

A blurred image of a high-speed train in motion, viewed from a low angle, with a prominent red curved shape at the bottom. The train is white and grey, and the background is a light grey with motion blur lines.

Geräuscharme Fahrzeugausrüstung - Entwurf, Ausführung, Integration -

Workshop – Berlin, 24. November 2011

Geräuschminderung an der Quelle - Ein Beitrag zur leisen Zukunft der Bahn –

Erik Thoß ,Torsten Kohrs, Janina Pankau

BOMBARDIER

Agenda

- Motivation
- Entwicklungsprozess Fahrzeug am Beispiel Bombardier
- Realisierungsprozess
- Beispiele / Optimierungspotential
- Forschungsprojekte
- Zusammenfassung



Gesetzliche Vorgaben und Richtlinien

- **Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) – Akustik-Anforderungen sind in mehreren enthalten**
 - TSI CR Noise (2006/66/CE)
 - TSI HST RS (2008/232/CE)
 - TSI PRM for RS (2008/164/EC) - Türwarnsignale
 - TSI Locomotives and Passenger RS (2011/29/EU)

 - **VDV 154 – Geräusche von Schienenfahrzeugen des ÖPNV**
 - **SchLV (414) – Schienenfahrzeug-Lärmzulässigkeitsverordnung**

 - **16. BImSchV – Bundesimmissionsschutzverordnung (Verkehr)**
 - **SchIV (415) – Schienenverkehrslärm – Immissionschutzverordnung (Österreich)**
 - **LSL – Lärmschutz-Verordnung (Schweiz)**
 - **Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai, 1999 (Niederlande)**

 - **Neue gesetzliche Regelungen in „Entwicklungs- und Schwellenländern“ (z.B. China)**
 - GB 7928-2003 – General Technical Specification for Metro Vehicles
 - GB 12816-2006 – The limiting value and measurement method for interior noise in railway passenger coaches
 - GB 14892-2006 – Noise limits and measurement for train of urban rail transit
 - GB/T XXXX-2010 – Testing Specification of High-speed EMU on Completion of Construction (incl. limits for noise)
-

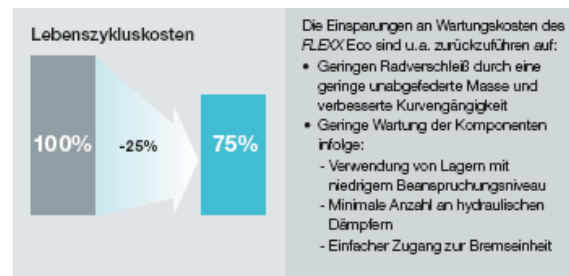
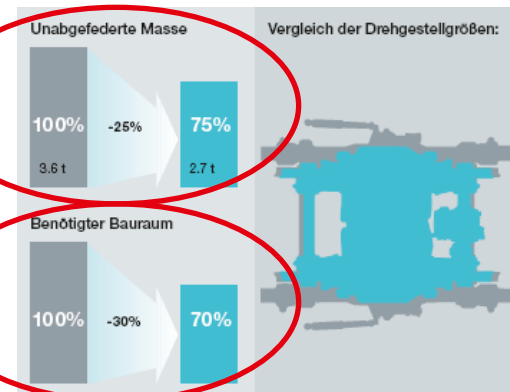
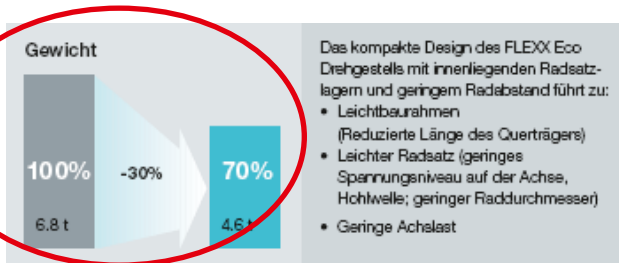
Kundenanforderungen – Akustik-Emissionen

- **Gesetzliche Regelungen, z.B. TSI, sind Minimalanforderung**
- **Anforderungen der Kunden „verlagern“ sich und werden detaillierter mit einem starken Fokus auf die Geräuschemission des stehenden Fahrzeuges:**
 - Aufenthalt am Bahnsteig
 - Abstellbetrieb – aufgerüstet abgestellt / abgerüstet abgestellt
 - Vorheiz- / -kühlbetrieb
 - Geräusche bei der Bremsprobe
 - Geräusche durch Batterieladegeräte



