

Berichtsblatt

| | |
|---|--|
| 1. ISBN oder ISSN geplant | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht |
| 3. Titel DURFLEX – Entwicklung, Erprobung und Demonstration eines lagestabilen und geräuschkämpfenden Oberbaus für den Schienenverkehr | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Jürgen Frenzel Tim Frenzel | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2009 |
| | 6. Veröffentlichungsdatum geplant |
| | 7. Form der Publikation Broschüre |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Frenzel Bau GmbH & Co. KG Alter Sonnenbergweg 4 31084 Freden | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution / |
| | 10. Förderkennzeichen 19U7010 |
| | 11. Seitenzahl 79 Seiten |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn | 13. Literaturangaben V |
| | 14. Tabellen 16 Tabellen |
| | 15. Abbildungen 33 Abbildungen |
| 16. Zusätzliche Angaben / | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Wird gemäß der Vorgaben an die Technische Informationsbibliothek der Universität Hannover versendet. | |
| 18. Kurzfassung 1. Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik Als Innovation zum konventionellen Schotteroberbau und zur festen Fahrbahn wurde zur Gewährleistung einer dauerhaften Lagestabilität und Reduzierung der Schallimmissionen das System DURFLEX entwickelt. 2. Begründung/Zielsetzung der Untersuchung Aufgabenstellung des Vorhabens war es, im Rahmen einer Felderprobung und Demonstration das im Rahmen von Laborversuchen entwickelte Durflexverfahren auf seine Praxistauglichkeit zu überprüfen und zu bewerten. 3. Methode Mit Hilfe eines technischen Prototyps als Vorläufer einer zukünftigen Einbaumaschine wurde im Rahmen eines zweijährigen Feldversuchs mit kontinuierlichen Messungen zur Emissionsreduzierung und Lagestabilität des Oberbaus das Systemkonzept auf einer Strecke der Deutschen Bahn AG demonstriert. 4. Ergebnis Die Auswertung der Messergebnisse sowie die darauf aufbauende Technisch- wirtschaftliche Bewertung haben gezeigt, dass das Fahrbahnsystem DURFLEX eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit, eine Verlängerung der Instandhaltungsintervalle und eine Verringerung von Körperschall und Schwingungen im Vergleich zum konventionellen Schotteroberbau bewirkt. Bezüglich der Wirtschaftlichkeit ergeben sich vor allem unter langfristiger Betrachtungen Vorteile. Die Herstellungskosten sind bei Vergleichsweise ähnlichen Eigenschaften bezüglich der Lagestabilität unter denen der festen Fahrbahn anzusiedeln. 5. Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten Unter Berücksichtigung der Ergebnisse wird seitens der Beteiligten beabsichtigt das System Durflex in ein industrielles Gleisbauverfahren zu überführen. Das Interesse verschiedenster Bahnen bestätigt das über einen Einsatz bei der DB Netz AG hinaus ein breit gefächertes, internationaler Anwendungsbereich besteht. | |

| | |
|---|-------------------------|
| 19. Schlagwörter Verschäumter Oberbau, innovatives Einbauverfahren | |
| 20. Verlag noch offen | 21. Preis noch offen |

Document Control Sheet

| | |
|---|--|
| 1. ISBN or ISSN planned | 2. type of document (e.g. report, publication) Final report |
| 3. title DURFLEX – Development, test and demonstration of a position-stable and noise-damping ballast track for rail traffic | |
| 4. author(s) (family name, first name(s)) Jürgen Frenzel Tim Frenzel | 5. end of project 9/30/2009 |
| | 6. publication date Planned |
| | 7. form of publication Brochure |
| 8. performing organization(s), (name, address) Frenzel Bau GmbH & Co. KG Alter Sonnenbergweg 4 31084 Freden, Germany | 9. originator's report no. / |
| | 10. reference no. 19U7010 |
| | 11. no. of pages 79 pages |
| 12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW) i 53107 Bonn, Germany | 13. no. of references V |
| | 14. no. of tables 16 Tables |
| | 15. no. of figures 33 Images |
| 16. supplementary notes / | |
| 17. presented at (title, place, date) Will be sent according to instructions to the TIB, University of Hannover. | |
| 18. abstract 1. Present state of science and technology As an innovation to complement conventional ballasted tracks and rigid tracks the DURFLEX system has been developed to the guarantee position stability and reduction of sound emission. 2. Grounds / objective of the investigation The task definition of the project was to test the Durflex procedure which was developed within the scope of laboratory experiments for its practical suitability within the scope of a field test and a demonstration and to evaluate the same. 3. Method Using a technical prototype as a precursor of a future engine, the system concept was demonstrated on a line of the Deutsche Bahn AG within the scope of a two-year-old field test with continuous measurements for emission reduction and position stability of ballasted track.. 4. Result The evaluation of the measured results as well as the technical-economic assessment based on this have shown that the DURFLEX track system results in an increase of efficiency, an extension of maintenance intervals and a reduction of structure-borne noise and oscillations in comparison with the conventional ballasted track. With regard to economic efficiency, advantages arise above all when applying long-term considerations. The production costs are comparable to those of a rigid track in the case of relatively similar properties with regard to position stability. 5. Conclusion / application possibilities Taking into account the results, those involved intend to include the Durflex system in industrial track laying procedures. A broadly diversified, international range of application beyond the scope of the DB AG railway network can be confirmed by the interest on the side of various other railway companies. | |

| | |
|---|--------------------------|
| 19. keywords Foamed track ballast, innovative installation procedure | |
| 20. publisher Not yet known | 21. price Not yet set |

**DURFLEX® - Entwicklung, Erprobung und
Demonstration eines lagestabilen und
geräuschkämpfenden Oberbaus für den
Schienenverkehr**

Schlussbericht

Förderkennzeichen 19U7010

DURFLEX®



emissionsarm + langlebig

FRENZEL-BAU GmbH & Co KG, Freden

März 2010

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| I. KURZDARSTELLUNG ZUR AUSGANGSSITUATION, AUFGABENSTELLUNG UND ZUM ABLAUF DES VORHABENS | 4 |
| 1. Ausgangssituation und Aufgabenstellung | 4 |
| 2. Voraussetzungen..... | 6 |
| 3. Planung und Ablauf des Vorhabens | 7 |
| 3.1 Planung..... | 7 |
| 3.2 Ablauf des Vorhabens..... | 8 |
| Zusammenfassung..... | 14 |
| 4. Wissenschaftlicher und technischer Sachstand zu Beginn des Vorhabens..... | 15 |
| A) Zur Lagestabilität des Gleises..... | 16 |
| B) Zur Dauerhaftigkeit eines Fahrbahnsystems..... | 18 |
| C) Zur Umweltverträglichkeit und Recyclingfähigkeit des Systems | 20 |
| 5. Zusammenarbeit | 22 |
| II. EINGEHENDE DARSTELLUNG DER ERZIELTEN ERGEBNISSE UND DER VERWENDUNG DER ZUWENDUNG | 23 |
| 1. Erzielte Ergebnisse | 23 |
| 1.1 Spezifikation der Systemtechnik und Einbaukonzept | 23 |
| 1.2 Auswertung der Messergebnisse und Bewertung der Systemeigenschaften | 33 |
| 1.3 Entwicklung eines Konzepts für das Recycling..... | 54 |
| 1.4 Technisch-wirtschaftliche Bewertung..... | 56 |
| 1.5 Zusammenfassung der Ergebnisse und weiteres Entwicklungspotential | 73 |
| 2. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse..... | 77 |
| 3. Auflistung der erfolgten und geplanten Veröffentlichungen..... | 78 |
| III. ANLAGENVERZEICHNIS..... | 78 |

IV. Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Bilddokumentation Bonn - Beul | 9 |
| Abbildung 2: Bilddokumentation Uelzen..... | 10 |
| Abbildung 3: Probekörper..... | 16 |
| Abbildung 4: Probekörper mit Wegaufnehmer | 16 |
| Abbildung 5: Last- Verformungs- Zeit- Diagramm..... | 16 |
| Abbildung 6: Schotterkörper zur Ermittlung des dyn. E- Moduls..... | 16 |
| Abbildung 7: Messstellen zur Temperaturmessung und Bilder des Brandversuches..... | 18 |
| Abbildung 8: DURFLEX® Schotterkegel, Frostversuche | 18 |
| Abbildung 9: spurgeführte Bettungsreinigungsmaschine | 20 |
| Abbildung 10: „Container“-Konstruktion zur Aufnahme der Hochdruck-Dosiermaschine | 24 |
| Abbildung 11: Spritzkopf und Wintronic-Steuerung der Dosiermaschine | 25 |
| Abbildung 12: Heizhaube zur Vortemperierung des Schotterbetts | 25 |
| Abbildung 13: Einbauzug bestehend aus Heizhaube, Verschäumungseinheit und Versorgungstanks | 26 |
| Abbildung 14: Längsschnitt durch das Fahrbahnsystem DURFLEX® mit Unterschottermatte | 27 |
| Abbildung 15: Messquerschnitte zum Vergleich | 30 |
| Abbildung 16: Einbringungsverfahren für zusätzliche Drän- bzw. Unterschottermatte..... | 31 |
| Abbildung 17: Einbringung des Schaums („Durflexisierung“) | 31 |
| Abbildung 18: Verlauf des Prüfgleises | 32 |
| Abbildung 19: direkt angrenzende Wohnraumbauung | 33 |
| Abbildung 20: Aufbau und Verteilung der Messtechnik im Längsschnitt | 34 |
| Abbildung 21: Aufbau und Verteilung der Messtechnik im Querschnitt | 35 |
| Abbildung 22: Aufbau und Verteilung der Messtechnik in der Draufsicht | 35 |
| Abbildung 23: Längsschnitt Schotterdruck, ICE-MW 1. Messreihe..... | 40 |
| Abbildung 24: Längsschnitt Schotterdruck, ICE-MW 2. Messreihe..... | 42 |
| Abbildung 25: Längsschnitt Schotterdruck ICE-MW (Vergleich 1. und 2. Messreihe)..... | 46 |
| Abbildung 26: Messergebnisse für Luftschallpegel [db(A)], 4 m-Messpunkt | 47 |
| Abbildung 27: Messergebnisse für Luftschallpegel [db(A)], 25 m-Messpunkt | 48 |
| Abbildung 28: Messergebnisse zur Entwicklung der Höhenlage (siehe auch Anlage 4)..... | 50 |
| Abbildung 29: Messergebnisse zum Querverschub..... | 51 |
| Abbildung 30: Darstellung des Verfahrens..... | 55 |
| Abbildung 31: Mobile Aufbereitungsanlage (Praxisbeispiel)..... | 55 |
| Abbildung 32: Durchschnittlicher Kapitalmarktzins | 62 |
| Abbildung 33: Konzept für niedrige Lärmschutzwand (System DURMINOR®)..... | 63 |

V. Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Lage und Beschreibung Messquerschnitte | 38 |
| Tabelle 2: Einsenkungen [mm] unter ICE-Mittelwagen (Messergebnisse, 1 Messreihe) | 39 |
| Tabelle 3: Einsenkungen [mm] unter ICE-Mittelwagen (Messergebnisse, 2. Messreihe) | 41 |
| Tabelle 4: Gegenüberstellung der Messergebnisse für Einsenkungen | 43 |
| Tabelle 5: Ergebnisse der Luftschallmessungen | 44 |
| Tabelle 6: Vergleich der Ergebnisse für Einsenkungen (1. und 2. Messreihe)..... | 45 |
| Tabelle 7: Vergleich der Summenpegel [db(A)], 4 m-Messpunkt, Dammschulter | 48 |
| Tabelle 8: Vergleich der Summenpegel [db(A)], 25 m-Messpunkt, Dammschulter | 48 |
| Tabelle 9: Kosten der Verschäumung für vorhandene Schottergleise (Vorkalkulation) | 58 |
| Tabelle 10: Vergleich der LCC-Ergebnisse für verschiedene Varianten (K-Zinssatz 8 %)..... | 64 |
| Tabelle 11: Vergleich der LCC-Ergebnisse für verschiedene Varianten (K-Zinssatz 4 %)..... | 65 |
| Tabelle 12: Vergleich der LCC-Ergebnisse für verschiedene Varianten (K-Zinssatz 0 %)..... | 66 |
| Tabelle 13: Vergleich der LCC-Ergebnisse (Betrachtungszeitraum 60 Jahre) | 67 |
| Tabelle 14: Mehrerlös- und Einsparpotential..... | 71 |
| Tabelle 15: Vergleich Oberbauverfahren (Feste Fahrbahn, DURFLEX®, Schotteroberbau) Teil 1 | 74 |
| Tabelle 16: Vergleich Oberbauverfahren (Feste Fahrbahn, DURFLEX®, Schotteroberbau) Teil 2 | 75 |

I. Kurzdarstellung zur Ausgangssituation, Aufgabenstellung und zum Ablauf des Vorhabens

1. Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Seit Beginn des Eisenbahnzeitalters hat sich der Schotteroberbau als Fahrbahn für den Schienenverkehr bewährt. Sowohl national als auch international ist er bis heute das am häufigsten eingesetzte Gleissystem. Die Vorteile des Schotteroberbaus liegen in seinen vergleichsweise geringen Herstellkosten, den voll mechanisierten Arbeitsverfahren für Einbau, Instandhaltung und Erneuerung. Nachteilig wirkt sich die erforderliche kontinuierliche Instandhaltung in Abhängigkeit von der Belastung aus. Neben einem regelmäßigen Schleifen der Schienen erfordert die Schotterbettung eine zyklische Instandhaltung zur Gewährleistung der erforderlichen Gleislagequalität. Dies resultiert zum großen Teil aus der begrenzten Lagestabilität des klassischen (und bewährten) Gleisaufbaus „Schotter, Schwelle und Schiene“. Der Schotter in seinem sich als Haufwerk plastisch verhaltenden Schotterbett verbleibt nicht dauerhaft in der ursprünglich eingebrachten Lage und muss daher in regelmäßigen Abständen nachgearbeitet und nach entsprechender Abnutzung (bei Erreichen der „Rundung“) ausgetauscht werden. Dies hat entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen mit entsprechenden Kosten und Auswirkungen auf den Betrieb (Baustellen) zur Folge. Insbesondere mit der verkehrspolitisch erwünschten Zunahme des Güterverkehrs auf der Schiene wird die Lärmemission des Schienengüterverkehrs für die Anlieger von Eisenbahnstrecken zu einem immer größeren Problem. Die zur Lärmreduzierung praktizierte Methode der Errichtung von Lärmschutzwänden ist sehr aufwendig und schlägt mit Kosten in Deutschland von der Zeit 1.000,00 bis 1.200,00 € pro Meter zu Buche (zum Vergleich: Herstellkosten für einen Meter Schottergleis ca. 800,00 €).

Als Innovation zu klassischen Alternativen des konventionellen Schotteroberbaus, wie z.B. der festen Fahrbahnen, wurde zur Gewährleistung einer dauerhaften Lagestabilität und *daraus* resultierender Unterhaltsarmut und zur Reduzierung der Schallemissionen wurde in Kooperation mit verschiedenen Firmen seitens der Unternehmen FRENZEL-BAU und Bayer MaterialScience AG das System DURFLEX® entwickelt – siehe Anlage 1 (Patentschrift).

Durch das System DURFLEX® kann erstmalig eine dauerhaft flexible Fixierung des reinen Schotterkörpers im Lastabtragungsbereich und - daraus folgend - eine erheblich verbesserte Lagestabilität des Gleises bei gleichzeitiger Emissionsreduzierung von Körper- und Luftschall erreicht werden. Dieses konnte schon im Vorfeld des Vorhabens in entsprechenden Laborversuchen und –untersuchungen nachgewiesen werden.

Aufgabenstellung des Vorhabens war es, im Rahmen einer Felderprobung und – demonstration das im Rahmen von Laborversuchen entwickelte Einbauverfahren auf seine Praxistauglichkeit hin zu überprüfen, einen technischen Prototypen als Vorläufer einer zukünftigen „Einbaumaschine“ zu entwickeln und zu erproben, in Form einer Demonstration im Infrastrukturnetz der Deutschen Bahn AG (im Rahmen eines zweijährigen Feldversuchs) soll durch entsprechende Messungen sowie Auswertungen die Verbesserung der Lagestabilität *und* Lärm-Emissionsreduzierung nachgewiesen sowie die Auswirkungen technisch und wirtschaftlich bewertet werden.

Insofern sollten die bisher geleisteten Systementwicklungen und durchgeführten Laboruntersuchungen im Rahmen des Feldversuchs unter Praxisbedingungen erprobt und demonstriert werden. Dafür war, auf Basis des unter Laborbedingungen entwickelten Einbaukonzeptes, im Vorfeld die erforderliche Einbautechnik bestehend aus Spritzhülle, Spritzglocke und Schaumeintragsystem in Form eines Prototypen zu entwickeln und anzufertigen sowie das Einbauverfahren im Rahmen eines Einbautestbettes außerhalb des Netzes im Detail abzustimmen. In der vorgesehenen Felddemonstration waren die im Laborversuch erzielten positiven Ergebnisse bezüglich Verbesserung der Lagestabilität und Lärmreduzierung konkret nachzuweisen.

Technisches Arbeitsziel des gesamten Vorhabens war es, als Alternative zu bestehenden feste Fahrbahnssystemen ein innovatives Schotteroberbaukonzept für Schienenstrecken zu entwickeln, das neue technisch-wirtschaftliche Rahmenbedingungen zu setzen vermag und insbesondere unter Berücksichtigung des Umweltschutzes, der Unterhaltsarmut* und bestehender Planfeststellungsbedingungen den bisherigen Alternativverfahren Paroli bieten kann.

2. Voraussetzungen

Die Firma FRENZEL-BAU ist seit Firmengründung umfangreich im Gleisbau tätig. Aufgrund der Erfahrungen und auch der Mitwirkung in verschiedenen Arbeitskreisen wurde das Verfahren im Vorfeld der Antragstellung durch die Gruppe Fahrbahnsystem „DURFLEX®“ entwickelt und patentiert. Dieser Gruppe gehören neben der Firma FRENZEL-BAU (Federführer), u.a. die Firmen Bayer MaterialScience AG und die Hennecke GmbH an. Auf Basis des entwickelten Systemkonzeptes wurden zum Nachweis der Eignung und der technisch-wirtschaftlichen Vorteile umfangreiche Laboruntersuchungen an der TU Braunschweig durchgeführt.

Diese Vorleistungen waren erforderlich, um eine Zustimmung im Einzelfall (ZIE) des EBA (Eisenbahnbundesamt) zum probeweisen Einbau zu erhalten und daraufhin mit der DB Netz AG eine entsprechende Vereinbarung treffen zu können. Aufgrund der erfolversprechenden Laborergebnisse sowie des erwarteten wirtschaftlichen Vorteils konnte im Vorfeld des Vorhabens mit Befürwortung des BMVBS / BMWI und Unterstützung des Eisenbahnbundesamtes mit der DB Netz AG eine Vereinbarung über eine Erprobung und Demonstration des Systems DURFLEX® auf einer Länge von 500 m auf der Strecke 1462 (Hamburg-Lüneburg, Höhe Uelzen) getroffen werden.

Dieser Abschnitt, der zu den am meisten belasteten Strecken der Deutschen Bahn AG zählt, zeichnet sich insbesondere durch eine Hohe Zugfrequenz, Mischverkehren bis zu 200km/h und durch die Funktion als Zulieferstrecke für die Salzgitter AG auch durch Befahren mit erhöhten Achslasten (25t Achse) aus. Seitens des EBA wurde die Zustimmung zur Übernahme der Einbaukosten gegeben. Umfang und Anzahl der erforderlichen Messfahrten wurden im Vorfeld mit beiden Beteiligten abgestimmt. Die Zulassung des Verfahrens durch das EBA wurde im Vorfeld beantragt. Die Zustimmung seitens des EBA wurde im Frühjahr 2007 erteilt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

3.1 Planung

Das Projekt wurde in drei Phasen geplant:

In der ersten Phase sollte die Spezifikation und Anfertigung der für den Einbau erforderlichen technischen Komponenten, die Erprobung und Feinkonzeption des Einbauverfahrens im Rahmen eines Piloteinbaus (vorlaufendes Einbautestbett außerhalb des sogenannten Regelbetriebs und des endgültigen Demonstrationsabschnitts) sowie die Planung, Durchführung und Überwachung des Einbaus im Demonstrationsfeld auf der Strecke Uelzen-Bad Bevensen der DB Netz AG erfolgen.

Die Planung für die zweite Phase umfasste die Begleitung der Demonstration im laufenden Betrieb (Streckenkontrollen, Zwischenuntersuchungen und – bewertungen mit dem Anwender, Koordinierung der Messfahrten, Auswertung und Bewertung der Messergebnisse).

In der dritten Phase sollte dann eine abschließende Auswertung und umfassende technisch-wirtschaftliche Bewertung des Verfahrens stattfinden. Die vorgesehene Projektdauer betrug insgesamt 30 Monate.

3.2 Ablauf des Vorhabens

Projektphase I (April – Juni 2007)

- Aufgrund der bereits im Vorfeld gesammelten Erfahrungen mit DURFLEX®-Testkörpern sowie der umfangreichen Erfahrungen der beteiligten Firmen auf dem Gebiete des Gleisbaus konnte die Spezifikation, sowie daran anschließend, die Konstruktion und Anfertigung der für eine Pilotanwendung ausgelegten Einbautechnik zielorientiert, relativ kurzfristig und erfolgreich abgeschlossen werden. Der Piloteinbau erfolgte schon im April 2007 in einem Testbett auf einem ehemaligen Gelände der DB AG im Bahnhofsbereich Bonn-Beuel (ehemalige Ladestrasse), nachdem die Zustimmung des Eigentümers erteilt worden war.
- Der Funktionstest bezüglich der Einbautechnik verlief erfolgreich und reibungslos, dazu gehörten: Zuverlässigkeit der Verschäumungsanlage, Leistungsfähigkeit der Wärme- und Trockenhaube. Die Verwendung einer speziellen „Glas-Schwelle“ ermöglichte auch die visuelle Überprüfung der erforderlichen Ausbreitungsqualität des PUR-Schaums. Der Nachweis der „Paketverfestigung“ des Schotterkörpers im Lastabtragsbereich unterhalb der Schwelle wurde durch entsprechende Herausreißversuche mit einem Bagger nachgewiesen, ebenso durch Querverschub-Zugversuche, die durch anwesende EBA Mitarbeiter zeitweise mit begleitet wurden.
- Auf Basis dieser Vorversuche konnten die einzelnen zur Durflexisierung notwendigen Komponenten nochmals optimiert, abgestimmt und nachgebessert werden. Darüber hinaus wurden konkrete praxisorientierte Erfahrungen zum entwickelten Einbaukonzept gesammelt, die insbesondere bzgl. der zeitlichen Planung und Optimierung der Abläufe für den Streckeneinbau im Netz der DB AG genutzt wurden. Sowohl Vertreter des EBA als auch der DB Netz AG konnten sich vor Ort von der „Funktionalität“ des Systems überzeugen. Damit konnte die endgültige Freigabe für den versuchsweisen Streckeneinbau im Netz der DB AG erreicht werden.
- In Abstimmung mit der DB Netz AG erfolgte darauf hin der Einbau im Zeitraum vom 31.05. bis 18.06.2007 - die konkrete Verschäumung erfolgte schon am 13. und 14.06.2007. Der gesamte Einbau verlief im Rahmen einer planmäßigen Sanierungsmaßnahme der Strecke problem- und reibungslos. Als Demonstrationsfeld wurde auf der Hauptstrecke Hamburg-Hannover ein 300m-langer Versuchsabschnitt verschäumt. Nach Abschluss der Arbeiten erfolgte gemeinsam mit der DB Netz die Gleisabnahme ohne Beanstandungen. Die Strecke war bereits nach 24 Stunden wieder voll befahrbar. Die Hauptstrecke wird seit dem im Mischverkehr sowohl von schweren Güterzügen mit Achslasten bis zu 25t als auch mit schnellen ICE-Zügen mit einer Geschwindigkeit von bis zu 200 km/h befahren, täglich mit bis zu 140.000 Lasttonnen.
- Bereits im Vorfeld des Versuchseinbaus wurde unter Beteiligung der DB Netz AG mit dem die Tests begleitenden und EBA zugelassenen Sachverständigen, imbdynamik, das Messverfahren zur Überprüfung und zum Nachweis der Eigenschaften von DURFLEX® im Vergleich zum konventionellen Schotteroberbau abgestimmt. So konnten die Messeinrichtungen im Zuge des Gleisumbaus berücksichtigt und mit eingebaut werden.

Abbildung 1: Bilddokumentation Bonn - Beul



Die Vorversuche



Die Messstrecke



Einbau Glasschwellen



Die Maschine



Die Maschinenaufrüstung



Die Trockenhaube



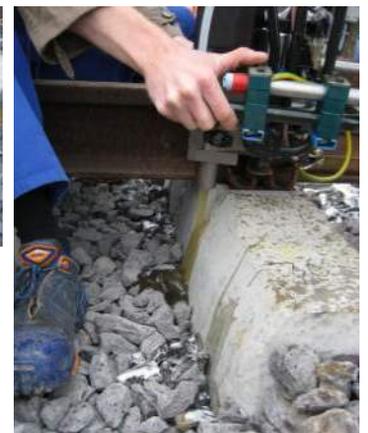
Der Leitstand



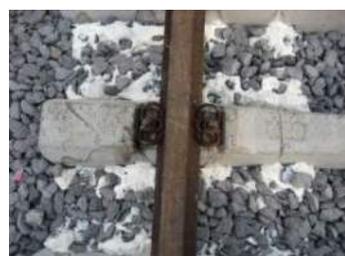
Der Materialeintrag



Das Verschäumergebnis Glasschwelle



Der Materialeintrag



Das Ergebnis



Hoher Besuch



Paketverfestigungsnachweis

Abbildung 2: Bilddokumentation Uelzen



Die Maschinenaufrüstung



Der Gleisbau



Der Einbau von Drainage-Matten und Unterschottermatten



Die Maschineneinheit



Die Konditionierung



Temperaturkontrolle



Der Materialeintrag



Der Besuch interessierter Fachleute



Das verschäumte Gleis



Das fertige Gleis

Projektphase II (Juli 2007 – Juni 2009)

- Die erste Messreihe wurde wie geplant im Zeitraum Juni-Juli 2007 nach Inbetriebnahme der Strecke und im Oktober 2007 nach der Erreichung von 15 Mio. Lasttonnen durchgeführt. Darauf aufbauend erfolgte eine Aufbereitung und Auswertung der Ergebnisse durch den Sachverständigen „imb-dynamik“.
- Zielsetzung war eine umfassende Untersuchung der Eigenschaften des Oberbausystems DURFLEX®, der zahlenmäßige Nachweis der Wirkungen sowie das Aufzeigen von weiteren Entwicklungsansätzen zur Optimierung.
- Durchgeführt wurde dies anhand eines Vergleichs von drei repräsentativ gewählten Messquerschnitten (DURFLEX® mit Dränmatte, DURFLEX® mit Unterschottermatte und normaler Schotteroberbau als Referenzquerschnitt).
- Bereits die Auswertung und Bewertung der ersten Messreihe war äußerst vielversprechend und deutete daraufhin, dass die von DURFLEX® erwarteten Systemeigenschaften im Rahmen der Demonstration auch in der Praxis bestätigt werden können.
- Die Spezifikation für die zweite Messreihe wurde in Abstimmung mit Fachexperten der DB Netz AG, auf Basis der Erfahrungen und Ergebnisse der ersten Messreihe sowie mehrerer intensiver Streckenbegutachtungen vor Ort in der ersten Jahreshälfte 2008 durchgeführt.
- Im Juli 2008 wurde dann nach Erreichung vom mehr als 50 Mio. Lasttonnen die zweite Messreihe auf Basis dieser Spezifikation mit den Sachverständigen „imb-dynamik“ vorbereitet und durchgeführt.
- Im Rahmen der sich anschließenden Auswertungen und Bewertung in der zweiten Jahreshälfte 2008 konnten die erwarteten Systemeigenschaften nochmals nachgewiesen und damit die Ergebnisse aus der ersten Messreihe auch nach intensiver Belastung der Strecke verifiziert werden. Diese bestehen vorrangig in, einer erheblichen Verbesserung der Lagestabilität, einer merkbaren Reduzierung der Schallemissionen (Luft- und Körperschall), sowie einer längeren Lebensdauer des Oberbaus bei wesentlich geringem Unterhaltungsaufwand (Verzicht auf Nachstopfen und Durcharbeitung sowie erheblich verlängerte Schienenschleifintervalle).
- Parallel dazu wurde in regelmäßigen „Vor-Ort-Begehungen“ mit Fachleuten der DB Netz AG der Zustand der Strecke per Augenschein überprüft und bewertet. Dabei konnten auch bzgl. der Schiene im Vergleich zum Referenzabschnitt praktisch keine Abnutzungen, wie z.B. Riffelbildung, beobachtet werden, sodass auf das übliche Schleifen der Schienen verzichtet wurde.
- Auch wurden regelmäßig Gleislage-/ Setzungsmessungen durch entsprechende Fachfirmen vorgenommen, letztmalig am 04.12.2009.

-
- Unter Berücksichtigung der positiven Erfahrungen mit dem Demonstrationsfeld im Netz der DB AG erfolgte im Rahmen des Vorhabens in Abstimmung mit der BVG in Berlin, die Vorbereitung und Planung eines weiteren Demonstrationsfeldes. In der 22. KW 2008 wurde DURFLEX® in einem Versuchsfeld bei der BVG in Berlin im Rahmen der Erneuerung eines Prüfgleises erfolgreich eingebaut. Das Prüfgleis ist abschnittsweise mit Holz- bzw. Betonschwellen inklusive einer Weiche ausgestattet und wird durch zwei relativ enge Kurvenradien charakterisiert. Seitens der BVG wurden dann entsprechende Messungen im Herbst 2008 durchgeführt.
 - Parallel zur Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Messreihen sowie der „Vor-Ort-Begehungen“ wurden seitens der Projektleitung die Arbeiten zur technisch-wirtschaftlichen Bewertung im Herbst 2008 begonnen. Der jeweils erreichte Sachstand wurde dann im Rahmen eines intensiven fachlichen Dialogs und iterativen Prozesses mit verschiedenen Fachleuten, auch der DB Netz AG, diskutiert und bewertet.
 - Darüber hinaus wurden im Rahmen von mehreren Präsentationen (12.10.2007, 11.12.2007 und 29.05.2008) das Systemkonzept, das Demonstrationsvorhaben und die jeweils erzielten Ergebnisse mit einem breiten Spektrum an Fachleuten aus dem In- und Ausland (hier u.a. China, Frankreich, Dänemark, Holland und Ukraine) diskutiert und bewertet. Im Rahmen der umfangreichen und intensiven Diskussionen wurde das Systemkonzept von den beteiligten Fachleuten insgesamt als sehr positiv bewertet. Vorbehalte bestanden bzgl. des zukünftigen Recyclings und der zeitlichen Beständigkeit des Schaums. Insofern wurde im Rahmen des Vorhabens ein Konzept für das Recycling des eingeschäumten Schotters in 2009 entwickelt und gemeinsam mit dem Entwicklungspartner Bayer wurden weitere Versuche zum Nachweis der Langzeitstabilität des Schaums abgestimmt, die im Anschluss an das Vorhaben in 2010 durchgeführt werden sollen.
 - Es wurden spezifische Einsatzfelder und weitergehende Perspektiven von DURFLEX® unter speziellen Randbedingungen (z.B. bei Kunstbauwerken, wie Brücken, Tunnel, Dämme oder unter besonderen klimatischen Bedingungen (Wüstengebiete mit Sandeintrag ins Schotterbett, hohe Luftfeuchtigkeit)) mit verschiedenen Experten erörtert und bewertet.
 - Die für die Erstellung des Begleitheftes erforderlichen Vor-Ort-Prüfgänge (1 Prüfgang pro Quartal) wurden anforderungsgemäß durchgeführt und dokumentiert. Das Begleitheft bzgl. der Dokumentation für die Jahre 2007 und 2008 wurde der DB Netz AG im Frühjahr 2009 übergeben. Der Fahrspiegel (Beschreibung des Zustandes des Schienenkopfes) weist nach gut zweijähriger Liegedauer und über 100 Mio. Lasttonnen einen hervorragenden Zustand auf. Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass abweichend vom bisherigen Standard sowohl keine Erstschleifung nach Einbau erfolgte sowie auf die nach 15-18 Monaten stattfindende Folgeschleifung der Schienen verzichtet wurde. Damit konnte nochmals die hervorragende Lagestabilität des DURFLEX®-Oberbaus auch in der Praxis im Rahmen des Feldtests nachgewiesen werden.
-

Projektphase III (Juli – September 2009)

- Die Arbeiten zur technisch-wirtschaftlichen Bewertung wurden abgeschlossen. Als Grundlage für eine abschließende technisch-wirtschaftliche Bewertung wurden die Erstellungskosten für den Oberbau DURFLEX® im industriellen Verfahren unter Berücksichtigung der Vorhaltungs- und Einsatzkosten eines entsprechend leistungsfähigen Verschäumungszuges abgeleitet.
- Im Vergleich zum konventionellen Schotteroberbau ergeben sich aufgrund der höheren Erstellungskosten erwartungsgemäß bei einer Standardbetrachtung in Deutschland höhere Erstellungskosten, im Rahmen einer mittel- bis langfristigen Betrachtung ergeben sich jedoch eindeutige wirtschaftliche Systemvorteile. Darüber hinaus erweist sich DURFLEX® als vorteilhaft, wenn auf hoch belasteten Strecken aufgrund der Belastung in relativ kurzen Intervallen die Schienen geschliffen werden müssen. Im Vergleich zu ausländischen Schotteroberbauweisen (Niederlande) ergeben sich teilweise bessere LCC-Werte, ebenso im Vergleich zu sogenannten Festen Fahrbahnen.
- Insbesondere erweist sich das Systemkonzept DURFLEX® auch aus wirtschaftlich-technischer Bewertung gegenüber dem Standard-Schotteroberbau als vorteilhaft, wenn aufgrund der erzielten Reduzierung der Lärmemissionen entweder auf die Einrichtung einer zusätzlichen Schallschutzwand verzichtet werden kann oder stattdessen die Ausrüstung der Strecke mit einer niedrigen Schallschutzwand in unmittelbarer Nähe des Gleiskörpers erfolgen kann, da aufgrund der Verschäumung entsprechende Unterhaltungsarbeiten am Schotterbett entfallen.

Zusammenfassung

Das Vorhaben konnte in dem vorgesehenen Zeitplan erfolgreich durchgeführt werden. Auf Basis einer abschließenden Bewertung der Ergebnisse der Messreihen und deren Auswertung konnte die angestrebte Zielsetzung (Nachweis der erwarteten Systemeigenschaften in Rahmen eines Feldtests) erreicht werden. Die Arbeiten zur technisch-wirtschaftlichen Bewertung wurden im 3. Quartal 2009 abgeschlossen. Im Vergleich zum konventionellen Schotteroberbau ergaben sich aufgrund der höheren Erstellungskosten erwartungsgemäß bei einer Standardbetrachtung höhere Investitionskosten, die sich im Laufe der Zeit aber amortisieren bzw. kompensieren. Im Vergleich zu ausländischen Schotteroberbauweisen (Niederlande) ergeben sich teilweise bessere LCC-Werte, ebenso im Vergleich zu sogenannten Festen Bahnbahnen.

Unter Einbeziehung der hervorragenden Lagestabilität und des damit möglichen Verzichts auf häufiges Schienenschleifens und Nachbesserung der Lage (Stopfen und Nachschotterung) ergeben sich in einer mittel- bis langfristigen Betrachtung eindeutige System- und Umweltvorteile. Weitere Effekte sind z.B. bzgl. einer verbesserten Betriebsqualität aufgrund einer Reduzierung der Baustellentätigkeit sowie Einsparung von Ressourcen (andere Bauweisen/ Trassierungen) zu erwarten. Hierzu wurden erste Ansätze für eine mögliche Quantifizierung dieser Effekte entwickelt.

Darüber hinaus zeichnen sich für DURFLEX® auf Basis der geführten Gespräche mit Experten zukünftige Einsatzgebiete im internationalen Bereich ab. Diese Ansätze werden nach Abschluss des Vorhabens weiter verfolgt.

4. Wissenschaftlicher und technischer Sachstand zu Beginn des Vorhabens

Als Alternative zum Schotteroberbau wird seit Anfang der 70er Jahre die Feste Fahrbahn insbesondere in Tunneln und bei Hochgeschwindigkeitsstecken eingesetzt. Dabei wird die Schotterschicht durch eine gebundene Tragschicht aus Beton oder Asphalt ersetzt. Die Nachteile der festen Fahrbahn sind vor allem in ihren hohen Herstellkosten (Faktor 1,5 bis 2 im Vergleich zum Schotteraufbau), der außerordentlich großen Empfindlichkeit gegenüber Setzungen im Untergrund und in einer langen Bauzeit zu sehen. Insofern stellt die Lösung Feste Fahrbahn unter technisch-wirtschaftlicher Betrachtung nur eine sehr begrenzte Alternative zum Schotteroberbau dar. Seit der ersten Anwendung im Bahnhof Rheda in 1972 wurden in Deutschland bis heute nur rd. 880 Gleiskilometer mit Fester Fahrbahn ausgerüstet.

Um ein neues Oberbausystem zum Einsatz zu bringen und eine entsprechende Zulassung durch das EBA zu erreichen, muss folgendes Anforderungsprofil erfüllt werden:

- Lagestabilität – kein Materialermüden nach 5 Mio. Lastspielen
- Brandverhalten – keine Brandausbreitung und Brennbarkeitsklasse 2
- Frost-Tau-Wechsel – keine schädlichen Veränderungen, wie z.B. Ablösungen
- Volumenzunahme bei Frost – axial unter 0,4 mm (i.M. 0,07 mm)
- Umweltverträglichkeit – keine Gefahr für Boden, Luft und (Grund-) Wasser

In Anlehnung daran und zum Nachweis für eine Zulassung durch das EBA (zunächst als Einzelgenehmigung für das Demonstrationsvorhaben) wurden im Vorfeld zum Vorhaben umfangreiche Untersuchungen und Labortests zu den Systemmerkmalen durchgeführt:

- Lagestabilität des Gleises
- Dauerhaftigkeit des Fahrbahnsystems
- Umweltverträglichkeit und Recyclingfähigkeit

Die Vorgehensweise und die Ergebnisse sind im Nachfolgenden kurz dargestellt.

A) Zur Lagestabilität des Gleises

Im Zusammenhang mit der Zulassung beim Eisenbahnbundesamt (EBA) wurde ein Dauerschwellenversuch durch die Materialprüfanstalt für Bauwesen an der TU Braunschweig im Zeitraum von Oktober 2005 bis Januar 2006 durchgeführt. Die zwei verwendeten Prüfkörper bestanden aus je einer halben Schwelle, welche mit einer Schotterhöhe von 30 cm unter der Schwellenunterkante verdichtet wurden und anschließend mit dem PUR-Schaum ausgeschäumt wurden.



Abbildung 3: Probekörper
Quelle: MPA TU Braunschweig(2006)
Prüfbericht Dauerschwellenversuch



Abbildung 4: Probekörper mit Wegaufnehmer
Quelle: MPA TU Braunschweig(2006)
Prüfbericht Dauerschwellenversuch

Nach der Bahn Norm 918 145-01 Tabelle 1 ergaben sich für die Oberlast ein statisches Bettungsmodul von $>0,3 \text{ N/mm}^2$ für den Dauerschwellenversuch nach 94 kN für die Laststufe 1 und 123 kN für die Laststufe 2. Die elastische Verformung betrug 0,3 mm gemessen auf der Oberkante der Schwelle neben der Schiene.

Es haben sich keinerlei Erscheinungen von Materialermüdung- oder Schäden gezeigt. Die vorliegende Verformung und das schadfreie Bild nach 5 Millionen Lastwechseln (siehe Bild) bestätigt, dass das **Fahrbahnsystems DURFLEX®** den geforderten Bahnnormen entspricht und aus dieser Sicht keine Bedenken bestehen.

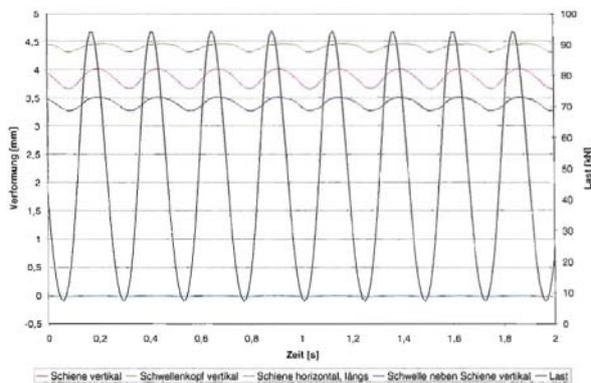


Abbildung 5: Last- Verformungs- Zeit- Diagramm
Quelle: MPA TU Braunschweig(2006)
Prüfbericht Dauerschwellenversuch



Probekörper K1 und Probekörper K1+32 Abmaße: $10 \times 10 \times 50 \text{ cm}$, als Biegebalken aufgelegt. Einfeldträger mit 48 cm Tragweite, Rohre dienen dabei als zwingungsfreies Auflager.

Abbildung 6: Schotterkörper zur Ermittlung des dyn. E-Moduls
Quelle: MPA TU Braunschweig(2006)
Prüfbericht Dauerschwellenversuch

Dieser Versuch bestätigt den Grundgedanken, dass eine Ausschäumung der Hohlräume in dem verdichteten Schotter mit einem Polyurethan-Schaum eine dauerhafte Lagestabilität gewährleistet. Nach ca. 3 Jahren Liegedauer bestätigte sich dieses insofern, als dass keinerlei Nachjustierungen an den vorsorglich vorgesehenen verstellbaren Stützpunkten im DURFLEX®-Abschnitt notwendig waren, auch kein Hinzufügen oder Ändern von Zwischenlagen („platteln“), im Referenzabschnitt Schottergleis hingegen Stopfarbeiten erfolgten.

B) Zur Dauerhaftigkeit eines Fahrbahnsystems

Das **Fahrbahnsystem DURFLEX®** bringt durch die Verschäumung mit Polyurethan-Schaum speziell zu untersuchende Nachweise zur Dauerhaftigkeit mit. Somit hat das Eisenbahnbundesamt folgende Nachweise zur Zulassung des Systems gefordert: Zum einen die Simulation von Brandversuchen und zum anderen den Nachweis über die Frost-Tau-Beständigkeit. Diese Versuche wurden in der Materialprüfanstalt für Bauwesen an der TU Braunschweig durchgeführt. Der Brandversuch wird als Simulation eines Böschungsbrandes mit dem Brandmittel „Holzkrippe“ und einem Flüssigkeitsbrand mit Benzin durchgeführt. Als Probekörper diente eine halbe Betonschwelle B 70, welche mit dem Polyurethan-Schaum Bayflex® verschäumt wurde.



