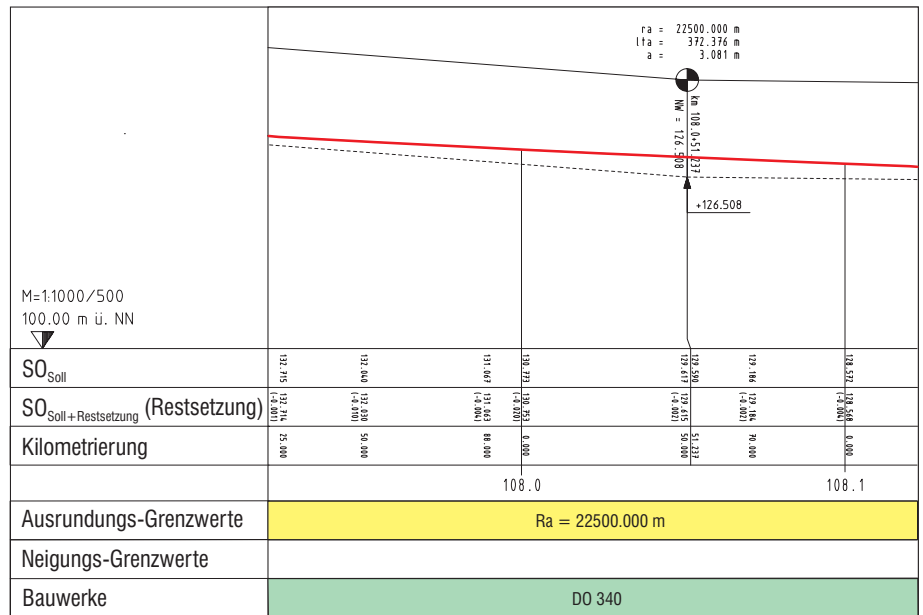
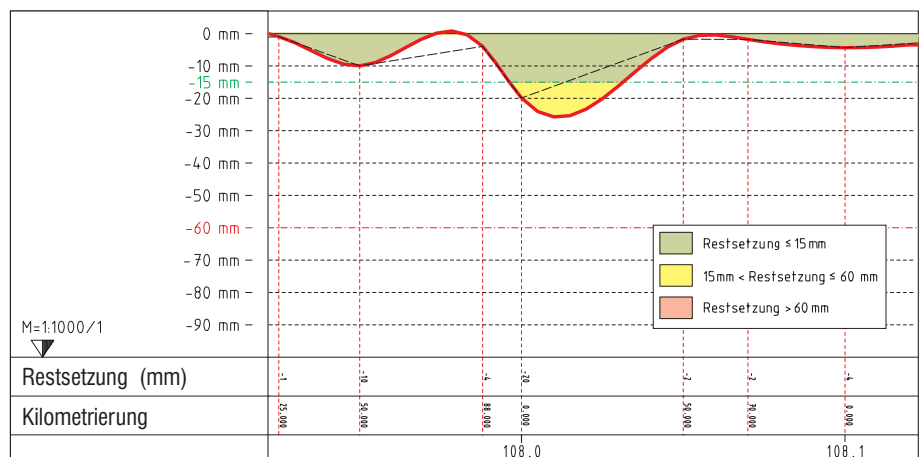


Abb. 8: Darstellung der Restsetzungen nach T<sub>2</sub>=60 Jahren in Übersichtsplänen



Summary / Résumé

Englische und Französische Version

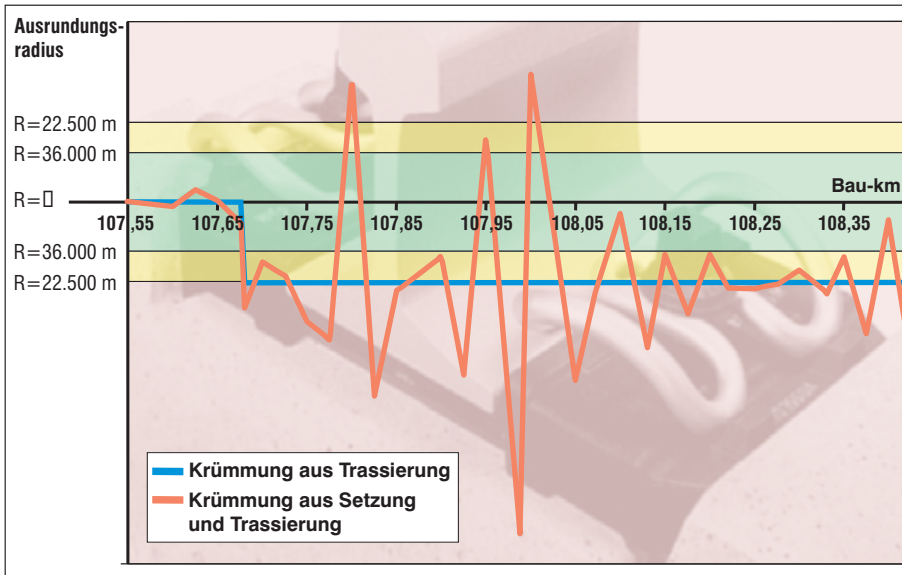


Abb. 9: Änderung der Trassierungsparameter infolge Restsetzung

Mulde mit  $r_a=22500$  m. Addiert man beide Krümmungen, erhält man in der Überlagerung beider Radien einen resultierenden Ausrundungsradius von weniger als 4900 m. Dieser Wert liefert bei einer fahrtechnischen Prüfung unzulässige Reaktionen.

Abb. 9 zeigt eine solche Auswertung für den beispielhaft betrachteten Streckenquerschnitt.

Es zeigt sich deutlich, dass nicht der Maximalbetrag der Restsetzungen alleiniges Beurteilungskriterium sein sollte. In Streckenabschnitten, die mit Grenzparametern trassiert sind, können bereits kleine Restsetzungen zu trassierungstechnisch unzulässigen Ausrundungsradien und Neigungen führen.

Eine Ausgleichsgradiente lässt sich nicht herstellen, da dafür im näheren Umfeld der Setzungsmulde eine Absenkung der Gleise erforderlich wäre, um durch Verlängern der Mulde den Radius zu reduzieren.

Zusammenfassung

Die Feste Fahrbahn reagiert sehr empfindlich auf Verformungen des Untergrundes. Die derzeit zugelassenen Schienenbefestigungssysteme ermöglichen einen Justierspielraum von 30 mm.

Nach Einbau der Festen Fahrbahn verändern die sich infolge von Restsetzungen einstellenden Setzungsmulden örtlich die Ausrundungsradien der Gradienten.

Die aus der Überlagerung von trassierten Radien und prognostizierten Restsetzungen der Festen Fahrbahn berechneten Ausrundungsradien sind ein Bewertungskriterium, dass den Bezug zwischen einzuhaltenden Grenzwerten der Trassierung und zu erwartender Gleislage abbildet.

www.kuk.de

UNSERE LEISTUNGEN



KREBS UND KIEFER









Krebs und Kiefer Beratende Ingenieure für das Bauwesen GmbH ■ Berlin ■ Darmstadt ■ Erfurt ■ Freiburg ■ Karlsruhe