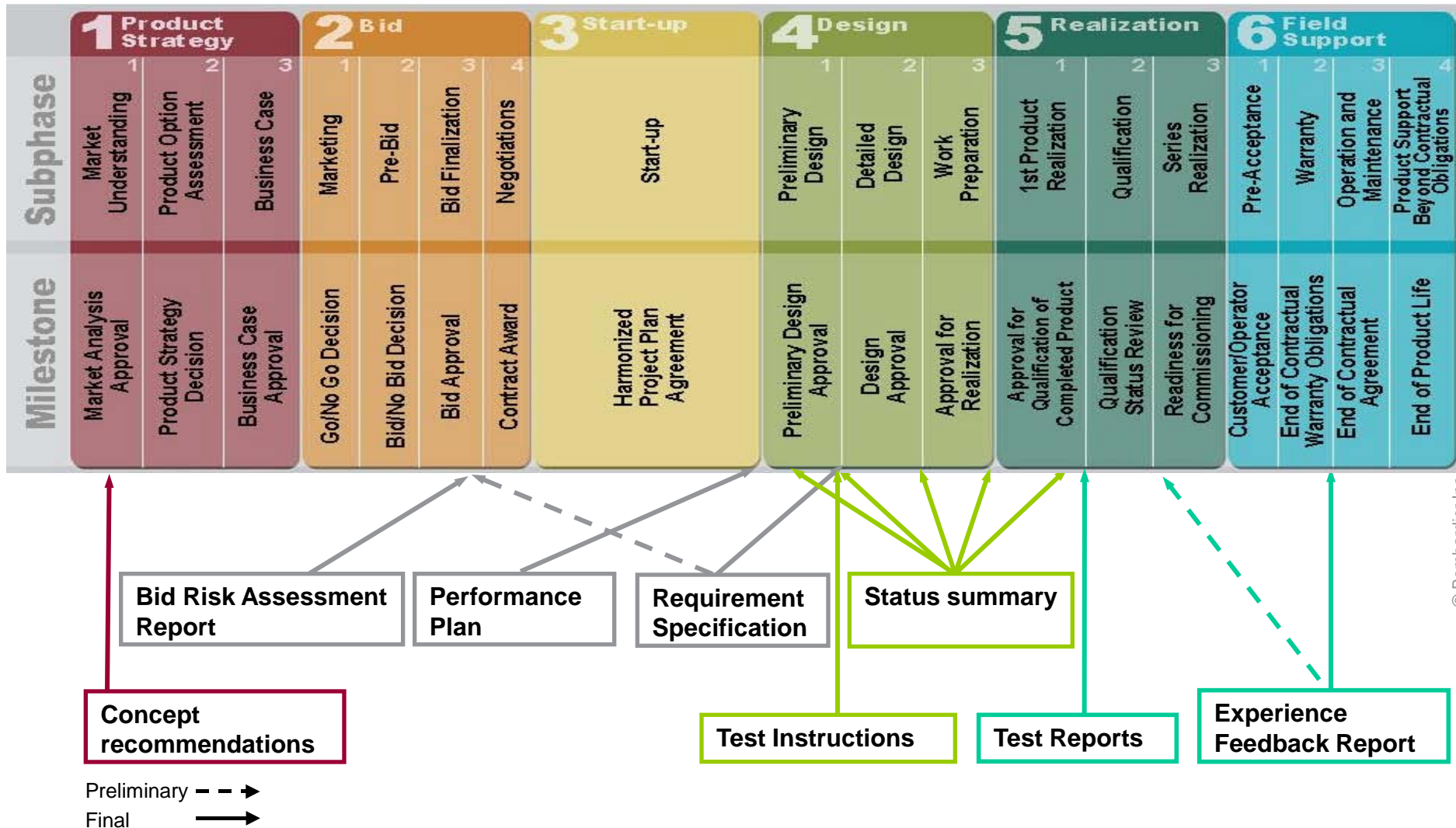
Eco-Design und Wettbewerb

- Geräuschemissionen sind Bestandteil des „Greening“
- Minderung der Emission von Schienenfahrzeugen ist Bestandteil der ECO4 Initiative von Bombardier (EcoSilent)
 - Beispiel: Drehgestell „Flexx-Eco“



Fahrzeugentwicklung – Prozess

Beispiel: BES (Bombardier Engineering System) – Design for Acoustics and Vibration



Fahrzeugentwicklung – Akustische Begleitung (1)

■ **Akustikkonzept**

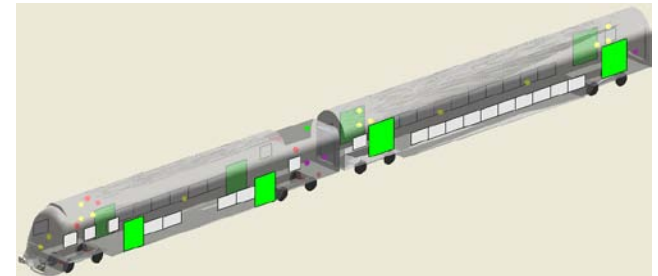
- Festlegung der schalltechnischen Anforderungen für Komponenten
 - Schalleistung, Kräfte, Schalldämmung, Absorptionsgrade
- Festlegung konstruktiver Anforderungen
 - Körperschallentkopplung, Dämmstoffe, Strukturbedämpfung

■ **Technische Anforderungen abgeleitet aus Akustikkonzept / Lieferantengespräche**