Abbildung 7: Messstellen zur Temperaturmessung und Bilder des Brandversuches
Quelle: MPA TU Braunschweig(2007), Brandversuche

Es konnte, bei beiden Brandversuchen (Böschungsbrand und Flüssigkeitsbrand) keine Brandausbreitung über den unmittelbar betroffenen Bereich hinaus beobachtet werden. Somit sind Sicherheit und Dauerhaftigkeit unter diesem Gesichtspunkt gewährleistet.

Ein spezieller Aspekt des **Fahrbahnsystems DURFLEX®** bezüglich Dauerhaftigkeit ist die Frostbeständigkeit. Aus diesem Grund wurde ein Frost-Tau-Versuch in Anlehnung an die DIN 539-2 durchgeführt.

Die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel wurde durch den zuständigen Sachverständigen des Eisenbahnbundesamts auf 25 Wechsel festgelegt. Der Probekörper bestand aus zwei Schotter-Kegeln mit den Abmaßen Höhe 40 cm und einem Durchmesser von 45 cm, die mit 2 kg Polyurethan-Schaum verschäumt wurden.



Abbildung 8: DURFLEX® Schotterkegel, Frostversuche
Quelle: MPA TU Braunschweig (2007)

Es wurde festgestellt, dass bis auf eine kleine Randablösungen bei dem Frost-Tau-Versuch **keine** Schäden oder Veränderungen des Polyurethanschaums zu beobachten waren.

Der Praxistest bis einschließlich Ende März 2010 erwies , dass nicht nur die Lagestabilität des Gleises „wie am ersten Tage“ gegeben war, sondern sich auch nichts am Verhalten des Schotterkörpers in dieser verschäumten Form änderte und ein Nachlassen der Funktionen unter laufender Verkehrsbelastung nichts hindeutete würde. Die auf Basis der o.g. Tests sowie der Kennwerte des PUR-Schaums prognostizierte Dauerhaftigkeit des Oberbaus ist unverändert gegeben. Auf dieser Grundlage kann mit einem Zyklus von bis zu 60 Jahren gerechnet werden, wobei noch offene Tests, die derzeit eingeleitet sind, dieses bestätigen sollen.

C) Zur Umweltverträglichkeit und Recyclingfähigkeit des Systems

Durch die Verwendung von Polyurethan-Schaum beim **Fahrbahnssystem DURFLEX®** wurde seitens des EBA eine Prüfung der Umweltverträglichkeit vor allem von Auswirkungen auf die Bereiche Wasser, Boden und Luft gefordert. In Anlehnung an Vorgaben des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) sollten die mobilisierbaren Bestandteile des Polyurethanschaums identifiziert und mit den zutreffenden Richt- und Grenzwerten abgeglichen werden.

Weiterhin wurden mittels biologischer Testverfahren die ökotoxikologischen Auswirkungen der mobilisierbaren Inhaltsstoffe untersucht. Die ausgewählten Tests sind repräsentativ für die verschiedenen Ernährungsstufen im aquatischen Milieu und repräsentativ für das terrestrische Milieu.

Diese Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit in Analogie zu o. g. DIBt-Vorgaben zeigen, dass bei einer bestimmungsgemäßen Anwendung des Polyurethan-Schaums im Gleisbau **keine Besorgnis** zur Entstehung schädlicher Veränderungen von Boden, Luft und Grundwasser besteht. Auch visuelle Prüfungen an Zustand und Aufbaustruktur des verschäumten Schotterverbundkörpers lassen keine Ablösungen oder Eluate erkennen, sodass auch im praktischen Verhalten bis dato alles darauf hinweist, dass sich die vorstehende Grundaussage auch im praktischen Einbauzustand auch auf die lange Liegedauer hin bestätigt. Im Gegenteil schützt der einheitliche Körper schützt das darunterliegende Milieu auch gegen Dritteinträge z.B. aus Herbiziden, üblichen Rinnverlusten etc. pp.

Ein weiterer Umweltaspekt ist die Recyclingfähigkeit des **Fahrbahnsystems DURFLEX®**. Mittels einer spurgeführten Bettungsreinigungsmaschine lässt sich das Schottergefüge, das mit Polyurethan-Schaum verbunden ist, ausfräsen. Das Schotter-Schaum-Gemisch kann dann in einem aus der Asphaltmaterialherstellung bekannten Asphaltrohrohröfen thermisch behandelt werden. Es kommt zu einer thermischen Zersetzung des Polyurethan-Schaums. Als Rückstandprodukt aus diesem Prozess bleibt der scharfkantige Schotter übrig. Das wiederum bedeutet, dass der Schotter dem Schotterkreislauf wieder zugeführt und zum Wiedereinbau verwendet werden kann.



Abbildung 9: spurgeführte Bettungsreinigungsmaschine

Fazit: Durch die dargestellten Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass der verwendete PUR-Schaum, der in den konventionellen Schotteroberbau eingebracht wird, keine schädlichen Wirkungen auf Luft, Boden und Wasser hat, sowie recyclingfähig ist. Daher kann von einer entsprechenden Umweltverträglichkeit des **Fahrbahnsystem DURFLEX®** ausgegangen werden.

5. Zusammenarbeit

Im Rahmen des Vorhabens wurde von den Firmen Bayer MaterialScience, Leverkusen, Hennecke GmbH, Bonn und FRENZEL-BAU das Fahrbahnsystem DURFLEX® weiterentwickelt. Darüber hinaus wurde im Rahmen eines fachlichen Austauschs mit Experten (der DB Netz AG, als einem der potentiell zukünftigen Anwender und dem EBA, als zuständige Zulassungsbehörde) zusammen gearbeitet. Im Rahmen des weiteren Feldtests in Berlin erfolgte eine Zusammenarbeit mit für den U-Bahnbau zuständigen Abteilungen der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG).

Gemäß Antragstellung wurde im Rahmen der Durchführung des Projektes mit folgenden Unterauftragnehmern zusammen gearbeitet:

- HaCon Ing. mbH für Projektberatung zur Unterstützung des Projektleiters
- Ingenieurbüro G. Alpert für statische Berechnungen zum Maschinenbau (Prototypen)
- FASYS-PLANUNG GmbH für die Unterstützung bei der Spezifikation und Planung der Einbautechnik
- MMB GmbH für den Bau der Spritzhülle zur Aufnahme der Schaumeintragungstechnik und der Spritzglocke (Schottertemperiersystem)
- Hennecke GmbH für die Konstruktion und Herstellung des Schaumeintragungssystems
- imb-dynamik für die Konzeption der Messtechnik, Durchführung der Messungen und Auswertung der Messergebnisse

II. Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse und der Verwendung der Zuwendung

1. Erzielte Ergebnisse

1.1 Spezifikation der Systemtechnik und Einbaukonzept

Das technische Konzept

Bei dem Gleisoberbausystem DURFLEX® werden die Hohlräume zwischen den Schottersteinen innerhalb der Lasteintragungsbereiche unter der Schwelle vollständig mit Polyurethan-Schaum (PUR) ausgefüllt. Der Gemischeintrag zwischen die Schottersteine erfolgt in flüssiger Form. Anschließend reagiert die Flüssigkeit zu einem elastischen Schaum, der sich um ein Vielfaches ausdehnt und damit die Hohlräume dauerhaft elastisch ausfüllt. Zusätzlich wird der Schotterkörper mit einer Drainagematte aus Gummi unterlegt, die gleichzeitig als Dämm- und Trennelement wirkt. Um eine fehlerfreie Verbindung zwischen Schotter und Schaum herzustellen, ist der Einbau von gewaschenem Schotter (Tunnelnorm), der unproblematisch zu beziehen ist, erforderlich. Eine einwandfreie Reaktion des Schaums benötigt eine entsprechende konstante Temperatur und Feuchtigkeit, die mittels Vortemperierung / Konditionierung des Schotters hergestellt wird.

Auf dieser Ausgangslage wurde das Konzept für den Einbau entwickelt und mit den Beteiligten abgestimmt. Das Konzept für den im Rahmen des Vorhabens zu entwickelnden Prototyp des Einbauzuges umfasste folgende FuE-Komponenten:

- Die Dosiermaschine mit einem speziell für das Verfahren zu entwickelndem Spritzkopf zur Schaumeintragung
- Die Heizhaube mit Wärmeaggregat zur Vortemperierung / Konditionierung des Schotters

Darüber hinaus war ein Konzept für die Lagerung und Zuführung des Polyurethans zur Dosiermaschine, eine Versorgung des Wärmeaggregats mit Gas sowie ein entsprechendes Stromaggregat zur Versorgung der Maschinen im Einbauzug unterzubringen.

Spezifikation und Bau der Komponenten

Aus den gewonnenen Erkenntnissen zahlreicher Versuchsreihen (im Rahmen der Entwicklung des spezifisch an die Anforderungen angepassten Schaums (Bayflex®-Weichschaum auf PUR-Basis)) wurde gemeinsam mit Bayer MaterialScience und Hennecke eine anwendungsspezifisch modifizierte Hochdruck-Dosiermaschine spezifiziert und im Rahmen des Vorhabens durch die Firma Hennecke im Unterauftrag erstellt.

Die Maschine wird direkt aus Großtanks mit den entsprechenden PUR-Komponenten versorgt. Zum Vermischen der PUR-Komponenten wurde ein Mischkopf mit Dreifachumlenkung gewählt. Die Dreifachumlenkung bewirkt eine optimale Vermischung der Rohstoffe vor dem Eintritt ins Schotterbett.

Eine Wintronic-Steuerung wurde anwendungsspezifisch erweitert bzw. angepasst. Die Steuerung stellt die Rezeptur für eine Online-Batch-Erstellung ein, das heißt, die Startzeit der Reaktion des flüssigen Bayflex® Ausgangsmaterials kann beeinflusst werden. Damit ist es möglich, verschiedene Gleisbetttypen auszuschäumen. Außerdem ist die Steuerung in der Lage, den Schaumaustrag schwellenbezogen zu verwalten und zu archivieren.

Die Maschine wurde in einen speziell dafür entwickelten und konstruierten „Container“ eingebaut, der unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Lichtraumprofils den Transport der Maschine auf einem Standard-Flachwagen im Einbauzug ermöglichte.



Abbildung 10: „Container“-Konstruktion zur Aufnahme der Hochdruck-Dosiermaschine



Abbildung 11: Spritzkopf und Wintronic-Steuerung der Dosiermaschine

Unter Berücksichtigung der Versuchsergebnisse (erforderliche Schottertemperatur und Feuchtigkeit für den PUR-Eintrag) und zur Gewährleistung einer optimalen Ausschäumung wurde ein Konzept für die Wärmebehandlung des Schotters zur Gewährleistung einer entsprechenden Vortemperierung entwickelt. Dies besteht aus einer Heizhaube mit zugehörigem Wärmeaggregat auf der Basis von Flüssiggas. Die Spezifikation, Konstruktion und Bau erfolgte in Zusammenarbeit mit der Firma MMB unter Berücksichtigung der Vorgaben.



Abbildung 12: Heizhaube zur Vortemperierung des Schotterbetts

Die Ansicht und Konfiguration aller Komponenten ist aus der nachfolgenden Abbildung ersichtlich.



Abbildung 13: Einbauszug bestehend aus Heizhaube, Verschäumungseinheit und Versorgungstanks

Spezifikation des Herstellungsprozesses

DURFLEX® basiert auf dem bewährten deutschen Regel-Gleisoberbau. Die Konzernrichtlinien der DB AG wurden hierbei strikt angewendet: gleicher Querschnitt, gleiche Schotterkörnung. Lediglich die Schotterqualität ist gem. BM TL 918061 (gewaschener Schotter, 22/63 Körnung) anzupassen, um die Adhäsion zwischen Schotterstein und Bayflex®-Schaum zu optimieren. Höhenadjustierbare Schwellen zur Stellbarkeit in den Stützpunkten greifen etwaigen leichten Gleissetzungen, zum Beispiel aus dem Erdplanum oder im Bereich der Unterlegplatten, voraus. Die Anordnung einer Drainagematte oder einer Unterschottermatte können das DURFLEX®-System auch als Element zur Schwingungsentkoppelung ergänzen. Die konventionell zu erstellende Schotterbettung ist nach der Ausführung der Stopfarbeiten und einer dynamischen Gleisstabilisierung (DGS) abzunehmen. Nach erfolgter Abnahme und vor Inbetriebnahme erfolgt die Durflexisierung des Gleisbettes mittels eines flüssigen Polyurethaneintrags, der das Schotterbett dauerhaft und flexibel gegen Kornumlagerungen konserviert.

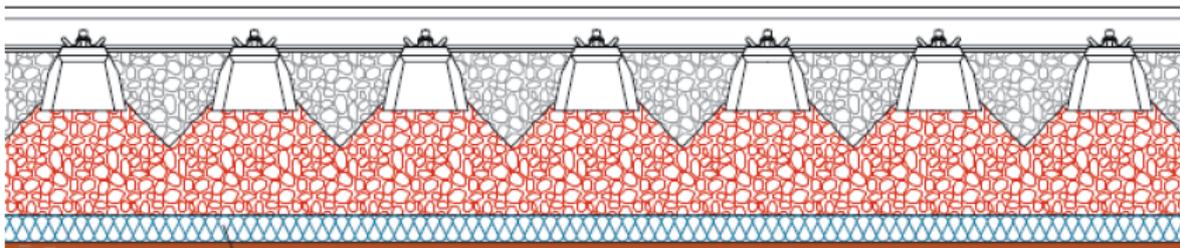


Abbildung 14: Längsschnitt durch das Fahrbahnsystem DURFLEX® mit Unterschottermatte

Der Bayflex®-Schaum ist nach der sogenannten Konditionierung des Schotters hinsichtlich Temperatur und Feuchtigkeit über eine elektronisch gesteuerte und auf einem Waggon montierte PU-Anlage des Maschinenbauers Hennecke in den Schotter einzubringen. Die Flüssigkeit fließt bis zum Grund des Schotters in definierter Zeit. Dort beginnt die Reaktion und lässt den Schaum den gesamten Schotterkörper im Lastabtragsbereich ausfüllen. Am Kennziffernbild des Schotterbettes ändert diese Technologie damit nichts, so dass die Er- und Herrichtung des Schotterbettes der gleiche bekannte Vorgang ist. Die Migration bisheriger Gleisbautechnik konnte damit sichergestellt werden

Der Bayflex®-Schaum füllt bei diesem Vorgang lediglich die in der verdichteten Schotterbettung durch Kornform und Sieblinie bedingt verbleibenden Hohlräume zwischen den Schottersteinen bis auf das Niveau von 10 cm unterhalb der Schwellenoberkante im Lastabtragungsbereich. Ein Gebilde mit unendlich vielen „Porenstoßdämpfern“ entsteht. Eingebrachte Energie kann somit dauerhaft absorbiert werden und elastisch auf Druck oder Lasteinträge durch Zugverkehre reagieren.

DURFLEX® bewirkt, dass die zunächst lose, durch Schüttung und anschließende Verdichtung (Stopfung und dynamische Gleisstabilisierung) bedingte Packlage der Schottersteine als Einzelstücke oder Einzelelemente bei unverändert bleibender Lage zueinander durch den PUR-Schaum nunmehr einen elastischen und lockeren, nicht mehr lageveränderlichen Verbund ergibt. Eine formelastische Lage im Blockverbund zwischen Bettung und Schwellen entsteht.

Lediglich UV-Strahlung, die jedoch durch die vorhandene Oberschotterdeckschicht nicht in den verschäumten Bereich vordringen kann und starke Säuren könnten am Bayflex® die Elastizität verändern; Standardöle und wässrige Lösungen (Leckagen aus dem Bahnbetrieb) jedoch nicht. Mikroorganismen können zwar insbesondere im Oberflächenbereich wirksam werden, innerhalb von 50 Jahren sind aber keine wesentlichen Änderungen am Bayflex®-Schaum zu erwarten, nicht zuletzt durch das zusätzlich schützende große Volumen, das zu durchdringen wäre (von außen nach innen). Wasser hat, auch bei unterschiedlichen Temperaturbedingungen, keine negativen Auswirkungen auf das DURFLEX®: die Wasseraufnahme in Beregnungsversuchen liegt bei wenigen Gewichtsprozenten, das Wassereindringen in den Schaum (beim Einsetzen eines Schaumblocks ins Wasserbad) endet erfahrungsgemäß nach ca. 3 cm. Sollte Oberflächenwasser gefrieren, stellt es keine Gefährdung für das Gleis dar, da es sich frei, ohne Krafteinwirkung auf das Gleis, nach oben ausdehnen kann. Das seitens der DB AG vor Ersteinbau geforderte Gutachten zu Frost- und Tauwechselverhalten des Bayflex®-Schaums im Schotter/Schaumverbund der Materialprüfungsanstalt untermauern diese Beobachtungen.

Um Setzungen des Schottergleiskörpers zu vermeiden, ist auf einen nach den Regeln der Erdbaurichtlinie RiL 836 hergestellten Unterbau zu achten.

Ableitung des Konzeptes für den Einbau auf der Demonstrationstrecke

Um einen reibungslosen Ablauf der Arbeiten im Hauptgleis Hamburg-Hannover zu gewährleisten, wurden im April 2007 in einem Testbetrieb auf einem besonders hergerichteten Gleisstück in Bonn - Beuel im Vorfeld die für den Herstellungsprozess vorgesehenen Arbeitsschritte getestet und bzgl. Funktionsfähigkeit (sowohl im logistischen Ablauf als auch in der Produktherstellung) überprüft und bewertet.

Dazu gehörten:

- die Zuverlässigkeit der Verschäumungsanlage
- die Festlegung der Eintragungspunkte für die flüssigen Polyurethanrohstoffe
- die Leistungsfähigkeit der Wärme- und Trockenhaube
- die Schaumausbreitungsqualität unter der Schwelle durch Einbau einer Glasschwelle
- der Nachweis der Paketverfestigung unter der Schwelle (Nachweis über Herausreißversuche mit einem Bagger)
- Messungen des seitlichen Querverschiebewiderstandes der Schwellen

Auf Basis dieser Vorversuche in Bonn – Beuel konnten die einzelnen Komponenten unter Berücksichtigung der Arbeitsabläufe von der Vorkonditionierung des Schotters bis zur Eintragung des Polyurethans nochmals optimiert werden. Die im Rahmen der Versuche erzielte „Arbeitsgeschwindigkeit“ für die Einbringung in der Größenordnung von ca. 15 m pro Stunde wurde seitens der Beteiligten für Demonstrationszwecke für ausreichend bewertet, so dass das Konzept für einen logistisch reibungslosen Ablauf der Arbeiten auf der Teststrecke Hamburg-Hannover mit der DB Netz AG abgestimmt und festgelegt werden konnte.

Die Durchführung der Oberbausanierung an der Teststrecke bei Uelzen umfasste folgende aufeinander folgende Arbeitsschritte:

- das alte Gleis ausbauen
 - die alte Bettung sowie den Unterbau ausbauen
 - den neuen Unterbau einbauen
 - die neuen Drainagematten einbauen
 - den neuen Unterschotter einbauen
 - das neue Gleis einbauen und stopfen
 - Abnahme des Gleises
 - Auskehren der oberen Schotterschicht (10 cm)
 - Eintrag des flüssigen Polyurethans gemäß Spezifikation
 - Einbringen der oberen Schotterschicht.
-

Für den Einbau des Polyurethans wurde ein Arbeitszugkonzept entwickelt, das eine Verladung des benötigten Materials und der Geräte auf Bahnwagen vorsieht, um ein kontinuierliches Arbeiten zu ermöglichen. Der Arbeitszug wird von einem sogenannten Zwei-Wegebagger angetrieben. Für das Ausschäumen der Schwelle wurden im Rahmen der Vorversuche und des Piloteinbaus in Bonn die erforderlichen Injektionsstellen für eine homogene Verschäumung des Schotters ermittelt. Insgesamt werden im Bereich der Schwelle 16 Injektionsstellen benötigt. Zur Fixierung der Injektionsstellen wurden eine spezielle Schablone und eine Reihenfolge für die Bedienung der Injektionsstellen ermittelt und festgelegt. Der Injektionskopf wurde von zwei hierfür eingewiesenen Facharbeitern bedient. In dem Steuerprogramm der Mischanlage wurde für jede einzelne Injektionsstelle die benötigte Menge bzw. somit die Injektionszeit gespeichert.

Für die Ausschäumung einer Schwelle wurde eine „Injektionszeit“ von etwa 3 Minuten benötigt – daraus resultiert ein Zeitbedarf von ca. 5 Minuten pro Gleismeter, bzw. eine Leistung von ca. 12 Gleis Metern pro Stunde. Für die Einbringung des Polyurethans in den Versuchsabschnitt mit einer Länge von 300 m wurde in Zusammenarbeit mit DB Netz, basierend auf einer durchschnittlichen Leistung von etwa 10m/Std., ein Zeitraum von 2 Tagen für die Verschäumung innerhalb der Gesamtbaumaßnahme der Oberbausanierung auf der Strecke Hamburg-Hannover im Bereich Bad Bevensen-Uelzen eingeplant und abgestimmt. Dabei wurde die Versuchsstrecke in zwei Abschnitte unterteilt:

- Oberbau DURFLEX® mit Dränmatte (DURFLEX®-Drän)
- Oberbau DURFLEX® mit Unterschottermatte (DURFLEX®-USM)

Darüber hinaus wurde in Abstimmung mit der DB Netz AG ein Referenzabschnitt mit normalem/ konventionellem Schotteroberbau festgelegt, der ebenfalls mit entsprechender Messtechnik auszurüsten war.

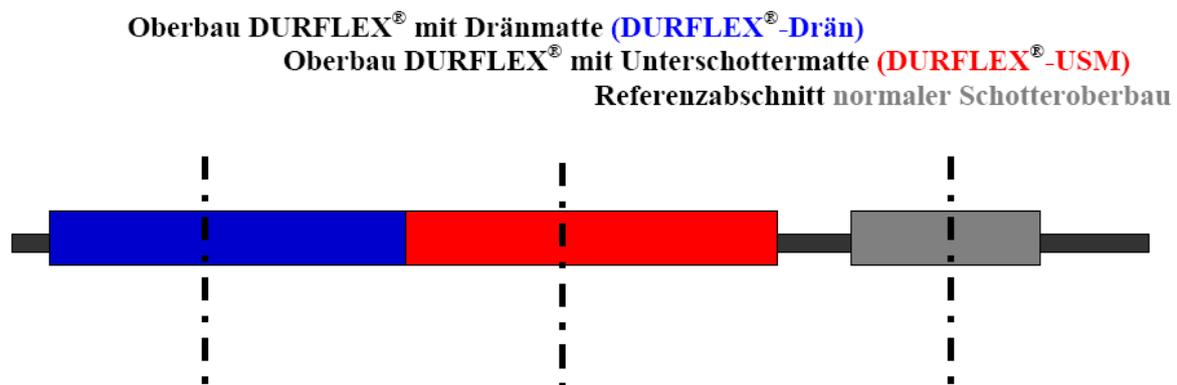


Abbildung 15: Messquerschnitte zum Vergleich

Durchführung des Einbaus im vorgesehenen Demonstrationsfeld bei Uelzen

In Abstimmung mit den Planungen der DB Netz AG für die Erneuerung des Oberbaus auf der Strecke Hamburg – Hannover im Abschnitt Bad Bevensen-Uelzen im Zeitraum vom 31.05. bis 18.06.2007 erfolgte auch die Herstellung des vorgesehenen Demonstrationsfeldes (Länge 300 m). Neben der Ausrüstung mit einer zusätzlichen Unterschottermatte bzw. Dränmatte (siehe Abbildung), der entsprechenden Messtechnik sowie dem Einbau gewaschenen Schotters im Versuchsabschnitt wurde die Versuchsstrecke nach vorheriger Abnahme des hergestellten Schotteroberbaus planmäßig verschäumt. Die Verschäumung begann am 13.06.2007 und konnte am 14.06.2007 erfolgreich abgeschlossen werden.



Abbildung 16: Einbringungsverfahren für zusätzliche Drän- bzw. Unterschottermatte

Die Einbringung der Verschäumung wurde dabei unter Aufsicht von Experten der beteiligten Partner (Firma Hennecke und Bayer AG) und von FRENZEL-BAU durchgeführt. Die DB Netz AG war durch entsprechende Oberbauexperten als „kritischer“ Beobachter vertreten.



Abbildung 17: Einbringung des Schaums („Durflexisierung“)



Abbildung 19: direkt angrenzende Wohnraumbauung

Die Gesamtlänge des Prüfgleises beträgt 354 m, teilweise in überbauter, teils offener oder in Halle befindlicher Lage. Die Gleise haben Kurvenradien von $R = 60$ m bzw. 70 m bei einer Überhöhung von max. 100 mm. Starke Verwitterung und hohe Einträge an Laub und Geäst aus benachbarten Bäumen und Sträuchern erschweren Gleisunterhaltungsarbeiten. Ein hoher Eintrag von Fetten durch automatische Fahrkanten-Schmierung und hohe Belastungen des Gleiskörpers durch Anfahr- und Bremsproben sowie Seitenbeschleunigung der Prüfzüge qualifizierten das Prüfgleis für die Erprobung ebenso wie die Anwohnerbeschwerden über Lärm- und Körperschall sowie Vibrationen in den Wohnräumen.

Die Messreihen sind bisher noch nicht abgeschlossen. Erste Ergebnisse lassen Deckungsgleichheit erwarten.

1.2 Auswertung der Uelzener Messergebnisse und Bewertung der Systemeigenschaften

Zielsetzungen der Messungen und Aufbau der Messtechnik

Die im Rahmen der Demonstration durchgeführten Messungen sollten vorrangig folgenden Zielsetzungen dienen:

- Umfassende Untersuchungen der Eigenschaften des DURFLEX®-Oberbaus
- Zahlenmäßiger Nachweis der konkret erreichten Verbesserungen im Vergleich zum konventionellen Schotteroberbau
- Aufzeigen von weiteren Entwicklungspotenzial zur Optimierung des bestehenden Systemkonzepts

Dabei sollten im Detail folgende vom DURFLEX®-Oberbau erwarteten Eigenschaften untersucht und bewertet werden:

- Vergrößerung des Querverschiebewiderstandes
- Vergrößerung des Lastausbreitungswinkels im gestopften Schotter
- Reduktion der statischen und dynamischen Unterbau- und Untergrundbeanspruchung
- Verhinderung der Kornumlagerung im Schotter und damit der Schotterabnutzung
- Verhinderung der Feinstaubentstehung
- Reduktion der Erschütterungsemission in Verbindung mit einer USM, welche hier bei freier Schotterschulter verlegt werden kann
- Reduktion der Luftschallemission

Die Vergrößerung des Querverschiebewiderstandes konnte bereits im Prüfstand überzeugend nachgewiesen werden. Die weiteren Punkte waren im Rahmen eines Feldversuches messtechnisch nachzuweisen.

Auf Basis dieses Anforderungsprofils wurden in Abstimmung mit Experten der DB Netz AG und des mit den Messungen beauftragten Ingenieurbüros imb-dynamik das Messkonzept und der entsprechende Aufbau der Messtechnik sowie Festlegung der Messpunkte im Versuchsabschnitt abgeleitet und definiert. Die folgenden Abbildungen ergeben eine Übersicht über die Messpunkte im Gleis sowie der Geber im Unterbau.

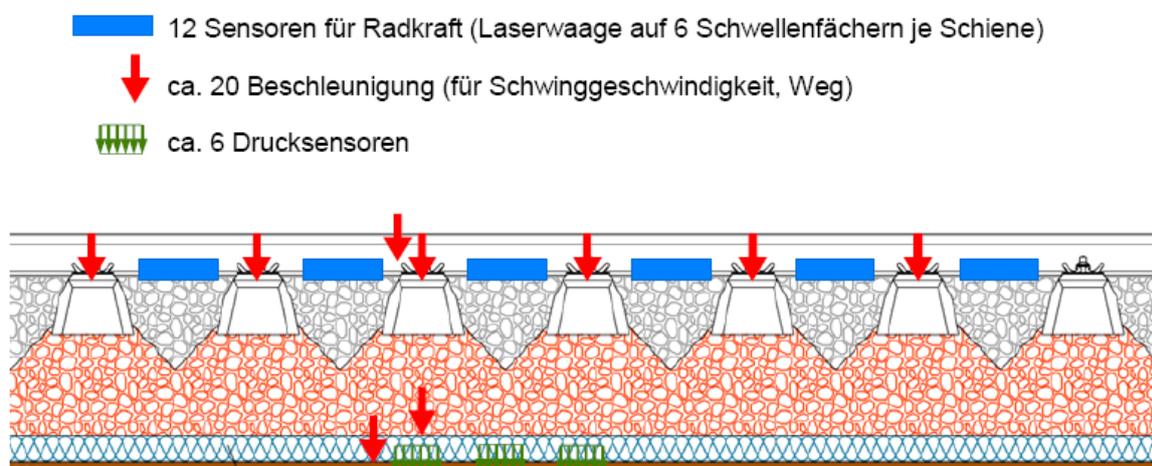


Abbildung 20: Aufbau und Verteilung der Messtechnik im Längsschnitt

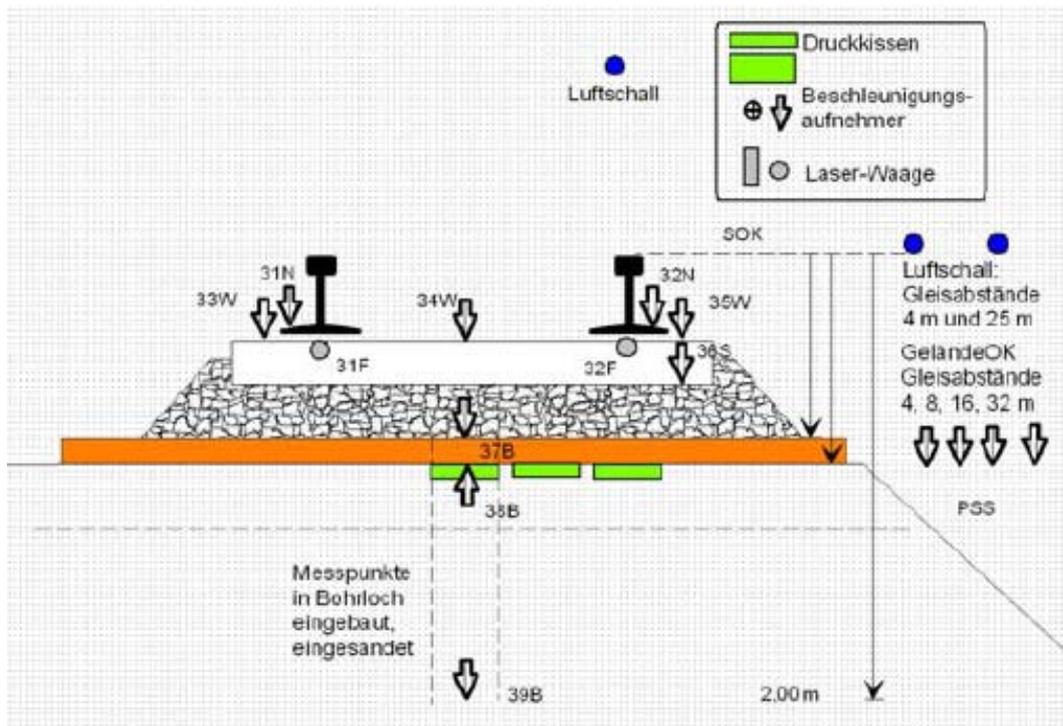


Abbildung 21: Aufbau und Verteilung der Messtechnik im Querschnitt

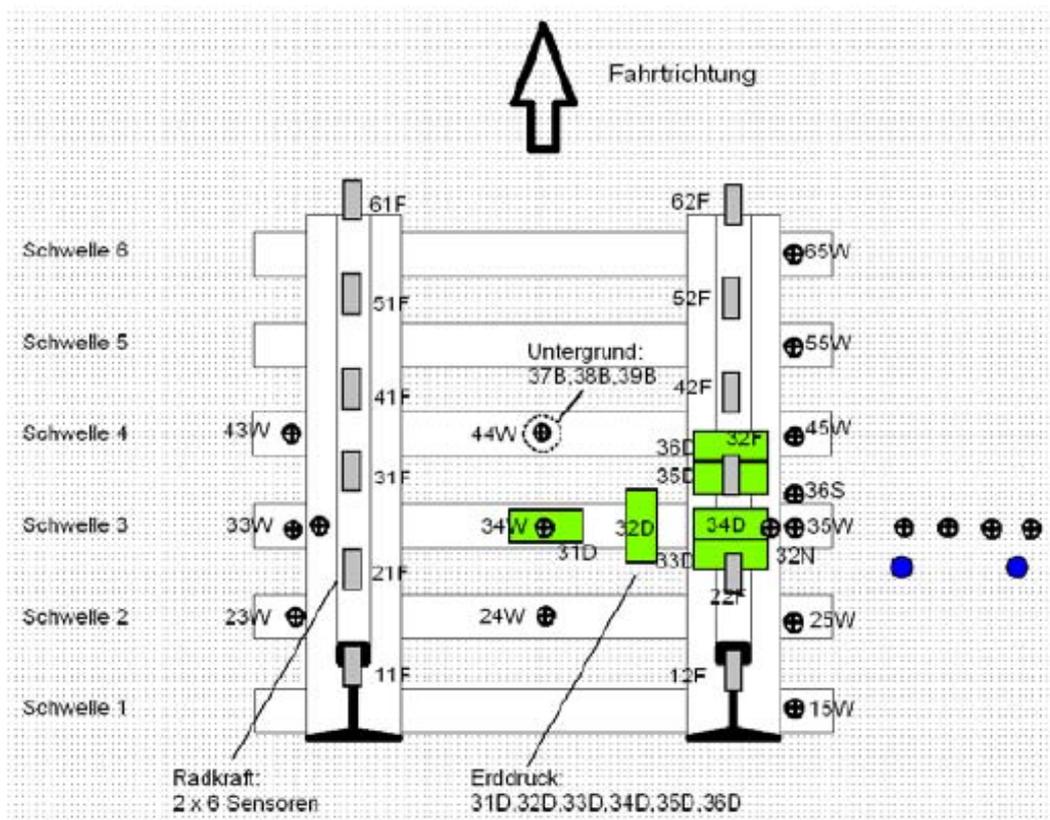


Abbildung 22: Aufbau und Verteilung der Messtechnik in der Draufsicht

Im Einzelnen wurden mit diesen Anordnungen der Messtechnik die Schwingungsgrößen (Beschleunigungen, Schnellen, Wege) der Fahrwegkomponenten, die Druckverteilung im Schotter, die Erschütterungsemissionen und die Luftschallemissionen messtechnisch erfasst.

Für den Einbau der Messtechnik wurden in Zusammenhang mit der Erneuerung und Verschäumung des Oberbaus im Vorfeld mit den Beteiligten ein Konzept und ein entsprechender zeitlicher Ablaufplan erarbeitet. Die wesentlichen, technischen Merkmale des Einbaukonzepts sind im Folgenden kurz beschrieben.

Beschleunigungssensoren Oberbau

Die Beschleunigungssensoren am Oberbau wurden auf Aluminiumplättchen geschraubt, welche mit einem hochgradig unelastischen 2-Komponenten-Kleber an der Schiene bzw. Schwelle befestigt wurden.

Beschleunigungssensoren Gelände

Die Beschleunigungssensoren wurden auf Aluminiumplättchen geschraubt, welche mit einem hochgradig unelastischen 2-Komponenten-Kleber auf sog. Erdspeießen befestigt wurden. Die Erdspeießen wurden per Hammerschlag in den Boden eingebracht (fester Sitz).

Beschleunigungssensoren Untergrund

Die Beschleunigungssensoren im Untergrund wurden vor dem Einbau, zum Schutz vor mechanischen sowie Umwelt- und sonstigen Einflüssen, in speziell hierfür entwickelte Gehäuse eingebaut. Die Kabelzuführung erfolgt mittels sogenannter Panzerschläuche, die für einen mechanischen Schutz des Signalkabels sorgen. Für den Einbau der Sensoren waren Vertikalbohrungen notwendig. Diese wurden auf der freigeräumten Planumsschutzschicht (PSS) ausgeführt, in Gleisachse unter Schwellenachse. Je Messquerschnitt wurde eine Bohrung bis zur Einbautiefe des untersten Sensors vorangetrieben. In das Bohrloch wurden dann die Sensoren eingebracht und mittels Quarzsand überdeckt bzw. die Bohrlöcher verfüllt.

Einbautermine:

Erddruckgeber

Die Erddruckgeber/-kissen wurden auf der freigeräumten PSS ausgelegt. Hierbei wurde die oberste (harte, mit Steinen durchsetzte) Schicht der PSS abgetragen, Tiefe „wenige cm“. Anschließend wurden die Geber in ein Sandbett gesetzt, mit einer dünnen Decklage Sand überschüttet, verdichtet und die Oberfläche plan auf das ursprüngliche Niveau OK PSS abgezogen. Die Erddruckgeber wurden zeitgleich mit den Beschleunigungs-Untergrundsensoren eingebaut.

Durchführung der Messungen

Für die Durchführung der Messungen wurde in Abstimmung mit der DB Netz AG unter Einbeziehung des mit derartigen Messungen spezialisierten Ingenieurbüros imb-dynamik im Vorfeld ein geeignetes Messprogramm spezifiziert und die zeitliche Durchführung der Messreihen in Abhängigkeit von der jeweils erreichten Streckenbelastung festgelegt. Diese Spezifikation bzw. Festlegung beinhaltete insgesamt drei Messreihen:

- Eine Basismessung unmittelbar nach Inbetriebnahme der Strecke zur Erfassung des Ausgangszustandes
- Eine zweite Messreihe im Juni 2007 nach Erreichung von etwa 15 Mio. Lasttonnen für eine erste Bewertung der Eigenschaften
- Eine zweite Messreihe im Mai 2008 nach der Erreichung von mehr als 45 Mio. Lasttonnen. Dabei wurde auf Basis der Ergebnisse und Erfahrungen aus der zweiten Messreihe mit den beteiligten Experten nochmals eine Feinspezifikation zur Validierung der bisherigen Ergebnisse vor der Durchführung erarbeitet.
- Generell sollte im Rahmen der Messungen die Auswirkungen auf die Schallemissionen (Luft- und Körperschall) sowie die Lagestabilität im Vergleich zum Referenzabschnitt (konventioneller Schotteroberbau) nachgewiesen und bewertet werden.

| Streckenkilometer | Messstelle | Variante |
|-------------------|------------|--|
| km 101,070 | R | Referenzabschnitt der zweiten Messreihe Schwelle B70, Zw700 (elastisch), normale Schotterbettung Gegengleis: Schwelle B70, Zw900 (elastisch) |
| km 101,190 | A | DURFLEX® ohne USM Schwelle B320 RST 60, ausgeschäumte Schotterbettung auf 40cm PSS (KG 2), geotextile Dränmatte auf Erdplanum |
| km 101,320 | B | DURFLEX® mit USM Schwelle B320 RST 60, ausgeschäumte Schotterbettung auf DURFLEX®-USM aus Gummigranulat und 40cm PSS (KG 2) |
| km 101,501 | R | Referenzabschnitt der ersten Messreihe Schwelle B320 RST 60, normale Schotterbettung, 35cm PSS (KG 2), geotextile Dränmatte auf Erdplanum |

Tabelle 1: Lage und Beschreibung Messquerschnitte

Gemessen wurden fahrplanmäßige ICE-, IC- sowie Regional- und Güterzüge. Ein spezieller Versuchszug wurde nicht eingesetzt. Die erste Messreihe wurde von Montag, den 25.06.2007 bis Freitag, den 29.06.2007 und die zweite Messreihe wurde von Montag, den 05.05.2008 bis Freitag, den 09.05.2008 durchgeführt.

An der Referenzmessstelle R wurde auch das Gegengleis messtechnisch untersucht. Anhand der Messergebnisse Schiene/Schwelle sollen Rückschlüsse auf die unterschiedlichen Steifigkeiten der Zwischenlagen (ZW) geschlossen werden. Das Gegengleis war durchgehend mit elastischen Zw900 ausgestattet.

1.2.2 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den ersten Messreihe im Juni 2007

DURFLEX® ohne Unterschottermatte mit geotextiler Dränmatte (DURFLEX®-Drän)

Die Messung der Einsenkungen beim Oberbau in der Ausführung DURFLEX®-Drän am Beispiel ICE-Mittelwagen weist eine Einsenkung der Schwellen von ca. 0,8 bis 1,0 mm auf. Die gemessenen Werte zeigen insgesamt eine nur sehr geringe Streuung (Streubereich von nur 0,2 mm) und damit außerordentlich gute Gleislage auf. D.h. das Gleis war damit in sehr gutem Zustand durch die Verschäumung quasi „eingefroren / konserviert“ – siehe Werte in nachfolgender Tabelle.

| Schwellennr. | links | Mitte | rechts |
|--------------|-------|-------|--------|
| 6 | | | 0,85 |
| 5 | | | 0,99 |
| 4 | 1,03 | 0,98 | 1,02 |
| 3 | 0,74 | 0,88 | 0,98 |
| 2 | 0,83 | 0,71 | 0,98 |
| 1 | | | 0,77 |

| | links | Mitte | rechts | Damm |
|---------------|-------|-------|--------|------|
| Schiene | 0,76 | | 0,95 | |
| Schwelle | 0,74 | 0,88 | 0,98 | |
| Schotterstein | | | 0,68 | 0,03 |
| UK PSS | | 0,38 | | |
| uSOK-2.0m | | 0,25 | | |

Tabelle 2: Einsenkungen [mm] unter ICE-Mittelwagen (Messergebnisse, 1 Messreihe)

Vergleichbar positive Ergebnisse konnten bezüglich des Schotterdrucks im Planum (entspricht dem Erddruck) erzielt werden. Die gemessene Schotterdruckverteilung ist erheblich gleichmäßiger als bei konventionellem Schotteroberbau (siehe nachfolgende Abbildung). Die gemessenen Setzungen waren bisher fast „null“. Aufgrund der Messergebnisse sind damit auch langfristig erheblich verringerte Setzungen im Vergleich zum konventionellen Schotteroberbau zu erwarten.

