



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTECHNIK MBH

DB ProjektBau GmbH  
Regionalbereich Mitte  
Nahverkehrsvorhaben Süd (I.BV-MI-P (5))  
Hahnstraße 52  
60528 Frankfurt am Main

Projekt-Nr. 28.2288	Datei P2288B100430Lph3-Erg.docx	Diktat CSp/Fe	Büro Witten	Datum 30.04.2010
------------------------	------------------------------------	------------------	----------------	---------------------

## **S-Bahn Rhein-Main / Nordmainische S-Bahn**

**Strecke km 54,310 – km 71,900**

### **Geotechnisches Gutachten – Lph 3**

**- Ergänzende Angaben zur Baugrundverbesserung -**

## **ANLAGE 12.5.0.3**

Auftrag vom 03.04.2009

**Gesellschaft:** HRB 8527 Amtsgericht Bochum, USt-IdNr. DE126873490, Geschäftsführer Dipl.-Ing. Christian Spang

**Zentrale Witten:** Westfalenstraße 5 - 9, D-58455 Witten, Tel. (0 23 02) 9 14 02 - 0, Fax 9 14 02 - 20, zentrale@dr-spang.de  
<http://www.dr-spang.de>

**Niederlassungen:** 09599 Freiberg/Sachsen, Halsbrücker Str. 34, Tel. (03731) 798789-0, Fax 798789-20, freiberg@dr-spang.de  
73734 Esslingen/Neckar, Weilstr. 29, Tel. (0711) 351 30 49-0, Fax 351 30 49-19, esslingen@dr-spang.de  
06618 Naumburg, Jakobsring 4a, Tel. (03445) 762-153, Fax (03445) 762-162, naumburg@dr-spang.de  
90441 Nürnberg, Waldaustraße 13, Tel. (0911) 964 5665-0, Fax (0911) 964 5665-5, nuernberg@dr-spang.de

**Banken:** Stadtparkasse Witten, BLZ 452 500 35, Kto. 4911, Deutsche Bank AG, Witten, BLZ 430 700 24, Kto. 8139511



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 2

30.04.2010

INHALT	SEITE
<b>1. ALLGEMEINES</b>	<b>3</b>
1.1 Projekt	3
1.2 Auftrag	3
1.3 Unterlagen	3
<b>2. AUSWERTUNG DES GLEISMESSCHRIEBS</b>	<b>4</b>
2.1 Allgemeines	4
2.2 Gegenüberstellung Fehler SR 100 / Baugrundverbesserung	6
2.3 Ableitung Bodenverbesserungsmaßnahmen	7
<b>3. GRÜNDUNGSEMPFEHLUNGEN</b>	<b>10</b>
3.1 Allgemeines	10
3.2 Bodenverbesserung	14
3.3 Bewehrende Geogitter	16
3.4 Bodensäulen	16
3.5 Konsolidierungssetzungen	17
3.6 Kinzigquerung	18
<b>4. ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>18</b>
<b>5. ANLAGEN</b>	
Anlage 12.0.5.3.1: Gleisfehler / Bauwerke (1)	
Anlage 12.0.5.3.2: Gleislagefehler / Baugrundverbesserung (2)	
Anlage 12.0.5.3.3: Auswertung Messschrieb (6)	



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 3

30.04.2010

## **1. ALLGEMEINES**

### **1.1 Projekt**

Im Zuge der weitergeführten Planung zur Errichtung der Nordmainischen S-Bahn wurden in [U 2] Baugrundverbesserungsmaßnahmen empfohlen. Im Planungsverlauf wurde durch die DB Projekt-Bau die bautechnische Umsetzung der vorgeschlagenen Bodenaustauschmaßnahmen vor dem Hintergrund von in diesem Fall in Teilabschnitten erforderlichen Verbaumaßnahmen hinterfragt und eine ebenfalls mögliche Kalkzementverfestigung (vgl. [U 2]) als Lösung bevorzugt. Mit der DB Netz AG wurden daraufhin verschiedene Optimierungsmöglichkeiten diskutiert. Gegenüber [U 2] wurde u.a. die Lage der Bestandsstrecke 3660 als zusätzliche Bewertungsgrundlage verwendet. Dazu wurde die Bestandsstrecke 3660 hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit bzw. hinsichtlich des derzeit erforderlichen Unterhaltsaufwands beurteilt.

Hierzu wurden die aktuellen Gleismessschriebe ausgewertet und Bereiche mit problematischen Baugrundverhältnissen und Bereiche mit geringen Verformungserscheinungen identifiziert. Aus der gewonnenen Erkenntnis zur Gleislage der Bestandsstrecke werden nachfolgend Rückschlüsse für die erforderlichen Baugrundverbesserungsmaßnahmen gezogen und die Empfehlungen zur Baugrundverbesserung aus [U 2] neu bewertet.

### **1.2 Auftrag**

Im Zuge der Besprechung zu den erforderlichen Baugrundverbesserungsmaßnahmen am 29.01.2010 (vgl. [U 6]) hat die DB ProjektBau GmbH die Dr. Spang Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH beauftragt auf Grundlage der Abstimmung mit der DB Netz AG die Empfehlungen zur Baugrundverbesserung neu zu bewerten / zu optimieren. Es sollte dazu unter anderem der aktuelle Gleismessschrieb ausgewertet werden.