- Kompromissfindung und Spiegelung am akustischen Berechnungsmodell

■ **Technische Umsetzung der Konstruktion auf Komponenten und Fahrzeugebene**

- Begleitung der Konstruktion und beständiger Abgleich mit den Anforderungen des Akustikkonzeptes
- Detailuntersuchungen (rechnerisch / experimentell) zur Erarbeitung / Absicherung des Akustik-Designs (z.B. Aeroakustik, Körperschall, Schalldämmung)
- Aktualisierung Gesamtfahrzeug-Akustikmodell



Fahrzeugentwicklung – Akustische Begleitung (2)

■ Komponentenabnahme

- Typtest Komponentenebene (Schalleistung, Kräfte, Schalldämmung)
- Nachbesserung - wenn erforderlich
- Ergebnisse werden ins das schalltechnische Berechnungsmodell übernommen

■ Produktionsbegleitung

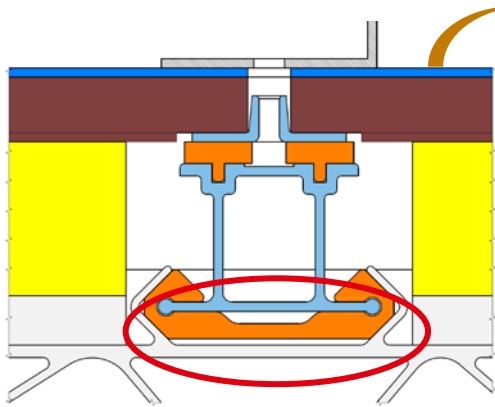
- Kontrolle der Montageausführung
- Unterstützung des Änderungsprozesses (Re-Design)

■ Typprüfung

- Abnahme und Bestätigung der Einhaltung der vertraglich zugesagten Werte
- Vergleich der Messwerte mit den Berechnungsergebnissen und Erstellung eines „Lessons learnt“ Reports

Produktionsbegleitung

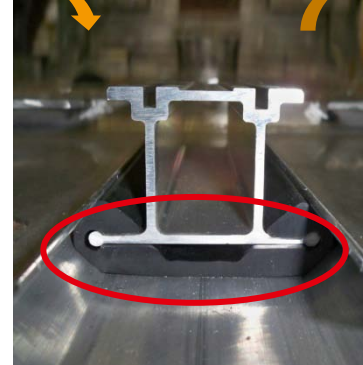
Beispiel Fussboden



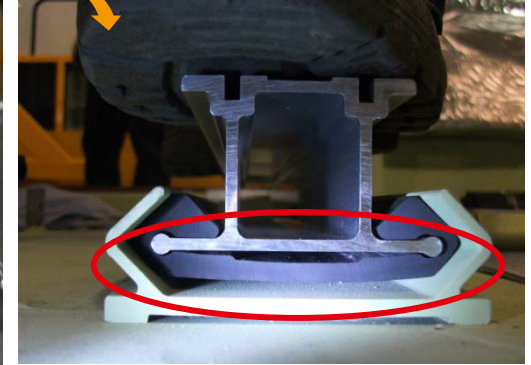
Konzept Gummielement



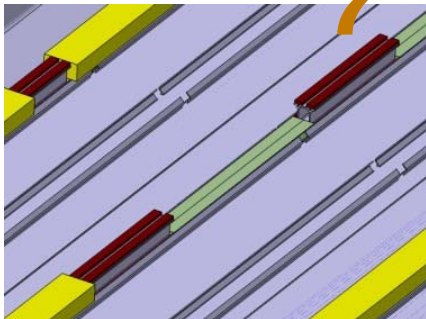
Vorserientest



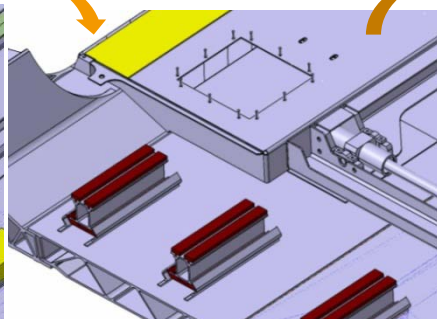
Serienanlauf



Verbessertes Serienteil unter Belastung



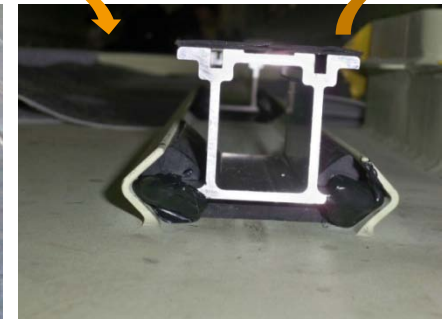
Konzept Abstandshalter



Konstruktion als „Klebelösung“



Ausführung (1)



Ausführung (2)

Regelmäßige Produktionskontrolle auch durch Akustiker können sinnvoll sein.