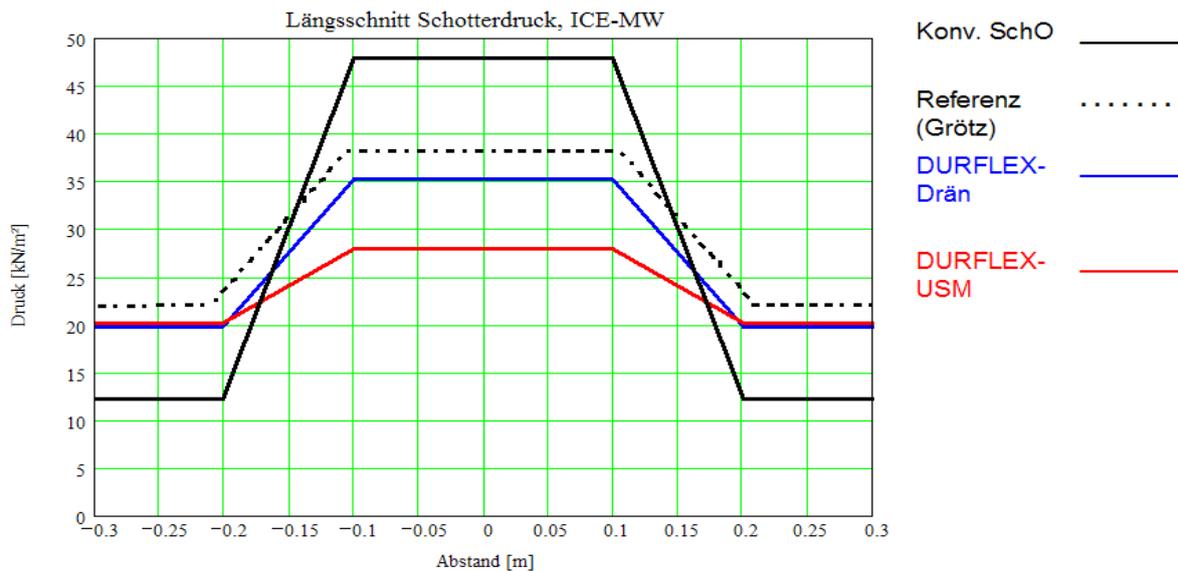


Abbildung 23: Längsschnitt Schotterdruck, ICE-MW 1. Messreihe

DURFLEX® mit Unterschottermatte aus Gummigranulat (DURFLEX®-USM)

Auch die Messung der Einsenkungen DURFLEX®-USM weisen mit einer Einsenkung der Schwellen im Bereich von 1,2 – 1,5 mm sehr gute Werte auf – der auch hier insgesamt sehr geringe Streubereich von 0,3 mm ist unter Berücksichtigung einer ersten Realisierung des neuen Oberbauverfahrens ohne Nutzung noch bestehender Optimierungspotentiale in der technischen Auslegung als ein hervorragendes Ergebnis zu werten und lässt ebenfalls eine langfristig stabile sehr gute Gleislage im „eingefrorenen“ Zustand erwarten. Die Ergebnisse der Messungen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

| Schwellennr. | links | Mitte | rechts |
|--------------|-------|-------|--------|
| 6 | | | 1,09 |
| 5 | | | 1,20 |
| 4 | 1,09 | 1,16 | 1,38 |
| 3 | 1,18 | 1,34 | 1,42 |
| 2 | 1,44 | 1,30 | 1,46 |
| 1 | | | 1,23 |

| | links | Mitte | rechts | Damm |
|---------------|-------|-------|--------|------|
| Schiene | 1,26 | | 1,49 | |
| Schwelle | 1,18 | 1,34 | 1,42 | |
| Schotterstein | | | 0,99 | 0,03 |
| OK USM | | 0,86 | | |
| UK USM | | 0,35 | | |
| uSOK-2.0m | | 0,20 | | |

Tabelle 3: Einsenkungen [mm] unter ICE-Mittelwagen (Messergebnisse, 2. Messreihe)

Noch positivere Ergebnisse konnten mit der Ausführung DURFLEX®-USM bezüglich des Schotterdrucks im Planum nachgewiesen werden. Die gemessene Schotterdruckverteilung ist nicht nur erheblich gleichmäßiger als bei konventionellem Schotteroberbau sondern weist gegenüber DURFLEX®-Drän noch einen erheblichen Vorteil auf (siehe nachfolgende Abbildung). Auch hier waren die gemessenen Setzungen nahezu „null“, sodass aufgrund der Messergebnisse auch langfristig erheblich verringerte Setzungen im Vergleich zum konventionellen Schotteroberbau zu erwarten sind.

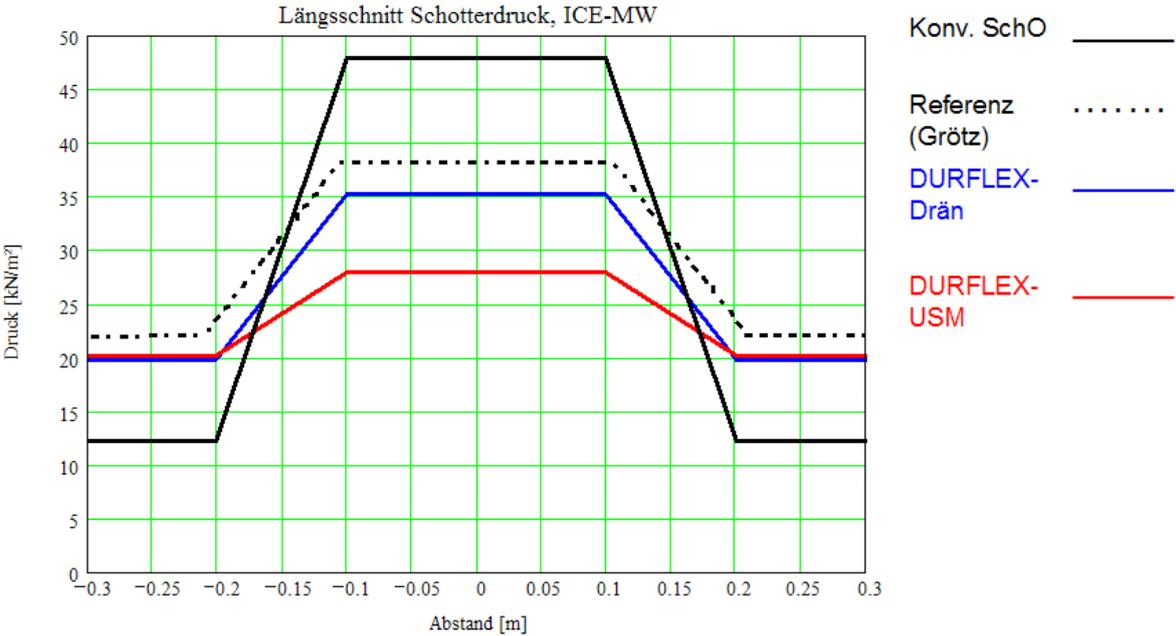


Abbildung 24: Längsschnitt Schotterdruck, ICE-MW 2. Messreihe

Konventioneller Schotteroberbau (Referenzabschnitt)

Die für den Referenzabschnitt gemessenen Einsenkungen weisen im Bereich gut liegender Schwellen einen Wert von ca. 0,7 mm auf. Darin spiegelt sich der vergleichsweise „harte“ Oberbau wider. Zudem konnte beobachtet werden, dass die Messschwelle reitet. Die Gleislage wird sich mit zunehmender Beanspruchung verschlechtern und Hohllagen werden erfahrungsgemäß zunehmen. Eine Gegenüberstellung der Messwerte für den konventionellen Oberbau im Vergleich zu den DURFLEX®-Ausführungen ist aus der nachfolgenden Tabelle ersichtlich.

| Fahrwegkomponente | DURFLEX-Drän | DURFLEX-USM | Referenz |
|----------------------------|--------------|-------------|-------------|
| Schiene | 0,90 mm | 1,37 mm | 0,86 mm |
| Schwelle | 0,86 mm | 1,30 mm | 0,82 mm |
| Schotter, Schwellen UK | 0,68 mm | 0,99 mm | |
| Untergrund, OK USM | | 0,86 mm | |
| Untergrund, UK PSS, UK USM | 0,38 mm | 0,35 mm | |
| Untergrund, -2m | 0,25 mm | 0,2 mm | |
| Zw-Zusammendrückung | ca. 0,05 mm | ca. 0,05 mm | ca. 0,05 mm |
| USM- Zusammendrückung | - | ca. 0,5 mm | - |

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Messergebnisse für Einsenkungen

Durch die mit der Verschäumung des Schotterbettes erzielte Fixierung wird die Pressung des Schotterbettes gegenüber dem konventionellen Oberbau in erheblichem Maß vergleichmäßigt – dies im Sinn einer Homogenisierung des Schotterdruckes. Dies führt zu einer maßgeblich verringerten Beanspruchung von Schotter sowie Untergrund und damit in der Folge zu stark reduzierten bzw. quasi nicht vorhandenen Setzungen. Eine Entwicklung von sehr problematischen Hohllagen wird damit de facto unterbunden.

Infolge der bleibenden Verzahnung wirkt das Schotterbett als Schubballen mit entsprechenden positiven Auswirkungen auf die Lagestabilität. Die Schwingungen des Planums und des Unterbaus werden insbesondere bei DURFLEX®-USM in erheblichem Maß verringert – diese Reduzierung beträgt ca. 40 % gegenüber einem Schotteroberbau im Neuzustand.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Gleislage des konventionellen Schotteroberbaus im Lauf der Zeit durch Schotterabrieb und Setzungen erfahrungsgemäß verschlechtern und damit die Erschütterungsemission zunehmen wird. Damit wird sich der Vorsprung von DURFLEX®-USM diesbezüglich im Laufe der Zeit weiter erhöhen.

Der Vorteil, dass bei DURFLEX® praktisch keine Setzungen zu beobachten waren, kann insbesondere bei setzungsempfindlichen Bodenverhältnissen auch zu erheblichen wirtschaftlichen Vorteilen führen, da damit die Eingriffstiefe von Verbesserungsmaßnahmen – z.B. bei Tiefenverdichtung oder anderer Bodenverbesserung – merklich reduziert werden kann.

Aus Umweltgesichtspunkten wird der Feinstaubbelastung eine zunehmende Bedeutung eingeräumt. Diesbezüglich ist darauf hinzuweisen, dass durch die Verschäumung die Feinstaubentstehung durch Schotterabrieb (sogenannte weiße Stellen im konventionellen Schotteroberbau) weitestgehend unterbunden wird. Ein Aspekt, der in besiedelten Umfeldern langfristig nicht vernachlässigt werden sollte.

Die Ergebnisse der Luftschallmessungen für die verschiedenen Abschnitte und Zugattungen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Dabei zeigt sich, dass im Rahmen der ersten Messreihe zwar merkliche aber nur begrenzte Wirkungen auf ICE- und Regionalzüge in der Größenordnung von 1,5 bis 2 dB nachgewiesen werden konnten. Für Güterzüge konnten praktisch keine Effekte nachgewiesen werden. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass bei Güterzügen die Schallemission weitgehend vom Zug selbst und der Abstrahlung der Räder aufgrund der erfahrungsgemäß hohen Radrauhigkeit beeinflusst wird. Darüber hinaus wurde im Rahmen einer nochmaligen Begehung vor Ort mit Experten festgestellt, dass der gewählte Referenzabschnitt unter Berücksichtigung auch des Einflusses des umgebenden Geländes bzgl. einer Vergleichbarkeit nicht optimal gewählt wurde. Insofern wurde entschieden, diesbezüglich im Rahmen der zweiten Messung eine im Sinne Vergleichbarkeit besser geeigneten Abschnitt zugrunde zu legen.

| | ICE | Regionalzug | Güterzug |
|---|----------------|--------------------|-----------------|
| DURFLEX USM | 89,6 dB | 92,0 dB | 98,2 dB |
| Referenz | 91,0 dB | 93,8 dB | 98,2 dB |
| Differenz Referenz – DURFLEX USM | 1,4 dB | 1,8 dB | 0 dB |

Tabelle 5: Ergebnisse der Luftschallmessungen

Zusammenfassung der Ergebnisse der zweiten Messreihe und Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der ersten Messreihe

Im Wesentlichen wurden die Ergebnisse und Erkenntnisse aus der ersten Messreihe durch die in der zweiten Messreihe beobachteten Werte für Einsenkung und Schotterdruck bestätigt. In den nachfolgenden Tabellen sind die Ergebnisse für die Einsenkung und Schotterbeanspruchung (Schotterdruck) aus der ersten mit denen der zweiten Messreihe gegenübergestellt.

| <i>Einsenkungen [mm] bei Überfahrt ICE-Mittelwagen</i> | | | | | | |
|--|-----------------|------------|----------------|------------|------------|----------|
| Fahrwegkomponente | A, DURFLEX Drän | | B, DURFLEX USM | | Referenzen | |
| | Erstmessg | Zweitmessg | Erstmessg | Zweitmessg | R1 | R2 |
| Schiene | 0,90 | 1,10 | 1,37 | 1,47 | 0,86 | 0,95 |
| Schwelle | 0,86 | 1,05 | 1,30 | 1,42 | 0,82 | 0,60 |
| Schotter, Schwellen UK | 0,68 | 0,89 | 0,99 | 0,99 | 0,59 | - |
| Untergrund, OK USM | | - | 0,86 | 0,86 | - | - |
| Untergrund, UK PSS, UK USM | 0,38 | 0,42 | 0,35 | 0,32 | - | - |
| Untergrund, -2m | 0,25 | 0,26 | 0,20 | 0,20 | - | - |
| „Sohl“- Zusammendrückung | 0,18 | 0,16 | 0,31 | 0,43 | 0,23 | |
| Zw-Zusammendrückung | Ca. 0,05 | Ca. 0,05 | Ca. 0,05 | Ca. 0,05 | Ca. 0,05 | Ca. 0,35 |
| USM- Zusammendrückung | - | - | Ca. 0,5 | Ca. 0,5 | - | - |

Tabelle 6: Vergleich der Ergebnisse für Einsenkungen (1. und 2. Messreihe)

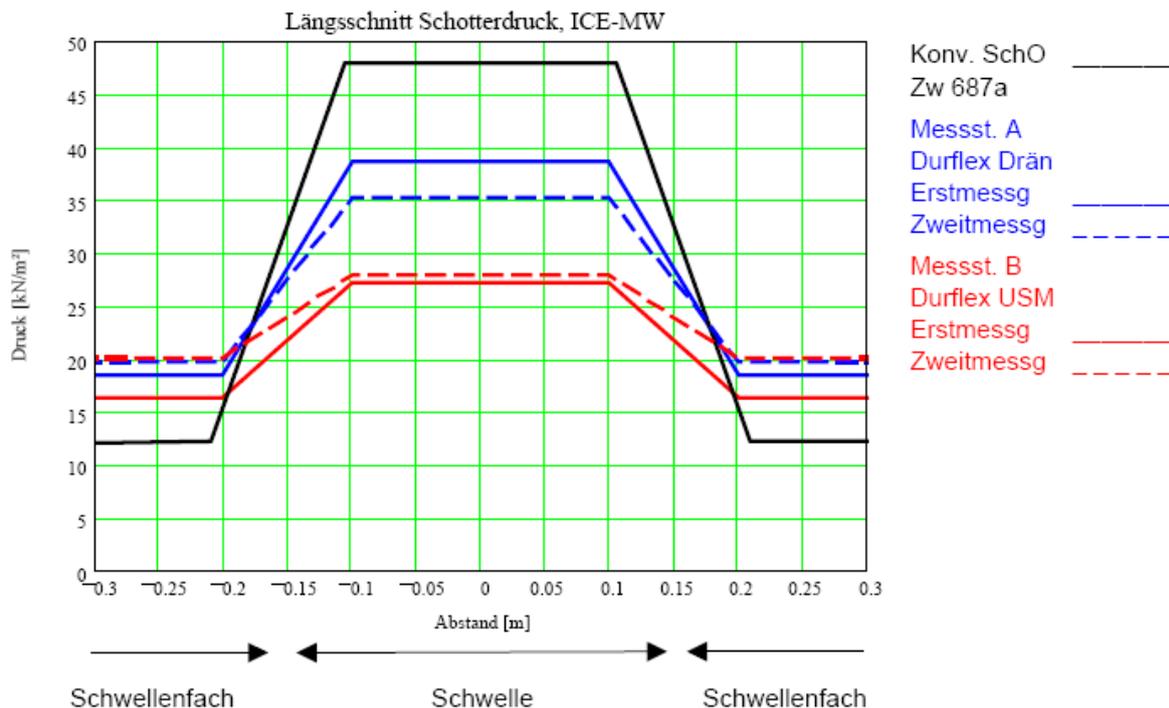


Abbildung 25: Längsschnitt Schotterdruck ICE-MW (Vergleich 1. und 2. Messreihe)

Tendenziell konnte eine leichte Zunahme der Einsenkungen von der Erst- zur Zweitmessung beobachtet werden. Bezüglich der Schotterdruckverteilung ergeben sich für beide Messungen nahezu identische Werte. Damit können mit der Zweitmessung die erwarteten positiven Eigenschaften weitestgehend bestätigt werden. Vor allem die Druckverteilung im Schotter wird bei DURFLEX® im Vergleich zum konventionellen Schienenoberbau stark egalisiert. Diese Wirkung ist auf zwei Effekte zurückzuführen:

- Lastverteilende Wirkung des verschäumten Schotters: „Nahfeldeffekt“ – sichtbar in der Differenz bzw. im Verhältnis der Werte unter der Schwelle und im Schwellenfach.
- Größere lastverteilende Wirkung der Schiene bei größerer Elastizität (siehe Einsenkungen): „Fernfeldeffekt“, sichtbar in der unterschiedlichen „Völligkeit“ der Druckverteilungen (die Summe über die dargestellte Länge über eine Schwelle und zwei halbe Schwellenfächer ist nicht konstant, sondern bei R (konventioneller Schienenoberbau) am größten und bei B am kleinsten).

Bezüglich des Erschütterungsschutzes – maßgeblich waren hier die Messpunkte im Fernfeld - zeigte sich insgesamt eine gute Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweitmessung, insbesondere im pegelbestimmenden Frequenzbereich von Bahnerschütterungen von 30 bis 100 Hertz. Die ansonsten unvermeidliche Resonanzverstärkung bei Einbau einer Unterschottermatte wird durch den DURFLEX®-Oberbau weitestgehend kompensiert (sehr günstige Auswirkung).

Die Auswirkungen des DURFLEX®-Oberbaus auf den abgestrahlten primären Luftschall wurden wegen der wesentlich besseren Vergleichbarkeit der Umfeldbedingungen (Geländeverhältnisse) bei der Auswahl des Referenzabschnittes für die Zweitmessung im Weiteren ausschließlich aus den Ergebnissen der Zweitmessung abgeleitet. Die Wirkung wurde spektral als Einfügungsdämmung und als Differenz der Summenpegel sowohl für das Nahfeld (Abstand 4 m) als auch für das Fernfeld (Abstand 25 m) ermittelt. Die Ergebnisse für den Luftschallpegel für beide Felder sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

Luftschallpegel [dB(A)], 4 m-Messpunkt

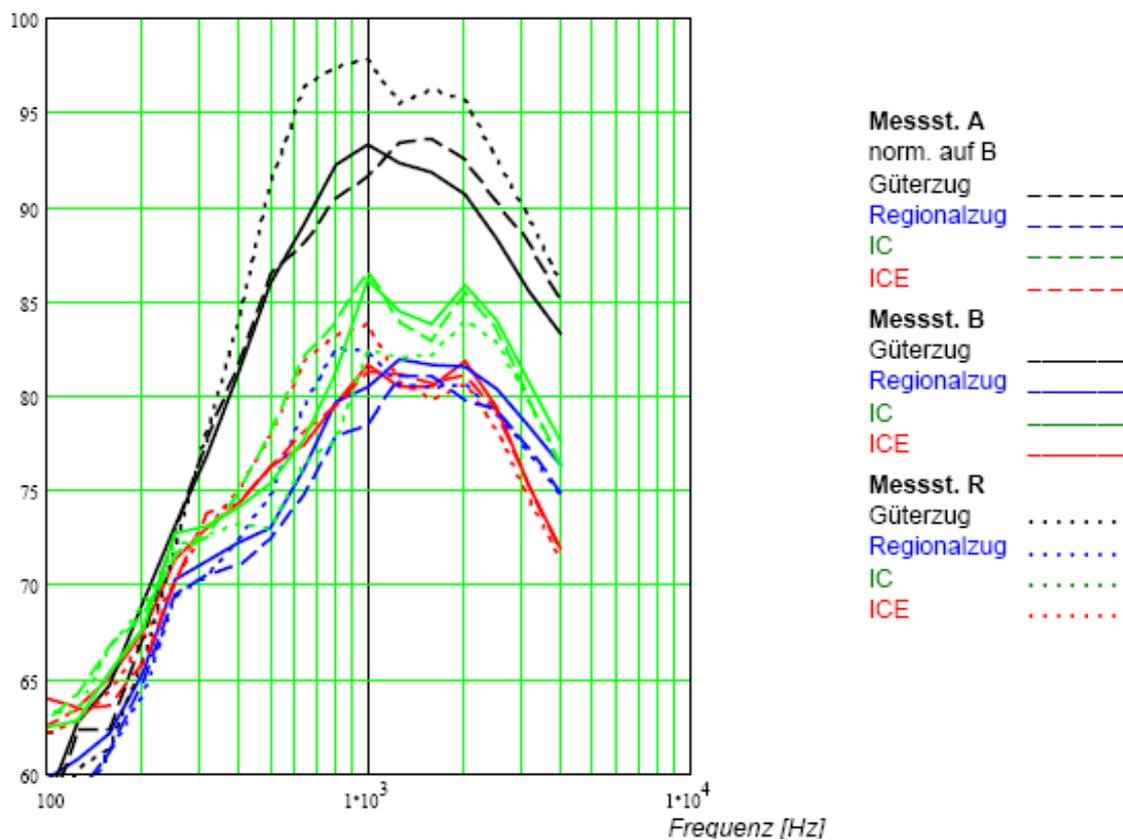


Abbildung 26: Messergebnisse für Luftschallpegel [db(A)], 4 m-Messpunkt

Luftschallpegel [dB(A)], 25 m-Messpunkt

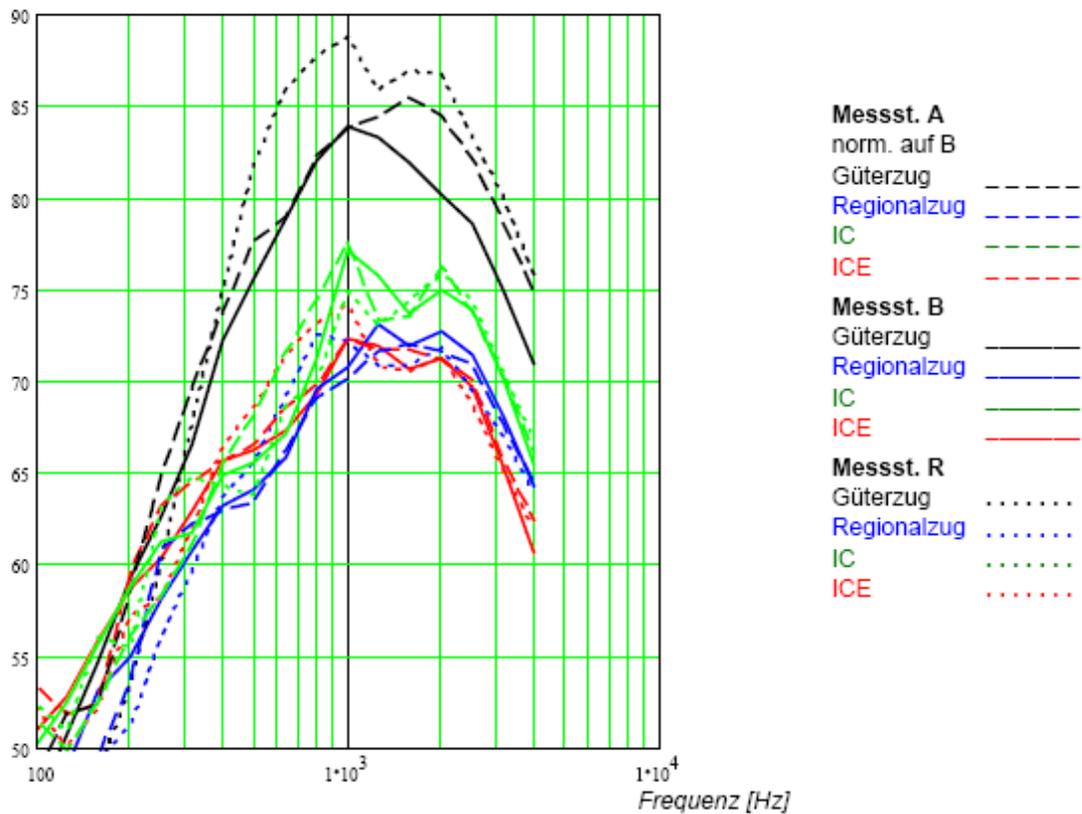


Abbildung 27: Messergebnisse für Luftschallpegel [db(A)], 25 m-Messpunkt

Darauf basierend wurden für beide Messpunkte die maßgeblichen Summenpegel für die verschiedenen Zuggattungen ermittelt und miteinander verglichen – siehe nachfolgende Tabellen.

| | ICE, 200 km/h | IC, 185 km/h | Regionalzug, 160 km/h | Güterzug, 100 km/h |
|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Messstelle A | 89,6 | 91,1 | 88,7 | 100,9 |
| Messstelle B | 89,7 | 93,2 | 89,9 | 100,4 |
| Messstelle R | 90,7 | 93,4 | 90,1 | 105,1 |
| Differenz R-A | 1,1 | 2,3 | 1,4 | 4,2 |
| Differenz R-B | 1,0 | 0,2 | 0,2 | 4,7 |

Tabelle 7: Vergleich der Summenpegel [db(A)], 4 m-Messpunkt, Dammschulter

| | ICE, 200 km/h | IC, 185 km/h | Regionalzug, 160 km/h | Güterzug, 100 km/h |
|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Messstelle A | 80,6 | 82,8 | 79,9 | 92,5 |
| Messstelle B | 79,9 | 83,3 | 80,5 | 90,6 |
| Messstelle R | 81 | 83,8 | 80,3 | 95,6 |
| Differenz R-A | 0,4 | 1,0 | 0,4 | 3,1 |
| Differenz R-B | 1,1 | 0,5 | -0,2 | 5,0 |

Tabelle 8: Vergleich der Summenpegel [db(A)], 25 m-Messpunkt, Dammschulter

Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt:

- Signifikante Pegeldifferenzen zeigen sich insbesondere bei den Güterzugfahrten. Die Verbesserung gegenüber konventionellem Schotteroberbau beträgt bis zu 5 dB(A) (25m-Messpunkt-DURFLEX® mit Unterschottermatte).
- Bei Personenzügen „verschwindet“ die o.g. Verbesserung im Bereich von 300 Hz bis 1,25 kHz, da der pegelbestimmende Frequenzbereich höher liegt.
- Bei Güterzügen ist die Schienenrauigkeit kleiner als die Radrauigkeit. Demgegenüber ist bei Personenzügen die Schienenrauigkeit größer als die Radrauigkeit. Daraus lässt sich folgern: Das Ergebnis der Güterzugfahrten gilt hinsichtlich der Rollgeräusche, welche durch die Gesamtrauigkeit des Kontaktes entstehen, für alle Zuggattungen.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt bei der Beurteilung der Qualität und Lagestabilität des Oberbaus ist auch der Verlauf der sich einstellenden Setzungen. Die hierbei erzielten Messwerte zeigen auf, dass in den verschäumten Abschnitten so gut wie keine Setzungen und im Übergangsbereich mit ca. 3 mm noch relativ geringe Setzungen beobachtet werden konnten. Im Bereich des konventionellen Oberbaus konnten mit einem Wert von 19 mm erhebliche Setzungen nachgewiesen werden – siehe nachfolgende Abbildung.

1.2.3 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse

Setzungen und Gleislagequalität

Auf der im Juli 2007 in Betrieb genommenen Uelzener Referenzstrecke der DB AG wurden elastische Einsenkungen – als Teil der erwünschten Elastizität – protokolliert und lagen auf Anrieb bei sehr guten 1,2 – 1,5 mm. Die Setzungen waren auch nach zwei Jahren Regelbetrieb unverändert geringfügig. Die letzten aus Dezember 2009 stammenden Messergebnisse (nach Abschluss des Vorhabens) zu den Setzungen zeigten, dass das dargestellte positive Setzungsverhalten unvermindert anhält und die Gleislagequalität mit durchgehend guten Werten erhalten bleibt, obwohl bei der im Zuge der Erstanwendung des DURFLEX®- Systems stattgefundenen Instandsetzung im Jahr 2007 der Erdaushub mit der Reinigungsmaschine unter dem vorhandenen Gleis ohne Nachverdichtung des anstehenden Bodens (suboptimal) durchgeführt wurde. Seit März 2009 bis Dezember 2009 sind keine weiteren messbaren Setzungen aufgetreten.

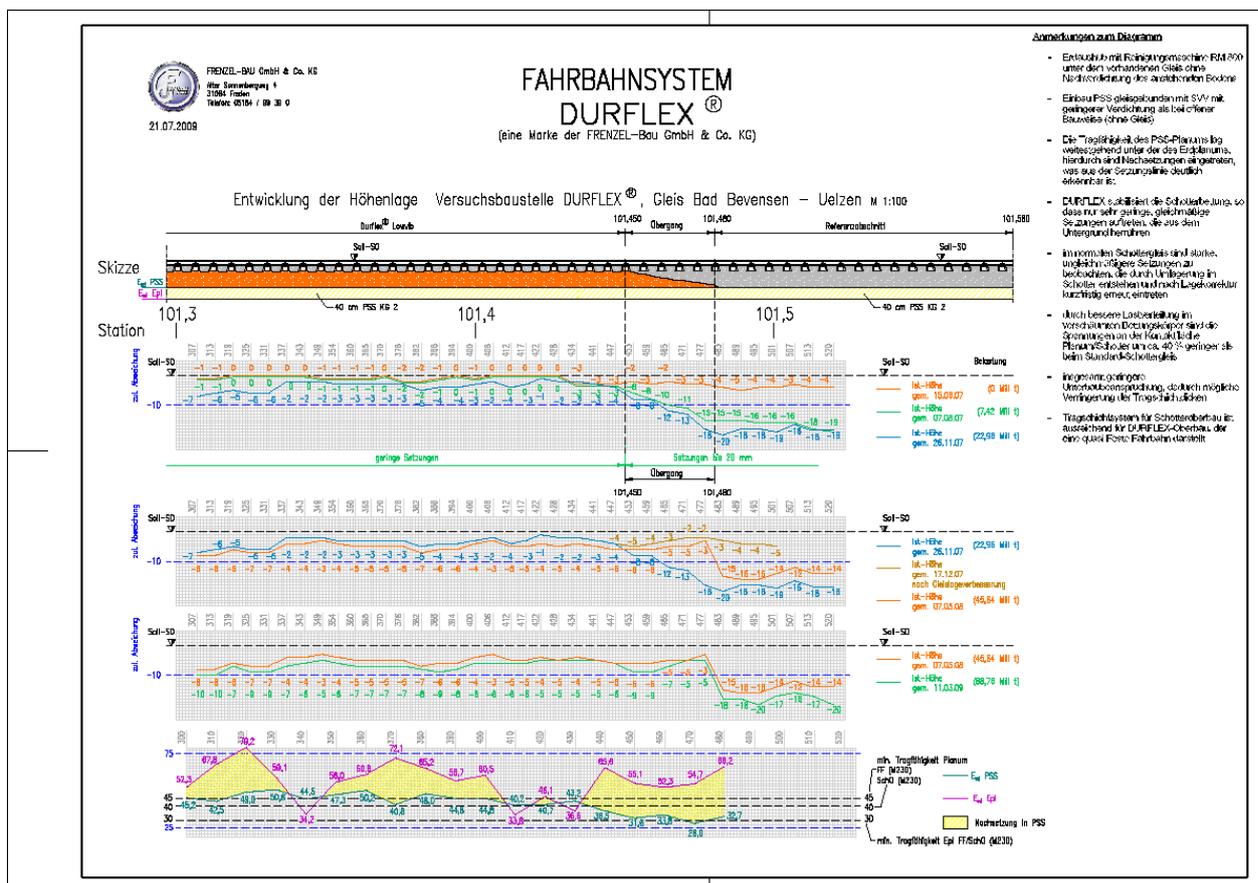


Abbildung 28: Messergebnisse zur Entwicklung der Höhenlage (siehe auch Anlage 4)

Simulationsversuche und Labortests lassen erwarten, dass das auch sehr langfristig (Jahrzehnte) keine systemrelevanten Setzungen entstehen. Die somit ausgezeichnete Lagestabilität, ohne starr zu sein, ist daher optimal, notwendige Betriebsunterbrechungen durch Stopf- und Richtarbeiten können somit bei Ausführung des Oberbaus in DURFLEX® gänzlich entfallen.

Unter Berücksichtigung der Randbedingungen kann daraus vor allem bei mittel- bis langfristiger Betrachtungsweise ein erheblicher wirtschaftlicher Vorteil im Verbund mit einer deutlichen Steigerung der Netzverfügbarkeit und damit verbesserter Effizienz der Infrastrukturnutzung resultieren – siehe auch die nachführenden Ausführungen zur technisch wirtschaftlichen Bewertung unter Ziffer 1.4.

Der Querverschubwiderstand der Schwelle liegt bei DURFLEX® durch den Schwellenschotter-Schaumverbund deutlich höher (siehe nachfolgende Abbildung).

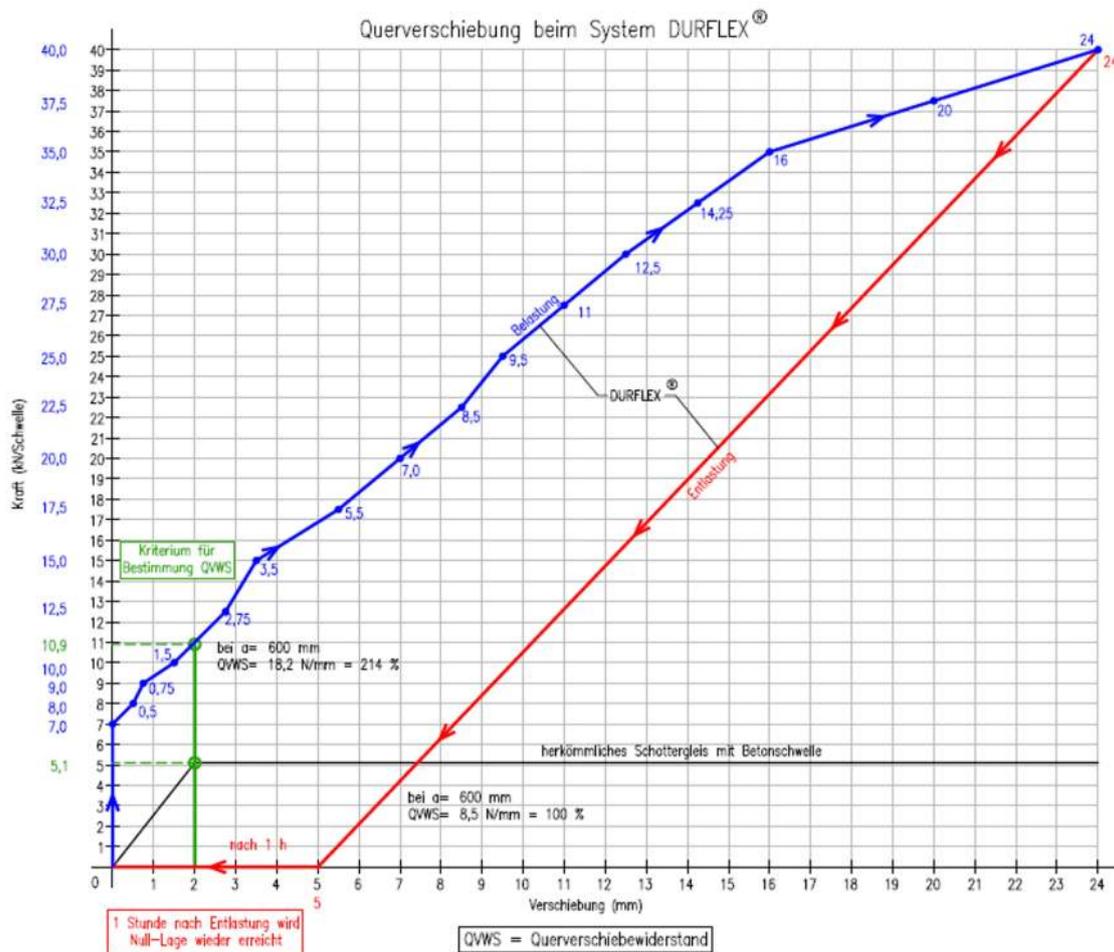


Abbildung 29: Messergebnisse zum Querverschub

Damit könnte man die jetzt verwendete Menge des seitlichen Vorkopfschotters der Schwellen deutlich verringern, bevor man sich den wesentlich niedrigeren Querverschubwerten des konventionellen Schotteroberbaus nähern würde. Weiteres Einsparpotential der Optimierung des Oberbaus ließe sich dadurch erreichen, limitierte Rohstoffe würden gespart. Diese Betrachtung kann für den gesamten Bahnkörper, welcher geometrisch durch die Regelquerschnitte mit Regelneigungen bis zur Aufstandfläche vorgegeben ist, durchgeführt werden. Es ergeben sich in vielen Bereichen Möglichkeiten, einen Umbau ohne Dammverbreiterung, ohne zusätzliches Grundbruchrisiko und Grundstückserwerb auf den zur Zeit, nach herkömmlicher Betrachtung, nicht regelkonformen Bahndämmen durchzuführen.

Reduzierung von Schall und Vibration

Gemessen wurden in Uelzen weiterhin auch eine Emissionsreduzierung des Luftschalls um bis zu 5 dB(A) und um bis zu 40 % beim Körperschall bei einer hochbelasteten Strecke mit Güterverkehr, aufbauend auf einer Unterschottermatte und steifer Zwischenlagen.

Durch das genormte Messverfahren der „Dynamischen Gleis-Abklingrate“ (engl.: Track Decay Rate, TDR) werden die akustisch relevanten Eigenschaften eines Gleissystems quantifiziert. Umfangreiche Untersuchungen führen zu Vergleichsmessungen, durch die der Nutzen neuartiger Gleissysteme bewertet wird. Dabei wurden der in prEN 3095:2009 genannte Frequenzbereich erweitert, um auch den für Erschütterungen relevanten Bereich tiefer Frequenzen zu untersuchen.

Die DURFLEX®-Versuchsstrecke in Uelzen zeigt ein charakteristisches Schwingungsverhalten für Betonschwellengleise. Die TDR ist dabei tendenziell höher, sowohl im Vergleich mit dem Referenzabschnitt ohne DURFLEX® und auch als mit dem typischen W-Standartoberbau mit B91-Schwelle. Gerade im tief-frequenten Bereich bei vertikaler Belastungsrichtung (Bild 16) fällt diese um bis zu 9 dB/m höher aus. Die Erfahrung zeigt, dass in diesem Bereich die TDR durch den Einsatz der Unterschottermatte reduziert wird. DURFLEX® neutralisiert diesen Effekt und stellt den Vorteil einer hohen TDR des Standardoberbaus in diesem Bereich wieder her.

Im Bereich über 1,6kHz ist ein deutlicher Vorteil des DURFLEX® zu erkennen. Hier wird jedoch der fahrzeugseitig abgestrahlte Geräuschanteil relevant, so dass der Nutzen hinsichtlich der Abnahme des Geräuschpegels insgesamt (je nach Fahrwerksbauart) unterschiedlich hoch ausfällt. Die TDR in horizontaler (lateral) Schwingungsrichtung zeigt über weite Frequenzbereiche Vorteile für das DURFLEX®-System. Diese Ergebnisse deuten also auf eine spürbare Verbesserung des akustischen Verhaltens bei Einbau von DURFLEX® hin.

Zusammenfassendes Fazit

Unter Berücksichtigung aller Ergebnisse kann zusammenfassend folgendes Fazit gezogen werden:

- Mit dem DURFLEX®-Oberbau wird mit steifen Zwischenlagen eine Elastizität vergleichbar zum konventionellen Schotteroberbau mit elastischen Zwischenlagen (Standard für Hochgeschwindigkeitsstrecken) erzeugt.
- Auf der freien Strecke kann erstmalig ohne zusätzliche seitliche Haltung des Schotters eine Unterschottermatte eingebaut werden. Mit der Verschäumung wird die sonst unvermeidliche Resonanzverstärkung der Unterschottermatte kompensiert.
- Die Erschütterungen werden mit der eingebauten Unterschottermatte um bis zu 6 dB/A reduziert.
- Trotz der erzielten Elastizität des verschäumten Oberbaus wird eine langfristige Lagestabilität erreicht („Einfrieren“ des guten Zustandes).
- Der Luftschall wird um bis zu 5 dB/A gegenüber einem konventionellen HGV-Schotteroberbau mit elastischen Zwischenlagen reduziert.

Es konnte damit festgestellt werden, dass die Messergebnisse und deren Auswertung die im Vorfeld erwarteten Systemeigenschaften des DURFLEX®-Oberbaus weitestgehend bestätigt haben. Darüber hinaus konnten noch Optimierungspotentiale aufgezeigt werden, die in der Weiterverfolgung des Systemkonzepts nach Abschluss des Vorhabens in Abstimmung mit den Entwicklungspartnern und zukünftigen Anwendern weiter verfolgt werden.

1.3 Entwicklung eines Konzepts für das Recycling

Ein wesentliches Kriterium für eine zukünftige großmaßstäbliche Anwendung des Verfahrens DURFLEX® bei Eisenbahninfrastrukturunternehmen ist ein zum konventionellen Schotteroberbau vergleichbar unproblematischer Ausbau und ein umweltverträgliches Konzept für das Recycling des mit PUR-Schaum verklebten Schotterkorns. Über die generelle Umweltverträglichkeit bzw. Unbedenklichkeit des eingesetzten Polyurethans wurden bereits im Vorfeld im Rahmen der Zulassung des Konzepts beim EBA umfangreiche Versuche unternommen. Die Ergebnisse hierzu sind u.a. unter Ziffer I-4 zusammenfassend dargelegt.

Ergänzend dazu wurde im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Begleitung des FuE-Projektes durch den Projektleiter ein praktikables Konzept für den Ausbau und das Recycling erarbeitet. Das Ergebnis bzgl. der generellen Vorgehensweise und der wesentlichen Bausteine sind im Folgenden dargestellt.

Am Ende der Lebenszeit (oder auch im Havariefall) kann das DURFLEX® gleisgebunden mit Maschinentechnologie (z.B. PM R 200 mit Aushubkette) oder im lokal begrenzten (Havarie) Fall auch mittels konventioneller Bagger ausgebaut bzw. aufgenommen werden.