### **1.3 Unterlagen**

Es wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 4

30.04.2010

- 
- [U 1] **Geotechnisches Gutachten (Lph 1 + 2), S-Bahn Rhein-Main / Nordmainische S-Bahn, Strecke km 54,310 – km 71,900;** Dr. Spang GmbH, Witten, 19.02.2009.
- [U 2] **S-Bahn Rhein-Main / Nordmainische S-Bahn, Strecke 3685 km 54,310 – km 71,900, Geotechnisches Gutachten - Lph 3;** Dr. Spang GmbH, Witten, 25.01.2010.
- [U 3] **Zusammenfassender Messschrieb IZG Raillab, Strecke 3660, Gleis 1 + 2, Frankfurt Süd - Aschaffenburg;** DB AG, Druckdatum 12.02.2010 (aktuell).
- [U 4] **Messschrieb IZG Raillab, Strecke 3660, Gleis 1, Frankfurt Süd – Aschaffenburg;** DB AG, Messung vom 30.11.2009, Druckdatum 10.03.2010.
- [U 5] **UIC Code 719, Earthworks and track bed for railway lines;** UIC, July 2007.
- [U 6] **Protokoll zur Besprechung Baugrundverbesserung Nordmainische S-Bahn bei der DB Netz AG, Frankfurt, am 29.01.2010,** Dr. Spang GmbH, 23.02.2010.
- [U 7] **Überschwemmungsgebiet Kinzig;** Bosch und Partner, Email vom 17.03.2010.

Außerdem werden die zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung eingeführten technischen Regelwerke und alle relevanten bahni internen Regelwerke verwendet, insbesondere die in Ril 836.0101 aufgeführten Regelwerke.

## **2. AUSWERTUNG DES GLEISMESSCHRIEBS**

### **2.1 Allgemeines**

Für die Auswertung der Gleismessschriebe (siehe Anlage 12.0.5.3.3) wurde gemäß [U 3] ein Raster von 25 m gewählt. Die Maßnahmen zur Baugrundverbesserung wurden für die Auswertung an diese Raster eingepasst. Für die Planung und Ausführung der Baugrundverbesserungsmaßnahmen gelten die Kilometer-Angaben in Tabelle 3.2-1.



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 5

30.04.2010

Der Gleismessschrieb wurde hinsichtlich der aktuell aufgetretenen Fehler ausgewertet. Zunächst wurden alle Fehler ermittelt, die größer dem jeweiligen SR 100 Wert aufgetreten sind. Hierbei wurden gemäß [U 3] die Höheneinzelfehler (GS Einzelfehler), Spurweiteneinzelfehler (Spw Max + Spw Min), die Einzelfehler der Verwindung (ORE-Verw.) sowie die Standardabweichung des Höheneinzelfehlers als Maß der Welligkeit (GS Stabw.) und dem Parameter „FFU kurzwellig“ ausgewertet. In der Anlage 12.0.5.3.1 wurden die aufgetretenen Fehler, die jeweils den Grenzwert SR 100 überschreiten aufgetragen. Gleichzeitig wurden alle Bauwerke eingetragen, die einen Einfluss auf die Lagegenauigkeit des Gleises aufweisen können, da sie die Steifigkeit des Gleisauftragers verändern. Dies sind insbesondere Eisenbahnüberführungen und Bahnübergänge und aufgrund an das Gleis angrenzender Einbauten auch Bahnhöfe / Stationen. Die Gründungen von Straßenüberführungen liegen meist außerhalb des unmittelbaren Einflussbereichs der Gleise, so dass sie i.d.R. keinen oder einen nur untergeordneten Einfluss auf die Gleislage aufweisen.

In der Anlage 12.0.5.3.1 sind an einigen Stellen Gleisfehler direkt auf solche Bauwerke zurückzuführen. Für den überwiegenden Anteil der Gleisfehler ist allerdings kein direkter Zusammenhang mit Bauwerken festzustellen. Die Ursache ist daher vorrangig im Unterbau und im Baugrund zu suchen. Es sei noch darauf hingewiesen, dass auch singuläre Ereignisse, wie Schadensfälle, Unfälle, o.ä. Auswirkungen auf die Gleisfehler haben oder solche hervorrufen. Im Weiteren wird jedoch unterstellt, dass keine solchen Vorkommnisse aufgetreten sind.

Zusätzlich wurde der detaillierte Messschrieb [U 4] insbesondere hinsichtlich des Längshöhenfehlers (LH li und LH re) ausgewertet. In [U 4] sind sowohl die Höhenfehler für die aktuelle Messung (30.11.2009) als auch für die vorletzte Messung (x-2) ausgewiesen. Beim einem turnusmäßigen Messintervall bei  $v = 160 \text{ km/h}$  von in der Regel 6 Monaten bedeutet dies einen Rückblick von 1 Jahr. An einigen Stellen ist mit [U 4] der Rückgang eines Längshöhenfehlers festzustellen. Hierbei wird es sich wahrscheinlich um durchgeführte Instandhaltungsmaßnahmen handeln. Es wurden bei der Auswertung zudem Verschiebungen von ca. 5-10 m der gemessenen Verformungspeaks in Längsrichtung festgestellt, die auf einen systematischen Messfehler der Kilometrierung bei einer der beiden Messungen (X oder X-2) hinweisen. Dieser Messfehler wurde bei der Auswertung eliminiert, soweit unmittelbar erkennbar.

Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse der Messschriebeauswertung auf die Baugrundverhältnisse setzt voraus, dass für den Bau der Strecke 3660 keine Baugrundverbesserungsmaßnahmen aus-



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 6

30.04.2010

geführt wurden. Wenn Baugrundverbesserungsmaßnahmen zur Ausführung gekommen sein sollten, dann gibt der Messschrieb naturgemäß auch nur die Gleislage auf einem verbesserten Baugrund wieder, so dass vergleichbare Ergebnisse beim Neubau auch nur mit einer entsprechenden Baugrundverbesserung erreicht werden können. Zum Bau der Fernbahnstrecke liegen derzeit aber keine Unterlagen vor. Im Weiteren wird zunächst angenommen, dass unter der Bestandstrecke keine Baugrundverbesserungsmaßnahmen ausgeführt wurden.

Eine zusätzliche Auswertung weiterer historischer Gleismessschriebe sowie der in den letzten Jahren / Jahrzehnten durchgeführten Unterhaltsarbeiten könnte deutlich weiterführende Informationen zum Unterbau und zur Verformungsempfindlichkeit des Baugrunds ergeben. Aus den vorliegenden Unterlagen lässt sich aber bereits ein deutliches Bild über den Zustand der Gleislage ablesen. Bei der Überarbeitung der Empfehlungen zur Baugrundverbesserung wurde eine vorsichtige Abschätzung auf der sicheren Seite durchgeführt und bereits bei deutlichen Hinweisen auf Gleislageprobleme unter dem jeweiligen SR 100 – Wert die aus der Baugrundaufnahme zu empfehlenden Baugrundverbesserungen übernommen.

## 2.2 Gegenüberstellung Fehler SR 100 / Baugrundverbesserung

Die im Gleismessschrieb dokumentierten Einzelfehler und Summenfehler wurden für eine übersichtliche Bewertung zusammengefasst. Für die Darstellung in Anlage 12.0.5.3.2 wurden alle Bereiche, in denen eine Überschreitung eines Fehlers > SR 100 für die beiden Gleise 1 + 2 der Strecke 3660 auftritt, zusammenfassend in rot bzw. orange gekennzeichnet. Für diese Bereiche ist grundsätzlich nach R 821 eine Instandsetzungsplanung zu beginnen.

Zusätzlich wurden alle Bereiche, die einen Einzelfehler der Gleishöhe oder eine Standardabweichung der Gleishöhe im 250 m Intervall größer dem halben SR 100 Wert ( $SR\ 100 / 2$ ) aufweisen, in der Anlage 12.0.5.3.2 in blau bzw. violett dargestellt. In diesen Bereich ist eine gewisse Lageungenaugigkeit festzustellen. Ein akuter Handlungsbedarf ist nicht gegeben, es ist allerdings langfristig mit einem erhöhten Unterhaltsaufwand zu rechnen.

Zusätzlich sind in Anlage 12.0.5.3.2.1 mit einer blauen Linie die bislang in [U 2] empfohlenen Bodenverbesserungsmaßnahmen aufgetragen. **Es ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen**





DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 7

30.04.2010

**den Gleislagefehlern und ungenügenden Baugrundeigenschaften, die mit der Baugrunderkundung identifiziert wurden ([U 2], empfohlene Bodenverbesserung) festzustellen.**

In Anlage 12.0.5.3.2.2 sind die entsprechend diesem Gutachten optimierten Baugrundverbesserungsmaßnahmen den Gleislagefehlern in gleicher Weise gegenübergestellt.

### 2.3 Ableitung Bodenverbesserungsmaßnahmen

Für eine Neubewertung der erforderlichen Baugrundverbesserungsmaßnahmen wurden die mit [U 1] vorgelegte Baugrunderkundung als auch die Auswertung des aktuellen Gleismessschriebs herangezogen. Die Auswertung erfolgte in tabellarischer Form in Anlage 12.0.5.3.3. In der Auswertung in Anlage 12.0.5.3.3 sind die folgenden Informationen und Bewertungen dargestellt.

- Die Kilometrierung in der 1. Spalte bezieht sich auf die Strecke 3660.
- In der 2. Spalte ist aufgetragen, ob eine Überschreitung des halben SR 100-Werts im Einzelfehler des zusammenfassenden Messschriebs [U 3] auftritt (rot) oder ob der Einzelfehler kleiner als der halbe SR 100-Wert ist (grün). Eine Häufung von Überschreitungen des halben SR 100-Werts deutet bereits auf Probleme in der Strecke hin. **Diese Spalte wird nur nachrangig in die Bewertung einbezogen, vervollständigt aber das Bild zur Gleislage.**
- In der 3. Spalte sind alle Überschreitungen des SR 100-Werts, die im Messschrieb [U 3] aufgeführt sind, dargestellt (rot). Die Zahl in den Feldern gibt die Anzahl der Parameter an, die eine SR 100-Wert Überschreitung aufweisen. Der Grenzwert SR 100 stellt die technische und wirtschaftliche Eingriffsschwelle dar. **Bei einer SR 100 Überschreitung ist i.d.R. eine Instandhaltungsmaßnahme für den Bestand zu planen.**
- In der 4. + 5. Spalte sind die SR 100 – Überschreitungen des Längshöhenfehlers des detaillierten Messschriebs [U 4] für die rechte und linke Schiene dargestellt.