Produktionsbegleitung

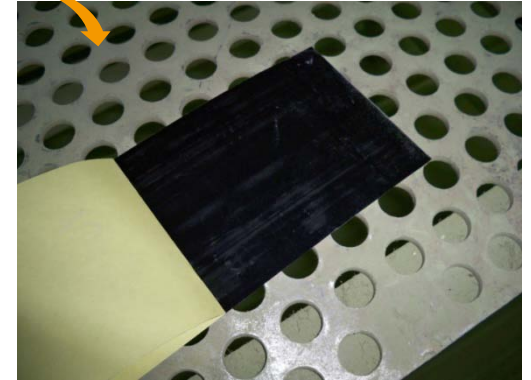
Beispiel Wagenkastenbedämpfung



Klebeproblem CLD's

Mögliche Ursachen:

- Klebeflächensäuberung
- Kleberqualität
- ...



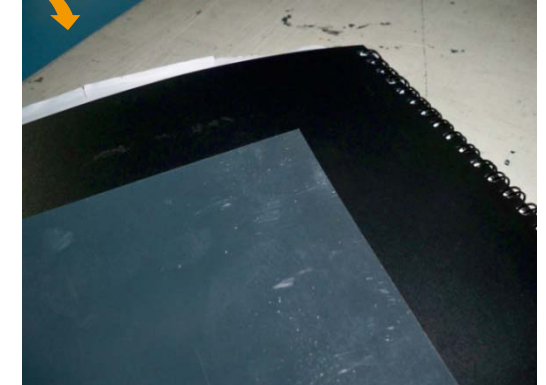
Angetrocknete Klebeflächen



Ablösung im Bereich von Ecken und Kanten



**Kanten nach dem Stanzen
→ Qualitätsproblem**



**Nach geändertem
Stanzprozess**

Produktionsbegleitung

Beispiel Kanaleinhausung / zusätzliche Schalldämmung



Konzept: geschlossener Kanal



Lösung:
Kabeldurchführung
mit „Randverschluss“



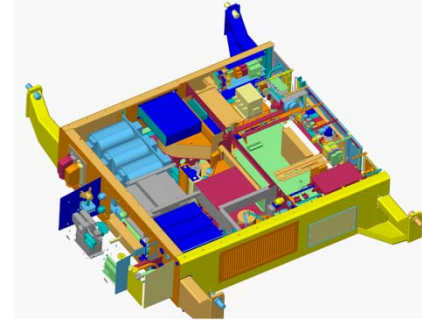
~~„Problemlösung“ nach
Bauraumproblem~~

Abstellbetrieb – Hilfsbetriebeumrichter

Kundenanforderung:

2.4.1.3 Aussengeräuschmessungen im Stillstand, geparkter Wagenzug (Pflichtenheft, B3.4.6)

Messgröße:	$L_{WR,tb}$, $L_{WR,i,max}$
Grenzwert:	$L_{WR,tb} = 75 \text{ dB(A)}$ (Pflichtenheft)
	$L_{WR,i,max} = 100 \text{ dB(A)}$ (Pflichtenheft)



Der zeitlich gemittelte, emissionswirksame Schalleistungspegel des HBUs überschreitet die Anforderung.

Fehlende **Kommunikation** an die Akustiker, dass der HBU nachts kontinuierlich läuft, um alle „Schlummerfunktionen“ aufrecht zu erhalten.

Mögliche Maßnahmen:

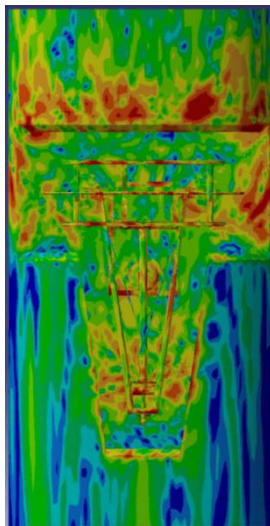
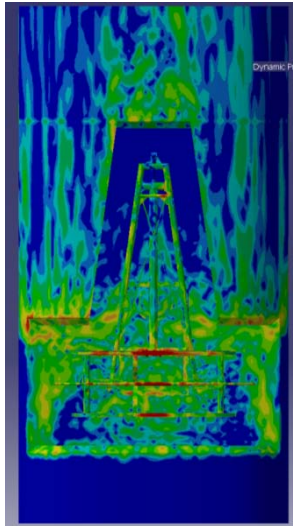
- Schalldämpfer HBU -> Änderung des Gerätelayouts
- Speisung über Batterie -> Tiefentladung, Lebensdauer Batterie
- Zusätzliches Batterieladegerät -> Technisch umsetzbar, hohe Kosten!

Aeroakustik

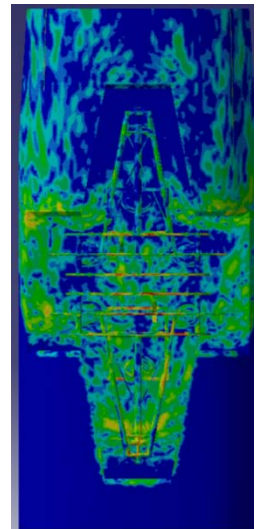
Stromabnehmeranordnung



?