Die aufgenommenen Schotter-Schaum-Stücke würden dann als größere Verbundbrocken abtransportiert und könnten zukünftig außerhalb der Gleisanlagen in einer entsprechenden Anlage (zentral / dezentral) aufbereitet oder deponiert werden

Unter Einbeziehung bestehender Technologien wurde für die Aufbereitung des Schotters ein umsetzbares Anlagenkonzept entwickelt. Das wesentliche Kernstück einer solchen Anlage ist ein aus der Asphalttechnik bekannter Drehrohr-Brennofen, der mit einem geeigneten Abgaswäscher versehen wird. Der Aufbau des Konzeptes, die verschiedenen Abläufe sowie die erforderlichen Betriebseinheiten (BE) sind aus der nachstehenden Abbildung ersichtlich. Die detaillierte Beschreibung des Verfahrens ist in der Anlage 3 dargestellt.

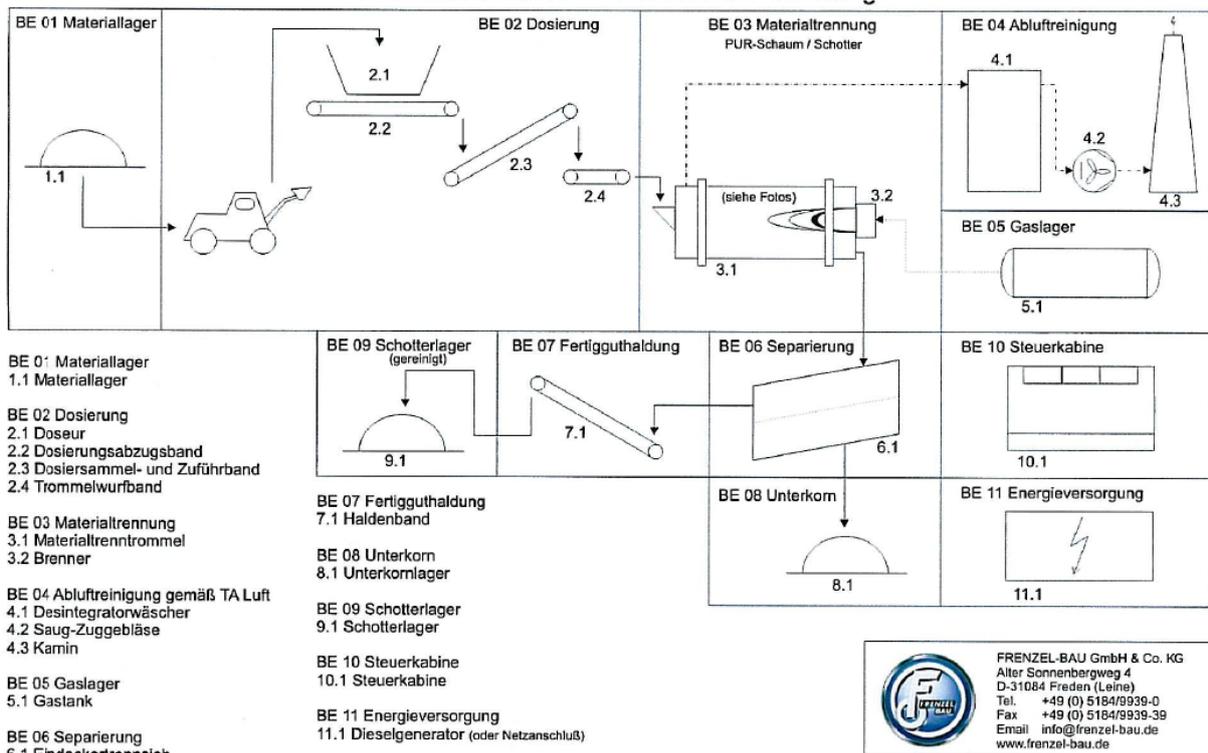


Abbildung 30: Darstellung des Verfahrens

Der verbrannte PU-Schaum gibt einen durch die thermische Behandlung scharfkantigen Schotterkorn frei, der dem Bauprozess wieder direkt zugeführt werden kann. Nationalem und europäischen Abfallrecht und der TA-Siedlungsabfall kann damit entsprochen werden und die Recyclingempfehlungen des Industrieverbands Polyurethan, IVPU, werden berücksichtigt. Eine solche Aufbereitungsanlage wäre in einem ersten Schritt als mobile Anlage darstellbar (siehe Abbildung). Eine spätere Überführung bzw. Integration des Konzepts und der Anlage in (bestehende) gleisgebundene Maschinentechologie in Abhängigkeit vom Bedarf könnte als realisierbar angesehen werden.



Abbildung 31: Mobile Aufbereitungsanlage (Praxisbeispiel)

1.4 Technisch-wirtschaftliche Bewertung

Die Lebensdauerkosten (Life Cycle Costs – LCC) sind für den Oberbau bzw. das Schienennetz von herausragender wirtschaftlicher Bedeutung, denn die Höhe der Kosten der Infrastruktur und deren Verfügbarkeit sind die entscheidenden Elemente für die Wettbewerbsfähigkeit und den Geschäftserfolg der Eisenbahn. Insofern erfolgte die technisch-wirtschaftliche Bewertung unter Berücksichtigung einer standardisierten Lebenszykluskostenrechnung (LCC-Rechnung) wie sie auch bei der DB Netz AG eingesetzt wird. Diese berücksichtigt neben den Investitionskosten auch die Kosten für Instandhaltung bzw. Erneuerung von Einzelkomponenten des Oberbaus unter Berücksichtigung der zu erwartenden Lebensdauer.

Neben der reinen LCC-Betrachtung wurden noch darüber hinaus gehende Effekte, wie z.B. Reduzierung des sperrpausenbedingten Ausfalls der Netzverfügbarkeit durch verlängerte Schienenwechselintervalle, Reduzierung von Baustellenbegleitkosten und höhere Netzverfügbarkeit in die technisch-wirtschaftliche Bewertung einbezogen.

Dabei wurden die auf Basis der Bewertung der Messergebnisse erwarteten Eigenschaften bzw. Vorteile des DURFLEX®-Oberbaus im Vergleich zum konventionellen Schotteroberbau zugrunde gelegt.

Für die wirtschaftliche Bewertung (Vergleich des konventionellen Schotteroberbaus mit DURFLEX®-Oberbau) wurden von folgenden Grundlagen ausgegangen:

Rahmendaten konventioneller Schotteroberbau (KSOB)

- Gleiserneuerung: 550 €/m
- Planumsverbesserung: 300 €/m
- Durcharbeitung (DUA): 20 €/m
- Schienenschleifen: 8 €/m
- Rückschnitt Vegetation: 1 €/m und Jahr
- Kleine Instandhaltung: 1,5 €/m und Jahr
- Schienenwechselintervall: 20 Jahre
- Gleiserneuerung: alle 40 Jahre

Rahmendaten DURFLEX®-Oberbau

Grundlagen wie konventioneller Schotteroberbau mit folgenden Abweichungen:

- Gleiserneuerung nach 60 Jahren (kein „Schotterverschleiß“)
- Durcharbeitung nicht erforderlich (kein Verschleiß, Lagefixierung)
- Schienenschleifen alle 4 bis 6 Jahre (Erkenntnis aus Demonstrator)
- Schienenwechsel nach 30 Jahren (Erkenntnis aus Demonstrator)
- Zusätzliche Kosten für Verschäumung (incl. Unterschottermatte, Vlies und Waschen des Schotters)

Für die Kosten der Verschäumung wurde eine Kalkulation unter Berücksichtigung einer „industriellen“ Fertigung auf Basis einer leistungsfähigen Verschäumungsmaschine für eine automatisierte Eintragung des Polyurethans durchgeführt. Auf Basis der Erfahrungen mit der Entwicklung des Prototypen sowie verschiedener Gespräche mit Herstellern (u.a. Firma Robel) und dem Projektpartner Hennecke wurde für die Entwicklung und Bau eines leistungsfähigen Prototypen mit ca. 10 Mio. € gerechnet (Schichtleistung bis max. 1000 m). Die einzelnen Details und Ergebnisse für die Kalkulation der Verschäumungskosten im industriellen Verfahren sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Dabei wurden zwei verschiedene Varianten betrachtet. In der Basisvariante wurde mit einer vollen Auslastung der Maschine über das Jahr (200 effektive Einsatztage) gerechnet. In der Variante 1 wurde dagegen eine geringere Auslastung von 50 % über das Jahr (100 effektive Einsatztage) berücksichtigt.

Bei beiden Varianten wird in Orientierung an den Erfahrungen mit der entwickelten Pilottechnik im industriellen Verfahren mit einer Schichtleistung von 350 m (entspricht etwa einer Stundenleistung von 45 m) gerechnet. Bei einem Einsatz in 2 Schichten pro Tag würde damit eine Tagesleistung von 700 m erreicht. Daraus resultieren Kosten von 10,00 € bzw. 20,00 € pro Gleismeter (Gleis-m) für Vorhaltung und Einsatz der Maschine.

Darauf aufbauend wurde der erforderliche Personaleinsatz pro Schicht „spitz“ kalkuliert. Die Personalkosten ergeben sich zu 5,49 € pro Gleismeter.

Der Materialeinsatz bezogen auf das Polyurethan (Bayflex®) wurde aufbauend auf den Erfahrungen für den spezifischen Verbrauch im Rahmen der Demonstration kalkuliert. Diesbezüglich wurde noch keine mögliche Optimierung im Materialverbrauch einkalkuliert, die durch eine Querschnittsoptimierung des Schotterbettes infolge verbesserter Eigenschaften des DURFLEX®-Oberbaus möglich erscheint und damit in der Folge auch zu einem geringeren Bedarf von Polyurethan zur Verschäumung nach sich ziehen würde. Die sich ergebenden Materialkosten summieren sich auf 185,00 € pro Gleismeter auf, dabei entfällt auf das Polyurethan ein Anteil von 115,00 € bzw. 62 %. Unter Berücksichtigung von einem Betrag von 20,00 € pro Gleismeter zur Amortisation der Entwicklungskosten ergeben sich auf Basis heutiger Erkenntnisse zukünftig insgesamt Herstellkosten im Bereich von 220,00 € bis 230,00 € je Gleismeter im industriellen Verfahren für die Verschäumung des Schottergleises.

Kosten der Verschäumung für vorhandene Schottergleise (Vorkalkulation)

| | | Basis (Var-0) | Var-1 50% Masch.-Auslastung |
|--|--------------------|---------------|--------------------------------|
| A: Maschineneinsatz | | | |
| Investition Prototyp einer Verschäumungsmaschine | [€] | 10.000.000,00 | 10.000.000,00 |
| Maschinenlebensdauer | [Jahre] | 20 | 20 |
| jährliche Abschreibung (linear) | [%/Jahr] | 5 | 5 |
| jährliche Abschreibung | [€/Jahr] | 500.000,00 | 500.000,00 |
| Kapitalkosten | [%/Jahr] | 4 | 4 |
| Kapitalkosten | [€/Jahr] | 400.000,00 | 400.000,00 |
| Unterhaltung 5% | [€/Jahr] | 500.000,00 | 500.000,00 |
| Schichtleistung | [Gleis-m] | 350 | 350 |
| Anzahl Schichten je Tag | [-] | 2 | 2 |
| Tagesleistung | [Gleis-m] | 700 | 700 |
| Anzahl effektiver Einsatztage pro Jahr | [-] | 200 | 100 |
| Jahresleistung | [Gleis-km] | 140 | 70 |
| Km-Preis | [€/Gleis-km] | 10.000,00 | 20.000,00 |
| Meter-Preis | [€/Gleis-m] | 10,00 | 20,00 |
| B: Personaleinsatz | | | |
| Anzahl P je Maschineneinsatz | [-] | 4 | 4 |
| Anzahl kostenrelevante h je Schicht | [-] | 8 | 8 |
| Preis einer Personal-h | [€/h] | 60,00 | 60,00 |
| Personalkosten je Schicht | [€/Schicht] | 1.920,00 | 1.920,00 |
| Personalkosten je Meter | [€/Gleis-m] | 5,49 | 5,49 |
| Personalkosten je km | [€/Gleis-km] | 5.485,71 | 5.485,71 |
| Zwischensumme A+B | [€/Gleis-m] | 15,49 | 25,49 |
| C: Material | | | |
| PU (Polyurethan-Schaum) – Preis | [€/kg] | 2,30 | 2,30 |
| PU - erforderliche Menge je m Gleis | [kg] | 50 | 50 |
| PU - Preis je Gleis-m | [€/Gleis-m] | 115,00 | 115,00 |
| Unterschottermatte | [€/Gleis-m] | 50,00 | 50,00 |
| Vlies | [€/Gleis-m] | 5,00 | 5,00 |
| Schotter waschen | [€/Gleis-m] | 15,00 | 15,00 |
| SUMME Material | [€/Gleis-m] | 185,00 | 185,00 |
| D: Amortisation / Entwicklungskosten | | | |
| Kosten je m Gleis | [€/Gleis-m] | 20,00 | 20,00 |
| Preis je Meter Gleis | [€/Gleis-m] | 220,49 | 230,49 |

Tabelle 9: Kosten der Verschäumung für vorhandene Schottergleise (Vorkalkulation)

Die Ergebnisse in der Tabelle zeigen, dass der Materialaufwand mit insgesamt 185,00 € pro Gleismeter die herausragende Position darstellt und die Einsatzeffizienz der Maschine dagegen nur einen vergleichsweise geringen Einfluss hat. Damit wird auch deutlich, dass eine Optimierung des Verfahrens im Sinne einer Optimierung des Oberbauquerschnitts infolge der verbesserten Eigenschaften von DURFLEX® im Sinne einer möglichen „Minimierung“ des Schotterbettes noch erhebliche Potentiale zur Reduzierung der zusätzlichen Kosten infolge geringen Polyurethan-Verbrauchs pro Gleismeter und auch Schotterverbrauchs bietet. Diese Möglichkeiten konnten im Rahmen des FuE-Projektes jedoch nicht konkretisiert werden. Hierzu sind weitergehende Erprobungen und Feldversuche durchzuführen sowie ein abschließendes Zulassungsverfahren beim EBA einzuleiten. Insofern wurde dieser Ansatz bei den weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt, jedoch in der zusammenfassenden Bewertung der Vorteile und der Zukunftsperspektiven einbezogen.

Zusätzlich zu den gemäß der Tabelle abgeleiteten direkten Herstellkosten wurde in die Vergleichsbetrachtung noch Betriebsstoffe für den Maschineneinsatz in Höhe von 1,50 € pro Gleismeter, Logistikkosten für den Maschineneinsatz (An- und Abfuhr zur Baustelle) mit etwa 1,00 € pro Gleismeter (absolut ca. 5.000,00 € für eine durchschnittliche Baustelle mit einer Länge von 5 km) sowie Transportkosten für die Materialanfuhr von 2,80 € pro Gleismeter einbezogen. Unter Berücksichtigung eines Kalkulationszuschlags von 6 % für „Unvorhergesehenes“ ergeben sich damit zusätzliche Kosten von 250,00 € pro Gleismeter für die Verschäumung, die in der wirtschaftlichen Vergleichsbetrachtung (LCC-Rechnung) zum konventionellen Schotteroberbau angesetzt wurden.

Grundlagen der LCC-Bewertung

Im ersten Schritt erfolgte die technisch-wirtschaftliche Bewertung unter Berücksichtigung einer standardisierten Lebenszykluskostenrechnung (LCC-Rechnung) wie sie auch bei der DB Netz AG eingesetzt wird. LCC ist eine Kostenmanagement-Methode, die den Produktlebenszyklus betrachtet. Dabei werden nur die negativen Zahlungsströme (Ausgaben) berücksichtigt, Erlöse (Einnahmen) werden vernachlässigt. Insofern werden neben den Investitionskosten auch die Kosten für Instandhaltung bzw. Erneuerung von Einzelkomponenten des Oberbaus unter Berücksichtigung der zu erwartenden Lebensdauer einbezogen.

Gemäß des Ansatzes der Kapitalwertmethode werden dabei alle Ausgaben auf den Betrachtungszeitpunkt abgezinst und somit der Barwert der jeweiligen zukünftigen Ausgabe z.B. für Instandhaltung zum Zeitpunkt der Betrachtung ermittelt. Die Summe aller Barwerte über den Betrachtungszeitraum ergibt den sogenannten Kapitalwert, aus dem dann wiederum die sogenannte Annuität ermittelt wird.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse hat die Höhe des zugrunde gelegten kalkulatorischen Zinssatzes, der sich auf den Abzinsungsfaktor für die jeweils in der Zukunft anfallenden Ausgabe bzw. den noch anzunehmen „Restwert“ – wenn der Lebenszyklus des Produktes oder Komponenten des Produktes größer als der Betrachtungszeitraum ist - erheblich auswirkt. Hierzu einige Beispiele:

- Bei einem Kalkulationszinssatz von 8 % beträgt der Abzinsungsfaktor nach 20 Jahren 0,21 bzw. 0,05 nach 40 Jahren. D.h. z.B. eine in 20 Jahren zu tätige Ausgabe wird zum Betrachtungszeitpunkt nur mit 21 % ihrer dann anfallenden Kosten als Barwert berücksichtigt. Der Restwert einer Investition die z.B. eine Lebensdauer von 60 Jahren hat wird im Jahr 40 nur noch mit 0,05 % ihrer entsprechenden zeitanteiligen Investitionshöhe als Barwert zum Zeitpunkt der Betrachtung berücksichtigt.
- Bei einem Kalkulationszinssatz von 4 % betragen die vergleichbaren Abzinsungsfaktoren 0,46 bzw. 0,21. D.h. die sich ergebenden Barwerte für Ausgaben bzw. für mögliche Restwerte geben ein erheblich anderes Ergebnis in der LCC-Betrachtung.

Dieser Gesichtspunkt wirkt sich in einer LCC-Betrachtung besonders dann gravierend aus, wenn eine relativ günstige Anfangsinvestition mit aber geringerer Lebensdauer und höheren Unterhaltungskosten mit einer merkbar teureren Investition mit aber einer längeren Lebensdauer und weitaus geringeren Unterhaltungskosten miteinander verglichen wird.

Die Höhe des kalkulatorischen Zinssatzes wird dabei von jedem Unternehmen gemäß eigener Einschätzung bzw. Vorgaben individuell festgelegt. Die zuständigen Fachexperten der DB Netz legen bei ihren LCC-Betrachtungen für den Oberbau derzeit einen kalkulatorischen Zinssatz von 8 % zugrunde.

In der Praxis wird überwiegend auch ein kalkulatorischer Zinssatz gewählt, der sich am langfristigen Kapitalmarktzins orientiert. In der nachfolgenden Abbildung ist die Entwicklung des durchschnittlichen Kapitalmarktzins im Euro-Raum (BIP gewichtete Rendite zehnjähriger Staatsanleihen) im Zeitraum von 10/1996 bis 01/2010 dargestellt – Quelle: Deutsche Bundesbank.

Gemäß dieser Entwicklung bewegt sich der Kapitalmarktzins etwa seit 1998 bis heute etwa im Bereich von 3,5 – 4,5 % mit insgesamt sinkender Tendenz. Eine langfristige Prognose der Entwicklung kann daraus sicher nicht bzw. nur absolut bedingt abgeleitet werden. Hier spielt die langfristige globale Wirtschaftsentwicklung eine maßgebliche Rolle. Eine solche Einschätzung würde sicher auch den Rahmen dieses Vorhabens sprengen.

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung wurde jedoch unter Berücksichtigung des im vorherigen dargestellten erheblichen Einflusses des zugrunde gelegten kalkulatorischen Zinssatzes auf die Ergebnisse der LCC zwei sich in ihrer Art erheblich von einander unterscheidender Produkte bzw. hier Ausführungen des Oberbaus in einer Alternativbetrachtung ein kalkulatorischer Zinssatz von 4 % gewählt. Unter Berücksichtigung, dass die für die Instandhaltung bzw. Neubau von Schienenstrecken erforderlichen Mittel der DB Netz AG weitestgehend vom Bund zur Verfügung gestellt werden, wurde in einer weiteren Betrachtung ein Kalkulatorischer Zins von 0 % zugrunde gelegt, um rein theoretisch die Auswirkungen auf die Ergebnisse der LCC-Betrachtung insgesamt aufzuzeigen.

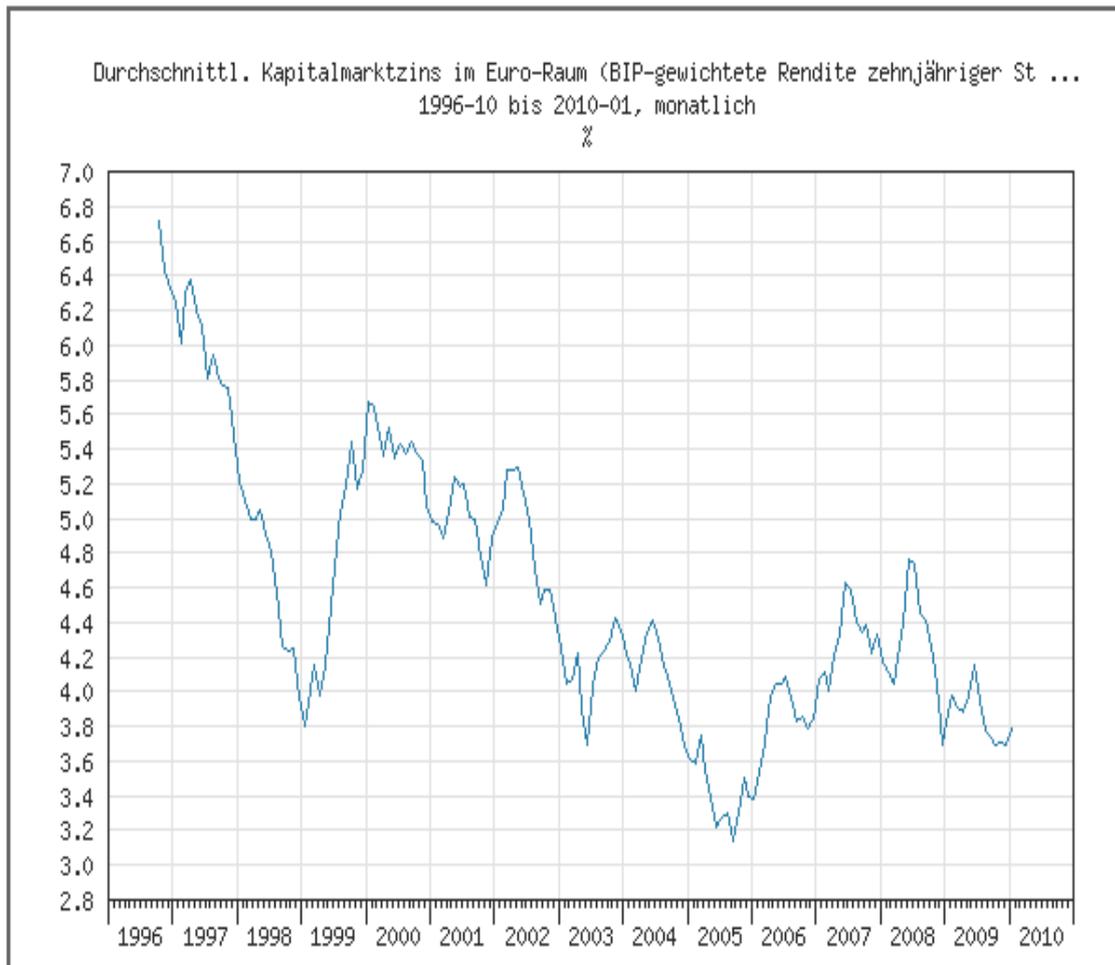


Abbildung 32: Durchschnittlicher Kapitalmarktzins

Für die Vergleichsbetrachtung wurden für den konventionellen Schienenerbau verschiedene Varianten berücksichtigt (K1 bis K6).

In der Variante K1 wurde von einem Schienenschleifintervall von 2 Jahren ausgegangen. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass insbesondere bei stark belasteten Strecken kürzere Schleifintervalle erforderlich sind, um eine ausreichende Güte des Oberbaus sicher zu stellen – dies kann bis zu vierteljährlichen Schleifintervallen bei hoch belasteten Strecken runter gehen.

Hierfür wurden die Varianten K2 (jährliches Schleifen), K3 (halbjährliches Schleifen) und K4 (vierteljährliches Schleifen) gebildet.

In der Variante K5 wurde noch ein zusätzlich erforderliche Lärmschutzwand (LSW) berücksichtigt, die mit einem Investitionsaufwand von ca. 1.000,00 € pro Gleismeter (einseitig) als gängiger Erfahrungswert anzusetzen ist. In der Variante K6 wurden von niedrigen Kostenwerten für die Erstellung (500,00 € pro Gleismeter), die Durcharbeitung

(13,00 € pro Gleismeter) und Schleifen (5,00 € pro Gleismeter) und ein Liegedauer für die Schienen von 40 Jahren als Zielwerte ausgegangen. Diese Zielwerte sind jedoch nach Ansicht von Experten zwar in der Theorie denkbar, in der Praxis jedoch nicht zu erreichen.

Für den DURFLEX®-Oberbau wurde auf Basis der Erkenntnisse aus den erzielten Messergebnissen im Rahmen der Demonstration sowie deren Bewertung, die die erwarteten Eigenschaften weitestgehend bestätigt haben, in der LCC-Betrachtung von einer Liegedauer von 60 Jahren und einer Schienenerneuerung nach 30 Jahren ausgegangen. Eine Durcharbeitung ist nicht erforderlich. Bei den Varianten (D0 bis D3) wurden verschiedene Intervalle für das Schleifen der Schienen (6, 5 und 4 Jahre) berücksichtigt.

Aufgrund der nicht erforderlichen Durcharbeitung des verschäumten Schotteroberbaus kann beim System DURFLEX® die Lärmschutzwand unmittelbar neben dem Gleis vor Kopf der Schwellen angeordnet werden. Dadurch ist bei niedriger Bauhöhe ein vergleichbarer Lärmreduzierungseffekt erreichbar. Hierzu wurden im Rahmen des Vorhabens erste Entwicklungen durchgeführt und ein Basiskonzept für eine niedrige Lärmschutzwand (DURMINOR®) entwickelt – siehe nachfolgende Abbildungen.



Abbildung 33: Konzept für niedrige Lärmschutzwand (System DURMINOR®)

Aufgrund ihrer Bauart können nach ersten Abschätzungen die Lärmschutzwandkosten von bisher 1.000,00 € pro Meter auf ca. 500,00 € pro Meter reduziert werden. Insofern wurden in der Vergleichsbetrachtung in der Variante D3 für eine Lärmschutzwand Kosten von 500,00 € pro Gleismeter (einseitig) berücksichtigt.

Ergebnisse der LCC-Betrachtung

Die Ergebnisse der einzelnen LCC-Betrachtungen zunächst für einen Betrachtungszeitraum von 40 Jahren (entspricht der erwarteten Lebensdauer eines konventionellen Schotteroberbaus) sind in den nachfolgenden Tabellen vergleichend (DURFLEX® –Konventioneller Schotteroberbau) dargestellt.

| Varianten - Konventionell | | LCC Kapitalwert [EUR] | | Varianten - DURFLEX® | |
|---------------------------|---|---|--------------|----------------------|--|
| | UIC60 B70W (V>160) 40 J Liegedauer Si-Erneuerung nach 20 J DUA alle 5 J | Kalkulations-Zinssatz 8% | | | UIC60 B70W (V>160) mit verschäumtem Schotter 60 J Liegedauer Si-Erneuerung nach 30 J keine DUA |
| K-1 | 550/20/8 + Si Schleifen alle 2 J | 1.033 | 1.144 | D-0 | 800/-/8 + Si Schleifen alle 6 J |
| K-2 | 550/20/8 + jährliches Si Schleifen | 1.090 | 1.154 | D-1 | 800/-/8 + Si Schleifen alle 5 J |
| K-3 | 550/20/8 + halbjährliches Si Schleifen | 1.200 | 1.160 | D-2 | 800/-/8 + Si Schleifen alle 4 J |
| K-4 | 550/20/8 + vierteljährliches Si Schleifen | 1.420 | | | |
| K-5 | 550/20/8 + vierteljährliches Si Schleifen + LSW | 2.097 | | | |
| K-6 | 500/13/5 (Si-Erneuerung nach 40 J) + DUA alle 6 J + Si Schleifen alle 2 J + LSW (1.000,-) | 1.883 | 1.651 | D-3 | Schienenerneuerung nach 30 J 800/-/5 keine DUA + Si Schleifen alle 4 J + LSW (500,-) |

Tabelle 10: Vergleich der LCC-Ergebnisse für verschiedene Varianten (K-Zinssatz 8 %)

Die Ergebnisse der LCC-Betrachtung zeigen, dass bei einem kalkulatorischem Zinssatz von 8 %, die DURFLEX®-Varianten D0, D1 und D2 einen merklich höheren Kapitalwert aufweisen als die konventionellen Varianten K1 und K2 – also ungünstiger sind. Jedoch bei kurzen Schleifintervallen – halbjährlich bzw. vierteljährlich – ergeben sich bei der LCC Vorteile für den DURFLEX®-Oberbau. Im Vergleich der Varianten D2 mit K4 beträgt dieser Vorteil beim Kapitalwert 260,00 € pro Gleismeter – bzw. bedeutet eine Reduktion von 18 %. Besonders interessant wird die Anwendung, wenn bei Ausführung des Oberbaus in DURFLEX® auf eine

Lärmschutzwand verzichtet bzw. die niedrige Lärmschutzwand zur Anwendung gebracht wird. Hierfür ergeben sich besonders maßgebliche Vorteile in der LCC-Betrachtung. Auf Basis eines niedrigeren kalkulatorischen Zinssatzes von 4 % ergeben die Ergebnisse der LCC-Betrachtung für DURFLEX® grundsätzlich günstigere Werte in allen Varianten im Vergleich mit den Varianten des konventionellen Schotteroberbaus – mit der Ausnahme des Vergleichs der Variante K1 mit der Variante D2, die etwa vergleichbare Werte aufweisen.

| Varianten - Konventionell | | LCC Kapitalwert [EUR] | | Varianten - DURFLEX® | |
|---------------------------|---|--|--------------|----------------------|--|
| | UIC60 B70W (V>160) 40 J Liegedauer Si-Erneuerung nach 20 J DUA alle 5 J | Kalkulations- zinssatz 4% | | | UIC60 B70W (V>160) mit verschäumtem Schotter 60 J Liegedauer Si-Erneuerung nach 30 J keine DUA |
| K-1 | 550/20/8 + Si Schleifen alle 2 J | 1.164 | 1.152 | D-0 | 800/-/8 + Si Schleifen alle 6 J |
| K-2 | 550/20/8 + jährliches Si Schleifen | 1.259 | 1.158 | D-1 | 800/-/8 + Si Schleifen alle 5 J |
| K-3 | 550/20/8 + halbjährliches Si Schleifen | 1.445 | 1.168 | D-2 | 800/-/8 + Si Schleifen alle 4 J |
| K-4 | 550/20/8 + vierteljährliches Si Schleifen | 1.817 | | | |
| K-5 | 550/20/8 + vierteljährliches Si Schleifen + LSW | 2.275 | | | |
| K-6 | 500/13/8 (Si-Erneuerung nach 40 J) + DUA alle 6 J + Si Schleifen alle 2 J + LSW (1.000,-) | 1.920 | 1.652 | D-3 | Schienenerneuerung nach 30 J 800/-/5 keine DUA + Si Schleifen alle 4 J + LSW (500,-) |

Tabelle 11: Vergleich der LCC-Ergebnisse für verschiedene Varianten (K-Zinssatz 4 %)

Die (rein theoretische) LCC-Betrachtung mit einem Zinssatz von 0 % ergibt dann erwartungsgemäß erheblich vorteilhaftere Kapitalwerte für die DURFLEX®-Varianten.

| Varianten - Konventionell | | LCC Kapitalwert [EUR] | | Varianten - DURFLEX® | |
|---------------------------|---|--|-------|----------------------|--|
| | UIC60 B70W (V>160) 40 J Liegedauer Si-Erneuerung nach 20 J DUA alle 5 J | Kalkulations- zinssatz 0% | | | UIC60 B70W (V>160) mit verschäumtem Schotter 60 J Liegedauer Si-Erneuerung nach 30 J keine DUA |
| K-1 | 550/20/8 + Si Schleifen alle 2 J | 1.405 | 987 | D-0 | 800/-/8 + Si Schleifen alle 6 J |
| K-2 | 550/20/8 + jährliches Si Schleifen | 1.600 | 1.000 | D-1 | 800/-/8 + Si Schleifen alle 5 J |
| K-3 | 550/20/8 + halbjährliches Si Schleifen | 1.982 | 1.020 | D-2 | 800/-/8 + Si Schleifen alle 4 J |
| K-4 | 550/20/8 + vierteljährliches Si Schleifen | 2.746 | | | |
| K-5 | 550/20/8 + vierteljährliches Si Schleifen + LSW | 2.638 | | | |
| K-6 | 500/13/5 (Si-Erneuerung nach 40 J) + DUA alle 6 J + Si Schleifen alle 2 J + LSW (1.000,-) | 1.942 | 1.486 | D-3 | Schienenerneuerung nach 30 J 800/-/5 keine DUA + Si Schleifen alle 4 J + LSW (500,-) |

Tabelle 12: Vergleich der LCC-Ergebnisse für verschiedene Varianten (K-Zinssatz 0 %)

Die bisherigen LCC-Betrachtungen wurden unter Berücksichtigung der Lebensdauer des konventionellen Schienenoberbaus von 40 Jahren über einen Betrachtungsraum von 40 Jahren durchgeführt. Auf der Grundlage einer erwarteten Lebensdauer für den DURFLEX®-Oberbau von bis zu 60 Jahren wurden in einer weiteren Alternative die Varianten K2 und D2 eine LCC-Betrachtung über einen Zeitraum von 60 Jahren durchgeführt. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt.

| | | Variante – Konventionell | | Variante - DURFLEX® | |
|---------|----------------------|--------------------------|--------------|--|--------------|
| Ob | Oberbau | UIC60 B70W (V>160) | 550 [€/m] | UIC60 B70W (V>160) mit verschäumtem Schotter | 800 [€/m] |
| | Liegedauer | 40 Jahre | | 60 Jahre | |
| | Si-Erneuerung | nach 20 Jahren | | nach 30 Jahren | |
| | DUA | alle 5 Jahre | 20 [€/m] | keine DUA | entfällt |
| | Si Schleifen | jährlich | 8 [€/m] | alle 4 Jahre | 8 [€/m] |
| | Betrachtungszeitraum | 60 Jahre | | | |
| LCC [€] | Kapitalwert bei 8% | 1.144,29 | | 1.187,31 | |
| | Annuität bei 8% | 95,96 | | 99,57 | |
| | Kapitalwert bei 4% | 1.501,60 | | 1.291,62 | |
| | Annuität bei 4% | 75,87 | | 65,26 | |
| | Kapitalwert bei 0% | 2.671,56 | | 1.603,48 | |
| | Annuität bei 0% | 66,79 | | 40,09 | |

Tabelle 13: Vergleich der LCC-Ergebnisse (Betrachtungszeitraum 60 Jahre)

Die Ergebnisse der LCC-Betrachtung über einen Zeitraum von 60 Jahren zeigen, dass auf der Basis eines kalkulatorischen Zinssatzes von 8 %, wie er derzeit bei der DB Netz AG zugrunde gelegt wird, der DURFLEX®-Oberbau auch bei Berücksichtigung eines Schleifintervalls für die Schienen von einem Jahr nur noch geringfügig höhere (schlechtere) Werte aufweist. Entsprechend positiv fallen die Ergebnisse für die niedriger angesetzten Werte für den kalkulatorischen Zinssatz aus. Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass etwa bei Unterlegung eines kalkulatorischen Zinssatzes von ca. 7 % der konventionelle Schotteroberbau und der DURFLEX®-Oberbau vergleichbare Werte aufweisen.

Die LCC-Betrachtungen und ihre Ergebnisse zeigen, dass eine wirtschaftliche Bewertung des DURFLEX®-Oberbaus im Vergleich zum konventionellen Oberbau erheblich von den zugrunde gelegten Rahmenbedingungen wie z.B. Betrachtungszeitraum und angesetzter kalkulatorischer Zinssatz beeinflusst wird. Dies ist einmal der aus individueller unternehmerischer Sicht angesetzte kalkulatorische Zinssatz unter Berücksichtigung der Einschätzung der langfristigen Entwicklung des Kapitalmarktzinses. Zum Anderen spielt die zeitliche Bewertung eine große Rolle: steht eher die kurzfristige oder die langfristige Perspektive im Vordergrund der Bewertung und Ausrichtung des unternehmerischen Handels. Hierüber haben die jeweiligen Anwender, also die Eisenbahninfrastrukturunternehmen zu entscheiden. Dabei sollten jedoch nicht nur rein wirtschaftliche

Aspekte im Sinne einer LCC-Betrachtung berücksichtigt werden, sondern auch darüber hinausgehende Effekte wie Netzqualität und –verfügbarkeit.

Hierzu wurden noch verschiedene Aspekte einbezogen, die im Folgenden dargestellt werden.

Auswirkungen von DURFLEX® auf die Investitionskosten

Für die Ausführung des Oberbaus in DURFLEX® ist in Deutschland (Bereich der DB Netz AG) neben spezifischen Sonderanwendungen (z.B. in Tunneln, bei Kunstbauwerken oder schlechten Bodenverhältnissen) vor allem das sogenannte hochbelastete Kernnetz der DB Netz AG, das etwa einen Umfang von ca. 3.600 Streckenkilometer umfasst, vorgesehen. Unter Berücksichtigung einer Lebensdauer von 40-Jahren (konventioneller Schotteroberbau) ergibt sich damit ein durchschnittlicher jährlicher Erneuerungsbedarf von 90 Streckenkilometern (entspricht ca. 180 Gleiskilometer).

Für die Erneuerung in bestehendem konventionellen Schotteroberbau würde pro Jahr hierfür etwa ein durchschnittlicher Aufwand von 550.000,00 € pro Gleiskilometer entstehen. Dies entspricht bei 180 Gleiskilometern einer Summe von 99 Mio. € für die reine Oberbauerneuerung im Kernnetz. Unter der Annahme dieses Kernnetz langfristig in seiner Qualität und Verfügbarkeit durch komplette Durflexisierung zu verbessern würde pro Jahr ein durchschnittlicher Mehraufwand an Investitionen von 250.000,00 € pro Gleiskilometer zu berücksichtigen sein. Bei 180 Gleiskilometer entspricht dies einem Zusatzaufwand von durchschnittlich 45 Mio. €.

Lärmemissionen der Bahn und damit dem Lärmschutz im Schienenverkehr wird sowohl bei der betroffenen Bevölkerung als auch in der Politik von der kommunalen Ebene bis zum Bund eine zunehmende Bedeutung zugemessen. Unter der Annahme, dass im Rahmen der Erneuerung des Schienenoberbaus etwa ein Anteil von 10 % der Strecken mit passivem Lärmschutz (Lärmschutzwand) auszurüsten ist, ergibt sich zwischen der LSW im konventionellen Schienenoberbau und der möglichen niedrigeren Lärmschutzwand beim DURFLEX®-Oberbau für DURFLEX® ein Kostenvorteil von 250.000,00 € pro Gleiskilometer. Bei durchschnittlich 18 Gleiskilometern entspricht dies einem Investitionsvorteil von 4,5 Mio. € pro Jahr, womit ein Anteil von 10 % des Mehraufwandes kompensiert würde.

D.h. der erforderliche jährliche Mehraufwand würde sich in einer Größenordnung von 40 bis 45 Mio. € für eine langfristig durchgehende qualitätssteigernde Sanierung des Schienenoberbaus im Kernnetz bewegen. Dieser Betrag entspricht dem erforderlichen Investitionsaufwand von etwa 2 km Neubaustrecke bzw. einem Anteil von 1,8 % an den 2,5 Mrd. € die der DB Netz AG im Rahmen der LuF für das Bestandsnetz zur Verfügung gestellt werden.

Ein merklicher Anteil des Oberbaus im Bereich der Neubaustrecken wurde in der Vergangenheit in Form der festen Fahrbahn ausgeführt (z.B. Frankfurt-Köln, Hannover-Berlin und Nürnberg-Ingolstadt). DURFLEX® weist zur festen Fahrbahn mindestens vergleichbare Qualitäten (Lagestabilität, Unterhaltungsaufwand) auf, ist aber in der Erstellung um ca. 400,00 € pro Gleismeter (800,00 € für DURFLEX® und ca. durchschnittlich etwa 1.200,00 € für die feste Fahrbahn) günstiger. Unter Berücksichtigung, dass im Rahmen der anstehenden Neubauvorhaben auch ein erheblicher Teil als feste Fahrbahn ausgeführt wird, können hierdurch wiederum Einsparungen erzielt werden. Bei einer Annahme von durchschnittlich ca. 25 Neubaustreckenkilometern pro Jahr (= 50 Gleiskilometer) in fester Fahrbahn in den nächsten 10 Jahren würde dies bei alternativer Ausführung in DURFLEX® zu einem Einsparpotenzial von 20 Mio. € pro Jahr führen und somit in der Gegenrechnung den Mehraufwand für die Sanierung des Kernbestandsnetz auf ca. 20 Mio. € Mehraufwand pro Jahr reduzieren.

Auswirkungen auf die Instandhaltungskosten im Kernnetz

Auf Basis von Schleifkosten von 8,00 € pro Gleismeter und einem durchschnittlichem Schleifintervall von einem Jahr im Kernnetz sowie Kosten von 20,00 € pro Gleismeter für die Durcharbeitung (durchschnittlich alle 5 Jahre im Kernnetz) würden pro Durflexisiertem Gleismeter im Kernnetz pro Jahr Instandhaltungskosten von 12,00 € eingespart werden können. Dies entspricht einem Wert von 12.000,00 € pro Gleis- bzw. 24.000,00 € pro Streckenkilometer.

Bei durchschnittlich 90 sanierten Streckenkilometern im ersten Jahr entspricht dies einer Ersparnis im Jahr 2 von 2,16 Mio. €. Bei fortschreitender Umsetzung würden sich im Jahr 11 nach Start der Aktion Einsparungen von 21,6 Mio. € pro Jahr mit entsprechend zunehmender Tendenz ergeben.

D.h. im Sinn einer langfristigen Betrachtung wird sich die Sanierung des Oberbaus im Kernnetz der DB Netz AG in DURFLEX®-Ausführung auch wirtschaftlich rechnen.