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 8

30.04.2010

- In der 6. Spalte ist der historische Rückblick auf die vorletzte Messung (Ende 2008) ebenfalls als Auswertung der Überschreitung des SR 100 – Werts für den Längshöhenfehler dargestellt.
- In der 7. Spalte sind die Baugrundverbesserungsmaßnahmen entsprechend unseren Empfehlungen [U 2] mit der vorgesehenen Verbesserungstiefe eingetragen.
- Die Spalten 8 – 10 enthalten Angaben zu Bauwerken (BÜ, EÜ, Bf.). Einige Fehler in der Gleislage lassen sich direkt auf den Einfluss von Bauwerken zurückführen (unterschiedliche Steifigkeit). In solchen Fällen sind konstruktive Maßnahmen im Übergangsbereich (zementverfestigte Erdkeile o.ä. (siehe Ril 836 und [U 5]) erforderlich.
- In den Spalten 11 und 12 ist angegeben, für welche Strecke Baumaßnahmen vorgesehen sind und ob sich die Baumaßnahmen im bestehenden Gleisfeld (neu im Bestand) oder neben dem bestehenden Gleisfeld auf bislang nicht benutzten Gelände (neu) befindet.
- In der 13. Spalte wird eine Bewertung für die Bodenverbesserung unter Berücksichtigung des Baugrundaufbaus (bislang geplante Baugrundverbesserungsmaßnahme, [U 2]), der Messschriebe (SR 100 Überschreitungen) und der Neubausituation (Lage im / neben dem Bestand) für die **S-Bahn Strecke 3685** gegeben.

Bei einer Lage der S-Bahn-Strecke im Bereich von Bestandsgleisen und wenn die Gleismessschriebe **gleichzeitig** keine SR 100 Überschreitung aufweisen, **kann** aus unserer Sicht **auf die empfohlene Bodenverbesserung verzichtet werden**.

Bei einer Lage der S-Bahn Strecke neben der derzeitigen Bahnanlage im bislang ungenutzten Bereich kann, aus unserer Sicht **die empfohlene Bodenaustauschmächtigkeit reduziert werden (halbiert werden)**, wenn die Gleismessschriebe keine SR 100 Überschreitung aufweisen und keine oder nur seltene Überschreitungen des Einzelfehlers SR 100/2 vorliegen.

Wenn in Bereichen mit einer empfohlenen Baugrundverbesserung Überschreitungen des SR





DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 9

30.04.2010

100 Werts festgestellt wurden, sind die Verbesserungsmaßnahmen, so wie in [U 2] empfohlen, erforderlich.

- In der 14. Spalte wird eine Bewertung für die Bodenverbesserung unter Berücksichtigung des Baugrundaufbaus (bislang geplante Baugrundverbesserungsmaßnahme), der Messschriebe (SR 100 Überschreitungen) und der Nebausituation (im / neben Bestand) **für die Fernbahn-Strecke 3660** gegeben. Aufgrund der höheren Anforderungen an eine Fernbahnstrecke gegenüber einer S-Bahn-Strecke sind die Bewertungsmaßstäbe höher angesetzt worden.
- Bei einer Lage der Fernbahn-Strecke im Bereich von **Bestandsgleisen** und wenn die Gleismessschriebe **gleichzeitig** keine SR 100 Überschreitung aufweisen, **kann** aus unserer Sicht **auf die empfohlene Bodenverbesserung verzichtet werden**.

Bei einer Lage der Fernbahn-Strecke neben der derzeitigen Bahnanlage im bislang ungenutzten Bereich, kann aus unserer Sicht **die empfohlene Bodenaustauschmächtigkeit reduziert werden (halbiert werden)**, wenn die Gleismessschriebe keine SR 100 Überschreitung aufweisen und keine Überschreitungen des Einzelfehlers SR 100/2 vorliegen,

Bei einer Lage der Fernbahn-Strecke neben der derzeitigen Bahnanlage im bislang ungenutzten Bereich kann aus unserer Sicht die empfohlene Bodenaustauschmächtigkeit nicht reduziert werden, wenn die Gleismessschriebe keine SR 100 Überschreitung aufweisen aber Überschreitungen des Einzelfehlers SR 100/2 vorliegen. Die Bodenverbesserung ist in diesem Fall wie in [U 2] empfohlen auszuführen.

Wenn in Bereichen mit einer empfohlenen Baugrundverbesserung Überschreitungen des SR 100 Werts festgestellt wurden, sind die Verbesserungsmaßnahmen so wie in [U 2] empfohlen auszuführen.

Die Mächtigkeit der erforderlichen Baugrundverbesserungsmaßnahme wurde in Abhängigkeit der mit der Baugrunderkundung festgestellten Mächtigkeit der geringtragfähigen Schichten (stark bindige oder humose Schichten) im Zuge einer Verformungsabschätzung festgelegt.



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 10

30.04.2010

Bis ca. km 3,0 (Strecke 3660) verläuft die geplante S-Bahn-Strecke in einem Trog, so dass die Gründungssohle in weiten Teilen unter den erkundeten gering tragfähigen Schichten liegt. Die mit dem Gleismessschrieb festgestellten Gleislagefehler sind daher für den Neubau nicht relevant.

Die im Gleismessschrieb zwischen ca. km 17,5 und 17,775 festgestellten Gleislagefehler liegen im Bereich der Kinzigbrücke und der Anschlussdämme. Die EÜ Kinzig soll auf Pfähle gegründet werden. Für die Anschlussdämme sind Geotextillagen in der Aufstandsebene vorgesehen, so dass hier keine zusätzliche Baugrundverbesserung erforderlich wird.