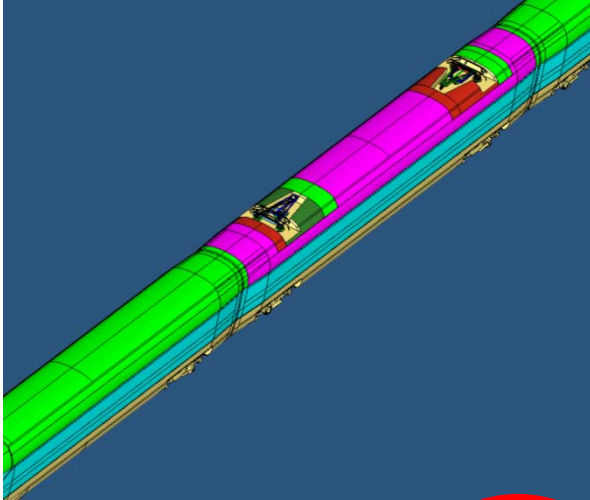


Wie ist die schalltechnisch optimale Anordnung; unter den in diesem Projekt gegebenen Randbedingungen?



Aeroakustik

Stromabnehmeranordnung



Im untersuchten Projekt wurde ermittelt, dass die Anordnung von 2 Stromabnehmern an einem Wagenende eine 2 dB geringere Schalleistung verursacht als die Lösung mit je einem Stromabnehmer je Wagenende.

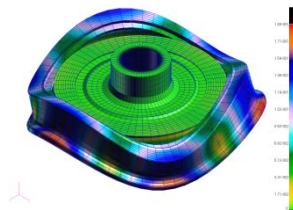


Dies ist nicht zwingend auf andere Projekte übertragbar, da die Randbedingungen einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis haben.



Leiser Verkehr - Kurvengeräusche

- Erarbeitung von Prognose-Modellen für Kurvenquietschen
- Analyse der dominanten Einflussparameter für Kurvenquietschen
 - Anfahrwinkel / Querschlupf
 - Kontaktpunktlage
 - Kraftschlussbeiwerte
- Abhängigkeit von Betriebsparametern
 - Trassierung (Radius, Überhöhung, Schienenprofil)
 - Radprofil
 - Geschwindigkeit
- Simulation ermöglicht Untersuchung von Konstruktions- oder Betriebsänderungen



Axialmode n=3
1607 Hz

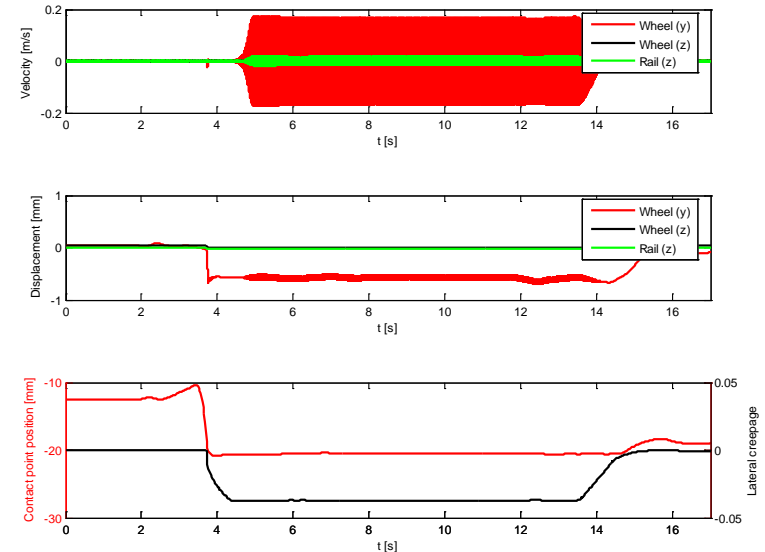


Abb. Fahrdynamiksimulation

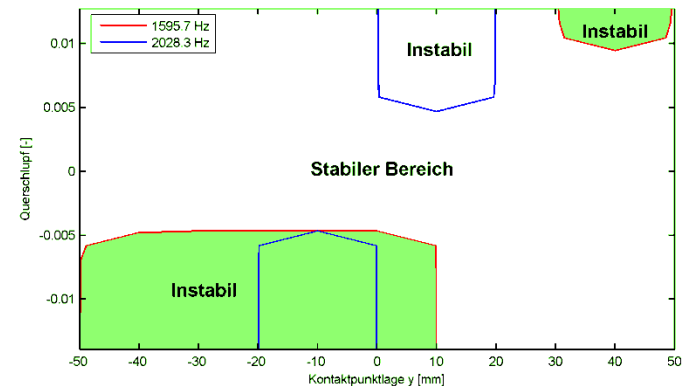
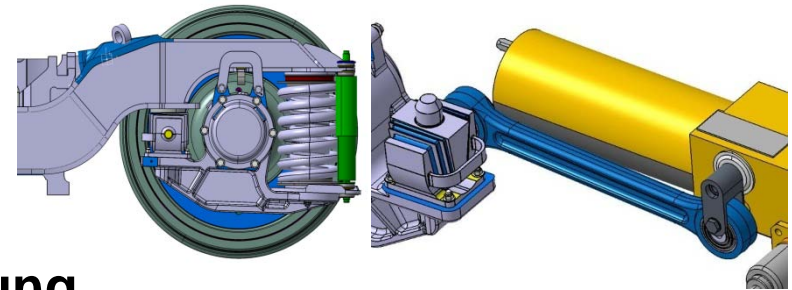