Qualitative Aspekte der technisch-wirtschaftlichen Bewertung

Mittel- bis langfristig ergeben sich neben den erheblichen Einsparungen im Unterhaltungsaufwand noch begleitende (qualitative) Aspekte:

- Weniger Baustellen im Kernnetz der DB Netz AG infolge Entfall der Durcharbeitung sowie erwarteter Steigerung der Lebensdauer von Schienen und des Schotterbettes um 50 % (Erneuerung Schienen nach 30 statt nach 20 Jahren und Erneuerung Oberbau nach 60 statt nach 40 Jahren).
- Durch die Reduzierung der Baustellen ergibt sich ein wesentlich höhere Netzverfügbarkeit und auch Transportqualität im Netz.
- Vermeidung von Trassenpreis-Einnahmeverlusten durch nicht mehr fahrbare Züge aufgrund von Baustellen bei dem Eisenbahninfrastrukturunternehmen bzw. Vermeidung von Mehraufwand in der Traktion aufgrund von Zeitverlusten und Umleitungen bei den Eisenbahnverkehrsunternehmen.
- Reduzierung der erforderlichen Vorplanung von Sperrpausen im bei der Belegungsplanung für die jeweiligen Strecken aufgrund des Entfalls bzw. erheblicher Reduzierung der Unterhaltungsarbeiten.
- Vermeidung Baustellenbegleitkosten für Vorplanung, Baustellensicherung und Bauüberwachung.
- Vermeidung Baustellenbegleitemission und -kosten

Diese qualitativen Aspekte sind nur bedingt zu quantifizieren. Im Rahmen einer abschätzenden Betrachtung (siehe Details in der Präsentation) wurde das mögliche Mehrerlöspotential für Güterzug-Trassen und das Einsparpotential für die Begleitkosten von Baustellen vor dem Hintergrund einer kompletten Ausführung des Kernnetz der DB Netz AG in DURFLEX® grob abgeschätzt. Das Ergebnis ist in nachfolgender Tabelle dargestellt. Insgesamt summieren sich die Effekte auf einen Betrag von ca. 25 Mio. € pro Jahr auf.

| | Gz-Trassen-Mehreinnahem* | Eingesparte Baustellen-Begleitkosten* |
|------------------------|---------------------------------|--|
| Gleiserneuerung | 14 Mio. € | 4,5 Mio. € |
| Durcharbeitung | 1,9 Mio. € | 3,0 Mio. € |
| Schienenwechsel | 1,1 Mio. € | 0,5 Mio. € |
| SUMME | 17 Mio. € | 8,0 Mio. € |

Tabelle 14: Mehrerlös- und Einsparpotential

Darüber hinaus ergibt sich ein weiterer Aspekt der Ressourcenschonung bezüglich des zukünftigen Verbrauchs an Schotter sowie der Vermeidung der Entsorgungskosten insbesondere von Feianteilen beim Ausbau von verbrauchtem Schotter.

Bei einer jährlichen konventionellen Gleiserneuerung von 180 km sind ca. 50 % des Schotterbedarfs von 3,5 t pro Gleisometer durch Neuschotter zu ersetzen. Bei DURFLEX® würde sich dieser Anteil auf maximal 10 % infolge der Wiederaufbereitung reduzieren. Hieraus ergibt sich ein Minderbedarf von Schotter für die Instandhaltung des Kernnetzes der DB Netz AG von ca. 250.000 t pro Jahr.

Weitere Rohstoffreduzierung ergäbe sich aus dem Einsatz weiterer Schwellentypen, da der höherer Querverschiebewiderstand und die bessere Lastableitung in den Untergrund dies bei Bedarf ermöglichen würde.

1.5 Zusammenfassung der Ergebnisse und weiteres Entwicklungspotential

Das Fahrbahnsystem DURFLEX® zeigt, dass der Schotteroberbau nicht am Ende seiner Entwicklung ist und zusätzliche Impulse bringt:

- eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit
- eine Verlängerung der Instandhaltungsintervalle
- eine Verringerung von Körperschall und Schwingungen
- Wirtschaftlichkeit: Herstellungskosten unter der Festen Fahrbahn

Dies verdeutlicht, dass die Entwicklung nicht am Ende ist, sondern der Anfang einer neuen Ära des Schotteroberbaues eingeläutet wird. Die vorliegenden Ergebnisse mit Stand März 2010 bestätigen

- nach ca. 140.000.000 Lasttonnen
- und 2 Winterperioden mit Temperaturen bis unter -20°C

eine sehr gute Gleislage ohne jeglichen Unterhaltungsaufwand.

Die bisher formulierten Ziele sind alle erreicht bzw. übertroffen worden. Eine Übersicht über die Ergebnisse lässt sich dem Vergleich „SCHOTTEROBERBAU-DURFLEX®-FESTE Fahrbahn“ anstellen.

| Parameter | Schotteroberbau | DURFLEX® | Feste Fahrbahn |
|--|---|---|--|
| Bauzeit | kurz, Vergleichswert für alle Planfeststellungs- verfahren | gegenüber Schotteroberbau geringfügig länger - nur die Dauer des Schäumvorganges, keine Aushärtezeit | lange Aushärte und Arbeitsvorbereitungszeiten, geändertes Planfeststellungsverfahren |
| Reparaturkonzept | problemlos | problemlos | Zeitaufwändig |
| Sonderbauweisen | keine | keine | viele, Weichen, Brücken, Einbauten, EBA- Zulassungen erforderlich |
| Schotterwirbel im Tunnel | problematisch | keiner bei Vollausschäumung | kein Schotter vorhanden |
| Recycling | problemlos | problemlos | aufwändig |
| Sicherungskosten / Bauüberwachung | gering | unwesentlich größer als beim Schotteroberbau | sehr hoch, infolge langer Bauzeit |
| Vermessungs- aufwand | gering | gering | sehr hoch |
| Querverschiebe- widerstand | gering | sehr groß | sehr groß |
| Vorkopfeinschotter- ung | ≥ 40 cm | max. 25 cm aufgrund des großen Querverschiebewiders- tandes | nicht nötig |
| Druckspannung auf dem Planum | sehr hoch | gering, Verzicht auf PSS möglich | gering |
| Bettungsdicke, Dicke Tragschichten | 30 cm / 35 cm 30 bis 50 cm | Verringerung möglich durch besserer Lastverteilung (Bemessung erforderlich) | Bauhöhe größer als bei Schotter und DURFLEX® |
| Spannung unter Schwelle | groß | wesentlich geringer, Einbau kürzerer Schwellen möglich, (Bemessung erforderlich) | systembedingt |
| Filterstabilität gegen über gleichkörnigen Bodenarten | ohne besondere Maßnahmen nicht gegeben (z.B. Einbau einer PSS erforderlich) | gegeben, keine besonderen Maßnahmen bei tragfähigem Baugrund notwendig | Gründung immer auf gesonderten Tragschichten, aufwändig |
| Schottermenge | groß | geringer Vorkopfschotter geringere Bettungsdicke | - |
| Breite des Schotter- körpers | groß | kleiner infolge des geringeren Schotterbedarfes | Betonplatte, Breite geringer |

Tabelle 15: Vergleich Oberbauverfahren (Feste Fahrbahn, DURFLEX®, Schotteroberbau) Teil 1

| Parameter | Schotteroberbau | DURFLEX® | Feste Fahrbahn |
|---|---|--|--|
| Wärmedämmwirkung des Schotters | gering | groß, Verzicht auf Frostschutzschichten (Nachweise erforderlich) | - |
| Setzungen | groß, im Schotter und Unterbau | geringe, max. nur im Unterbau | wenn, nur im Unterbau |
| Schallabstrahlung | groß | geringer | sehr groß, harte Reflektionsflächen |
| nachträglicher Einbau von Kabeltrögen in Randweg | meistens nur mit Bahnkörperverbreiterung möglich, z.B. Anschüttungen, Stützbauwerke, ggf. Grunderwerb | auf Grund des kleineren Schotterkörpers ohne Zusatzmaßnahmen möglich (Errichtung ESTW) | - |
| Schwingungen im Baugrund | hoch | sehr gering, dadurch Verzicht auf ggf. im Untergrund erforderliche Maßnahmen | hoch |
| Planrecht bei Umbau | nein | nein, da nur zusätzlicher umweltverträglicher Baustoff zum Einsatz kommt (Gutachten BEVAR) | Planfeststellung, Plangenehmigung zwingend notwendig |
| Erschütterungen | groß | gering, kostengünstiger Einsatz auf Brücken | groß |
| Bettungsver- schmutzung | möglich | weitestgehend nicht möglich | - |
| Reaktion auf Temperatur- einwirkung | Gleisverwerfung möglich | Gleisverwerfung nicht möglich | große Temperaturspannungen im System, Einfluss auf Lebensdauer |
| Umrüstung von SchO auf alternative Oberbausysteme | - | durch Einsatz von vorhandenen Großmaschinen in kurzer Zeit realisierbar | äußerst aufwändig, lange Sperrzeiten, hohe zusätzliche Betriebskosten, umfangreiche Eingriffe in Fahrplantechnologie Beauftragung Planfeststellung |

Tabelle 16: Vergleich Oberbauverfahren (Feste Fahrbahn, DURFLEX®, Schotteroberbau) Teil 2

Der eingeschlagene Weg, ein normales Schottergleis im Lastabtragungsbereich komplett zu verschäumen und damit eine quasi Feste Fahrbahn herzustellen, lässt sich eindrucksvoll bestätigen. Weiteres Entwicklungspotenzial ist aufgezeigt. Die Umweltverträglichkeit liegt vor. Nun muss der Weg zur Serienfertigung eingeschlagen werden.

Auf diesem Wege erschließen sich Potentiale im Verfahren selbst, da mit Erlangen der Serienreife auch weitere Optimierungslösungen real möglich erscheinen, die auf den bis dato gesammelten Erfahrungen beruhen, so z.B. eine weitere Verringerung der Menge des einzusetzenden Verschäumungsmaterials.

Darüber hinaus erschließen sich aber auch durch die Anwendung der Durflex®-Technologie erkennbar weitere Potentiale der Optimierung der Bettungsstrukturen und des Gleisbaus etwa durch den höheren Querverschubwiderstand eine mögliche Verkürzung der Bettungsschulter, durch bessere Lastverteilung in der Lastabtragung eingetragener Verkehrslasten die Möglichkeit der Reduzierung der Bettungshöhe und ggf. sogar veränderte Korngrößen des zu verwendenden Schotters bis hin zum Einsatz von Schottersubstituten, jeweils verbunden mit spürbaren Kostensenkungsmöglichkeiten.

Letzteres wie auch weitere denkbare Veränderungen etwa bei Form und Abstand der Schwellen stehen selbstverständlich noch unter dem Vorbehalt weiterer vorzunehmender Untersuchungen, bestimmen aber dennoch den sehr positiven Erwartungshorizont des Zukunftsraumes sich hier abzeichnender potentieller Lösungsansätze.

2. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Wirtschaftliche und technische Erfolgsaussichten

Aufgrund vielfältiger Voruntersuchungen, durchgeführter Labortests und zahlreicher Abstimmungs-/ Bewertungsgespräche mit verschiedenen Beteiligten (EBA, BMVBS und DB Netz AG) sowie umfangreicher Vorbereitungen ist davon auszugehen, dass das Vorhaben technisch-wirtschaftlich und in dem geplanten Zeitrahmen umgesetzt werden kann.

Die Erfolgsaussichten werden bei den Beteiligten als hoch angesehen. Dies wird sowohl durch die Beteiligung des Eisenbahnbundesamtes, die beantragte Förderung und der Vereinbarung mit der DB Netz zum Einbau unterstrichen.

Der konkrete wirtschaftliche Erfolg hängt von den Einsatzbedingungen (Art der Strecke, konkrete Unterhaltungsregime, Mengenverhältnisse) ab. Eine zahlenmäßige Bewertung orientiert sich an den oben detailliert dargestellten Größenordnungen. Der erwartete Erfolg kann qualitativ wie folgt skizziert werden:

- Ein Meter Streckengleis in herkömmlicher Ausführung (Schottergleis) kostet gemäß Erfahrungswerten etwa 600,00 € (+/- je nach örtlichen Verhältnissen). Die Ausführung als feste Fahrbahn ist je nach örtlichen Verhältnissen doppelt so teuer. Für Lärmschutz sind je nach Erfordernis zusätzlich 500,00 € (Lärmschutz im Gleis) bis zu etwa 1.000,00 € pro m anzuwenden.
- Der zukünftige Mehraufwand durch die Verschäumung beträgt rd. 250 € je Meter, er liegt erheblich unter dem der festen Fahrbahn und amortisiert sich für den Betreiber, wie dargestellt, relativ schnell.
- Die mögliche Liegezeit eines konventionellen Schottergleises beträgt ca. 25-30 Jahre, danach ist es komplett zu erneuern. Je nach Belastung ist darüber hinaus alle 4-6 Jahre eine Durcharbeitung erforderlich (Unterhaltung).
- Für das System DURFLEX® wird aufgrund der Ergebnisse der Laborversuche eine Verdoppelung der Liegezeit erwartet. Bezüglich der Unterhaltung kann aufgrund der Lagestabilität auf eine regelmäßige Durcharbeitung verzichtet werden. Hier ist lediglich mit dem punktuellen Ersatz von Verschleißteilen (Schienenbefestigung, Schienen) zu rechnen.
- Im Vergleich zur derzeitigen Situation wird damit gerechnet, dass auf zusätzliche Schallschutzmaßnahmen entweder ganz verzichtet werden kann oder die Anordnung einer erheblich niedrigeren Schallschutzwand (ca. 90 cm) ausreichend ist.
- Insgesamt ergeben sich damit erheblich niedrigere Unterhaltungskosten. Hinzu kommen direkte und indirekte Vorteile (z.B. Fahrzeit und / oder Fahrwegverlängerungen infolge Gleissperrung). Aufgrund der erwarteten Einsparungen beim Lärmschutz wird darüber hinaus insgesamt auch mit niedrigeren Erstellungskosten gerechnet.

Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit und zukünftige Verwertung

Unter Berücksichtigung des erwarteten Erfolgs wird beabsichtigt, das System DURFLEX® in ein industrielles Gleisbauverfahren zu überführen. Das Interesse der BVG bestätigt, dass über einen Einsatz bei der DB Netz AG bzw. weiteren europäischen Bahnen hinaus ein breitgefächelter Anwendungsbereich besteht. Die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Gleisbauindustrie - aber auch die Effizienz und Attraktivität des Verkehrsträgers Schiene würden hierüber merklich verbessert werden können.

3. Auflistung der erfolgten und geplanten Veröffentlichungen

1. Frenzel, Jürgen; Frenzel, Jörg:
Neues Gleisoberbausystem DURFLEX®, EI – Der Eisenbahningenieur
Nr. 3/2008, S. 13-17
2. Frenzel, Jürgen:
Das DURFLEX®-Oberbausystem- eine Synthese aus Schotteroberbau und
Fester Fahrbahn, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie:
Schienenverkehr- sicher, leise, effizient, Innotrans 2008, S. 27-28
3. Frenzel, Jörg, Puppe Matthias, Prof. Dr. Hecht Markus, Gramowski Christoph
DURFLEX® EI – Der Eisenbahningenieur
Nr. 3/2010, S. 42-28
4. Frenzel, Jörg
DURFLEX® Artikel ZEV Rail, Ausgabe April 2010
(zum Abgabetermin noch nicht veröffentlicht)

III. Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Systembeschreibung DURFLEX® Patentschrift
- Anlage 2: Kurzgefasster Erfolgskontrollbericht
- Anlage 3: Verfahrensbeschreibung für die Aufbereitung des verschäumten Schotters
- Anlage 4: Setzungsaufzeichnung Abschnitt Uelzen
- Anlage 5: Präsentation zur Abschätzung qualitativer Systemeffekte
- Anlage 6: Beitrag zu den förderpolitischen Zielen
- Anlage 7: Zusammenfassung wissenschaftlich-technisches Ergebnis
- Anlage 8: Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises
- Anlage 9: Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit
- Anlage 10: Fortschreibung des Verwertungsplans
- Anlage 11: Einhaltung der Kosten und Zeitplanung



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
25.01.2006 Patentblatt 2006/04

(51) Int Cl.:
E01B 1/00 (2006.01) E01B 27/18 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05106393.1**

(22) Anmeldetag: **13.07.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(72) Erfinder: **Frenzel, Tim
31061, Brunkensen (DE)**

(74) Vertreter: **Hilleringmann, Jochen
Patentanwälte
von Kreisler-Selting-Werner,
Bahnhofsvorplatz 1 (Deichmannhaus)
50667 Köln (DE)**

(30) Priorität: **23.07.2004 EP 04017427**

(71) Anmelder: **Frenzel-Bau GmbH
31084 Freden (DE)**

(54) **Teilverschäumter Gleisoberbau**

(57) Der Gleisoberbau für einen Schienenweg auf einem quer zu dessen Erstreckung geneigten Untergrund (12) ist versehen mit einem Schotterkörper (16) aus einzelnen Schottersteinen (18) und in dem Schotterkörper eingebetteten Schwellen (20), an denen Schienen (24) befestigbar sind, wobei der Schotterkörper (16) unterhalb der Schwellen (20) Lastabtragungsbereiche (26) aufweist, die beim Befahren der Schienen (24) über die Schwellen (20) vertikal auf den Schotterkörper (16) wirkende Lasten aufnehmen und den Untergrund (12) un-

terhalb des Schotterkörpers (16) übertragen. Diese Übertragung ist dadurch gekennzeichnet, dass im Wesentlichen lediglich die Hohlräume zwischen den Schottersteinen (18) innerhalb der Lastabtragungsbereiche (26) des Schotterkörpers (16) zur Lagefixierung der Schottersteine (18) in diesen Bereichen (26) mit einem Schaummaterial (28) insbesondere einem PU-Schaummaterial, ausgefüllt sind und dass zwischen dem Schotterkörper (16) und dem Untergrund (12) eine elastische Drainageschicht (14) angeordnet ist.

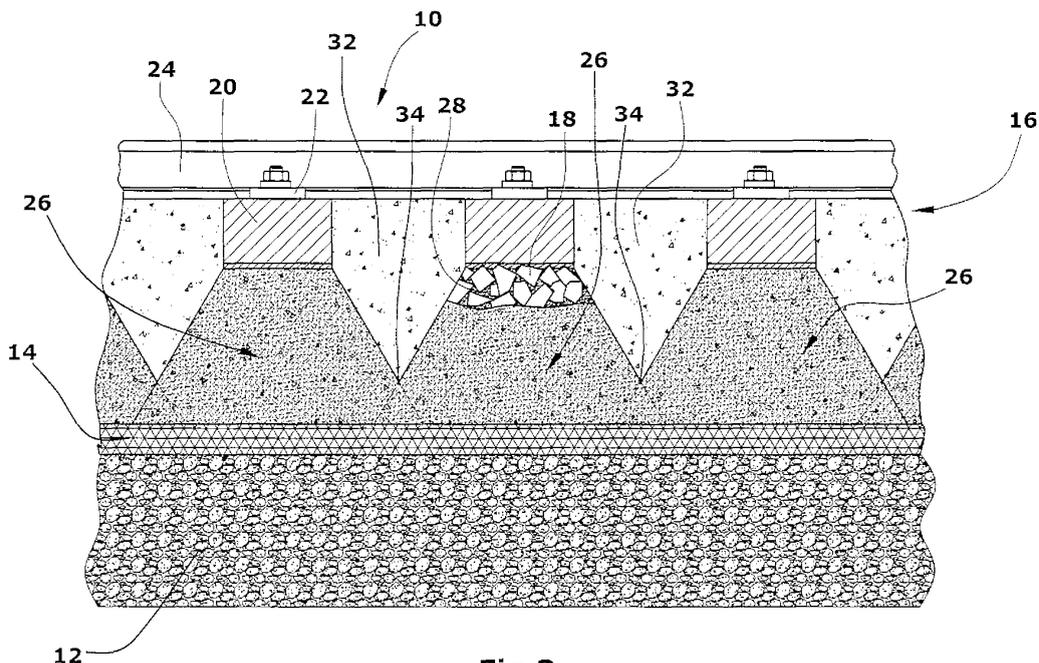


Fig.3

Beschreibung

[0001] Zu den traditionellen und am häufigsten angewandten Gleissystemen gehören heute die Schottergleise. Wahlweise ausgerüstet mit Holz, Beton- oder Stahlschwellen. Diese Gleiskonstruktion hat sich seit Beginn des Eisenbahnverkehrs stetig durch den praktischen Einsatz und die theoretische Nachrechnung optimiert.

[0002] Um eine wirtschaftliche Gleisanlage zu erhalten, muss die Lebensdauer ihrer Hauptelemente - Schienen, Schwellen, Schotter und Unterbau - richtig aufeinander abgestimmt sein. Niedrige "Life Cycle Costs" entstehen dann, wenn der Unterbau eine längere Nutzungsdauer als das Schotterbett aufweist und das Schotterbett erst erneuert werden muss, wenn die Schwellen das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht haben. Die starke Zunahme der Beanspruchung durch mehr Züge, höhere Achslasten und Geschwindigkeiten sowie schweres Rollmaterial führte in den letzten Jahrzehnten dazu, dass aus wirtschaftlichen Gründen zuerst der Gleisrost durch den Einsatz von steiferen Schienenprofilen und Betonschwellen verstärkt wurde. In einer zweiten Phase wurde im Rahmen von Oberbauerneuerungen, wo nötig, der Unterbau durch den Einbau von Planumsschutzschichten sowie Entwässerungen saniert. Dadurch wurde das Schotterbett faktisch zum schwächsten Hauptelement der Fahrbahn. Die Verbesserung der Schottereigenschaften ist eine wichtige Maßnahme für die Sicherstellung einer hinreichenden Nutzungsdauer des aus Brechschotter bestehenden Schotterbettes, das in sauberem Zustand ein hohes Porenvolumen aufweist.

[0003] Heute werden auf diesen Gleisen (z.B. TGV) Geschwindigkeiten bis über 300 km/h realisiert und große Lasten transportiert. Die Bautechnik hat sich diesen Konstruktionen angepasst und steht heute auf einem weltweit hohen Niveau.

[0004] Die Konstruktion des Schottergleises ist aus der theoretischen Betrachtung eine komplizierte, komplexe Realisierung. Kompliziert deshalb, weil sich die nicht in einem starren, festen Gefüge befindliche Schottermasse bei dynamischer Beeinflussung verändert.

[0005] Dieses bedeutet: Bei der Herstellung des Gleises wird nach der Montage des Gleisrostes auf einem mindestens 30 cm starken Schotterbett der Schotter mit so genannten Stopfmaschinen verdichtet. Nun ruht der Gleisrost auf dem Schotterbett und überträgt die Lasten aus dem Zuglauf über die Schienen auf die Schwellen und von dort auf den Schotterkörper. Die Lasten werden dann im Schotterkörper - idealisiert betrachtet - von Schotterstein zu Schotterstein bis auf das darunter liegende Planum nach unten verteilt und in den Baugrund abgeleitet.

[0006] Der rein statische Abtrag der eingeführten Lasten erfolgt dabei problemlos.

[0007] Veränderungen im Gefüge des Schotterbettes werden aber durch die dynamische Belastung, welche bei Zugfahrt eintritt, ausgelöst.

[0008] Bei der Zugüberfahrt kommt es bekannterweise

zu positiven und negativen Lasteintragungen. Dieses heißt, das Gleis wird mit senkrechten Lasten und zusätzlich mit einer entlastenden Vor- und Nachlaufwelle beaufschlagt. In Verbindung mit der dynamischen Frequenz aus dem Zuglauf kann sich somit das "Stein auf Stein Gebilde" verändern. Die Schottersteine verdrehen sich, werden in der Endphase rund und die Gleislage verändert sich. Würde dieser Vorgang völlig gleichmäßig erfolgen, würde hieraus kein Nachteil für die Gleislage entstehen. Durch die Linienführung des Gleises - Bogen, Gerade, Brücke, verschiedene Untergründe usw. - geschieht dieses aber nicht. Es muss in zeitlichen Abständen immer wieder mit Stopfmaschinen nachgestopft werden, um eine gute Gleislage auf Dauer vorzuhalten.

[0009] Die Bahnen fahren heute im Güterverkehr mit einer Achslast von 22,5 t. Die Schwellen übertragen diese Last auf ihrer Unterseite auf im Mittel auf ca. 330 Schottersteinspitzen und von dort von Stein zu Stein nach unten. Es werden somit nur ca. 12% der Schwellengrundfläche als Aufstandsfläche genutzt. Diese Werte gelten sowohl für horizontale als auch vertikale Lastabtragungen. Der Hohlraum im Schottergerüst beträgt ungefähr 40%, das heißt, es gibt genügend Raum, um bei dynamischer Belastung ein Verdrehen oder Verlagern der einzelnen Schottersteine zuzulassen.

[0010] In der Vergangenheit wurden unterschiedliche Techniken entwickelt, um diesem Problem entgegenzuwirken:

1. Es wurden und werden schotterlose Gleissysteme, sogenannte "Feste Fahrbahnen" entwickelt. Diese können einen Betonunterbau oder einen Asphaltunterbau aufweisen.

2. Der Schotterkörper wird nach der Herstellung des fertig gestopften Gleises mit einem zementösen Gemisch ausgegossen und damit starr.

3. Der Schotterkörper wird nach der Herstellung des fertig gestopften Gleises mit einem Flüssigkunststoff behandelt und dadurch an den Kontaktstellen Stein zu Stein punktweise verklebt.

[0011] Es sind eine Reihe früherer Vorschläge bekannt, in denen versucht wird, die Eigenschaften von technischen Strukturen zu verändern, um beispielsweise durch wirksames "Zusammenhalten" der Steine die Stabilität zu verbessern.

[0012] Aus DD 86 201 und DE 24 48 978 A1 ist z.B. eine Voll- oder Teilverklebung sämtlicher Schottersteine des Schotterkörpers bekannt. Hierdurch entstehen Entwässerungsprobleme, da Oberflächenwasser den Schotterkörper nicht mehr horizontal oder vertikal durchdringen kann, was insbesondere bei zwei- oder mehrgleisigen Strecken und insbesondere in Kurvenbereichen ungünstig ist.

[0013] Auch aus DE 20 63 727 ist die Vollverklebung sämtlicher Schottersteine des Schotterkörpers bekannt,

und zwar mit einem gegebenenfalls schäumbaren Klebermaterial. Eine Maschine, mit der diese Vollverklebung erreicht werden kann, ist in US-A-3,942,448 bzw. DE-U-7319950 beschrieben.

[0014] Aus DE-A-23 05 536 ist ein Verfahren zum Anheben von Gleisen bekannt, bei dem durch die Schienen hindurch in den Gleiskörper hinein zwecks dessen Anhebung quellendes Material eingebracht wird.

[0015] Mit der vorliegenden Erfindung soll ein alternativer Weg zur Stabilisierung des Schotterkörpers ohne Beeinflussung von dessen Morphologie und unter Berücksichtigung der Entwässerungsproblematik beschränkt werden.

[0016] Mit der Erfindung wird ein Gleisoberbaukörper für einen Schienenweg auf einem quer zu dessen Erstreckung geeigneten Untergrund, vorgeschlagen, der versehen ist mit

- einem Schotterkörper aus einzelnen Schottersteinen und
- in dem Schotterkörper eingebetteten Schwellen, an denen Schienen befestigbar sind, wobei der Schotterkörper unterhalb der Schwellen Lastabtragungsbereiche aufweist, die beim Befahren der Schienen über die Schwellen vertikal auf den Schotterkörper wirkende Lasten aufnehmen und den Untergrund unterhalb des Schotterkörpers übertragen.

[0017] Bei diesem Gleisoberbau ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass im Wesentlichen lediglich die Hohlräume zwischen den Schottersteinen innerhalb der Lastabtragungsbereiche des Schotterkörpers zur Lagefixierung der Schottersteine in diesen Bereichen mit einem Schaummaterial, insbesondere einem PU-Schaummaterial, ausgefüllt sind und dass zwischen dem Schotterkörper und dem Untergrund eine elastische Drainageschicht angeordnet ist.

[0018] Der erfindungsgemäße Gedanke ist darin zu sehen, dass der Schotterkörper nur in Teilen mit einem schäumbaren Material versehen, innerhalb dieser Bereiche allerdings sind die Hohlräume zwischen den Schottersteinen im Wesentlichen vollständig von diesem schäumbaren Material ausgefüllt, wobei jedoch sichergestellt ist, dass die Gleiskörpermorphologie durch die Ausschäumung gegenüber dem Zustand des Schotterkörpers vor der Einbringung des schäumbaren Materials unverändert bleibt. Bei diesen Bereichen des Schotterkörpers handelt es sich um die Lastabtragungsbereiche unterhalb der Schwellen, wobei sich diese Lastabtragungsbereiche ausgehend von den Schwellen schräg auswärts verlaufend und unterhalb der Schwellen erstrecken. Durch diese erfindungsgemäße Teilverschäumung des Schotterkörpers verbleiben die Hohlräume zwischen den Schottersteinen innerhalb der zwischen den Lastabtragungsbereichen befindlichen Zonen des Schotterkörpers frei, so dass Oberflächenwasser, das auf den Schotterkörper auftrifft, nach unten bzw. innerhalb dieser Zonen seitlich abfließen kann. Auch seitlich

an den Schotterkörper gelangendes Oberflächenwasser kann den Schotterkörper horizontal durchdringen.

[0019] Durch die erfindungsgemäße Teilausschäumung des Schotterkörpers bleiben gerade die bei Überfahrten über das Gleis am meisten "beanspruchten" Schottersteine lagestabil. Sie behalten also ihre nach dem Stopfvorgang und nach der (künstlich) erzeugten Erstsetzung des Gleisoberbaus eingenommene Lage dauerhaft bei, und zwar im Wesentlichen über die gesamte Betriebsdauer des Gleisoberbaus. Ein Nachstopfen, wie es heutzutage bei Gleisschotterkörpern der Fall ist, wird dadurch entbehrlich.

[0020] Als im Rahmen der Erfindung verwendbarer Schaum kommt ein Hartschaum bzw. ein Halbhartschaum in Frage, also ein Schaum, der einer Verformung einen nicht unbeträchtlichen Widerstand entgegen setzt. Der Schaum muss eine ausreichende Druckfestigkeit aufweisen. Der Schaum kann bezüglich Druckfestigkeit, Reaktionszeiten, Reaktionskomponenten, Topfzeit eingestellt werden. Als Schaummaterialien kommen unter anderem Polyurithan- (PU-), Polyester- (PES-), Polystyrol- (PS-) oder Polyvinylchlorid- (PVC-) Schäume in Frage. Der Schaum kann geschlossen oder offenzellig sein. Offenzellige Schäume haben den Vorteil, dass sie akustisch wirksam sind, was bei Anwendung im Gleisoberbau von Vorteil ist. Der Schaum sollte elastisch, langzeitstabil, verrottungssicher, feuerbeständig, widerstandsfähig gegen Ungeziefer und chemikalienbeständig sein.

[0021] Zur Schaffung einer Entwässerungsmöglichkeit unterhalb des Gleisoberbaus ist der Schotterkörper auf einer elastischen Drainageschicht angeordnet. Hier kann man sich der für Drainagezwecke bekannten Drainage-Matten bedienen, wie sie beispielsweise von der Rehau AG angeboten werden. Vorteilhaft sind poröse Gummimatten oder Matten aus einem anderen Elastomermaterial. Insbesondere eignen sich Elastomergranulate, deren Partikel unter Freihaltung von horizontal und vertikal durch die Matte sich erstreckenden Hohlräumen untereinander verbunden sind. Beispielsweise eignen sich Partikel aus Reifenreziklat zur Herstellung derartiger elastischer Drainagematten. Die elastische Elastomer-Drainagematte kann hohe Gewichte und Anpresskräfte aufnehmen, ist langzeitstabil und verrottungssicher und weist die anderen obigen Eigenschaften auf, die vorzugsweise für den Schaum gelten.

[0022] Drainage-Matten konnten bisher unter Schotterkörpern nicht eingesetzt werden, da sie den Belastungen, wie sie im Laufe der Zeit verursacht durch mehrere Stopfvorgänge auftreten, nicht standhalten. Nach der Erfindung ist jedoch lediglich noch ein einziger Stopfvorgang, nämlich bei der Erstellung des Gleisoberbaus, erforderlich. Insofern ist ein Verdienst der Erfindung auch darin zu sehen, dass es gelungen ist, als Folge der Verhinderung späterer Nachstopfvorgänge ein Drainagematerial unter dem Gleisoberbau vorsehen zu können. Durch die Drainage kommt es zu einer kontrollierten und gerichteten Abführung von Wasser, das ein Ausspülen

des Untergrundes (Unterplanum) wirkungsvoll verhindert. Ferner trägt das Material der Drainagematte, wie oben beschrieben, dazu bei, dass diese langzeitstabil ist und damit auch bei hohen Druckbelastungen ihre (horizontale) Porosität beibehält.

[0023] Zur weiteren Fixierung der Schottersteine innerhalb der Lastabtragungsbereiche ist es zweckmäßig, die Schwellen an ihren Unterseiten mit einem elastischen Material insbesondere aus Kunststoff zu versehen (sogenannte Schwellenbesohlung). Derartige Schwellen mit Besohlung sind beispielsweise in EP-A-1 298 252 zu finden. Die an der Schwelle anliegenden Schottersteine dringen in das elastische Material der Schwellenbesohlung ein, wodurch es zu einer Fixierung durch eine Art "Verhakung" kommt.

[0024] Mit der Erfindung wird ferner ein Verfahren zur Erstellung eines Gleisoberbaus für einen Schienenweg auf einem quer zu dessen Erstreckung geneigten Untergrund vorgeschlagen, bei dem

- auf dem Untergrund eine elastische Drainagematte angeordnet wird,
- auf der Drainagematte ein Schotterkörper aus einzelnen, zwischen sich Hohlräume aufweisenden Schottersteinen gebildet wird,
- in den Schotterkörper Schwellen eingebettet werden,
- an den Schwellen Gleise befestigt werden, und
- zur Lagefixierung der im Wesentlichen lediglich innerhalb von Lastabtragungsbereichen des Schotterkörpers unterhalb der Schwellen befindlichen Schottersteine in die Hohlräume zwischen diesen ein schäumbares Material eingebracht wird.

[0025] Für die chemische Reaktion bei der Schaumbildung ist es vorteilhaft, wenn der Schotterkörper vor der Einbringung des schäumbaren Materials erwärmt worden ist bzw. eine erhöhte Temperatur aufweist, was je nach Umgebungsbedingungen auch ohne eine Erwärmung durch eine zusätzliche Wärmequelle gegeben sein kann.

[0026] Ferner werden, wie ebenfalls oben erwähnt, Schwellen mit einer Besohlung aus einem elastischen Material, insbesondere Kunststoffmaterial, in den Schotterkörper eingebettet.

[0027] Dem erfindungsgemäß vorgesehenen Schritt der Teilausschäumung des Schotterkörpers, in dem dieser ausschließlich in den Lastabtragungsbereichen mit Schaum versehen wird, werden zweckmäßigerweise die an sich bekannten Schritte des Stopfens und/oder der Erstsetzbildung durch Versetzen des Schotterkörpers in Vibrationen vorgeschaltet.

[0028] Das Hauptproblem des bekannten Schottergleises - das Verdrehen des Gesteins unter dynamischer Belastung - wird also erfindungsgemäß dadurch verhindert, dass nach Fertigstellung des neuen oder erneuten Gleises dieses mit einem Schaummaterial im Schotterkörper lediglich in den Lastabtragungszonen verschäumt

wird.

[0029] Dieses heißt, alle Hohlräume zwischen den Schottersteinen unter der Schwelle und in den angrenzenden Lastabtragungsbereichen werden durch den einzubringenden Schaum des Schotterkörpers geschlossen; die Hohlräume zwischen den Schwellen und außerhalb der Lastabtragungsbereiche bleiben frei und dienen somit der Abfuhr von Oberflächenwasser. Der Schaum wird so eingestellt, dass er flexibel ist. Die Einbringung des Schaums und dessen Bildung im Schotterkörper verändert die Morphologie des Schotterkörpers nicht.

[0030] Als Schaum wird vorzugsweise ein PU-Schaum eingesetzt. PU-Schäume sind seit Jahrzehnten in der Industrie und im Bauwesen bekannt. Die Anpassung an die jeweilige Anwendungsaufgabe ist problemlos. Der Einsatz bei feuchtem Wetter schadet nicht, sondern fördert.

[0031] Sämtliche Schottersteine des Gleises innerhalb der Lastabtransportbereiche werden durch den eingebrachten Schaum miteinander zu einem ganzheitlichen Schottergefüge verbunden. Die Haftigkeit des Schaums am Schotterstein und die Gefügedichte des Schaums kann der Größenordnung der maximalen Lasteintragung, zuzüglich eines Sicherheitsbeiwert, angepasst werden.

[0032] Nach der Aushärtung des Schaums können nun alle durch den Zuglauf eingeleiteten Kräfte über dieses homogene Gefüge übertragen werden, und zwar über die Schottersteine und nicht über den Schaum, der der Lagestabilisierung der Schottersteine dient.

[0033] Da der Schaum aus einer Vielzahl von Poren besteht, entsteht auch durch das Schließen der Hohlräume kein starrer Schotterkörper. Es entsteht vielmehr ein Gebilde mit unendlich vielen "Stoßdämpfern". Dadurch wird zusätzlich eine Geräuschkämmung erreicht.

[0034] Der eingebrachte PU-Schaum verbessert den Gleiskörper mehrfach:

- Der Untergrund unter dem Schotter wird durch die hohe Isolationsleistung der sich bildenden Mikro-Luftporen im PU-Schaum vor Frost geschützt.
- Der Untergrund unter dem Schotter wird vor Wasser geschützt.
- Die Gefahr einer Gleisverwerfung in horizontaler und vertikaler Richtung wird reduziert, da höhere Kräfte aufgenommen werden können.
- Der Querverschiebewiderstand eines Gleises wird erhöht.
- Die dynamische Belastung des Untergrundes und des Umfeldes wird reduziert.
- Die Berechnungsmethoden zur Lagesicherheit eines Gleises können optimiert werden.
- Der Schotterkörper wirkt schalldämpfend (Reduktion der Übertragung von Schwingungen aus dem Gleiskörper sowohl über den Boden als auch durch die Luft).

[0035] Die Vorgaben des erfindungsgemäßen Verfah-

rens bzw. Schotterkörpers sind insbesondere wie folgt:

1. gewaschener Schotter
2. Gleise gestopft und gleistechnisch abgenommen
3. Gleis-Schotterquerschnitt wärmetechnisch vorbehandelt - Temperaturvorgabe
4. Aushärtezeiten und Flexibilität des Schaums sind beeinflussbar
5. absolute Vollausschäumung der jeweiligen Lastabtragungszonen (ca. 60° Winkel) unter den Schwellen
6. Recyclingfähigkeit nach KrW-/AsfG
7. Erfüllung von Scherfestigkeiten, Abreißfestigkeiten und Federsteifigkeiten des Schaums je nach Anforderung.

[0036] Die Erstellung des erfindungsgemäßen Gleis-
aufbaus geschieht wie folgt:

1. Nach Fertigstellung des Unterbauplanums und vor Aufbringung des Gleisverlegeschotters wird auf den Flächen der PSS (Planumsschutzschicht) unter der Schotteraufstandsfläche eine elastische Drainagematte (z.B. Secudrän® von der Naue-Fasertechnik GmbH & Co. KG) verlegt. Hierdurch wird gewährleistet, dass bei zwei- oder mehrgleisigen Strecken die Mittenentwässerung dauerhaft gesichert ist. Bei eingleisigen Strecken kann hiervon abgesehen werden; es wird eine Entwässerung des in Folge der Neigung des Planums höher gelegenen Randbereichs erreicht (gilt auch bei mehrgleisigen Strecken).
2. Die einzubauenden Schwellen aus Beton oder Stahl erhalten auf der Unterseite vorzugsweise eine Besohlung aus einem Kunststoffmaterial nach dem Stand der Technik (z.B. EP-A-1 298 252). Hierdurch werden die Schottersteine beim Stopfen im Gefüge des Kunststoffes verkeilt und festgehalten.
3. Das gebaute und mit der Stopfmaschine gestopfte Gleis wird mit einem Gleisstabilisator bekannter Bauart zusätzlich behandelt. Dadurch werden Ersetzungen aus der zu erwartenden Zugbelastung vorweggenommen. Der Gleisaufbau befindet sich nun in einem Zustand, in dem er gleistechnisch abnehmbar ist.
4. Das Gleis wird unter den Schwellen und in den angrenzenden Bereichen des Druckabtrages im Schotterkörper verschäumt. Hierzu wird der Schotterkörper vorteilhafterweise zuvor wärmetechnisch behandelt und gereinigt (gewaschene Schottersteine).

[0037] Die vorliegende Erfindung geht nicht davon aus, dass über den Schaum die Lasten aus dem Zugbetrieb über- oder abgetragen werden. Der eingebaute

Schaum stabilisiert das Schottergerüst und verhindert das Ausweichen des Schotterkern aus dem durch die Stopfmaschine hergestellten, verdichteten Schottergebilde. Das nachweisbar standfeste Schottergleis wird in seiner Herstellungsform auf sehr lange Zeit in seiner Abnahmequalität erhalten. Dabei spielt die Haltbarkeit des (z.B. PU-) Schaums bzw. dessen Zusammensetzung eine große Rolle.

[0038] Das technische Verhalten von teilchengestützten Konstruktionen wird bei Anwendung von (z.B. PU-) Schaum grundsätzlich nicht verändert. Es werden lediglich die Eigenschaften der technischen Festigkeit sowie der Steifigkeit erheblich verbessert. Außerdem werden durch PU-Schaum auch die dynamischen Merkmale, die solche Eigenschaften wie den Dämpfungsgrad und die Geschwindigkeit der Beanspruchungsdruckwellen (z.B. Kompressionswelle, Scherungswelle und Oberflächenwelle) verbessert.

[0039] Bei Einsatz eines (z.B. PU-) Schaums ist es wünschenswert sicherzustellen, dass der verstärkte und stabilisierte Unterbau während seiner Lebensdauer auf einem annehmbaren Niveau funktioniert.

[0040] PU-Schaum wird vorzugsweise in der korrekten räumlichen Lage und bis in die richtige Tiefe eingesetzt, um zu gewährleisten, dass die Verbesserungen des technischen Verhaltens erzielt werden. Außerdem wird PU-Schaum vorzugsweise chemisch aufgebaut, um zu gewährleisten, dass seine gewünschten Eigenschaften für die jeweilige Anwendung unter Berücksichtigung von Steifigkeit, Festigkeit, Viskosität, Ermüdungsgrenzen, akustischer Dämpfung, Temperaturbereich, biochemischen und hydrokopischen Eigenschaften, Erhärtungszeit und Lebensdauer richtig sind. So gibt es am Markt frei verfügbare Schäume, die einen Temperaturbereich von -30° bis +80° C vertragen, dampf- und wasserfest sind, nicht schrumpfen oder nachdrücken und fäkalienbeständig sind (dies ist nicht zu vernachlässigen, da immer noch viele Personen-Bahnen offen Toilettensysteme haben und somit Fäkalien auf dem Schotter entleeren). Um das gewünschte Verhalten und eine Vorhersagbarkeit zu erzielen, können zusätzliche Stoffe für den PU-Schaum verwendet werden, um die chemischen Eigenschaften noch weiter auszubauen. Es gibt genügend fertig gemischte Schäume mit entsprechenden Eigenschaften, die entsprechend der gegebenen Situation zu wählen sind.