Im Bereich zwischen km 13,655 (65,1) und 14,875 (66,275) weist der Gleismessschrieb Gleislagefehler auf, die nicht durch den erkundeten Baugrundaufbau zu erklären sind. Mit der Baugrunderkundung wurden in diesem Bereich ausschließlich lockere Böden (Sande und Kiese) erkundet, die unter dem Erdplanum eine überwiegend mitteldichte Lagerung aufweisen und somit für das Streckenbauwerk als geeignet anzusehen sind. Es wird daher davon ausgegangen, dass die festgestellten Gleislagefehler in diesem Bereich nicht auf den Baugrund zurückzuführen sind.

### **3. GRÜNDUNGSEMPFEHLUNGEN**

#### **3.1 Allgemeines**

Grundsätzlich wurden die Baugrundverbesserungsmaßnahmen so vorgeschlagen, dass auf dem verbesserten Erdplanum die Verdichtungsanforderungen nach Ril 836.0501, Bild 2 eingehalten werden können. Für die Abschnitte, in denen die neuen Gleise der S-Bahn-Strecke 3685 im Bereich der bestehenden Gleisanlagen geführt werden, wurde davon ausgegangen, dass die Werte entsprechend „Ertüchtigung / Instandhaltung“ der Streckenkategorie P 160 / M 160 einzuhalten sind.

Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass aus den Gleismessschrieben Bereiche mit z.T. erheblichen Gleislagefehlern (SR 100 Überschreitungen) erkennbar sind, für die aus dem Baugrund bis-



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 11

30.04.2010

lang keine Hinweise für eine Baugrundverbesserungsmaßnahme vorlagen. Ursache hierzu können ein nicht mehr den heutigen Anforderungen entsprechender Unterbau, Schadensfälle / Unfälle im Gleisbereich oder bislang unbekannte Inhomogenitäten im Baugrundaufbau sein.

In diesen Bereichen ist eine besonders intensive fachgutachterliche Begleitung der Baumaßnahme erforderlich. Es kann insbesondere in diesen Abschnitten aufgrund der örtlichen Situation während der Bauausführung zu einem zusätzlichen Bodenaustausch kommen. Es wird empfohlen hierzu entsprechende Bedarfspositionen in der Ausschreibung vorzusehen.

Insgesamt stehen die nun empfohlenen Maßnahmen unter dem Vorbehalt, dass ein gewisser erhöhter Unterhaltsaufwand (zusätzliches Stopfen, etc.), insbesondere auf der S-Bahn-Strecke 3685 akzeptiert werden kann.

Entsprechend der hier vorgelegten Auswertung und Bewertung werden für die in Tabelle 3.1-1 aufgeführten Bereiche Baugrundverbesserungsmaßnahmen empfohlen. Die Tabelle 3.1-1 ersetzt somit die Tabelle 3.2-1 in [U 2].

Strecke 3660		Strecke 3685		Baugrundverbesserung bis in eine Tiefe von [m u. EPL]	Verbesserungsmaßnahme
von [km]	bis [km]	von [km]	bis [km]		
2,840	3,080	54,245	54,485	0,5	Bodenaustausch nur in Schicht I.2b
3,745	3,995	55,150	55,400	bis zu 1,0 m u. GOF	Bodenaustausch, nur erforderlich wenn Dammlage < 2,5 m über ursprünglicher GOF
4,750	5,250	56,160	56,660	0,5	Bodenaustausch
5,850	5,895	57,255	57,300	1,5	Bodenaustausch
6,075	6,100	57,480	57,505	0,75	Bodenaustausch 1)
6,150	6,275	57,505	57,680	0,4	Bodenaustausch 1)
6,595	6,720	58,000	58,125	1,3	Bodenaustausch
6,945	7,075	58,350	58,480	1,2	Bodenaustausch



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 12

30.04.2010

Strecke 3660		Strecke 3685		Baugrundverbesserung bis	Verbesserungsmaßnahme
von [km]	bis [km]	von [km]	bis [km]	in eine Tiefe von [m u. EPL]	
7,195	7,665	58,600	59,070	0,5	Bodenaustausch
7,995	8,050	59,400	59,455	0,5	Bodenaustausch 2)
7,995	8,050	59,400	59,455	1,0	Bodenaustausch 1)
8,050	8,675	59,455	60,080	1,0	Bodenaustausch
8,675	9,295	60,080	60,700	0,5	Bodenaustausch
10,295	10,765	61,700	62,170	bis ca. 6,0	Geokunststoffummantelte Bodensäulen
11,345	12,095	62,750	63,500		Vorkonsolidation 6 Monate (Dammbereich)
12,325	12,775	63,730	64,180	1,5	Bodenaustausch
12,775	13,195	64,180	64,600	3,0	Bodenaustausch
13,195	13,655	64,600	65,060	0,75	Bodenaustausch
14,875	15,215	66,280	66,620	0,75	Bodenaustausch 2)
15,495	15,955	66,900	67,360	1,0	Bodenaustausch
15,955	16,295	67,360	67,700	2,1	Bodenaustausch
16,295	16,780	67,700	68,185	0,6	Bodenaustausch
17,060	17,825	68,465	69,230	-	Bauwerksanschluss gemäß [U 5]
17,800	17,965	69,205	69,370	-	Dammaufbau auf rolligen, gut verdichtbaren Material, an der Dammbasis (ca. 101,0 m NN) 2 Lagen Geo- gitter im Abstand von 0,3 m
17,965	18,675	69,370	70,080	1,1	Bodenaustausch
18,675	18,915	70,080	70,320	0,5	Bodenaustausch 2)