Abb. Stabilitätskarte

Hinweis: Berechnungsprogramm SFE AkusRail

ARS – Aktive Radialsteuerung und Stabilisierung

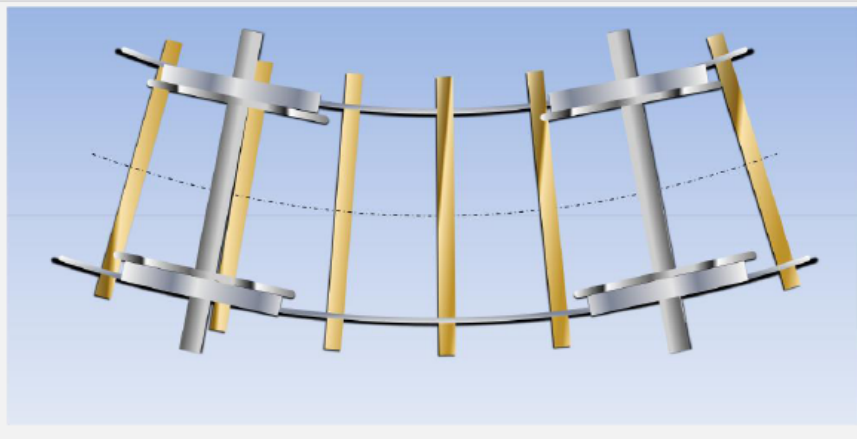
- ARS ist die aktive Radialsteuerung der Radsätze und Stabilisierung des Laufverhalten von Zügen in Bogenfahrten und geradeaus.
- Das ARS wurde seit 2003 als „*FLEXX* Tronic ARS“ entwickelt und erprobt. Am 25.07.2007 ist der Regina mit ARS 282 km/h gefahren
- Das Grundprinzip der ARS ist eine längsweiche Radsatzführung in Verbindung mit einer hochdynamischen aktiven Lenkeinrichtung.
- ARS reduziert den Anregungsmechanismus für das Kurvenquietschen



FLEXX Tronic ARS - Regelungsprinzip

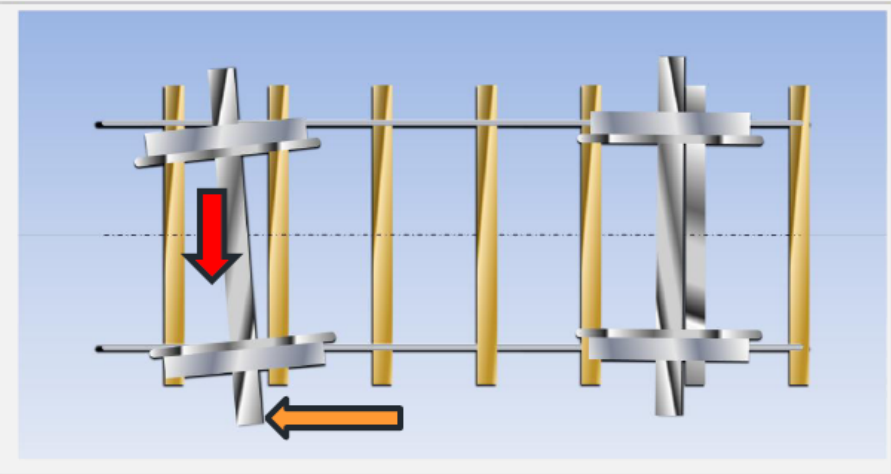
▪ Bogenfahrt

- Extrem weiche Radsatzanlenkung
- Praktisch frei rollender Radsatz
- Niedrigerfrequenter Regelkreis
 - Keine Behinderung der Einstellung
 - Niedrigstes Energieniveau
 - Praktisch ideale Radialstellung



▪ Schnellfahrt, Stabilisierung

- Verhinderung jeder Querauslenkung wie auch des Sinuslaufes
- Hochfrequenter Regelkreis
 - Individuelle Radsatzregelung



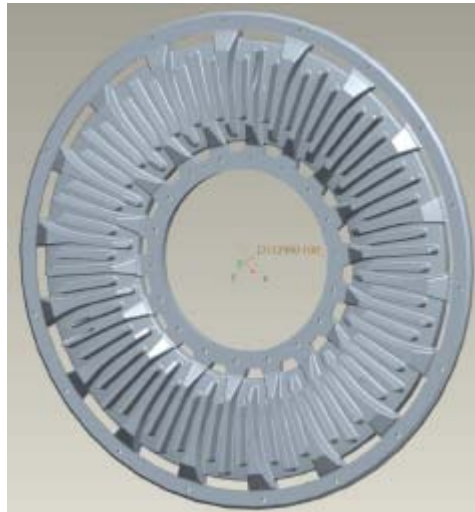
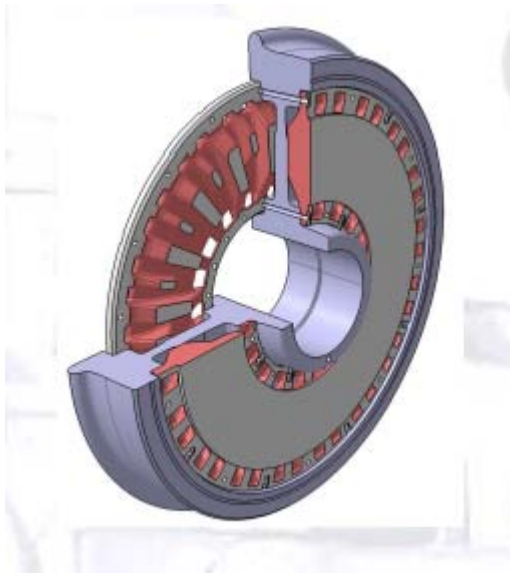
ARS ermöglicht eine den jeweiligen Erfordernissen angepasste Radsatzführung