[0041] Die Erfindung liefert einen stabilisierten Schotteroberbau in einem nach diesem Verfahren hergestellten Bahngleis. Vorzugsweise kann PU-Schaum eingesetzt werden, um die vertikale und/oder Längsstabilität des Unterbaus (z.B. Steifigkeit und Festigkeit) zu erhöhen. Das System ist sorgfältig zu kontrollieren, um zu gewährleisten, dass die Beanspruchungen und Kräfte dynamisch, schwingend oder statisch innerhalb der Ermüdungs- oder Beanspruchungsgrenzen des durch PU-Schaum verstärkten Oberbaus mit einem vorgegebenen Sicherheitsfaktor unter Berücksichtigung der gewünschten Lebenszyklen bleiben. Das Hinzufügen eines

PU-Schaums verändert das statische und dynamische Verhalten des aus Teilchen bestehenden Oberbaus positiv und somit auch des gesamten und teilweisen Verhaltens des Unterbaus.

[0042] Schotteroberbauarten, die durch das zuvor beschriebene Behandlungsverfahren verstärkt und stabilisiert werden, können auch eingesetzt werden zur:

- kurzfristigen Stabilisierung von überbeanspruchten Unterbauten bis zur endgültigen Sanierung des Streckenabschnitts (z.B. Schlammförderung und "Feuchtpunkte" in einem Bahngleis),
- vertikalen, Seiten- und Längsstabilisierung (in einem Bahngleis z.B. von Übergangskurven, großen Überhöhungen, um z.B. den Wartungsaufwand zu verringern),
- Stabilisierung von Tunnelgleisen,
- Verstärkung von Brückengleisen, einschließlich der Übergänge vor und nach Brücken zur Verhinderung von Lastsprüngen,
- Verringerung von Bahnkörperbeanspruchung durch erhöhte PU-Schaum-Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften, - Verhinderung herbeigeführter plastischer Belastung und Zermürbung der Trennung von Teilchen (z.B. durch Splittern) durch nahezu totale Verhinderung der Bewegung der Teilchen,
- Verringerung des Auftretens von verschmutzten Teilchen,
- eine PU-Schaum-Membran (z.B. an Berührungstellen verschiedener Unterbaumaterialien) kann erfindungsgemäß eingesetzt werden, um das Eindringen von Schmutz in den Oberschotter/den Bahnschotter zu verhindern,
- in Kombination mit der vorzusehenden Drainagematte zur Unterstützung bei der Verhinderung von Spülerosion der Oberfläche und der Unterbauten,
- Ermöglichung eines Anstiegs angewandter Lasten und der Geschwindigkeit von schwingenden Lasten ohne erhebliche Zunahme bei der Wartung des Unterbaus und zur Verringerung der am Unterbau herbeigeführten Beschädigung auf Grund der angewandten Lasten,
- Verringerung der Erzeugung und Übertragung von Umgebungslärm,
- Hochleistungsreinigung (z.B. Sauger) von verstärktem Oberbau zur Aufrechterhaltung der Sauberkeit (Müll, Fäkalien, Laub, Astwerk, Zigarettenreste etc.) bei reduzierten Kosten ist - wenn gewünscht - möglich, indem die Schotterflächen zwischen den Schwellen mit einem anderen Material (UV beständig) in einem Arbeitsgang verklebt werden,
- Verbesserung der statischen und dynamischen Leistungsparameter des Ober- und Unterbaus.

[0043] Die Zusammensetzung des Schaums wird auf Grundlage der gemäß Verbund geforderten Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften ausgewählt. Insbesondere die Zugfestigkeits- und Scherfestigkeitseigenschaften

des Schaums werden als Teil des Konstruktionsprozesses bestimmt.

[0044] In Gebieten mit schlechten geologischen Formationen werden die Schaumeigenschaften (z.B. Steifigkeit) so ausgelegt, dass sicherzustellen ist, dass über den schwachen Bereich ein wirksames polsterartiges Fundament aus stabilisiertem Schotter errichtet wird. Ist die Steifigkeit groß genug, erfolgt eine gleichmäßigere Belastungsverteilung an der Berührungsstelle mit dem Bahnkörper.

[0045] Bei Weichen mit hohem Wartungsaufwand werden die Schaumeigenschaften so ausgewählt, dass die großen vertikalen Kräfte wirksamer unter der Weiche verteilt werden, jedoch weiterhin gute Dämpfungseigenschaften des Verbunds beibehalten werden. Ein Anheben der Schwelle durch die Einbringung des Schaums ist weitestgehend ausgeschlossen.

[0046] Bei Neubau von Gleisen können Bohrungen 20 in die Schwellen 11 an verschiedenen Stellen bei der Produktion vorgesehen sein, damit das aufschäumende Material in den darunter liegenden Schotter direkt injiziert werden und diesen vollständig stabilisieren kann.

[0047] Zur höhen-/seitenmäßigen Justierbarkeit sind beim Neubau von Strecken am Markt verfügbare - dem Stand der Technik entsprechende - Schienenbefestigungen (bekannt aus dem Einbau z.B. bei "Festen Fahrbahnen") vorzusehen bzw. einzubauen, um eventuelle Setzungen aus dem Untergrund nachträglich regulieren zu können.

[0048] Wie aus den Beschreibungen und aus den anliegenden Zeichnungen zu ersehen ist, besteht der Gleiskörper aus verschäumtem Schotter und aus unverschäumtem Schotter.

[0049] Der verschäumte Bereich befindet sich immer unter der Schwelle und in den lastabtragenden Bereichen. Hierdurch entsteht ein kegelartiges verschäumtes Gebilde im Umfeld der Schwelle.

[0050] Durch die z.B. zweigleisige Trassenführung auf geraden Strecken oder in Bögen mit den nötigen Gleisüberhöhungen entstehen durch die gewählte sparsame Verschäumung des Schotterkörpers Bereiche, in denen das anfallende Niederschlagswasser nicht in der gewohnten Weise wie bei einem komplett offenen Schotterkörper abgeführt werden kann.

[0051] Die gewählte Ausführungsform mit der auf dem Unterplanum verlegten Kunststoffdrainagematte trägt dieser Problematik Rechnung.

[0052] In allen Fällen findet das Niederschlagswasser in den Problemzonen Zugang zu den Kunststoffdrainagematten und wird hierüber geordnet und nach außen abgeführt.

[0053] Das Wasser hinterlässt durch die gewählte ganzflächige Verlegung unter dem Schotter keinerlei Erosionsspuren auf dem Unterplanum und trägt hierdurch zur Schonung des Unterbaues des Gleises bei.

[0054] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Im Einzelnen zeigen:

- Fig. 1 einen Vertikal-Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Gleisoberbau für einen eingleisigen Streckenabschnitt,
- Fig. 2 eine Draufsicht auf den Gleisoberbau gemäß Fig. 1,
- Fig. 3 einen Vertikal-Längsschnitt durch einen erfindungsgemäßen Gleisoberbau für einen eingleisigen Streckenabschnitt, und
- Fig. 4 einen Vertikal-Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Gleisoberbau für einen Doppelgleis-Streckenabschnitt.

[0055] Der erfindungsgemäße Gleisoberbau ist in einer ersten Ausgestaltung in den Fig. 1 bis 3 gezeigt. Der Gleisoberbau befindet sich auf einem Untergrund bzw. Unterplanum 12, das wie üblich geneigt ist und eine Schutzschicht aus Asphalt oder Kies aufweisen kann. Auf dem Untergrund 12 (Planum) liegt eine Drainagematte 14, auf der ein Schotterkörper 16 aus einzelnen Schottersteinen 18 (in der Fig. 1 und 2 angedeutet und in Fig. 3 teilweise detailliert gezeigt). In dem oberen Bereich des Schotterkörpers 16 sind (Holz-, Beton- oder Stahl-)Schwellen 20 eingebettet, an denen über insbesondere höhenverstellbare Befestigungspunkte (bei 22 angedeutet) die Schienen 24 befestigt sind.

[0056] Ausgehend von den Schwellen 20 sind im Schotterkörper 16 die Lastabtragungsbereiche 26 definiert, innerhalb derer die bei Überfahrt der Schienen 24 auftretenden Lasten auf den Untergrund 12 übertragen werden.

[0057] Im Schnitt gemäß Fig. 3 stellen sich diese Lastabtragungsbereiche 26 trapezförmig dar. Innerhalb des dem Untergrund 12 zugewandten Endbereichs des Schotterkörpers 16 gehen die Lastabtragungsbereiche 26 ineinander über. In der Draufsicht stellt sich der Lastabtragungsbereich 26 wie in Fig. 2 gezeigt dar. Die Bereiche zwischen benachbarten Lastabtragungsbereichen 26 sind im Wesentlichen V-förmig.

[0058] Vor der Inbetriebnahme des Gleisoberbaus 10 wird der Schotterkörper 16 gestopft und zur Bewirkung einer Erstsetzung in Vibrationen versetzt.

[0059] Erfindungsgemäß sind nun die Hohlräume zwischen den Schottersteinen 18 innerhalb der Lastabtragungsbereiche 26 vollständig ausgeschäumt, und zwar vorzugsweise mit einem PU-Schaum 28, der entsprechend den Anforderungen und Belastungen eingestellt ist. PU-Schäume lassen sich bezüglich z.B. Druckfestigkeit, Haftung und Schäumungsverhalten den jeweils gestellten Anforderungen entsprechend einstellen, was grundsätzlich allgemein bekannt ist und zu einem für den jeweiligen Anwendungsfall optimalen Schaummaterial führt. Die Schottersteine 18 innerhalb der Lastabtragungsbereiche 26 sind somit lagefixiert; unterhalb der Schwellen 20 befinden sich unterseitige Besohlungen 30 aus einem (elastischen) Kunststoffmaterial. Der Schaum

28 kann auch seitlich der unteren Bereiche der Schwellen 20 angeordnet sein, so dass diese von mit dem Schaum 28 versehenen Schotterkörperbereichen eingebettet sind.

5 **[0060]** Wie insbesondere anhand von Fig. 3 zu erkennen ist, bleiben also bei dem erfindungsgemäßen Gleisoberbau 10 die Bereiche 32 des Schotterkörpers 16 zwischen den Lastabtragungsbereichen 26 frei von Schaum, so dass Niederschlagswasser quer durch den
10 Gleisoberbau 10 abfließen kann. Durch Einbringung einer Neigung längs der bei 34 in Fig. 3 angedeuteten Berührungslinie zweier benachbarter Lastabtragungsbereiche 26, die die Sohle einer Zone 32 bildet, wird dieser Abfließvorgang zusätzlich unterstützt. Niederschlagswasser, welches seitlich des Gleises außerhalb der Lastabtragungsbereiche 26 auf den Schotterkörper 16 auftrifft (in Fig. 1 bei 34 angedeutet) oder das seitlich am Schotterkörper 16 ansteht, fließt über die Drainagematte 14 unterhalb des Gleisoberbaus 10 ab.

20 **[0061]** Der Vorzug einer Drainagematte 14 unterhalb eines Gleisoberbaus wird insbesondere bei einer zwei- oder mehrgleisigen Strecke deutlich, wie sie in Fig. 4 gezeigt ist. Soweit die Einzelbestandteile des Gleisoberbaus 10' der Fig. 4 identisch bzw. gleich den Einzelbestandteilen des Gleisoberbaus 10 der Fig. 1 bis 3 sind, sind sie in Fig. 4 mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

25 **[0062]** Niederschlagswasser, das sich innerhalb der Zonen 34 des in Fig. 4 rechten Teils des Schotterkörpers 16 sammelt, fließt zur Mitte 38 des Schotterkörpers 16 ab, von wo aus es durch den Fig. 4 linken Teil der Drainagematte 14 unterhalb des in Fig. 4 links dargestellten Gleises abfließt.

30 **[0063]** Für die Einbringung des Schaums in das Schotterbett eignet sich z. B. folgende Vorrichtung:

35 **[0064]** In ein bestehendes oder neu hergestelltes Gleisbett wird der Schaum mit einer Vorrichtung eingebracht, die auf ein Schienenfahrzeug aufgebracht ist. Diese Vorrichtung besteht aus folgenden Abschnitten:

- 40
- Triebfahrzeug
 - Vorratslager für je einen Tank für die Komponenten des Schaums
 - Vorratslager für Brennstoff zur Aufheizung und
45 Trocknung des Gleiskörpers
 - Heiz- und Trocknungseinheit, Pressluftversorgung
 - Schaumapplikator

50 **[0065]** Als Triebfahrzeug kann ein Fahrzeug mit der Möglichkeit eines Schrittbetriebes zur Verfahrung von < 1m/sec eingesetzt werden, mit dem die Anlage mit cm-Genauigkeit versetzt werden kann.

[0066] Die Vorratslager werden mit KTC's bestückt, die werksseitig gefüllt und mit einem Kran aufgesetzt und
55 abgehoben werden können.

[0067] Die Heiz- und Trocknungseinheit weist vorzugsweise eine absenkbare Glocke von z. B. mindestens 6 x 2,5 m² auf, in die Heißluft aus z. B. einem Stützbrenner

in einer Luftleitung durch Gebläse gefördert wird. Diese Einheit kann mehrfach (z. B. dreifach) hintereinander gesetzt werden, um je nach Außentemperatur und Feuchtigkeit des Schotters die notwendigen Parameter für die Verschäumung einstellen zu können. Die Beheizung kann mit Mineralölprodukten, Gas oder aber mit natürlichen Pflanzenölen erfolgen. Die Abgaswärme und die Abwärme des Triebfahrzeuges können ebenfalls genutzt werden. Die warme, feuchtigkeitsgesättigte Luft tritt seitlich aus dem Gleiskörper aus.

[0068] In den erwärmten und getrockneten Schotter wird der Schaum appliziert. Hierzu wird z.B. eine Vorrichtung, die je bis zu acht Schaumlanzen für jede Schwellenseite aufweist und mehrere Schweben, z.B. zehn, gleichzeitig bedienen kann. Die Schaumlanzen können einzeln in den Schotterkörper durch eine Vortriebseinrichtung abgesenkt werden. Die notwendige Absenkung wird durch die Bestimmung der Neigung des Gleiskörpers von einem Prozessrechner für jede Lanze errechnet. Die Lanzen können am unteren Ende geschlossen sein und mit seitlichen Auslassdüsen mit gleichen oder verschiedenen Öffnungsweiten versehen sein. Innerhalb der Vorrichtung sind die Lanzen durch seitliche Antriebe versetzbar und werden durch Messeinrichtungen direkt neben dem Schwellenkörper positioniert. Nach dem Absenken der Lanzen auf den errechneten Punkt wird der vom Prozessrechner gesteuerte Schäumungsvorgang ausgelöst. Hierbei werden durch Pumpen für jede Lanze in den Mischkopf am oberen Ende der Lanze die errechneten Mengen der Komponenten gepumpt und dort vermischt und in den Schotterkörper gepresst. Gleichzeitig werden die Lanzen mit einem Antrieb aus dem Schotterbett herausgezogen in einer vorher vom Prozessrechner errechneten und gesteuerten Geschwindigkeit. Der Rechner erkennt den Endpunkt des Schäumungsprozesses und stellt die Pumpen ab bzw. schließt die Ventile am Mischkopf. Sofort wird die Lanze mit Pressluft freigeblasen und mit heißem Wasser nachgespült und wieder mit Pressluft trocken geblasen.

[0069] Die Vorrichtung wird nach diesem Takt hochgefahren gleichzeitig mit den Heizglocken. Während der Phase des Versetzens der Vorrichtung werden die Luft erwärmung und die Gebläse ausgeschaltet. Der Zug kann danach verfahren werden, um den Vorgang am anschließenden Segment zu wiederholen.

[0070] Die Lanzen sind auswechselbar an einem Teil montiert, das als Träger für die vertikale Einbringung in den Schotterkörper den Antrieb aufnimmt. Hierauf ist der Mischkopf angebracht. Der untere Teil der Lanze wird aus einem verschleißhemmenden Material, z.B. Wolframcarbid oder entsprechendem Stahl, hergestellt.

Patentansprüche

1. Gleisoberbau für einen Schienenweg auf einem quer zu dessen Erstreckung geneigten Untergrund (12) mit

- einem Schotterkörper (16) aus einzelnen Schottersteinen (18) und
 - in dem Schotterkörper eingebetteten Schwellen (20), an denen Schienen (24) befestigbar sind, wobei der Schotterkörper (16) unterhalb der Schwellen (20) Lastabtragungsbereiche (26) aufweist, die beim Befahren der Schienen (24) über die Schwellen (20) vertikal auf den Schotterkörper (16) wirkende Lasten aufnehmen und den Untergrund (12) unterhalb des Schotterkörpers (16) übertragen,

dadurch gekennzeichnet,

- **dass** im Wesentlichen lediglich die Hohlräume zwischen den Schottersteinen (18) innerhalb der Lastabtragungsbereiche (26) des Schotterkörpers (16) zur Lagefixierung der Schottersteine (18) in diesen Bereichen (26) mit einem Schaummaterial (28), insbesondere einem PU-Schaummaterial, ausgefüllt sind und
 - **dass** zwischen dem Schotterkörper (16) und dem Untergrund (12) eine elastische Drainageschicht (14) angeordnet ist.
2. Gleisoberbau nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drainageschicht (14) eine poröse Schicht aus untereinander verbundenen Elastomermaterial-Partikeln, insbesondere Gummipartikel aus vorzugsweise Reifenreziklat, aufweist.
 3. Gleisoberbau nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ober- und/oder unterhalb der Drainageschicht (14) ein Vlies angeordnet ist.
 4. Gleisoberbau nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schwellen (20) an ihren Unterseiten eine Besohlung (30) aus einem elastischen Material, insbesondere Kunststoffmaterial aufweisen.
 5. Gleisoberbau nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schienen (24) höhenverstellbar an den Schwellen (20) befestigbar sind.
 6. Verfahren zur Erstellung eines Gleisoberbaus für einen Schienenweg auf einem quer zu dessen Erstreckung geneigten Untergrund, bei dem
 - auf dem Untergrund eine elastische Drainagematte (14) angeordnet wird,
 - auf der Drainagematte (14) ein Schotterkörper (16) aus einzelnen, zwischen sich Hohlräume aufweisenden Schottersteinen (18) gebildet wird,
 - in den Schotterkörper (16) Schwellen (20) eingebettet werden,

- an den Schwellen (20) Gleise (24) befestigt werden, und
 - zur Lagefixierung der im Wesentlichen lediglich innerhalb von Lastabtragungsbereichen (26) des Schotterkörpers (16) unterhalb der Schwellen (20) befindlichen Schottersteine (18) in die Hohlräume zwischen diesen ein schäumbares Material (28) eingebracht wird. 5
7. Verfahren zur Erstellung eines Gleisoberbaus nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schottersteine (18) vor der Erstellung des Schotterkörpers (16) und/oder vor der Einbringung des schäumbaren Materials (28) in den Schotterkörper (16) gewaschen werden. 10
15
8. Verfahren zur Erstellung eines Gleisoberbaus nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schotterkörper (16) vor dem Einbringen des schäumbaren Materials (16) erwärmt wird. 20
9. Verfahren zur Erstellung eines Gleisoberbaus nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** in den Schotterkörper (16) Schwellen (20) mit einer Besohlung (30) aus einem elastischen Material, insbesondere Kunststoffmaterial, eingebettet werden. 25
10. Verfahren zur Erstellung eines Gleisoberbaus nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schotterkörper (16) vor dem Einbringen des schäumbaren Materials (28) gestopft und/oder zur Erstsetzbildung in Vibrationen versetzt wird. 30
35

40

45

50

55

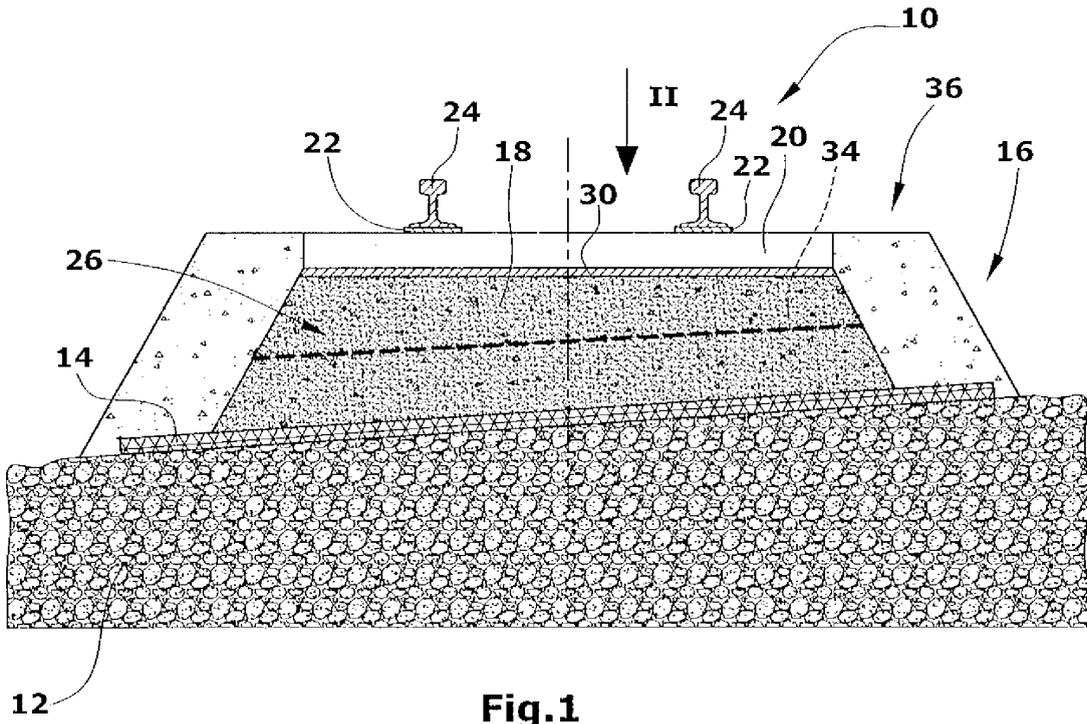


Fig.1

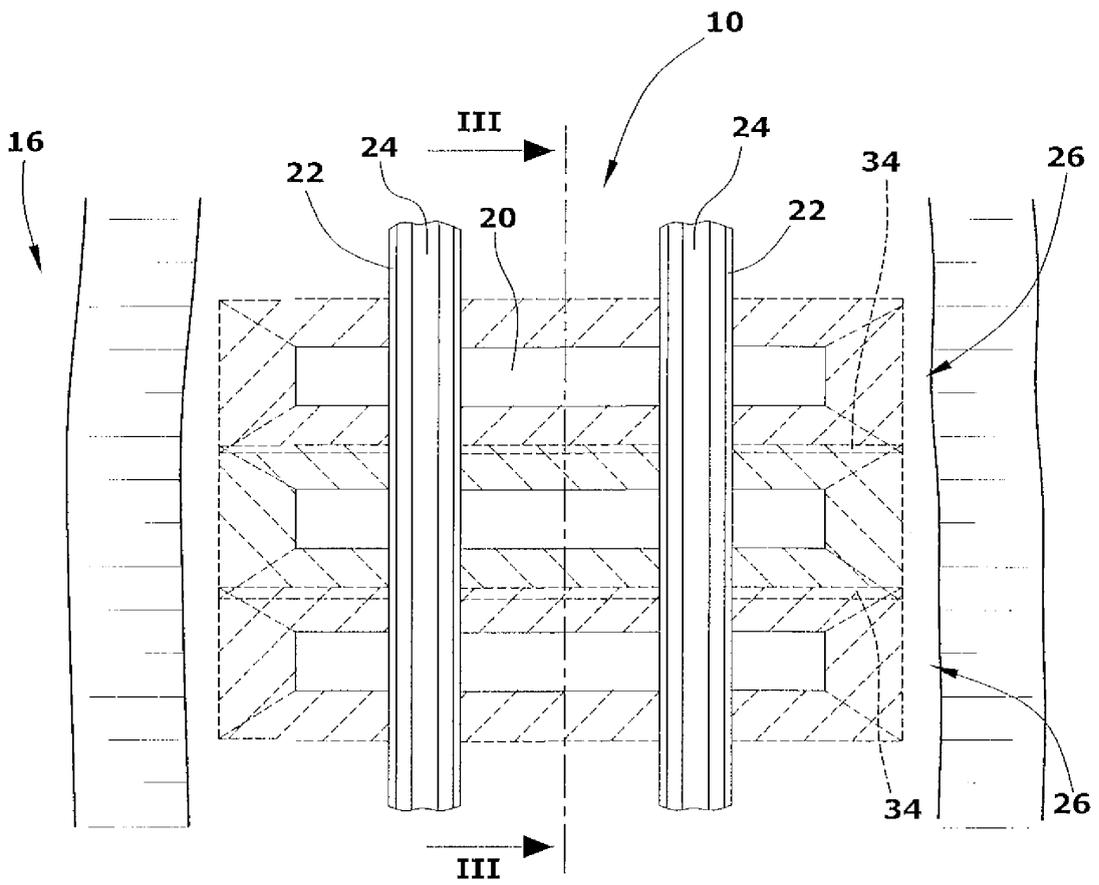


Fig.2

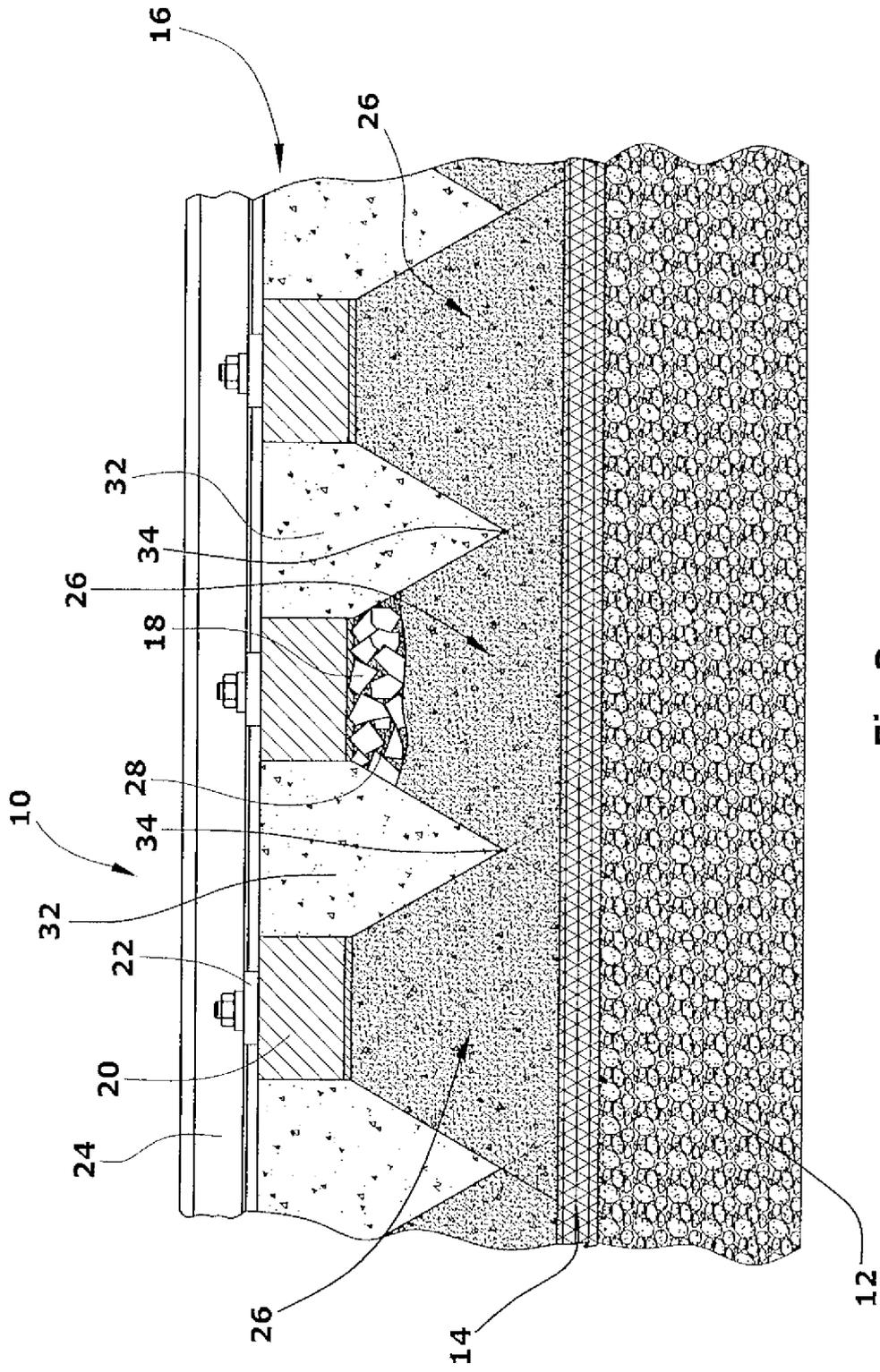


Fig.3

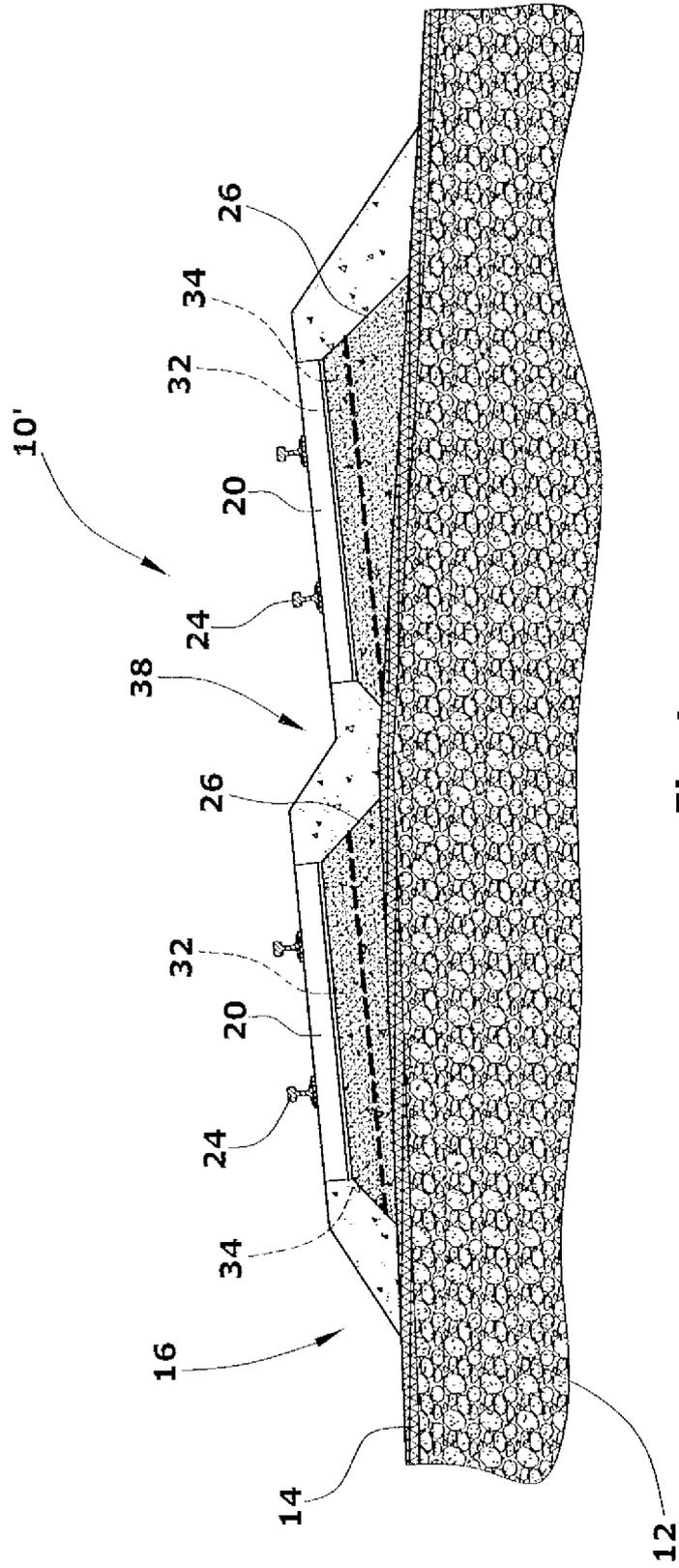


Fig.4

Anlage 2- Kurzgefasster Erfolgskontrollbericht

Das ursprünglich geplante Projektziel konnte erreicht werden. Das Ziel, erstmalig Polyurethan zur Teilverschäumung der Lastabtragsbereiche in Infrastrukturen spurgeführter Verkehre einzusetzen, um damit einen unterhalts- und lärmreduzierten Oberbau zu erhalten, konnte erreicht werden. Bei nachstehender Bewertung der technischen Parameter des DURFLEX® wird ergänzend auf die sich abzeichnenden wirtschaftlichen Vorteile hingewiesen.

So wird zusammengefasst festgestellt, dass:

- infolge der durch Verschäumung bleibenden Verzahnung das Schotterbett als Schubalken eine ausgezeichnete Lagestabilität bewirkt;
- die Gleislage also nicht mehr, wie beim konventionellen Schotteroberbau im Lauf der
 - Zeit durch Schotterabrieb und Setzungen sich verschlechtert, sondern die positive Lagestabilität - ohne starr zu sein - optimal ist, da
 - sich die Pressung des Schotterbettes gegenüber dem konventionellen Oberbau in erheblichem Maß vergleichmäßigigt,
 - führend zu einer maßgeblich verringerten Beanspruchung von Schotter sowie Untergrund und damit in der Folge zu quasi nicht mehr messbaren Setzungen (Setzungsfreiheit)
 - Simulationsversuche und Labortests erwarten lassen, dass dieses Ergebnis auch darüber hinaus sehr langfristig gelten und so auch weiterhin keine systemrelevanten Setzungen entstehen werden
 - somit bei Ausführung des Oberbaus in DURFLEX® Stopf- und Richtarbeiten gänzlich entfallen können
 - bei setzungsempfindlichen Bodenverhältnissen die Verbesserungsmaßnahmen z.B. bei Tiefenverdichtung oder anderer Bodenverbesserung – spürbar reduziert werden können, wodurch die in diesem Zusammenhang bei Gleisbau und Tiefbaumaßnahmen auch die sonst notwendigen Betriebsunterbrechungen vermeiden werden
 - die Verfügbarkeit der Trassen entsprechend erhöht wird und damit die Wirtschaftlichkeit des Netzes steigt.

Diese schon allein im Bereich Oberbau und dessen Unterhaltung/ Instandhaltung sich ergebenden Vorteile erhöhen sich nun weiter, wenn man auch die Vorteile mit einbezieht, die sich für den Betrieb und die Umwelt ergeben.

Dazu gehören vor allem

- die erhöhte Trassenkapazität (verminderte Einnahmeausfälle o. Zusatzkosten z.B. durch Umleitungsverkehre bei nicht mehr erforderlichen Baustellen mit Gleisperrungen)
- die verminderten Fahrzeugreparaturen durch die mit der größeren Lagestabilität verbundene größere Laufruhe der Fahrzeuge (zumindest hinsichtlich der vom Fahrweg ausgehenden Erschütterungen bei schlechter Gleislage; Fahrzeugmängel selbst nicht betrachtet)

Zu den zumindest tendentiellen– aber in jedem Falle realen – Vorteilen gehören auch alle Umweltvorteile des DURFLEX[®], deren Messergebnisse zum Teil noch ausstehen oder Vorteile bisher nicht oder nicht direkt monetär bewertbar sind.

Zu den hier zunächst hinzuweisenden tendentiellen Vorteilen gehören vor allem

- der Schutz von Boden u. Grundwasser durch die Sperrwirkung des DURFLEX[®]
- der Schutz der Umgebungsluft gegen Feinstaubeträge aus Aufwirbelungen der Abplatzungen u.a. Feinteile im Schotteroberbau, Entfall sogenannter weißer Stellen
- die Reduzierung an Schotterneubedarf mit allen seinen Eingriffen in die Natur, den Belastungen aus Transporten

Der zweite direkt nachweisbare Vorteilsbereich, dessen Nachweis auch Teil des hier ausgeführten Projektes betraf, betrifft Schall und Vibration.

Messtechnisch ausgewiesen wurde, dass

- die Verbundlage DURFLEX[®] nicht nur positive Eigenschaften für die Zustandsicherung der Gleislage hat, sondern als System unendlich vieler kleiner Poren-Stoßdämpfer auch abdämpfend auf Schall und Vibration wirkt,
- wobei auch die Schwingungen des Planums und des Unterbaus in erheblichem Maß verringert werden
- diese Reduzierung ca. 40% gegenüber einem Schotteroberbau im Neuzustand beträgt mit zunehmender Tendenz, da sich im Schotteroberbau der Zustand ja über die Zeitleiste verschlechtert wird und damit die Erschütterungsemissionen zunehmen werden.
- eine Schallreduktion bis zu 3 dB/A ermittelt wurde, bei Kombination mit Unterschottermatten um bis zu 5 dB/A

Zusammenfassend ist festzustellen: die positiven technischen Ergebnisse, wie sie sich in den Messreihen aus dem Großversuch auf der Strecke bei Uelzen nachweisen lassen, setzen sich im Weiteren dann auch in erhebliche wirtschaftliche Vorteile für den Anwender um.

Anlage 3 - Verfahrensbeschreibung für die Aufbereitung des verschäumten Schotters

Der beim Ausbau eines Gleiskörpers, hergestellt nach dem Fahrbahnsystem DURFLEX[®], anfallende, mit PUR-Schaum gebundene, Gleisschotter wird mittels Bahnwagen am Standort der Schotteraufbereitungsanlage angeliefert und auf einer Halde zwischengelagert. Diese Lagerung ist unbedenklich, da nachweislich Schadstoffe nicht eluiert werden können. Entsprechende Genehmigungen wären trotzdem sicherheitshalber zu beantragen. Idealerweise sollte sich die Halde auf Geländen von Deponiebetrieben befinden, die ohnehin einen Schotterrecyclingrahmenvertrag haben. So ist der artgerechte Umgang mit Schotter jederzeit gewährleistet und rechtlich abgedeckt.

Mittels des auf der Anlage vorhandenen Radladers wird der gebundene Schotter in einen Aufgabedoseur (Trichter) verfahren. Je nach Anlagenleistung wird das Ausgangsmaterial mit einem regelbaren Band aus dem Doseur ausgetragen und über ein nachgeschaltetes Förderband der Trommel zugeführt. Über ein Trommeleintragsband wird das zu trennende Material in die Trommel eingetragen.

Bei der Trommel handelt es sich um einen Drehrohrofen, ähnlich den Trockentrommeln die bei der Herstellung von Asphaltmischgut für den Straßenbau Verwendung finden. In der Trommel findet die Trennung des PUR-Schaums vom Schotter statt. Durch speziell für diesen Einsatzzweck konzipierte Einbauten, erfolgt in einem thermischen und mechanischen Prozess die Trennung von PUR Schaum und Schotter. Die für den Trennungsprozess erforderliche Wärmeenergie wird durch einen an der Trommelstirnwand angebrachten Gasbrenner erzeugt. Entsprechende Lager bzw. Logistik ist bei stationären Anlagen einfach möglich. Die Brennstoffversorgung des Brenners erfolgt über einen separaten Gastank.

Anfallende Luftmengen beim Trennprozess werden an der Trenntrommel abgesaugt, einer Abluftreinigungsanlage zugeführt und soweit gereinigt, dass die Grenzwerte der TA Luft eingehalten werden. Dioxinbildung/ Neurosynthese aus den Schottersteinen anheftenden anderen Materialien (Tropfverluste aus Güterwagen z.B.) ist u.E. ausgeschlossen, wird jedoch in einem Test nochmals bestätigt.

Nachdem das Material die Trommel durchlaufen hat und der PUR Schaum vom Schotter thermisch getrennt worden ist, gelangt der gereinigte Schotter auf ein Eindecker-Trennsieb, wobei das Unterkorn des Schotters ausgeschieden wird. Das abgeseibte Unterkorn wird auf einer Halde gelagert, von wo es zu weitem Verwendung, z.B. Mineralgemisch, abgefahren werden kann.

Der vom PUR Schaum gereinigte Schotter wird mittels eines Haldenbandes auf einer Halde gelagert und kann von dort der Wiederverwendung zugeführt werden.

Die Versorgung mit Elektroenergie erfolgt über einen Diesel-Stromgenerator, wenn am Einsatzort kein Anschluss an ein Feststromnetz möglich ist.

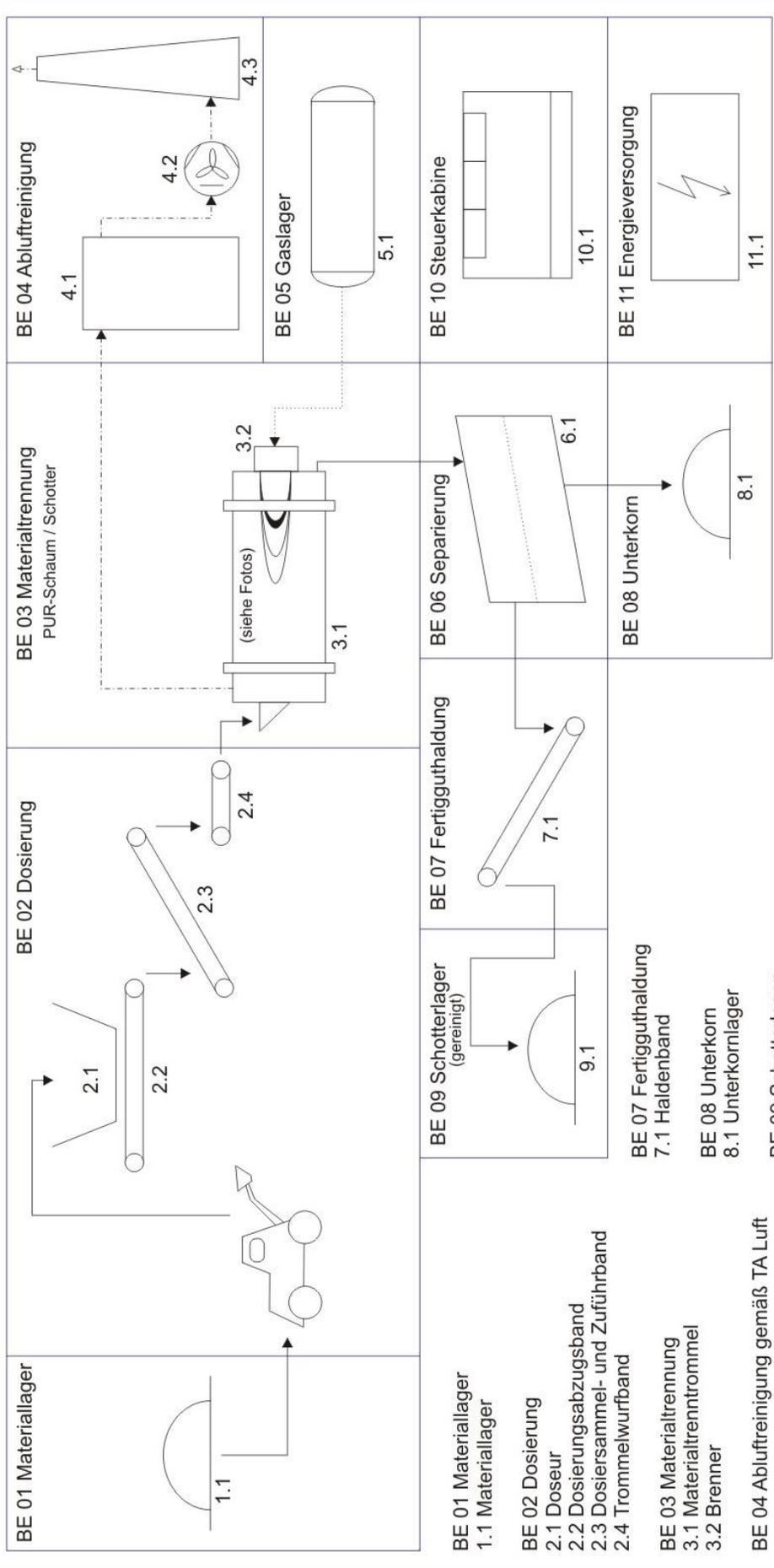
Die Schaltschränke für die einzelnen Anlagenbaugruppen sowie die Prozesssteuerung sind in einen Container installiert. Die elektrische Verbindung der einzelnen Baugruppen erfolgt durch flexible Last- und Steuerkabel mit gekennzeichneten Steckverbindungen.