1) nur für Strecke 3660, 2) nur für Strecke 3685

**Tabelle 3.1-1:** Empfehlung zur Baugrundverbesserung



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 13

30.04.2010

Im Bereich zwischen km 4,750 und km 5,250 (Strecke 3660) liegen aus den Gleismessschrieben [U 4] deutliche Hinweise auf eine unregelmäßige Gleislage vor. In den im Randbereich der anliegenden Straße abgeteufte Erkundungen wurden in [U 2] Auffüllmächtigkeiten bis ca. 1,6 m festgestellt, so dass in diesen Bereich von gering tragfähigem Baugrund auszugehen ist. Offenbar wurde beim Straßenbau diese wenig tragfähige Ablagerung bereits ersetzt. **Für diesen Bereich wurde daher aufgrund der Befunde aus der Gleislage gegenüber [U 2] ein zusätzlicher Bodenaustausch vorgesehen (vgl. Tab. 3.1-1).**

Als Austauschmaterial sind z. B. die anstehenden Sande und Kiese der Mainterrasse (Schicht I.4), das in anderen Bereichen als Aushubmaterial anfällt oder Material entsprechend Ril 836.0501 zu verwenden. Es sollte bevorzugt Material verwendet werden, das KG 2 entspricht.

In den Bereichen, in denen eine Baugrundverbesserung vorgesehen ist, muss, sofern der Einbau der Planumsschutzschicht bzw. des Bodenaustausches nicht unmittelbar nach dem Aushub erfolgt, das Planum zum Schutz gegen Niederschläge mit einer Baufolie abgedeckt werden. Das Planum ist gegebenenfalls je nach Jahreszeit auch gegen Frost zu schützen.

In einigen Bereichen liegt das empfohlene Planum für einen Bodenaustausch in bindigen Schichten (Vorwiegend Auelehm, Schicht II.2). Es wird empfohlen den Bodenaustausch ist hydrogeologisch günstigen Zeiträumen mit trockener Witterung, geringen Niederschlagsraten und geringen Grundwasserständen auszuführen, um ein Aufweichen des Auelehms weitgehend zu vermeiden. Das freigelegte bindige Planum darf nicht von Baumaschinen befahren werden. Sollten im Aushubplanum durch Lagerungsstörung aufgeweichte Bereiche angetroffen werden, sind diese vollständig auszutauschen.

Grundsätzlich wird für die gesamte Strecke 3685 bzw. 3660, soweit sie Gegenstand dieser Planung ist, der Regelaufbau nach Ril 836 eingebaut. Für den Neubau von Gleisen der Streckenkategorie P 150 / M 160 fordert das Modul 836.0501 in Bild 2 bei Schotteroberbau eine Schutzschicht aus dem Korngemischen 1 oder 2 gemäß DBD 918 062 von mindestens 40 cm Stärke. Für die Erfüllung von Gleisen ist eine Regeldicke der Schutzschicht von mindestens 20 cm einzuhalten. Die hier empfohlenen Baugrundverbesserungsmaßnahmen sind als zusätzlich zum Regelaufbau erforderliche Maßnahmen anzusehen.





DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 14

30.04.2010

### 3.2 Bodenverbesserung

Zur Reduzierung des empfohlenen Bodenaustausches kann bereichsweise auch eine qualifizierte Bodenverbesserung gemäß ZTV-E StB 2009 mit Kalk- und / oder Zementzugabe erfolgen. Gemäß Ril 8360503, Anhang 1 ist eine anrechenbare Bodenverbesserung mit einer Mindeststärke von 0,4 m auszuführen. Gemäß Ril 836.4202 ist eine Bodenverbesserungen mit einer gering wasser-durchlässigen Schutzschicht (KG 1) von mindestens 0,3 m abzudecken. Somit ergibt sich eine Mindestaufbaustärke bei einer qualifizierten Bodenverbesserung von 0,7 m. Eine qualifizierte Bodenverbesserung ist also nur bei einem empfohlenen Bodenaustausch von deutlich mehr als 0,7 m wirtschaftlich sinnvoll.

Eine solche qualifizierte Bodenverbesserung anstelle eines Bodenaustausches ist alternativ in den Streckenabschnitten gemäß Tabelle 3.2-1 möglich. Eine Bodenverbesserung kann durch Zement-/Mischbinderzugabe erfolgen. In situ kann eine solche Verbesserung mittels Einfräsen geschehen. Technisch und wirtschaftlich machbar sind heute Frästiefen von bis zu 50 cm. Bei einer Bodenverbesserung von mehr als 50 cm muss i.d.R. der Boden lagenweise ausgebaut, mit Zement/Mischbinder vermischt und wieder eingebaut werden. Alternativ sind Verfahren mit einer größeren Tiefenwirkung (siehe [U 2], Kap. 3.1) möglich für eine flächige Verfestigung aber selten wirtschaftlich.