Teilnahme an Forschungsprojekten (Auswahl)

- EU-Projekt **RIVAS**
Railway induced Vibration Abatement Solutions 
- EU-Projekt **Mid-Mod**
Mid-frequency vibro-acoustic modelling tools 
- EU-Projekt **ACOUTRAIN**
7th Framework Program
Harmonisation of present certification process (TSI Noise) 
- BMBF-Projekt **Leiser Verkehr - Kurvengeräusche**
- BMWi-Projekt **LZarG – Leiser Zug auf realem Gleis**
Schalltechnische Strukturoptimierung von Eisenbahnfahrwerken

Schalltechnische Optimierung von Eisenbahnfahrwerken

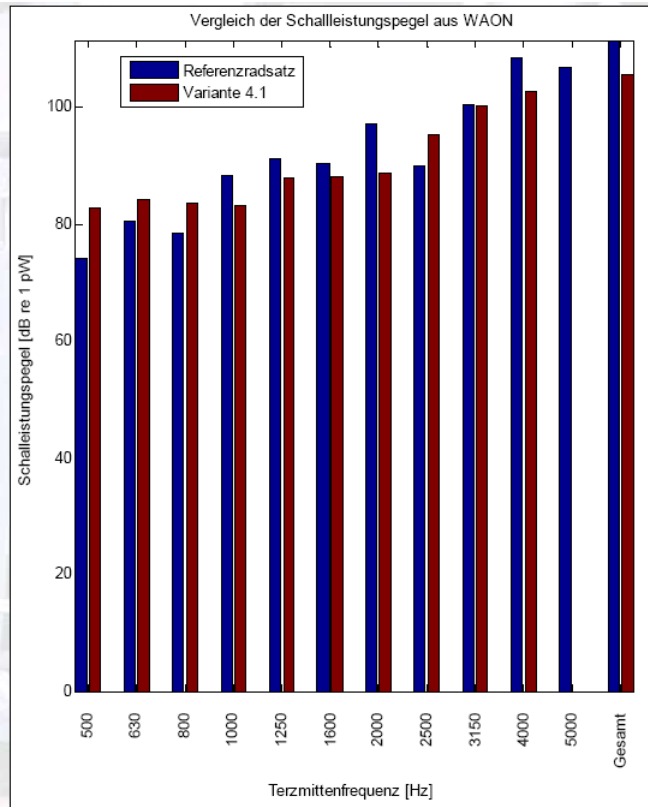
- **Idee:**
Verschiebung der Eigenfrequenzen durch Versteifung des Radsatzes
- **Konstruktive Lösung:**