Um die Anlage auch schnellstmöglich an verschiedenen Standorten einsetzen zu können, ist diese auch als mobile/ semimobile Anlage ausgestaltbar. Das bedeutet, dass die wesentlichen und großen Anlagenteile mit Fahrwerken ausgerüstet wären. Alle anderen Baugruppen können

mittels Tieflader transportiert und mit einem LKW - Verladekran positioniert werden. Dieses mobile Konzept der Anlage erlaubt einen schnellen Standortwechsel.

Für die Trennung vom PUR Anteil und dem Schotter wird z.Zt. an einem thermischen Recyclingverfahren geforscht, bei dem der PUR Anteil in einer stationären Anlage unter optimalen Bedingungen verbrannt und die daraus gewonnene Energie weiter verwendet wird. Im Ergebnis ist der Schotter zur erneuten Verwendung in der geforderten Qualität abtransportierbar und hinsichtlich des bisherigen Recyclingverfahrens nicht teurer.

Verfahrensfließbild - PUR-Schotter-Trennung



FRENZEL-BAU GmbH & Co. KG
 Alter Sonnenbergweg 4
 D-31084 Freden (Leine)
 Tel. +49 (0) 5184/9939-0
 Fax +49 (0) 5184/9939-39
 Email info@frenzel-bau.de
 www.frenzel-bau.de

BE 07 Fertigthaltung
 7.1 Haldenband
 BE 08 Unterkorn
 8.1 Unterkornlager
 BE 09 Schotterlager
 9.1 Schotterlager
 BE 10 Steuerkabine
 10.1 Steuerkabine
 BE 11 Energieversorgung
 11.1 Dieselgenerator (oder Netzzanschluß)





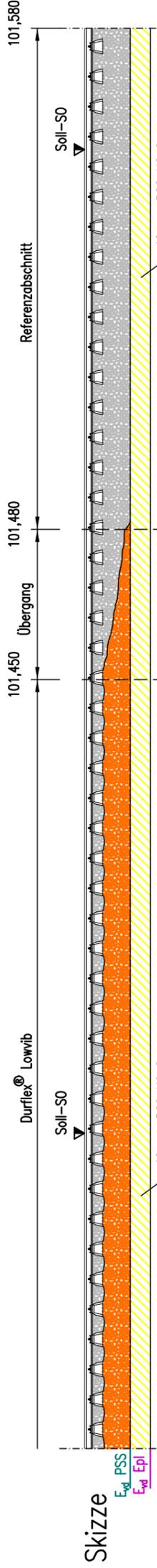
FRENZEL-BAU GmbH & Co. KG
 Alter Sonnenbergweg 4
 31084 Freden
 Telefon: 05184 / 99 39 0

21.07.2009

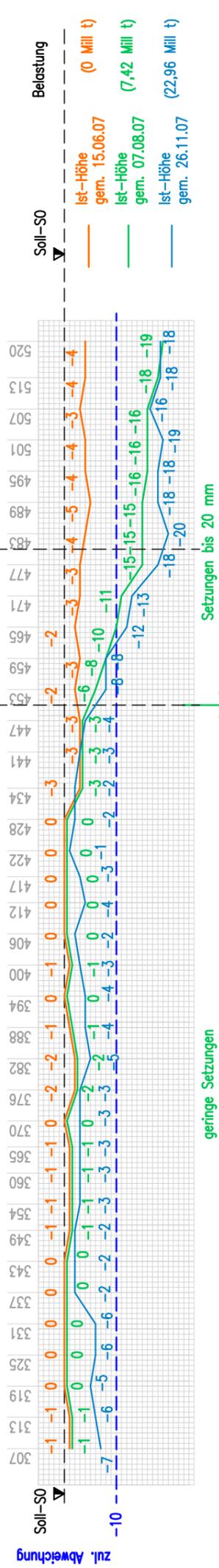
FAHRBAHNSYSTEM DURFLEX®

(eine Marke der FRENZEL-Bau GmbH & Co. KG)

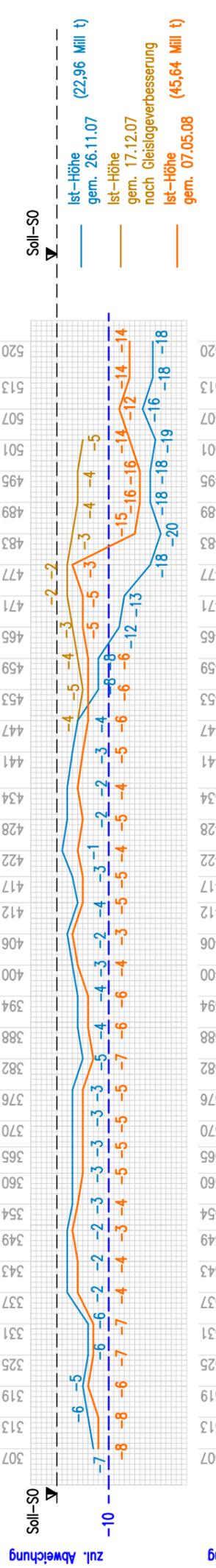
Entwicklung der Höhenlage Versuchsbaustelle DURFLEX®, Gleis Bad Bevensen – Uelzen M 1:100



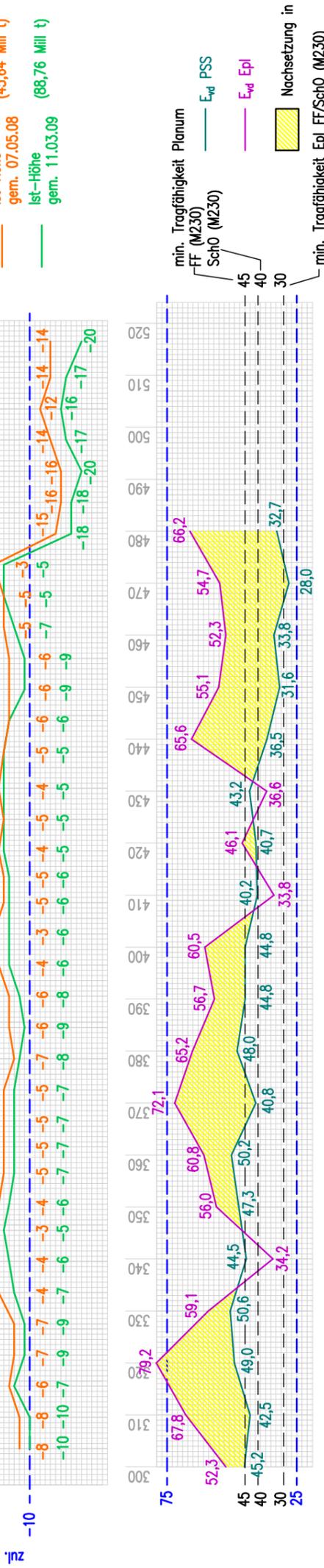
Skizze
 Station
 101,3
 101,4
 101,5



Station
 101,450
 101,480



Station
 101,450
 101,480



Station
 101,450
 101,480

Anmerkungen zum Diagramm

- Erdaushub mit Reinigungsmaschine RM 800 unter dem vorhandenen Gleis ohne Nachverdichtung des anstehenden Bodens
- Einbau PSS gleisgebunden mit SVV mit geringerer Verdichtung als bei offener Bauweise (ohne Gleis)
- Die Tragfähigkeit des PSS-Planums lag weitestgehend unter der des Erdplanums, hierdurch sind Nachsetzungen eingetreten, was aus der Setzungslinie deutlich erkennbar ist
- DURFLEX stabilisiert die Schotterbettung, so dass nur sehr geringe, gleichmäßige Setzungen auftreten, die aus dem Untergrund herrühren
- im normalen Schottergleis sind starke, ungleichmäßigere Setzungen zu beobachten, die durch Umlagerung im Schotter entstehen und nach Lagekorrektur kurzfristig erneut eintreten
- durch bessere Lastverteilung im verschäürten Bettungskörper sind die Spannungen an der Kontaktfläche Planum/Schotter um ca. 40 % geringer als beim Standard-Schottergleis
- insgesamt geringere Unterbaubeanspruchung, dadurch mögliche Verringerung der Tragschichtdicken
- Tragschichtsystem für Schotteroberbau ist ausreichend für DURFLEX-Oberbau, der eine quasi Feste Fahrbahn darstellt

min. Tragfähigkeit Planum
 FF (M230) — E_{sd} PSS
 SchO (M230) — E_{sd} Epl
 min. Tragfähigkeit Epl FF/SchO (M230)

Anlage 5 – Präsentation zur Abschätzung qualitativer Systemeffekte

Das in Kooperation zwischen FRENZEL-BAU[®], und BayerMaterialScience entwickelte DURFLEX[®]-Verfahren hatte mit dem erstmaligen Einbau im Juni 2007 im Netz der DB AG zum Ziel, zu überprüfen, ob eine neue Wegrichtung im Oberbau aufgezeigt werden kann. Auf der Suche nach der optimalen Gleiskonstruktion mit bestmöglicher Sicherung der Gleislagequalität war daher die Prämisse, die in der Geschichte des Bahnfahrwegs erprobte positive Eigenschaft der Schotterbettung zu erhalten, weiter zu nutzen und mit den Vorteilen unterhaltsarmer Bauweisen zu ergänzen.

DURFLEX[®] basiert auf dem konventionellen Regel-Gleisoberbau. Die Konzernrichtlinien der DB AG wurden strikt angewendet: gleicher Querschnitt, gleiche Schotterkörnung. Lediglich die Schotterqualität wurde gem. BM TL 918061 (gewaschener Schotter, 22/63 Körnung) definiert, um die Adhäsion zwischen Schotterstein und Bayflex[®]-Schaum zu optimieren. Eine Drainagematte oder eine Unterschottermatte ergänzen das DURFLEX[®]-System als Element zur Schwingungsentkoppelung. Die genormten Kennwerte bei Schotterbettung und Schottermaterial sichern deshalb unverändert, dass alle Krafterwirkungen aufgenommen und abgeleitet werden.

Die Schotterbettung wurde mittels flüssigen Polyurethaneintrags dauerhaft flexibel gegen Kornumlagerungen konserviert. In kurzer Zeit durflexisiert das Polyurethan von unten nach oben in die zwischen den Schottersteinen bestehende Freiräume des Lastabtragsbereichs. Der PUR-Schaum ist während der Nutzungsdauer durch keine im Regelbetrieb auftretenden chemischen oder physikalischen Einwirkungen angreif- oder zerstörbar. Die beim unverschäumten Schotteroberbau systembedingt auftretenden Setzungen des Schotterbettes- durch dynamische Kräfte bewirkte Kornumlagerungen- und damit einhergehende Unterhaltsarbeiten entfallen gänzlich. Zudem wird eine Reduzierung des Luft- und Körperschalls realisiert.

DURFLEX[®] bewirkt, dass die zunächst lose, durch Schüttung und anschließende Verdichtung (Stopfung und dynamische Gleisstabilisierung) bedingte Packlage der Schottersteine als Einzelstücke oder Einzelelemente bei unverändert bleibender Lage zueinander durch den PU-Schaum nunmehr einen elastischen und lockeren, nicht mehr lageveränderlichen Verbund ergibt. Eine formelastische Lage im Blockverbund zwischen Bettung und Schwellen entsteht.

Der PUR-Schaum füllt lediglich die in der verdichteten Schotterbettung durch Kornform und Sieblinie bedingt verbleibenden Hohlräume zwischen den Schottersteinen bis auf das Niveau von 10 cm unterhalb der Schwellenoberkannte im Lastabtragungsbereich. Ein Gebilde mit unendlich vielen „Porenstoßdämpfern“ entsteht. Eingetragene Energie kann dauerhaft absorbiert werden und elastisch auf Druck oder Lasteinträge durch Zugverkehre reagieren.

Der PUR-Schaum wird- nach der so genannten Konditionierung des Schotters hinsichtlich Temperatur und Feuchtigkeit- über eine elektronisch gesteuerte und auf einem Waggon montierte PU-Anlage des Maschinenbauers Hennecke in den Schotter eingebracht Die Flüssigkeit fließt bis zum Grund des Schotters in definierter

Zeit. Dort beginnt die Reaktion und lässt den Schaum den gesamten Schotterkörper im Lastabtragsbereich ausfüllen.

Ausgehend davon, dass bei der Gleisqualität der (mittlere) Längshöhenfehler eine bedeutende oder gar zentrale Rolle spielt, so muss Ziel eines Oberbausystems sein, dass das Setzungsverhalten möglichst weit reduziert wird- optimaler Weise gegen Null tendieren sollte. Die Lastabtragung wird durch DURFLEX reduziert und dadurch die Flächenpressung optimiert.

Auch bei der starken Betriebsbelastung auf der Referenzstrecke nahe Uelzen (bis zu 140.000 Lasttonnen/ Tag), mit hohen Achslasten (bis 25 t), Mischverkehren und Geschwindigkeiten ≤ 200 km/h, bleiben die Kräftepfade im optimalen Anfangszustand erhalten. Die Bettung reagiert elastisch auf Lasteinträge und übernimmt die Kräfteinträge zur Weiterleitung in den Boden. Setzungen treten in keinem wesentlichen Maße oder auch gar nicht ein.

Die zu erwartende Liegedauer des Gleiskörpers erhöht sich in erheblichem Umfang. Damit entfallen die beim herkömmlichen, konventionellen Schotteroberbau notwendigen Instandhaltungen wie Stopfen und Bettungsreinigung, wodurch die zusätzlichen mechanischen Beanspruchungen der Oberbaustoffe, wie Schwelle und Schiene sowie die potenzielle Zertrümmerung von Schotterkörnern vermieden werden.

Im Demonstrationsfeld bei der DB AG wurden elastische Einsenkungen – als Teil der erwünschten Elastizität – protokolliert und lagen auf Anrieb bei sehr guten 1,2 – 1,5 mm. Setzungen sind auch nach nunmehr 2 Jahren Regelbetrieb unverändert geringfügig. Die letzten aus Dezember 2009 stammenden Messergebnisse zeigen, dass das dargestellte positive Setzungsverhalten unvermindert anhält und die Gleislagequalität mit durchgehend guten Werten erhalten bleibt. Die Lagestabilität- ohne starr zu sein- ist daher optimal, notwendige Betriebsunterbrechungen durch Stopf- und Richtarbeiten entfallen gänzlich. Hieraus ergibt sich ein erheblicher wirtschaftlicher Vorteil und eine deutliche Steigerung der Netzverfügbarkeit, der Netzeffizienz (siehe detaillierte Ausführungen zur technisch/ wirtschaftlichen Bewertung).

Der Querverschubwiderstand der Schwelle liegt bei DURFLEX® durch den Schwelle-Schotter-Schaumverbund deutlich höher. Damit könnte man die jetzt verwendete Menge des seitlichen Vorkopfschotters der Schwellen deutlich verringern. Weiteres Einsparpotential der Optimierung des Oberbaus ließe sich dadurch erreichen. Diese Betrachtung kann für den gesamten Bahnkörper, welcher geometrisch durch die Regelquerschnitte mit Regelneigungen bis zur Aufstandfläche vorgegeben ist, durchgeführt werden. Es ergeben sich Möglichkeiten in vielen Bereichen einen Umbau ohne Dammverbreiterung, ohne zusätzliches Grundbruchrisiko und Grundstückserwerb auf den zur Zeit, nach herkömmlicher Betrachtung nicht regelkonformen Bahndämmen durchzuführen.

Gemessen wurden in Uelzen weiterhin auch eine Emissionsreduzierung des Luftschalls um bis zu 5 dB(A) und um bis zu 40% beim Körperschall bei einer hochbelasteten Strecke mit Güterverkehr bei Anordnung auf einer Unterschottermatte und steifer Zwischenlage. In Verbindung mit einer niedrigen

Lärmschutzwand, zum Beispiel DURMINOR[®], ließe sich der Lärm weiter deutlich reduzieren.

Die erfassten Parameter des DURFLEX[®] lassen die erkennbaren positiven Wirkungen wie folgt gruppieren:

- a- Systemimmanente Vorteile des DURFLEX[®]-Systems: „Bau und Unterhaltung der Gleisbettung“, orientiert auf das Kostenminimum für die Lebensdauer (den Hauptpunkten der Definition des optimalen Gleissystems)
- b- Ableitbare Betriebsvorteile über den engeren Rahmen des Systems : „Bau und Unterhaltung der Gleisbettung“ hinaus, wobei sowohl der Fahrkomfort als auch die erhöhte Verfügbarkeit der Gleiskapazität deutlich herauszustellen wären, auch die positiven Auswirkungen auf das rollende Material sollten ins Kalkül gezogen werden
- c- Umweltschutz (Lärm, Stoffverbrauch an Naturressourcen etc. pp.). Feinstaubreduktionen, Minderung der Boden- und Wassereinträge aus Minderung von Abrieb, Rinnverlusten und nicht mehr erforderlichen Herbizidanwendungen u.a. sind wahrscheinlich und könnten Gegenstand erweiterter Messungen der nächsten Zukunft sein.

DURFLEX[®] ist ein vom Eisenbahnbundesamt und der DB AG zugelassenes Verfahren. Im theoretisch-wissenschaftlichen Bereich gelangt man in weiterer Vertiefung der Wirkungsanalyse immer mehr in das Feld der Aufweitung der Rad/Schiene-Problematik zur komplexen Gleiskörper/Fahrzeug- Analyse und damit zu neuen Ansichten der Wirkungsabhängigkeiten und –zusammenhänge.

Mit der Verschäumung ist der Bettungskörper aus Schotter kein bloßes Steinhauwerk mehr, sondern er wird zu einem homogenen dauerelastischen Bauteil innerhalb eines über Jahrhunderte bewährten Oberbausystems. Alle vorhandenen positiven Systemeigenschaften bleiben hierbei erhalten, es werden lediglich die ehemaligen Schwachstellen behoben und mittels DURFLEX[®] neue, positive Eigenschaften erzeugt. Das ist bei der Rad/ Schiene-Problematik ebenso zu bedenken wie bei dem Wechselverhältnis von Gleiskörperschicht zum Unterboden. Auch hier sind noch nicht alle positiven Wirkungen im Kraftübertragungs-, Setzungs- und Reaktionsverhaltens des Schotters im Wechselspiel mit dem jeweiligen - in möglicherweise abwechselnder Struktur vorhandenen - Unterboden einer Bahnstrecke erfasst und herausgearbeitet. Einige der bisher nachgewiesenen Systemeigenschaften, wie die sehr gute Schwingungsdämpfung sowie die Lärmreduzierung ermöglichen jedoch bereits heute die Aussage, dass große Vorteile in kritischen innerstädtischen Bereichen sowie auf schwingungsempfindlichem, wenig tragfähigem Untergrund bestehen. Neue weiterführende Erkenntnisse sind auch hier zu erwarten, neue Regelwerke könnten entstehen (z.B. Änderungen des Vorkopfschotters, der gesamten Dammschüttung, des Grundstückbedarfs, der Tragschichtdicken, Schotterkörnung, Schwellenformen und -materialien).

Neben diesen allgemeingültigen grundsätzlichen Vorteilen, bietet das System aufgrund des geschlossenen Bettungssystems für spezielle Einsatzgebiete einzigartige Möglichkeiten. So werden topografisch bedingte Flugsandeinträge bzw.

Staubeträge z.B. in Kohlenabbaugebieten, in Steinbrüchen bzw. anderen Abbaugebieten völlig ausgeschlossen; das System bleibt dauerhaft elastisch.

Fazit: DURFLEX[®], basierend auf Polyurethanschaum, konnte in Uelzen ein neuartiger Schotteroberbau präsentiert werden, der bisher eine Konservierung der optimalen Gleislagequalität sicherstellt und evolutionär auf allen Vorteilen der traditionellen Schotterbettung aufbaut. DURFLEX[®] zielt darauf ab, den in der Qualität der Gleislage und des Gleiskörperverhaltens positiven Anfangszustand möglichst lange definiert zu erhalten, Verschlechterungen durch Zugbetriebe auszuschließen und Lärm und Vibrationen zu reduzieren. Bisherige Messungen auf einer hoch belasteten DB Netz Strecke haben alle Erwartungen mindestens bestätigt.

In der nachfolgenden Gegenüberstellung wurden die wesentlichen Merkmale des Systems DURFLEX[®] im Vergleich zum bestehenden konventionellen Schotteroberbau und auch zur Festen Fahrbahn zusammengestellt. Diese zeigt noch mal sehr eindrücklich, dass DURFLEX[®] die Vorteile des Schotteroberbaus mit denen der Festen Fahrbahn optimal miteinander kombiniert, bei gleichzeitiger Vermeidung systembedingter Schwächen selbiger.

Anlage 6 - Beitrag zu den förderpolitischen Zielen

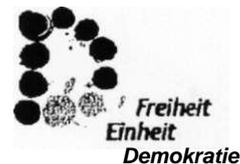
Eine der wesentlichen verkehrspolitischen Zielsetzungen der Bundesregierung ist die zukünftige Sicherung der Mobilität in Deutschland als eine Grundvoraussetzung für unsere moderne Gesellschaft. Dies unter anderem vor dem Hintergrund, dass eine funktionierende Logistik eine der grundlegenden Voraussetzungen für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft ist. Das bestehende leistungsfähige Verkehrssystem in Deutschland soll in diesem Zusammenhang zu modernisiert und ausgebaut werden, um weiterhin Mobilität auf einem hohen Niveau zu gewährleisten.

Mit der Zunahme des Verkehrs wird die gesellschaftliche Akzeptanz für Mobilität und Verkehrswachstum nur dann erreichbar sein, wenn seitens der Verkehrspolitik eine intensive Auseinandersetzung mit dem Verbrauch von Ressourcen, Schadstoffemissionen und der Belastung durch Verkehrslärm erfolgt und überzeugende Lösungsansätze für diese Problemstellungen gefunden werden. Vor allem die Belastung der Bevölkerung durch Verkehrslärm spielt hierbei eine wichtige Rolle. Die Bundesregierung hat deshalb ein Lärmsanierungsprogramm an Bundesschienenwegen entwickelt.

Die mit DURFLEX® erreichbaren Reduzierungen im Bereich Schallemissionen und vor allem auch Erschütterungen tragen zu dieser Zielsetzung bei. Im Rahmen des Konjunkturprogramms der Bundesregierung sollen zusätzlich rund 100 Mio € in innovative Lärm- und Erschütterungsmaßnahmen an Schienenwegen investiert werden. Hierbei handelt es sich um die gezielte Erprobung neuer Maßnahmen zur Verringerung des Lärms direkt an der Quelle. Diesbezüglich wurden neben anderen unter Berücksichtigung der in diesem Vorhaben erzielten positiven Ergebnisse auch die Verschäumung von Schottergleisen und die Anordnung von Unterschottermatten als Maßnahme in das Portfolio verfügbarer Lärmschutzmaßnahmen aufgenommen.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie verfolgt im Rahmen des 3. Verkehrsforschungsprogramms u.a. die Zielsetzung, den Verkehrsträger Schiene durch innovative Entwicklungen attraktiver und effizienter zu gestalten und darauf ausgerichtete Projekte der deutschen Wirtschaft zu unterstützen. Aufgrund der im Rahmen der Demonstration nachgewiesenen ausgezeichneten Ergebnisse zur Lagestabilität des Oberbaus in DURFLEX® kann damit eine verbesserte Verfügbarkeit des Netzes erzielt werden, denn der Entfall von Unterhaltungsarbeiten und einer erreichbaren merklichen längeren Liegedauer der Schienen und Lebensdauer des Oberbaus können mittel- bis langfristig zur Reduzierung von Sperrzeiten bzw. Baustellen im Netz der DB AG führen.

Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung



Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung « 11030 Berlin

Präsidenten des Deutschen Bundestages
Herrn Prof. Dr. Norbert Lammert MdB
- Parlamentssekretariat -
Platz der Republik 1
11011 Berlin

Enak Ferlemann, MdB
Parlamentarischer Staatssekretär beim
Bundesminister für Verkehr, Bau und
Stadtentwicklung

HAUSANSCHRIFT
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

POSTANSCHRIFT
11030 Berlin

TEL +49 (0)30 18-300-2250
FAX +49 (0)30 18-300-2269

psts-f@bmvbs.bund.de
www.bmvbs.de

Datum: Berlin, 26.02.2010
Seite 1 von 1

Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Anton Hofreiter, Winfried
Hermann, Bettina Herlitzius, weiterer Abgeordneter und der Fraktion
BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN
„Maßnahmen der Bundesregierung zur Reduzierung von Bahnlärm“
- Drucksache 17/704

Anlagen: Antwort der Bundesregierung auf die oben bezeichnete
Kleine Anfrage (mit 5 Mehrabdrucken)

Sehr geehrter Herr Präsident,

als Anlage übersende ich die Antwort der Bundesregierung auf die
oben bezeichnete Kleine Anfrage. Die Mehrabdrucke dieses Schrei-
bens mit Anlagen sind für die Fraktionen des Deutschen Bundestages
beigefügt.

Ich hoffe, Ihnen mit diesen Angaben gedient zu haben, und verbleibe
mit freundlichen Grüßen

Enak Ferlemann

Anlage

zum Schreiben

vom 26.02.2010

Antwort

der Bundesregierung

auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Anton Hofreiter, Winfried Hermann, Bettina Herlitzius, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN
„Maßnahmen der Bundesregierung zur Reduzierung von Bahnlärm “
-Drucksache 17/704

Frage 1: *Welchen Stand haben die einzelnen Maßnahmen zur Bahnlärmreduzierung, die ans dem Konjunkturprogramm der Bundesregierung finanziert werden?*

Antwort:

Erste Einzelmaßnahmen zur Lärm- und Erschütterungsminderung am Fahrweg der Eisenbahnen des Bundes wurden bereits realisiert. So wurden Schienenstegbedämpfer in mehreren Ortslagen des Rheintals sowie in Hamburg-Hausbruch eingebaut und eine Schallschutzwand aus Gabionen in Duisburg-Ruhrort errichtet. Alle übrigen Maßnahmen sollen bis spätestens 31.12.2011 umgesetzt werden.

Frage 2: *Gibt es erste Zwischenkenntnisse, inwieweit die getesteten Techniken regulär eingesetzt oder sie aus Effizienzgründen nicht weiter verfolgt werden sollen?*

Antwort:

Die Erprobung erster Einzelmaßnahmen zur Lärm- und Erschütterungsminderung hat erst begonnen. Derzeit können noch keine Aussagen über ihre Effizienz gegenüber konventionellen Lärmschutzmaßnahmen getroffen werden.

Frage 3: *Auf welchen Strecken wird das verschäumte Schottergleis erprobt bzw. eingebaut?*

Frage 4: *Auf welchen Strecken plant die Bundesregierung ein verschäumtes Schottergleis einzubauen?*

Frage 5: *Wann erfolgt jeweils der Einbau?*

Antwort:

Die Fragen 3, 4 und 5 werden wegen ihres Sachzusammenhangs gemeinsam beantwortet.

Bislang kam das verschäumte Schottergleis im Rahmen des Konjunkturpakets II nicht zur Anwendung. Innerhalb der Maßnahmenliste der Innovativen Techniken am Fahrweg zur Lärm- und Erschütterungsminderung ist für eine Anwendung die Ortslage Mango Iding-Sünching vorgesehen. Eine zeitliche Umsetzung dieser Maßnahme steht noch nicht fest.

Frage 6: *Welche Ergebnisse haben die Untersuchungen zu den Umweltauswirkungen der einzelnen Techniken zur Bahnlärmreduzierung (z.B. zur Entsorgung der Materialien bei Erneuerung eines verschäumten Schottergleises)?*

Antwort:

Zum überwiegenden Teil werden für die Innovativen Maßnahmen zur Lärm und Erschütterungsminderung herkömmliche Baustoffe verwendet. Für die Einzelmaßnahmen behält sich die zuständige Behörde vor, einen Nachweis der Umweltverträglichkeit im Einzelfall einzufordern.

Frage 7: *Welche konkreten Maßnahmen wird die Bundesregierung ergreifen, um den Bahnlärm an bestehenden Bahnstrecken zu reduzieren und in welchen zeitlichen Rahmen sollen diese Maßnahmen umgesetzt werden?*

Antwort:

*

Für das Lärmsanierungsprogramm an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes stehen jährlich 100 Mio. Euro zur Verfügung. Um die Möglichkeiten des technischen Fortschritts bei Fahrzeugen zu nutzen, hat die Bundesregierung die Förderregelungen zum Pilot- und Innovationsprogramm „Leiser Güterverkehr“ im November 2009 in Kraft gesetzt, die eine Lärm mindernde Umrüstung der Bremssohlen von bis zu 5000 Güterwagen ermöglichen bis 2012 ermöglichen. Für innovative Lärmschutzmaßnahmen an bestehenden Schienenwegen sind im Konjunkturpaket II von 2009 bis 2011 Mittel in Höhe von 100 Mio. Euro für über 40 Vorhaben vorgesehen (Schienenstegbedämpfer, Brückenabsorber, niedrige Schallschutzwände).

Frage 8: *Wird die Bundesregierung die im Koalitionsvertrag vereinbarten lärmabhängigen Trassenpreise noch vor 2013 einführen?*

Falls nicht, welche Gründe sprechen dagegen?

Antwort:

Die Bundesregierung befürwortet eine lärmabhängige Trassenpreisgestaltung. Derzeit werden verschiedene Modellvarianten geprüft.

Frage 9: *In welchem konkreten Zeitrahmen wird die Bundesregierung, wie im Koalitionsvertrag angekündigt, den Schienenbonus in welchen Schritten abschaffen?*

Antwort:

Der Schienenbonus von derzeit 5 dB(A) ist in den §§ 41-43 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes in Verbindung mit der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BtmSchV) gesetzlich festgelegt. Die bestehenden gesetzlichen Regelungen zum Schienenbonus sind die verbindliche rechtliche Grundlage abgeschlossener und laufender Planfeststellungen.

Die Bundesregierung hat die Absicht, den Schienenbonus schrittweise zu reduzieren mit dem Ziel, ihn ganz abzuschaffen. Die Prüfung und Überarbeitung der einschlägigen rechtlichen Regelungen

zura Schieneribonus ist auf Arbeitsebene bereits aufgenommen worden. Dies gilt auch für die Fortschreibung des Gesamtkonzepts der Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes. Die Bundesregierung sieht es als ihre Aufgabe an, differenzierte Aspekte der Lärm-Charakteristik, der konkreten schutzbedürftigen Situationen und der Wirkung auf den Menschen zu betrachten und innerhalb der finanziellen Rahmenbedingungen zu würdigen. Dazu werden auch neue wissenschaftliche Studien einbezogen, namentlich die Untersuchungen des BMWi, die Ergebnisse des Forschungsverbundvorhabens „noise effects“ im Rahmen der Deutsch-Französischen Kooperation in der Verkehrsforschung (detifra) sowie eine Studie des Umweltbundesamtes über Wirkungen des Schienenverkehrslärms im Vergleich zu anderen Lärmquellen.

Frage IQ: *Wird die Bundesregierung bis zur endgültigen Abschaffung des Schienenbonus dafür sorgen, dass dieser übergangsweise an besonders belasteten Streckenabschnitten wie z.B. bei den Planfeststellungsverfahren für die Neu- und Ausbaustrecke Karlsruhe - Basel von der Vorhabenträgerin als Pilotprojekt nicht mehr zur Anwendung kommt?*

Antwort:

Der Planungsträger DB Netz AG wird seine Planungen am aktuell jeweils gültigen Planungsrecht orientieren. Bei dem Vorhaben Ausbaustrecke/Neubaustrecke Karlsruhe—Basel sind bereits alle Planfeststellungsverfahren eingeleitet bzw. ergangen. Diese Planungen berücksichtigen entsprechend das geltende Recht.

Frage 11: *Plant die Bundesregierung an besonders belasteten Streckenabschnitten des Bestandsnetzes wie z.B. im Gebiet des Weltkulturerbes im Mittelrheintal die Einführung von Nachtfahrverboten für überlaute Güterzüge zur sofortigen Reduzierung des nächtlichen Güterverkehrslärms?*

Wenn nein, warum nicht?

Antwort:

Zu Geschwindigkeitsbegrenzungen und zeitlich befristeten Fahrverboten für Güterzüge gibt es keine gesetzlichen Grundlagen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass neben den Auswirkungen auf die Betriebsqualität durch Langsamfahrstellen auch vermehrte Bremsvorgänge mit erhöhtem Energieverbrauch zu verzeichnen sind.

Frage 12: *Plant die Bundesregierung die Einführung strengerer Lärmschutzgrenzwerte für das Bestandsnetz, analog zu den Regelungen im Bundesimmissionsschutzgesetz, die für Aus- und Neubaustrecken gelten?*

Falls nicht, welche Gründe sprechen dagegen?

Antwort:

Die Bundesregierung plant derzeit keine Senkung der Auslösewerte für die Lärmsanierung des Schienennetzes. Es besteht weiterhin ein hoher Bedarf an Lärmsanierungsmaßnahmen für die Erreichung der derzeitigen Auslösewerte, der im Rahmen der zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel priorisiert werden muss.

Frage 13: *Inwieweit fördert die Bundesregierung die technische Zulassung von LEJLA für den regulären Bahnbetrieb in Deutschland und europaweit?*

Antwort:

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung und das BMWi haben das Vorhaben von 2000 bis 2005 im Rahmen des Projektnetzwerks „Leiser Verkehr“ gefördert. Der Prototyp des LEILA-Drehgestell wurde auf der InnoTrans 2004 vorgestellt. Grundsätzlich ist es der Bahnindustrie und den Fahrzeugbetreibern vorbehalten zu entscheiden, wie sie die Anforderungen der TSI (Technische Spezifikation Interoperabilität) Lärm vom 08.02.2006 (Amtsblatt der EU L 37/17) für die Schallabstrahlung neuer Fahrzeuge erreichen. Es verbietet sich, das Produkt einer bestimmten Firma vorzuschreiben.

Frage 14: *Welche ordnungspolitischen Maßnahmen für das rollende Material (Wagen und Triebfahrzeuge) plant die Bundesregierung zur Reduzierung des Bahnlärms?*

Frage 15: *Wann sollen diese Maßnahmen umgesetzt werden?*

Frage 16: *Welche Anreize mit welchem quantitativen und zeitlichen Ziel wird die Bundesregierung für den Einsatz von lärmreduziertem Rollmaterial setzen und in welchen zeitlichen Rahmen soll dies geschehen?*

Antwort:

Die Fragen 14, 15 und 16 werden wegen ihres Sachzusammenhangs gemeinsam beantwortet.

Die Ende 2005 auf europäischer Ebene beschlossenen Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) enthalten erstmals Lärmemissions-Grenzwerte für neue und wesentlich umgestaltete Eisenbahnfahrzeuge. In Folge dessen werden die Verkehrsunternehmen im transeuropäischen Eisenbahnsystem durch Beschaffung leise rollenden Materials zunehmend geräuscharme Züge zum Einsatz bringen. Die Bundesregierung wird sich auf europäischer Ebene weiter für Geräuschgrenzwerte einsetzen, die den technischen Fortschritt und die gesellschaftlichen Anforderungen an einen verbesserten Schallschutz in vollem Umfang berücksichtigen und die Anstöße für weitere Entwicklungen setzen.

Die Bundesregierung fordert die Umrüstung von bis zu 5000 Güterwagen auf lärmarme Brems-technik im Rahmen des Pilot- und Innovationsprogramms „Leiser Güterverkehr“. Die betreffende Förderrichtlinie wurde am 16. November 2009 in Kraft gesetzt. Eine weitergehende Umrüstung durch die Eisenbahnverkehrsunternehmen soll durch die Eirdührung eines lärmabhängigen Trassenpreissystems realisiert werden.

Frage 17: *Wie bewertet die Bundesregierung die Wirksamkeit von Maßnahmen für die Bahnlärmreduzierung am Fahrweg (je nach Technik 1,5 bis 6 Dezibel Reduzierung) im Verhältnis zu Maßnahmen zur Reduzierung am rollenden Material (mit LEILA 14 Dezibel Reduzierung) bezogen auf deren Wirksamkeit?*

Antwort:

Es wurden umfangreiche Messfahrten mit dem Prototyp des LEILA-Drehgestells im Vergleich mit einem bauartgleichen Güterwagen ausgeführt, der mit den weit verbreiteten Drehgestellen Bauart Y 25 ausgerüstet ist. Diese Arbeiten werden durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, gefördert. Die Messungen haben das Erreichen der Projektziele im Bereich Lärminderung bestätigt:

drastische Lärmreduzierung gegenüber konventionellen Drehgestellen,
Massereduzierung des Drehgestells aufwerte unter 4 t

Eine schnelle Verbesserung der Lärmsituation an lokalen Lärmbrennpunkten kann hauptsächlich durch Maßnahmen zur Lärmreduzierung am Fahrweg erfolgen, da in diesen Gebieten nur eine vollständige Umrüstung des gesamten rollenden Materials eine deutliche Entlastung der Anwohner bewirken würde. Eine komplette Umrüstung wäre aber nur langfristig umsetzbar. Daher sieht das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung zwischen Lärmschutz am Fahrweg und rollendem Material keine Konkurrenz, sondern strebt eine Bündelung dieser Maßnahmen an, um umfassenden Lärmschutz zu gewährleisten. Im Übrigen wird auf die Antwort zu Frage 13 verwiesen.

Frage 18: *Inwieweit wird der Transport per Bahn durch die Maßnahmen der Bundesregierung zur Bahnlärmreduzierung gegenüber Transporten mit anderen Verkehrsmitteln verteuert oder benachteiligt?*

Frage 19: *Inwieweit wird die Verteuierung oder Benachteiligung durch anderweitige Maßnahmen (auch bei anderen Verkehrsträgern) kompensiert?*

Antwort

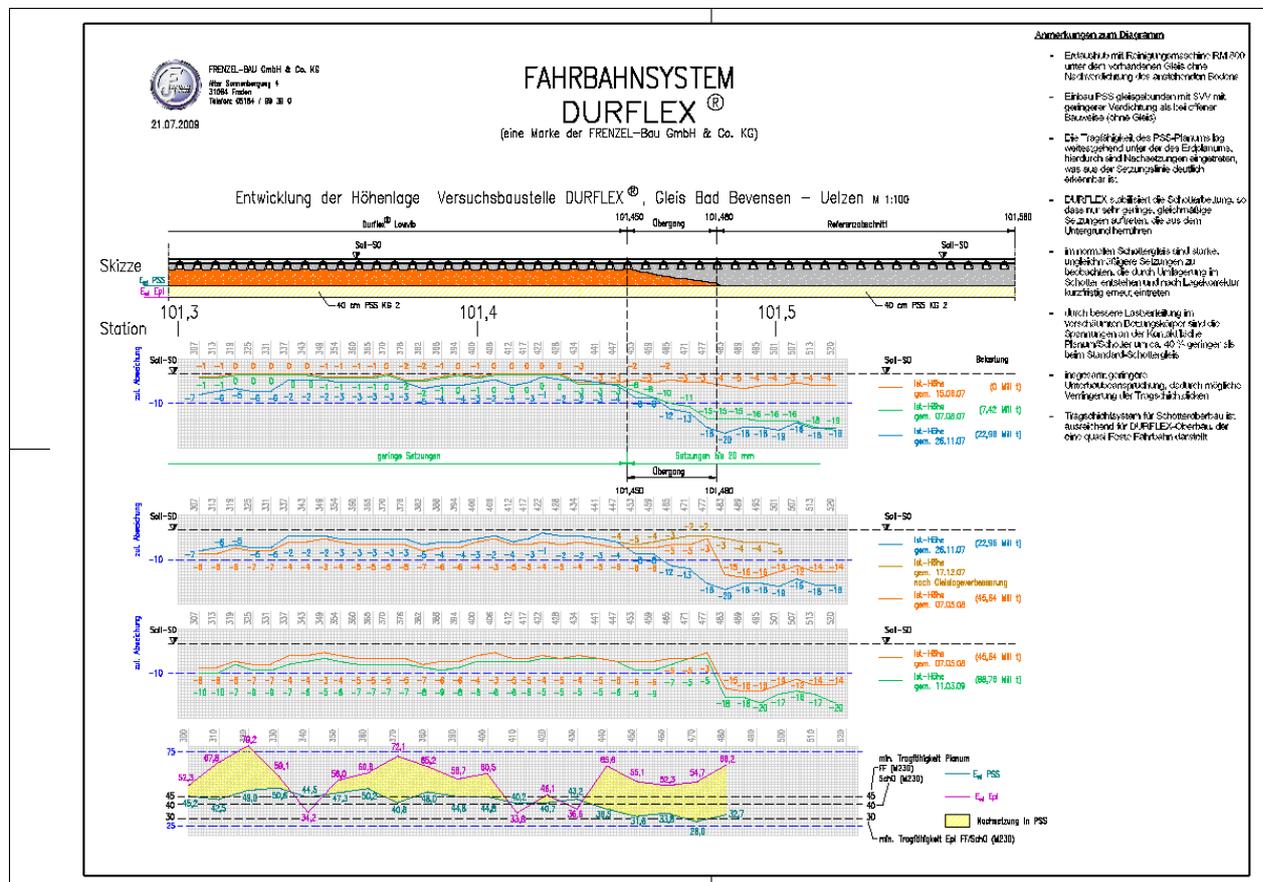
Die Fragen 18 und 19 werden wegen ihres Sachzusammenhangs gemeinsam beantwortet.