Strecke 3660 von [km]		Strecke 3685 von [km]		Bodenaustausch bis in eine Tiefe von [m u. EPL]	alternativ Bodenverfestigung
5,850	5,895	57,255	57,300	1,5	Bodenverbesserung 40 cm + 30 cm Schutzschicht
6,595	6,720	58,000	58,125	1,3	Bodenverbesserung 40 cm + 30 cm Schutzschicht
6,945	7,075	58,350	58,480	1,2	Bodenverbesserung 40 cm + 30 cm Schutzschicht
7,995	8,050	59,400	59,455	1,0	Bodenverbesserung 40 cm + 30 cm Schutzschicht <sup>1)</sup>





DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 15

30.04.2010

Strecke 3660 von [km] bis [km]		Strecke 3685 von [km] bis [km]		Bodenaustausch bis in eine Tiefe von [m u. EPL]	alternativ Bodenverfestigung
8,050	8,675	59,455	60,080	1,0	Bodenverbesserung 40 cm + 30 cm Schutzschicht
12,325	12,775	63,730	64,180	1,5	Bodenverbesserung 40 cm + 30 cm Schutzschicht
12,775	13,195	64,180	64,600	3,0	Bodenverbesserung 70 cm + 30 cm Schutzschicht <sup>2)</sup>
15,495	15,955	66,900	67,360	1,0	Bodenverbesserung 40 cm + 30 cm Schutzschicht
15,955	16,295	67,360	67,700	2,1	Bodenverbesserung 70 cm + 30 cm Schutzschicht <sup>2)</sup>
17,965	18,675	69,370	70,080	1,1	Bodenverbesserung 40 cm + 30 cm Schutzschicht

1) nur für Strecke 3660

2) alternativ zu einer Bodenverbesserung 70 cm + 30 cm Schutzschicht kann auch eine Bodenverbesserung mit 40 cm Stärke und einem verdichteten Einbau einer Schutzschicht mit 60 cm vorgesehen werden, wenn auf allen Einbaulagen der Schutzschicht ein  $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$  (Neubau) bzw. ein  $E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$  (Ertüchtigung) nachgewiesen wird.

**Tabelle 3.2-1:** Empfehlung zur qualifizierten Bodenverbesserung

Die Zement-/Mischbinderzugabe bei einer qualifizierten Bodenverbesserung muss so eingestellt werden, dass auf der verbesserten Schicht nach dem hydraulischen Abbinden (28 d) ein Verformungsmodul von mindestens  $E_{v2} = 30 \text{ MN/m}^2$  nachgewiesen werden kann. Auf der darüber einzubauenden Schutzschicht ist auf dem Planum ein Verformungsmodul im Neubaubereich von mindestens  $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$  und im Bereich der Ertüchtigung von mindestens  $E_{v2} = 30 \text{ MN/m}^2$  nachzuweisen. Die Bindemittelmenge darf in der qualifizierten Bodenverbesserung 3 Masse-% nicht unterschreiten. Die Bindemittelmenge ist so zu bemessen, dass die einaxiale Druckfestigkeit nach 28 Tagen Lagerung und Prüfung gemäß TP BF-StB, Teil B 11.5  $q_u \geq 0,5 \text{ N/mm}^2$  beträgt.



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 16

30.04.2010

Es ist in eine umfangreiche baubegleitenden Eigen- und Fremdüberwachung erforderlich. Als Prüfumfang sind mindestens die Angaben gemäß Tabelle 3.2-2 einzuhalten.

verbesserte Schicht	Eigenüberwachung	Fremdüberwachung
Verdichtungsgrad	je 250 m bzw. 3.000 m <sup>2</sup>	je 250 m bzw. 3.000 m <sup>2</sup> , mindestens einmal am Tag
Bindemittelmenge	nach Erfordernis	je 1.000 m <sup>2</sup>
Schichtdicke	nach Erfordernis	je 1.000 m <sup>2</sup>

**Tabelle 3.2-2:** Regelanforderungen für die Prüfung einer qualifizierten Bodenverbesserung

### 3.3 Bewehrende Geogitter

Beim Einsatz eines Geogitters kann der Bodenaustausch und somit die Höhe des bauzeitlich erforderlichen Geländesprungs reduziert werden (vgl. Ril 836.0503, Anhang 1, (8)). Die ungebundenen Tragschichten können durch den Einsatz von Geogittern bewehrt werden, die flächenhaft zwischen Erdplanum und Tragschicht angeordnet werden. Nach Ril 836.0503, Anhang 1, (8) kann die erforderliche Tragschichtdicke bei Einbau eines statisch wirksamen Geogitters um 10 cm je Lage Geogitter reduziert werden. Bei einem ggf. erforderlichen Bodenaustausch ist die Austauschstärke als erforderliche Tragschichtdicke anzusehen. Der in Tabelle 3.1-1 empfohlene Bodenaustausch kann also um jeweils 10 cm je eingeplanter Geogitterlage reduziert werden. Die Wirtschaftlichkeit einer solchen Maßnahme ist nur dann gegeben, wenn ein ansonsten erforderlicher Verbau zum bestehenden Gleis für den Bodenaustausch eingespart werden kann. Eine solche Möglichkeit ist durch den Planer zu prüfen.

### 3.4 Bodensäulen

Besonders hinzuweisen, ist auf den Bereich zwischen ca. km 17,6 und 17,96 in dem bislang geokunststoffummantelte Bodensäulen empfohlen wurden. Es handelt sich hierbei um den Be-



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 17

30.04.2010

reich der Kinzig, der Kinzigau und der durch die Kinzig abgelagerten Auelehmsschichten. Im Bereich des Bauwerks EÜ Kinzig sind naturgemäß keine Bodensäulen erforderlich, da das Bauwerk auf Pfählen gegründet werden soll. Wenn die Anschlüsse an die Widerlager entsprechend ausgebildet werden (Anordnung von zementverfestigten Erdkeilen, Schleppplatten, etc.) kann auch in den Anschlussbereichen auf den Einbau von Bodensäulen verzichtet werden.