LZarG

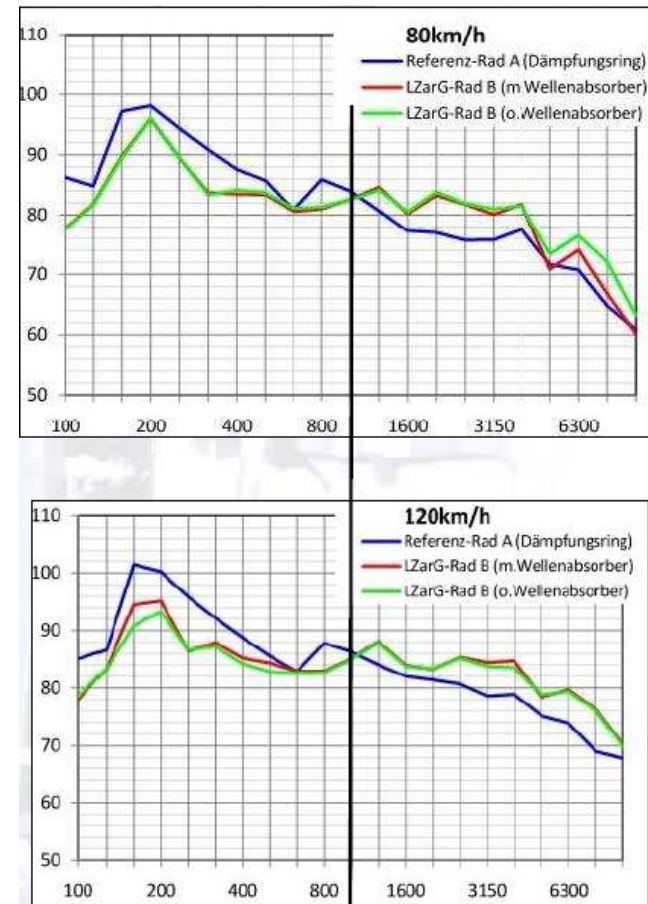
Ergebnisse

Simulation



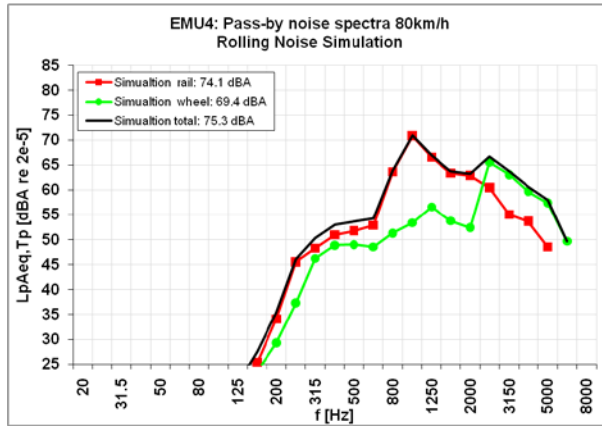
Minderung um 5 dB erwartet.

Prüfstandsversuch

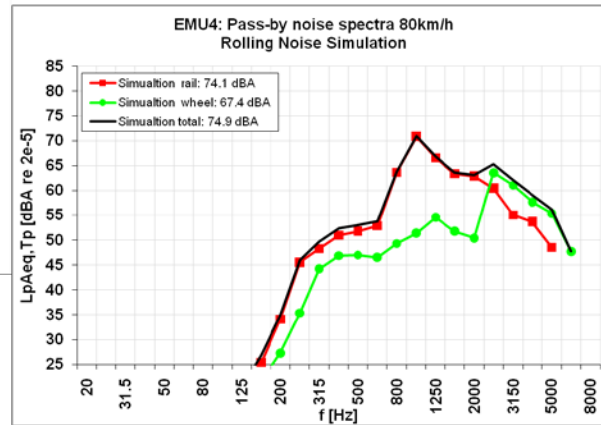


Rad-Schiene-Kontaktgeräusch

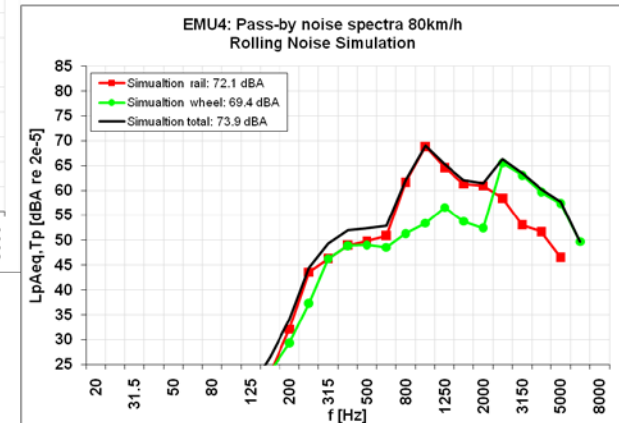
804 mm Rad mit Radbremsscheibe bei 80 km/h auf TSI-Abnahmegleis



Ausgangssituation



Anteil Rad um 2 dB verringert
Gesamteffekt: - 0.4 dB(A)



Anteil Schiene um 2 dB verringert
Gesamteffekt: - 1.4 dB(A)

Ansätze zur Geräuschminderung sollten immer mit einer genauen Betrachtung / Analyse der aktuellen Situation beginnen. Dies sollte in sinnvollen regelmäßigen Abständen wiederholt und hinterfragt werden.

Zusammenfassung

- **Gesetzliche und gesellschaftliche Rahmenbedingungen für Geräuschkinderung an Schienenfahrzeugen**
- **Entwicklungsprozess Akustik am Beispiel Bombardier**
- **Beispiele für geräuscharme Auslegung von Komponenten und auftretende Probleme**
- **Beteiligung an Forschung / Entwicklung**

-
- **Inhalt von neuen Forschungsprojekten muss am aktuellen Stand der Technik und den gesellschaftlichen Erfordernissen ausgerichtet werden!**
 - **Forschungsprojekte führen nicht kurzfristig und zwangsläufig zu marktreifen Produkten!**
 - **Akustikkompetenz muss mit Wissen und Fähigkeiten auf anderen Gebieten der Fahrzeugentwicklung und Produktion verbunden werden!**
 - **Fokus Akustik entsprechend aktuellen Kundenanforderungen:**
 - **Geräusentwicklung im Abstellbetrieb**
 - **Hervortretende / tonale Geräusche**
 - **Sprachverständlichkeit**
 - **Kombination von Fahrzeug und Fahrweg**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Für Fragen stehe ich gern zur Verfügung.



www.bombardier.com