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung sieht gegenwärtig keine Benachteiligung des Schienengüterverkehrs gegenüber anderen Verkehrsträgern.

Anlage 7 – Zusammenfassung wissenschaftlich-technisches Ergebnis

Setzungen und Gleislagequalität

Auf der im Juli 2007 in Betrieb genommenen Uelzener Referenzstrecke der DB AG wurden elastische Einsenkungen – als Teil der erwünschten Elastizität – protokolliert und lagen auf Antrieb bei sehr guten 1,2 – 1,5 mm. Die Setzungen waren auch nach zwei Jahren Regelbetrieb unverändert geringfügig. Die letzten aus Dezember 2009 stammenden Messergebnisse nach Abschluss des Vorhabens zu den Setzungen zeigten, dass das dargestellte positive Setzungsverhalten unvermindert anhält und die Gleislagequalität mit durchgehend guten Werten erhalten bleibt, obwohl bei der im Zuge der Erstanwendung des DURFLEX®- Systems stattgefundenen Instandsetzung im Jahr 2007 der Erdaushub mit der Reinigungsmaschine unter dem vorhandenen Gleis ohne Nachverdichtung des anstehenden Bodens durchgeführt wurde. Seit März 2009 bis Dezember 2009 sind keine weiteren messbaren Setzungen aufgetreten.

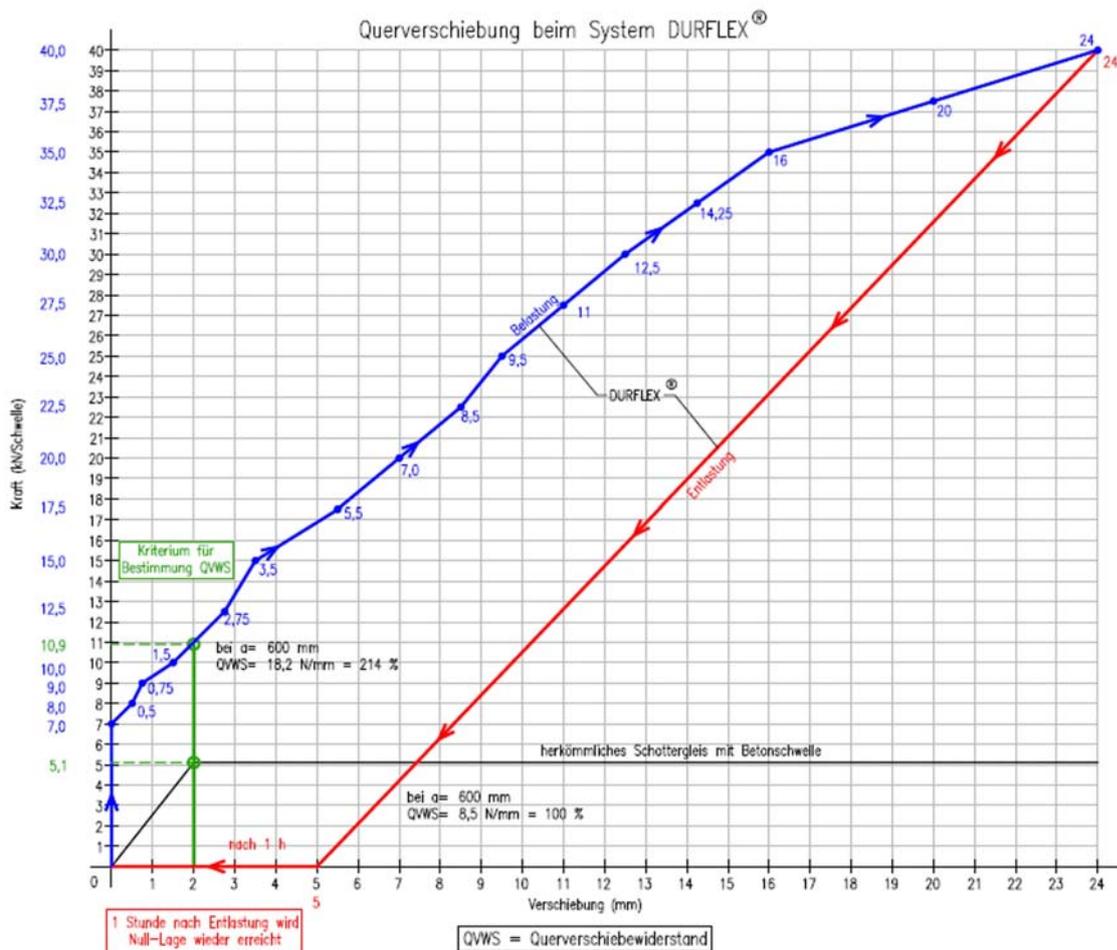


Messergebnisse zur Entwicklung der Höhenlage (siehe auch Anlage 4)

Simulationsversuche und Labortests lassen erwarten, dass das auch sehr langfristig (Jahrzehnte) keine systemrelevanten Setzungen entstehen. Die somit ausgezeichnete Lagestabilität -ohne starr zu sein- ist daher optimal, notwendige Betriebsunterbrechungen durch Stopf- und Richtarbeiten können somit bei Ausführung des Oberbaus in DURFLEX® gänzlich entfallen.

Unter Berücksichtigung der Randbedingungen kann daraus vor allem bei mittel- bis langfristiger Betrachtungsweise ein erheblicher wirtschaftlicher Vorteil im Verbund mit einer deutlichen Steigerung der Netzverfügbarkeit und damit verbesserter Effizienz der Infrastrukturnutzung resultieren – siehe auch die nachfolgenden Ausführungen zur technisch wirtschaftlichen Bewertung unter Ziffer 1.4.

Der Querverschubwiderstand der Schwelle liegt bei DURFLEX® durch den Schwellen-Schotter-Schaumverbund deutlich höher (siehe Nachfolgende Abbildung).



Messergebnisse zum Querverschub

Damit könnte man die jetzt verwendete Menge des seitlichen Vorkopfschotters der Schwellen deutlich verringern, bevor man sich den wesentlich niedrigeren Querverschubwerten des konventionellen Schotteroberbaus nähern würde. Weiteres Einsparpotential der Optimierung des Oberbaus ließe sich dadurch erreichen, Rohstoffe würden gespart. Diese Betrachtung kann für den gesamten Bahnkörper, welcher geometrisch durch die Regelquerschnitte mit Regelneigungen bis zur Aufstandsfläche vorgegeben ist, durchgeführt werden. Es ergeben sich Möglichkeiten in vielen Bereichen einen Umbau ohne Dammverbreiterung, ohne zusätzliches Grundbruchrisiko und Grundstückserwerb auf den zur Zeit, nach herkömmlicher Betrachtung nicht regelkonformen Bahndämmen durchzuführen.

Reduzierung von Schall und Vibration

Gemessen wurden in Uelzen weiterhin auch eine Emissionsreduzierung des Luftschalls um bis zu 5 dB(A) und um bis zu 40 % beim Körperschall bei einer hochbelasteten Strecke mit Güterverkehr, aufbauend auf einer Unterschottermatte und steifer Zwischenlagen.

Durch das genormte Messverfahren der „Dynamischen Gleis-Abklingrate“ (engl.: Track Decay Rate, TDR) werden die akustisch relevanten Eigenschaften eines Gleissystems quantifiziert. Umfangreiche Untersuchungen führen zu Vergleichsmessungen, durch die der Nutzen neuartiger Gleissysteme bewertet wird. Dabei wurden der in prEN 3095:2009 genannte Frequenzbereich erweitert, um auch den für Erschütterungen relevanten Bereich tiefer Frequenzen zu untersuchen.

Die DURFLEX[®]-Versuchsstrecke in Uelzen zeigt ein charakteristisches Schwingungsverhalten für Betonschwellengleise. Die TDR ist dabei tendenziell höher, sowohl im Vergleich mit dem Referenzabschnitt ohne DURFLEX[®] und auch als mit dem typischen W-Standardoberbau mit B91-Schwelle. Gerade im tieffrequenten Bereich bei vertikaler Belastungsrichtung (Bild 16) fällt diese um bis zu 9 dB/m höher aus. Die Erfahrung zeigt, dass in diesem Bereich die TDR durch den Einsatz der Unterschottermatte reduziert wird. DURFLEX[®] neutralisiert diesen Effekt und stellt den Vorteil einer hohen TDR des Standardoberbaus in diesem Bereich wieder her.

Im Bereich über 1,6kHz ist ein deutlicher Vorteil des DURFLEX[®] zu erkennen. Hier wird jedoch der fahrzeugseitig abgestrahlte Geräuschanteil relevant, so dass der Nutzen hinsichtlich der Abnahme des Geräuschpegels insgesamt je nach Fahrwerksbauart unterschiedlich hoch ausfällt. Die TDR in horizontaler (lateraler) Schwingungsrichtung zeigt über weite Frequenzbereiche Vorteile für das DURFLEX[®]-System. Diese Ergebnisse deuten also auf eine spürbare Verbesserung des akustischen Verhaltens bei Einbau von DURFLEX[®] hin.

Zusammenfassendes Fazit

Unter Berücksichtigung aller Ergebnisse kann zusammenfassend folgendes Fazit gezogen werden:

- Mit dem DURFLEX[®]-Oberbau wird mit steifen Zwischenlagen eine Elastizität vergleichbar zum konventionellen Schienenoberbau mit elastischen Zwischenlagen (Standard für Hochgeschwindigkeitsstrecken) erzeugt.
- Auf der freien Strecke kann ohne zusätzliche seitliche Haltung des Schotters eine Unterschottermatte eingebaut werden. Mit der Verschäumung wird die sonst unvermeidliche Resonanzverstärkung der Unterschottermatte kompensiert.
- Die Erschütterungen werden mit der eingebauten Unterschottermatte um bis zu 6 dB/A reduziert.
- Trotz der erzielten Elastizität des verschäumten Oberbaus wird eine langfristige Lagestabilität erreicht („Einfrieren“ des guten Zustandes).
- Der Luftschall wird um bis zu 5 dB/A gegenüber einem konventionellen HGV-Schotteroberbau mit elastischen Zwischenlagen reduziert.

Insgesamt konnte damit festgestellt werden, dass die Messergebnisse und deren Auswertung die im Vorfeld erwarteten Systemeigenschaften des DURFLEX[®]-Oberbaus weitestgehend bestätigt haben. Darüber hinaus konnten noch

Optimierungspotentiale aufgezeigt werden, die in der Weiterverfolgung des Systemkonzepts nach Abschluss des Vorhabens in Abstimmung mit den Entwicklungspartnern und zukünftigen Anwendern weiter verfolgt werden.

Zusammenfassung der Ergebnisse und weiteres Entwicklungspotential

Das Fahrbahnsystem DURFLEX[®] zeigt, dass der Schotteroberbau nicht am Ende seiner Entwicklung ist und zusätzliche Impulse bringt:

- eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit
- eine Verlängerung der Instandhaltungsintervalle
- eine Verringerung von Körperschall und Schwingungen
- Wirtschaftlichkeit: Herstellungskosten unter der Festen Fahrbahn

Dies verdeutlicht, dass die Entwicklung nicht am Ende ist, sondern der Anfang einer neuen Ära des Schotteroberbaues eingeläutet wird. Die vorliegenden Ergebnisse mit Stand März 2010 bestätigen

- nach ca. 140.000.000 Lasttonnen
- und 2 Winterperioden mit Temperaturen bis unter -20°C

eine sehr gute Gleislage ohne jeglichen Unterhaltungsaufwand.

Die bisher formulierten Ziele sind alle erreicht bzw. übertroffen worden. Eine Übersicht über die Ergebnisse lässt sich mit dem Vergleich „SCHOTTEROBERBAU-DURFLEX[®]-FESTE Fahrbahn“ anstellen.

| Parameter | Schotteroberbau | DURFLEX® | Feste Fahrbahn |
|--|---|--|--|
| Bauzeit | kurz, Vergleichswert für alle Planfeststellungsverfahren | gegenüber Schotteroberbau geringfügig länger - nur die Dauer des Schäumvorganges, keine Aushärtezeit | lange Aushärte und Arbeitsvorbereitungszeiten, geändertes Planfeststellungsverfahren |
| Reparaturkonzept | problemlos | problemlos | Zeitaufwändig |
| Sonderbauweisen | keine | keine | viele, Weichen, Brücken, Einbauten, EBA-Zulassungen erforderlich |
| Schotterwirbel im Tunnel | problematisch | keiner bei Vollausschäumung | kein Schotter vorhanden |
| Recycling | problemlos | problemlos | aufwändig |
| Sicherungskosten / Bauüberwachung | gering | unwesentlich größer als beim Schotteroberbau | sehr hoch, infolge langer Bauzeit |
| Vermessungsaufwand | gering | gering | sehr hoch |
| Querverschiebewiderstand | gering | sehr groß | sehr groß |
| Vorkopfeinschotterung | ≥ 40 cm | max. 25 cm aufgrund des großen Querverschiebewiderstandes | nicht nötig |
| Druckspannung auf dem Planum | sehr hoch | gering, Verzicht auf PSS möglich | gering |
| Bettungsdicke, Dicke Tragschichten | 30 cm / 35 cm 30 bis 50 cm | Verringerung möglich durch besserer Lastverteilung (Bemessung erforderlich) | Bauhöhe größer als bei Schotter und DURFLEX® |
| Spannung unter Schwelle | groß | wesentlich geringer, Einbau kürzerer Schwellen möglich, (Bemessung erforderlich) | systembedingt |
| Filterstabilität gegen über gleichkörnigen Bodenarten | ohne besondere Maßnahmen nicht gegeben (z.B. Einbau einer PSS erforderlich) | gegeben, keine besonderen Maßnahmen bei tragfähigem Baugrund notwendig | Gründung immer auf gesonderten Tragschichten, aufwändig |
| Schottermenge | groß | geringer Vorkopfschotter geringere Bettungsdicke | - |
| Breite des Schotterkörpers | groß | kleiner infolge des geringeren Schotterbedarfes | Betonplatte, Breite geringer |

| Parameter | Schotteroberbau | DURFLEX® | Feste Fahrbahn |
|---|---|--|--|
| Wärmedämmwirkung des Schotters | gering | groß, Verzicht auf Frostschutzschichten (Nachweise erforderlich) | - |
| Setzungen | groß, im Schotter und Unterbau | geringe, max. nur im Unterbau | wenn, nur im Unterbau |
| Schallabstrahlung | groß | geringer | sehr groß, harte Reflektionsflächen |
| nachträglicher Einbau von Kabeltrögen in Randweg | meistens nur mit Bahnkörperverbreiterung möglich, z.B. Anschüttungen, Stützbauwerke, ggf. Grunderwerb | auf Grund des kleineren Schotterkörpers ohne Zusatzmaßnahmen möglich (Errichtung ESTW) | - |
| Schwingungen im Baugrund | hoch | sehr gering, dadurch Verzicht auf ggf. im Untergrund erforderliche Maßnahmen | hoch |
| Planrecht bei Umbau | nein | nein, da nur zusätzlicher umweltverträglicher Baustoff zum Einsatz kommt (Gutachten BEVAR) | Planfeststellung, Plangenehmigung zwingend notwendig |
| Erschütterungen | groß | gering, kostengünstiger Einsatz auf Brücken | groß |
| Bettungsver- schmutzung | möglich | weitestgehend nicht möglich | - |
| Reaktion auf Temperatur- einwirkung | Gleisverwerfung möglich | Gleisverwerfung nicht möglich | große Temperaturspannungen im System, Einfluss auf Lebensdauer |
| Umrüstung von SchO auf alternative Oberbausysteme | - | durch Einsatz von vorhandenen Großmaschinen in kurzer Zeit realisierbar | äußerst aufwändig, lange Sperrzeiten, hohe zusätzliche Betriebskosten, umfangreiche Eingriffe in Fahrplantechnologie Beauftragung Planfeststellung |

Der eingeschlagene Weg, ein normales Schottergleis im Lastabtragungsbereich komplett zu verschäumen und damit eine quasi Feste Fahrbahn herzustellen, lässt sich eindrucksvoll bestätigen. Weiteres Entwicklungspotenzial ist aufgezeigt. Die Umweltverträglichkeit liegt vor. Nun muss der Weg zur Serienfertigung eingeschlagen werden.



Traffic • Software • Service

LCC
Oberbausystem DURFLEX®

Dr.-Ing. Marian Gaidzik
HaCon Ingenieurgesellschaft, Hannover

Ertragsoptimierungen durch Oberbausystem **DURFLEX®** gegenüber **konventioneller** Schotterausführung

- erhöhte Lebensdauer des Oberbaus; Möglichkeit der besseren Garantie der Netzqualität gem. LuFV
- Entzerren von Bauspitzen, Entgegenwirken der Marktligopolisierung
bessere Preisfixierung, konstantere Planbarkeit der Erneuerungskosten
- zukünftig Reduzierung von Planumsverbesserungen gem. EBA-Direktive
- Effizienterer Einsatz eigener, vorhandener DB- Netzpersonale in der Planung, Bauüberwachung, Besicherung und Bautätigkeit
- kalkulierbarere Recycling- und Entsorgungskosten
- voraussichtlich bessere Kostenschätzung der Altlastenbehandlung
(flächendeckend im Bereich **DURFLEX®**)
- deutliche Effizienzsteigerung des Netzes

Vergleich konventioneller Schotteroberbau – DURFLEX® - Grundlagen

▪ Rahmendaten konventioneller Schotteroberbau (KSOB)

- Gleiserneuerung 550 €/m - alle 40 Jahre
 - Planungsverbesserung 300 €/m
 - Durcharbeitung (DUA) 20 €/m - alle 5 Jahre
 - Schienenbearbeitung 8 €/m - Intervallvarianten (2x p.a. - 1x alle 2 Jahre)
 - chem. Vegetation/Rückschritt 1 €/m und Jahr
 - kleine Instandhaltung 1,5 €/m und Jahr
- Schienenwechsel nach 20 Jahren - 220 €/m

▪ Rahmendaten DURFLEX®

→ Grundlagen wie konventioneller Schotteroberbau mit folgenden Abweichungen:

- Gleiserneuerung nach 60 Jahren (kein Schotter- und Schwellenverschleiß)
- DUA nicht erforderlich (kein Verschleiß, Lagefixierung)
- Schienenbearbeitung alle 4 Jahre (Erkenntnis aus Pilotprojekt)
- Schienenwechsel nach 25 - 30 Jahren (geringere Beanspruchung)

DURFLEX®– Verschäumungskosten (Zusatzaufwand zum konv. Schotteroberbau)

- **Ergebnisse gemäß Kalkulation (siehe folgende Seite)**

| | | |
|--|---|------------------|
| - Maschineneinsatz (50% - Auslastung/Jahresleistung 70 km) | : | 20,0 €/m |
| - Personaleinsatz | : | 5,5 €/m |
| - Materialeinsatz | : | 185,0 €/m |
| - Amortisation Entwicklungskosten | : | 20,0 €/m |
| <hr/> | | |
| Summe | | 230,5 €/m |
| - Betriebskosten Maschineneinsatz (Energie, etc., ~1.000,00 €/d) | : | 1,5 €/m |
| - Logistikkosten Maschineneinsatz (Anfuhr/Abfuhr) | : | 1,0 €/m |
| - Transportkosten Materialanfuhr | : | 2,0 €/m |
| <hr/> | | |
| Gesamtkosten | | 235,0 €/m |
| Kalkulationsreserve | | 15,0 €/m |
| → in Vergleichsbetrachtung angesetzte Kosten | | 250,0 €/m |

Kosten der Verschäumung bei vorh. Schotter-Gleis

| | | Basis (Var-0) | Var-1 50% Masch.- Auslastung | Var-2 |
|--|--------------|---------------|------------------------------------|----------------|
| A: Maschineneinsatz | | | | |
| Investition Prototyp einer Verschäumungsmaschine | [€] | 10.000.000,00 | 10.000.000,00 | 10.000.000,00 |
| Maschinenlebensdauer | [Jahre] | 20 | 20 | 20 |
| jährliche Abschreibung (linear) | [%/Jahr] | 5 | 5 | 5,00 |
| jährliche Abschreibung | [€/Jahr] | 500.000,00 | 500.000,00 | 500.000,00 |
| Kapitalkosten | [%/Jahr] | 4 | 4 | 4,00 |
| Kapitalkosten | [€/Jahr] | 400.000,00 | 400.000,00 | 400.000,00 |
| Unterhaltung 5% | [€/Jahr] | 500.000,00 | 500.000,00 | 500.000,00 |
| Schichtleistung | [Gleis-m] | 350 | 350 | 350 |
| Anzahl Schichten je Tag | [-] | 2 | 2 | 2 |
| Tagesleistung | [Gleis-m] | 700 | 700 | 700 |
| Anzahl effektiver Einsatztage pro Jahr | [-] | 200 | 100 | 200 |
| Jahresleistung | [Gleis-km] | 140 | 70 | 140 |
| Km-Preis | [€/Gleis-km] | 10.000,00 | 20.000,00 | 3.571,43 |
| Meter-Preis | [€/Gleis-m] | 10,00 | 20,00 | 3,57 |
| B: Personaleinsatz | | | | |
| Anzahl P je Maschineneinsatz | [-] | 4 | 4 | 4 |
| Anzahl kostenrelevante h je Schicht | [-] | 8 | 8 | 8 |
| Preis einer Personal-h | [€/h] | 80,00 | 80,00 | 80,00 |
| Personalkosten je Schicht | [€/Schicht] | 1.920,00 | 1.920,00 | 1.920,00 |
| Personalkosten je Meter | [€/Gleis-m] | 5,49 | 5,49 | 5,49 |
| Personalkosten je km | [€/Gleis-km] | 5.485,71 | 5.485,71 | 5.485,71 |
| Zwischensumme A+B | [€/Gleis-m] | 15,49 | 25,49 | 9,06 |
| C: Material | | | | |
| PU (Polyurethan-Schaum) - Preis | [€/kg] | 2,30 | 2,30 | 2,30 |
| PU - erforderliche Menge je m Gleis | [kg] | 50 | 50 | 50 |
| PU - Preis je Gleis-m | [€/Gleis-m] | 115,00 | 115,00 | 115,00 |
| Unterschottermatte | [€/Gleis-m] | 50,00 | 50,00 | 50,00 |
| Vlies | [€/Gleis-m] | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Schotter waschen | [€/Gleis-m] | 15,00 | 15,00 | 15,00 |
| SUMME Material | [€/Gleis-m] | 185,00 | 185,00 | 185,00 |
| D: Amortisation / Entwicklungskosten | | | | |
| Kosten je m Gleis | [€/Gleis-m] | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Preis je Meter Gleis | [€/Gleis-m] | 220,49 | 230,49 | 214,06 |

Kosten der Verschäumung bei vorh. Schotter-Gleis

- Mehraufwand bei Ausführung von Gleiserneuerungen in **DURFLEX®** anstatt KSOB auf 250,00 €/ Gleis-m
 - Einsparpotentiale zur Reduzierung des derzeitigen Mehraufwands können perspektivisch z.B. in der Anpassung des Schotterbettes (geringeres Volumen) gesehen werden
 - Im aktuellen Entwicklungs- und Versuchsstadium noch nicht abschließend quantifizierbar (insofern hier nicht berücksichtigt)
 - Die bisherigen Versuchs-/ Messergebnisse berechtigen jedoch den Ansatz einer auf 60 Jahre verlängerten Lebensdauer des Gleises
 - Zum abschließenden Nachweis des Langzeitverhaltens von PU-Schaum laufen derzeit „Klimakammer-Tests“ bei Bayer, die eine Liegedauer von 50 Jahren simulieren werden

Lärmproblematik und aktiver / passiver Lärmschutz

- Bei Überschreitung von Grenzwerten sind Lärmschutzmaßnahmen erforderlich – z.B. Ausrüstung der Strecken mit Lärmschutzwänden (LSW)
 - In den nächsten 10 Jahren wird mit einem Ausrüstungsbedarf von 600 Gleis-km mit LSW gerechnet (Ø 60 km p.a.)
 - Kosten für 1 m konventionelle LSW betragen 1.000,00 €
 - Für die Ausführung des Oberbaus in **DURFLEX®** wurde aufgrund der Rahmenbedingungen (keine DUA erf.) ein weitergehendes LSW-Konzept (**DURMINOR®**) entwickelt, das zur Reduzierung der Erstellungskosten auf 500,00 € pro m führt (siehe Darstellung Seite 9)

(Hierfür wurde ein Gutachten in Auftrag gegeben, die bisher erzielten Ergebnisse sind ausgesprochen positiv, so dass eine mindestens gleichwertige Schutzwirkung im Vergleich zur bisherigen Ausführung erwartet werden kann)

Vergleichsbetrachtungen für Lärmschutzwände

| | |
|-------------------------------------|---|
| Hohe Lärmschutzwand | 2,00 m über Schienenoberkante im äußeren Randwegbereich |
| Niedrige Lärmschutzwand (DURMINOR®) | 0,76 m über Schienenoberkante im nahen Gleisbereich |

Die Optimierungspotentiale im Zuge der Erstellung einer niedrigen Lärmschutzwand sind augenfällig:

- geringere Materialkosten
- kleinere Baugeräte
- kürzerer Bauzeiten
- bauen im Taktverfahren

Der größte Unterschied zu bisherigen Lärmschutzwänden ist bei der aufwändigen Tiefengründung (normale Stahlrohre Ø 500 mm) und der geringeren Schallschutzwandfläche – hohe Lärmschutzwand 3,00 m²/m, niedrige Lärmschutzwand 1,00 m²/m – zu erkennen.

Die Montagezeiten verkürzen sich erheblich. Wir rechnen mit einer Bauleistung von 100 m/ Tag im Taktverfahren.

Die Unsicherheiten bei einer Gründung im äußeren Gleisbereich sind größer als im inneren Gleisbereich. Hierdurch ist eine gezieltere Kalkulation möglich.

Als Kosten für eine niedrige Schallschutzwand kalkulieren wir mit einem Fertigungspreis von:

500,- €/m

Gegenüberstellung Investitionskosten pro m Gleis-Erneuerung (€)

| | Konventionell | | DURFLEX® | |
|---------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | ohne LSW | mit LSW | ohne LSW | mit LSW |
| Planumsverbesserung | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Gleiserneuerung | 550 | 550 | 550 | 550 |
| Verschäumung | - | - | 250 | 250 |
| Lärmschutzwand | - | 1.000 | - | 500 |
| Summe | 850 | 1.850 | 1.100 | 1.600 |

→ Kostenvorteil DURFLEX® bei Gleiserneuerung mit LSW

250,00 €

LCC-Berechnungen für KSOB und DURFLEX®

- Für die LCC-Berechnungen wurden verschiedene Varianten gebildet und miteinander verglichen (Berechnung erfolgte mit dem von Dr. Hempe zur Verfügung gestellten „LCC-Taschenrechner“).
- Die Varianten wurden auf Basis der Grundlage (Seite 4-8) gebildet. Unter Berücksichtigung der aktuellen Situation wurden insbesondere für das Schienenschleifen verschiedene Varianten gebildet.
- Die Darstellung der Varianten, der Einzelergebnisse sind auf den folgenden Seiten 12 - 15 dargestellt. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse erfolgt auf Seite 16 und die Bewertung auf Seite 17.

Bewertung der DURFLEX- Ergebnisse für die LSW Varianten

- Ein positiver Effekt ergibt sich (erwartungsgemäß) bei dem längeren Streckenabschnitt (150 km in 5 Jahresabschnitten) ab einem LSW-Anteil von 50 %
- Ein vergleichbares Bild ergibt sich auch für die Betrachtung des kürzeren Streckenabschnitts (50 km in 2 Jahresabschnitten)
 - Bei einem LSW-Anteil von 30 % werden die höheren Investitionskosten etwa nach 10 Jahren durch eingesparte Unterhaltungskosten kompensiert
 - Bei einem LSW-Anteil von 40 % nach etwa 5 Jahren und bei einem LSW-Anteil von 50 % ergeben sich ab dem ersten Jahr positive Effekte
- ➔ kurz- bis mittelfristig werden infolge **DURFLEX**[®] nur bei einem streckenabschnittsspezifisch sehr hohen Anteil von LSW positive wirtschaftliche Effekte erzielt

Auswirkungen infolge Erneuerung einer bestehender Strecke in Ausführung Schotteroberbau „konventionell“

- **Basis: DB Kernnetz: 3.600 km (7.200 Gleis-km), 120% Auslastung**
 - Nutzungsdauer 40 Jahre
 - jährlicher Erneuerungsbedarf von 180 Gleis-km
 - Ø Loslänge: 10 km → 18 Großbaustellen pro Jahr
 - Ø Loslänge: 5 km → 36 Großbaustellen pro Jahr
 - Sperrdauer je Baustelle:
 - bei 10 km: Ø 30 Tage
 - bei 5 km: Ø 20 Tage
 - jährliche Durchschnittswerte bei 27 Großbaustellen mit je 25 Tagen Sperrdauer:
 - => 675 Sperrtage für je 1 Gleis im Netz
 - => 16.200 Sperr-h
 - => bei 50 % und 4 Gz-Fahrten/h: 32.400 nicht fahrbare Gz
 - Ø 300 km-Lw und 4,50 €/km Trassenpreis
 - => 43,74 Mio. € Einnahmeverlust
 - bzw. 19,4 Mio. Nt/5,8 Mrd. Nt km Kapazitätsverlust

Einnahmesteigerungen durch DURFLEX® durch Verlängerung Nutzungsdauer auf Mobility Ebene

Basis: DB Kernnetz: 3.600 km (7.200 Gleis-km)

Steigerung der Nutzungsdauer des Schotteroberbaus durch DURFLEX® um 50 %, d.h. von 40 auf 60 Jahre führt zu 11,66 Mio. € weniger Einnahmeverlusten pro Jahr durch nicht ausfallende Güterzugfahrten

d.h. von 40 auf 60 Jahre führt zu 11,66 Mio. € weniger Einnahmeverlusten pro Jahr durch nicht ausfallende Güterzugfahrten

→ Reduzierung pro Jahr

→ der Behinderungen durch Großbaustellen um rund 34 %

→ d.h. von 27 Maßnahmen auf jährlich 18

→ der Sperrtage durch Großbaustellen um rund 25 %

→ d.h. von 675 auf 495 (bei 10 % Bauzeitzunahme infolge DURFLEX®); d.h. um 175 Sperrtage

→ der nicht fahrbaren Güterzüge durch Großbaustellen um rd. 25 %

→ d.h. von 32.400 auf 23.760 jährlich, d.h. 8.640 fahrbare Güterzüge/Jahr mehr

→ bei Ø 300 km-Lw und 4,50 €/km Trassenpreis

→ bzw. 5,18 Mio. Nt mehr Kapazität (bei Ø 600 Nt/Gz)

→ bzw. 1,55 Mrd. Nt km mehr Kapazität (bei Ø 300 km Lw/Gz)

Bei Berücksichtigung des zusätzlichen Bedarfs an Trassen für Bauzüge, Materialanfuhr etc. ergeben sich weitere Einspar- und Einnahmeerhöhungen

Einnahmeverluste aus Schotteroberbau „konventionell“ infolge DUA (Durcharbeitung nach Umbau während Liegedauer)

Schotteroberbau „konventionell“ KSOB

Basis: DB Kernnetz: 3.600 km (7.200 Gleis-km)

- Ø jährlicher DUA-Bedarf bei Ø alle 6 Jahre entspricht 1.200 Gleis-km bei Ø 500 m/h → 2.400 Sperr-h/Jahr
- DUA in verkehrsarmen Zeiten → geringere Auswirkungen

Annahme: Wegfall von ½ Gz-Trasse pro Sperr-h

- 1.200 Gz/Jahr
- 1,6 Mio. € Einnahmeverlust/Jahr
- 0,72 Mio. t/Jahr
- 0,22 Mrd. tkm/Jahr

Hingegen **DURFLEX®**:

- DUA kann aufgrund der langen unterhaltsarmen Liegedauer nahezu auf Null gesetzt werden, lediglich Kleineisenbehandlung ist notwendig!

Einnahmesteigerungen durch DURFLEX® infolge Wegfall DUA (Durcharbeitung nach Umbau während Liegedauer)

DURFLEX®

Basis: DB Kernnetz: 3.600 km (7.200 Gleis-km)

Steigerung um **1,6 Mio. € Einnahmen/Jahr**

- kein jährlicher DUA-Bedarf (nur Kleineisenbehandlung und Vegetationsbehandlung)
- keine Sperr-h
- Steigerung um 1.200 Gz/Jahr
 - 0,72 Mio. t/Jahr
 - 0,22 Mrd. tkm/Jahr

Einnahmeverluste durch Schienenwechsel während Nutzungsdauer des Schotteroberbaus „konventionell“

Schotteroberbau „konventionell“:

- **Basis: DB Kernnetz: 3.600 km (7.200 Gleis-km)**

Liegedauer 20 Jahre

⇒ Ø jährlicher Bedarf an Schienenwechsel von 360 Gleis-km

⇒ 3,5 Mio. € Einnahmeverlust / Jahr

Annahme:

- 50% des Schienenwechsels im Rahmen von Gleiserneuerungen
- 50% als reine Schienenerneuerung => Ø 180 Gleis-km
- jährliche Durchschnittswerte bei 27 Großbaustellen mit je 4 Tagen Sperrdauer:
 - => 108 Sperrtage für je 1 Gleis im Netz
 - ⇒ 2.592 Sperr-h/Jahr (vorrangig an Wochenenden)
- Annahme: Wegfall von 1 Gz-Trasse pro Sperr-h
 - => 2.592 Gz / Jahr
 - => 1,56 Mio. Nt/ Jahr
 - => 0,47 Mrd. Nt km/ Jahr

Effizienzsteigerung des Netzes durch DURFLEX®

DURFLEX®:

Reduzierung des sperrpausenbedingten Ausfalls der Netzverfügbarkeit durch verlängerte Schienenwechselintervalle

- um 20 % bei 25 Jahre Liegedauer
- bzw. um 33 % bei 30 Jahre Liegedauer

Begleitkosten Großbaustelle (GE)

- **Vorplanungsleistungen = 120.000,00 €/Baustelle**
 - DB-in house (30 P x Ø 50h x 60 €/h = 90.000,00 €)
 - Dritte (3 P x Ø 100h x 100 €/h = 30.000,00 €)
- **Baustellen-Sicherung**
 - Erfahrungswert ca. 40,00 €/Gleis-m
 - 7,2 Mio. € verteilt auf 27 Baustellen = 267.000,00 €/Baustelle
- **Bauüberwachung = 100.000 €/Baustelle**
 - DB-intern (4 P x 2 Schichten x 25 Tg x 500,00 €/Tg = 100.000,00 €)
- **SUMME tatsächlich anfallender Zusatzkosten
= 500.000,00 €/Großbaustelle (x m Länge)**
(ist in Erstellungskosten und LCC des Schotteroberbaus
„konventionell“ mit einzubeziehen)

Einsparpotential Begleitkosten Großbaustellen durch DURFLEX®

Annahme: 27 Großbaustellen/Jahr im Kernnetz bei
„**konventioneller**“ Schotteroberbauweise

Jährliches Einsparpotential **DURFLEX®** infolge
erhöhter Liegedauer: 9 Großbaustellen/Jahr

Für DB Netz bedeutet dies jährliche Begleitkostenreduzierung im
Bereich der Großbaustellen während des Lebenszyklusses von
DURFLEX® um 4,5 Mio. €, d.h. von 13,5 Mio. € auf 9 Mio. €

Baustellenbegleitkosten durch DUA während Nutzungsdauer

DUA Baustellenbegleitkosten Schotteroberbau „konventionell“

Jährlicher DUA-Bedarf = 1.200 Gleis-km

- bei 10 km/Bst. → 120 DUA-Baustellen/Jahr
- pauschale Annahme: DUA-Baustellenbegleitkosten = 5% von
Großbaustellenbegleitkosten = 25.000,00 €

Gesamtkosten = 3 Mio. €/Jahr

DUA Baukosten DURFLEX®:

- keine DUA erforderlich
- **Einsparpotential = 3 Mio. €/Jahr**

Begleitkosten Schienenwechsel

Schotteroberbau „konventionell“:

- jährlicher Bedarf = 180 Gleis-km
- bei 10 km/ Bst. → 18 Baustellen/ Jahr
- pauschale Annahme: Baust-Begleitkosten = 20% von Großbaustellen-Begleitkosten = 100.000,00 €
- **Gesamtkosten = 1.8 Mio. €/Jahr**

DURFLEX®:

- Reduzierung der Baustellen um ca. 5 Baustellen aufgrund erhöhter Liegedauer
- **Einsparpotential = 0,5 Mio. €/Jahr**

Direkte Effekte durch Wechsel des Schotteroberbaus auf DURFLEX®*

| | Gz-Trassen-Mehreinnahem* | Eingesparte Baustellen-Begleitkosten* |
|------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| Gleiserneuerung | 14 Mio. € | 4,5 Mio. € |
| Durcharbeitung | 1,9 Mio. € | 3,0 Mio. € |
| Schienenwechsel | 1,1 Mio. € | 0,5 Mio. € |
| SUMME | 17 Mio. € | 8,0 Mio. € |

*) nach „Umstellung“ eines Kernnetzes von 3.600 km auf DURFLEX®

Wirtschaftliche Auswirkungen durch ökologische Effekte von **DURFLEX® I**

- niedrigere Beschaffungskosten
- niedrigere Entsorgungskosten
- verkürzte Bauzeiten

All diese Gründe führen über den Lebenszyklus zu einer Ressourcenschonung und Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Netzes. Dies macht sich besonders bei der Betrachtung des Schotterverbrauchs bemerkbar:

- Bei einer jährlichen konventionellen Gleiserneuerung von 180 km sind ca. 50 % des Schotterbedarfs von 3,5 t/m Gleis = 1,75 t/m Gleis durch Neuschotter zu ersetzen
- Bei einer **DURFLEX®** – Gleiserneuerung nur 10 % von 3,5 t/m Gleis = 0,35 t/m Gleis

Wirtschaftliche Auswirkungen durch ökologische Effekte von DURFLEX® II

Hieraus ergibt sich eine Schottereinsparung von:

$$\begin{aligned} & 180.000 \text{ m} \times 1,75 \text{ t/m} = 315.000 \text{ t} \\ \text{abzügl. } & 180.000 \text{ m} \times 0,35 \text{ t/m} = 63.000 \text{ t} \\ & 252.000 \text{ t Schotter} \end{aligned}$$

Bei einem Einkaufspreis von z. Zt. 30,00 €/t ergeben sich Einsparungen von

7.560.000,00 €

Der Schotterbedarf reduziert sich um 252.000 t pro Jahr und trägt damit zu einer erheblichen Entspannung auf dem Schottermarkt bei.

Anlage 9 - Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Forderungen der DB Netz AG und des Eisenbahnbundesamtes zur endgültigen Zulassung des Verfahrens sowie des Nachweises der Systemeigenschaften des neuartigen Oberbauverfahrens DURFLEX® erforderten umfangreiche wissenschaftlich / technische Begleitung.

Vor Erstdurflexisierung einer regulär mit Höchstbelastung befahrenen Strecke im Netz der DB AG mussten umfangreiche theoretische und praktische Tests definiert und durchlaufen werden. Durch den erstmaligen Einsatz des Kunststoffes Polyurethan im Oberbau konnte nicht auf Vergleichs- und Erfahrungswerte zurückgegriffen werden- weder auf Einbringungserfahrungen noch auf Verhaltenserfahrungen. Normen, die auf den Schotteroberbau angewendet werden, mussten daher in Abstimmung zwischen EBA/ DB AG und Baufirma gemeinsam adaptiert und auf den Produktionsprozess abgestimmt werden.

Anlage 10 - Fortschreibung des Verwertungsplans

Die aus der Erstanwendung des Systems DURFLEX[®] erzielten Ergebnisse lassen es zu, weitere Erprobungen und Einbauten voranzutreiben.

Geplante Demonstrationsfelder auf den Netzinfrastrukturen der

- Vattenfall AG
- SNCF, in Frankreich
- Chinesischen Staatsbahn
- Niederländischen Staatsbahn

lassen ein hohes Interesse diverser Nutzer erkennen.

Flankiert wird dieses Interesse durch die seitens der Bundesregierung geplanten Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen, die für das System DURFLEX[®] eine Aufnahme in das im Konjunkturpaket II vorgesehene Lärmerforschungsprogramm vorsehen. Dieses geplante Demonstrationsfeld wird umfangreiche neue Erkenntnisse liefern, so auch den direkten Vergleich mit im Wettbewerb zum System DURFLEX[®] stehenden alternativen Oberbauformen.

Da sich die bisherigen Ausführungen vornehmlich auf den Vergleich unverschäumter Schotter und DURFLEX[®] beziehen, ist es in weiteren Untersuchungen, so zum Beispiel auf der im Rahmen des Konjunkturprogramms II vorgesehenen DURFLEX[®] Teststrecke ebenso erforderlich, einen Kosten/ Nutzen Vergleich mit den in der Praxis gewonnenen Unterhalts- und Lebensdaueraussagen zur Festen Fahrbahn durchzuführen. Hierbei ist es jedoch unerlässlich, offenen Zugang zu den seitens der Netzbetreiber schon gewonnenen bzw. zukünftigen Daten zu bekommen.

Mit dem Konjunkturprogramm, das ca. 100 Millionen EURO bis zum Jahr 2011 vorsieht, werden gezielt neue, innovative Maßnahmen zur Verringerung des Lärms an Schienenwegen direkt an der Quelle erprobt. Unmittelbar am Gleis soll die Entstehung von Lärm und Erschütterungen vermieden, gedämpft oder abgeschirmt werden. So soll explizit das verschäumte Schottergleis zum Einsatz kommen, um zu erproben, ob hiermit in städtebaulich und optisch sensiblen Bereichen deutliche Verbesserungen beim Schallschutz ermöglicht werden können. In Betracht gezogen wurden hierfür hochfrequentierte Strecken mit hoher Lärmbelastigung.

Anlage 11 - Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Fazit: Aufgrund der qualifizierten Projektleitung und des entsprechend einkalkulierten Aufwandes hierfür konnten alle geplanten Maßnahmen von der Spezifikation und Entwicklung der Prototypen für den Einbau, die Erprobung des entwickelten Einbaukonzeptes, der Einbau im vorgesehenen Demonstrationsfeldes sowie die Durchführung der Messreihen in Abstimmung mit der DB Netz AG im vorgesehenen Zeitplan durchgeführt und abgeschlossen werden.