Eine Problemzone stellt der Anschluss an die EÜ in Richtung Hanau dar. Hier wurde im Baugrund eine einige Meter mächtige, gering tragfähige Auelehmschicht erkundet. Die Schlagzahlen der DPH zeigen dies auch. Die Bahnstrecke bzw. die Station Hanau-West liegt in leichter Dammlage. Der Damm weist ebenso eine geringe Tragfähigkeit (lockere Lagerungsdichte, siehe DPH) auf. Offensichtlich konnte der Damm beim Aufbau, aufgrund der darunter liegenden Auelehme nicht richtig verdichtet werden.

In diesem Abschnitt sind auch in den Gleismessschrieben deutliche Unregelmäßigkeiten zu erkennen. Hier muss für die Strecke 3660 der Damm erweitert werden. Eine verdichtete Anschüttung an den geringverdichteten bestehenden Damm kann nicht empfohlen werden. Ein teilweiser Austausch des bestehenden Dammkörpers ist voraussichtlich nur mit einem Verbau möglich, dann könnte im unteren Bereich des Damms mit zwei Geotextillagen (bewehrendes Geotextil, GRK 4) im Abstand von 30 cm eine belastbare Basis geschaffen werden, auf die dann verdichtet eingebaut werden kann. Alternativ kann der Damm auf eine tiefgreifende Bodenverbesserung (Säulen) aufgebaut werden.

Im Bereich der unkontrolliert verfüllten Kiesgruben in Maintal ist weiterhin eine tiefreichende Bodenverbesserung erforderlich. Hierzu werden zementverfestigte Rütteldrucksäulen empfohlen.

### 3.5 Konsolidierungssetzungen

Für die Gleise der S-Bahn ist die Vorwegnahme der zu erwartenden Setzungen durch eine Überschlüttung im Bereich des empfohlenen Bodenaustausches möglich. Gemäß der in [U 2] ausgeführten Konsolidationsberechnung ist davon auszugehen, dass die für den Bodenaustausch in



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 18

30.04.2010

Frage kommenden Schichten des Auelehms in weniger als 3 Monaten nach einer Überschüttung auskonsolidiert sind. Es besteht somit die Möglichkeit einen Bodenaustausch durch eine Überschüttung in Höhe des zukünftigen Ausbaugewichts + Verkehrslast vorwegzunehmen. Dieses Verfahren ist insbesondere in Bereichen mit Dammlage zu empfehlen, da hier ohnehin ein gewisser Erdbau und ein Aufschütten von Erdmassen erforderlich wird. Entsprechende Empfehlungen sind bereits in Tabelle 3.1-1 eingearbeitet.

### 3.6 Kinzigquerung

Im Bereich der Kinzigquerung ist nach [U 7] ein ausgedehntes Überschwemmungsgebiet ausgewiesen, dass bis an die geplante Strecke und die geplanten Dammbereiche heranreicht. In diesem Bereich ist am Dammfuss bis mindestens 30 cm über HQ 100 eine Kolkssicherung einzubauen.

## 4. ZUSAMMENFASSUNG

Unter Zuhilfenahme der Gleismessschriebe der parallel verlaufenden Bestandstrecke wurden die in [U 2] gemachten Empfehlungen für die erforderliche Baugrundverbesserung zum Teil reduziert. Es wurden zudem die [U 3] vereinbarten Anpassungen und Überprüfungen zur Reduzierung des Aufwandes der Baugrundverbesserung ausgeführt. Im Ergebnis wurden die Tabellen 3.1-1 und 3.2-1 erarbeitet, die als Grundlage für die weitere Planung verwendet werden können.

Sollten geotechnische Fragen auftreten, die im vorliegenden Gutachten nicht bzw. nicht ausreichend behandelt wurden, oder sollten sich Abweichungen bzw. Abänderungen in den Planungen bzw. Annahmen ergeben, die diesem Gutachten zugrunde gelegt wurden, so ist die Dr. Spang GmbH vom Auftraggeber zu informieren und zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern.

Im Hinblick auf die Bauausführung wird auf die Erfordernis einer kontinuierlichen, geotechnischen Baubegleitung mit der Ausführung von Tragfähigkeitsversuchen im Rahmen der Fremdüberwachung hingewiesen.



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 19

30.04.2010

Für Rückfragen stehen wir Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung.

Dipl.-Ing. Christian Spang  
(Geschäftsführer)

i.V.

Dr.-Ing. Gerd Festag  
(Projektleiter)

- Verteiler:**
- DB ProjektBau GmbH, Herr Schmidt, Frankfurt, 3 x, davon 1 x per Email  
<uwe.za.schmidt@deutschebahn.com>
  - DB ProjektBau GmbH, Herr Balogh, Frankfurt, 1x per Email  
<gabor.balogh@deutschebahn.com>
  - DB ProjektBau GmbH, Herr Schicktanz, Berlin, 1 x per Email  
<christian.schicktanz@deutschebahn.com>
  - DB Netz AG, Herr Fischer, Frankfurt, 1 x per Email  
<Ralph.Fischer@deutschebahn.com>
  - Dr. Spang GmbH, Witten, 1 x