

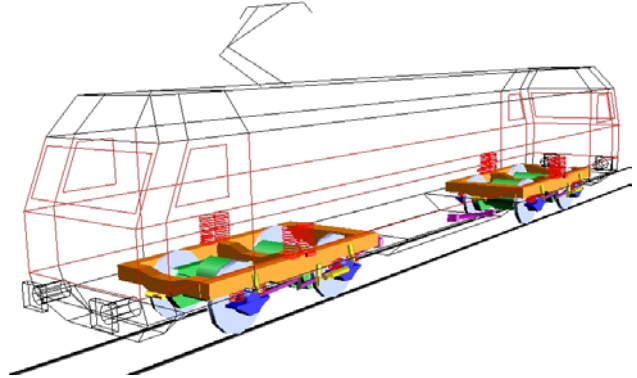
Optimierung moderner Lok-Drehgestelle durch fahrzeugdynamische Systemanalyse

Dr.-Ing. habil. Oldrich Polach

Bombardier Transportation (Switzerland) AG, Winterthur, Schweiz

1. Einleitung

Die Computersimulationen und Analysen der fahrzeugdynamischen Eigenschaften sind ein Bestandteil vom Virtual Prototyping bei der Entwicklung und Optimierung der Drehgestelle moderner Hochleistungslokomotiven in Bombardier Transportation in Winterthur. Im Vortrag werden einerseits die wichtigsten Analysen vorgestellt, die heute den Stand der Technik darstellen, andererseits werden auch neue Untersuchungen wie z. B. die Co-Simulation der Kraftschlussregelung und Fahrzeugdynamik gezeigt.



2. Fahrzeugdynamische Analysen

Die Analysen werden im Rahmen der

- Konzeptphase
- Auslegungsrechnungen

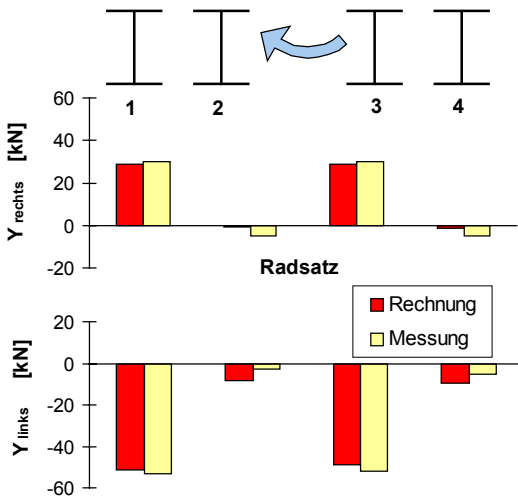
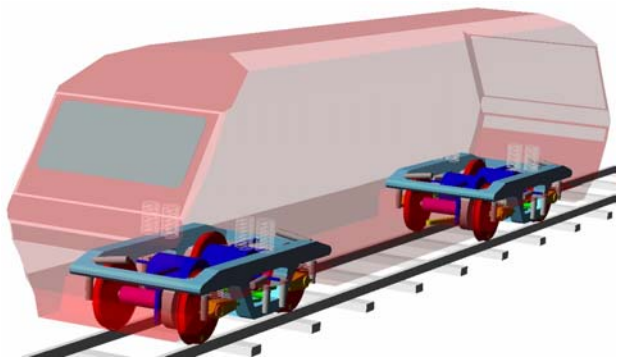


Bild 2: Modellverifikation: Vergleich der gemessenen und berechneten Querkräfte zwischen Rad und Schiene im Rechtsbogen mit dem Radius von 300 m

Bild 1: Beispiele der Lok-Modelle in Programm SIMPACK (oben) und ADAMS/Rail (unten)

- Nachweisrechnungen durchgeführt. Dazu werden komplexe Mehrkörpermodelle verwendet, die in den Simulationsprogrammen wie SIMPACK, ADAMS/Rail und MEDYNA aufgebaut werden, siehe Bild 1. Mittels Simulationen wird das Schwingungs- und Fahrverhalten der Lokomotiven untersucht und optimiert und die Eigenschaften wie Rad-Schiene-Kräfte, Fahrkomfort, Stabilität, Beanspruchung der Bauteile usw. während der Entwicklung beurteilt. Die fahrzeugdynamischen Analysen werden mit Messungen verglichen und verifiziert, wie an einem Beispiel in Bild 2 zu sehen ist.

3. Optimierung der Anforderungen auf die Fahrstabilität und Bogenfahrt

Am Beispiel der Lokomotiv-Drehgestelle der Flexifloat-Familie [1] von Bombardier Transportation werden die Optimierungsmöglichkeiten der Modular-Bauweise gezeigt. Der klassische Widerspruch der fahrtechnischen Anforderungen – Forderung nach der Fahrstabilität bei der Höchstgeschwindigkeit und

gleichzeitig die Forderung nach kleinem Verschleiß und niedrigen Rad-Schiene-Kräften bei Bogenfahrt – wird mit einer optionalen Ausführung der Radsatzführung gelöst. Aufbauend auf den positiven Erfahrungen mit der Familie der Lok 2000 der SLM Winterthur [2, 3, 4] wird die erprobte Lösung der Kopplung der Radsätze implementiert (Bild 3). Eine Variation der Steifigkeiten der Gummielemente ermöglicht optimale Lösungen für sehr unterschiedliche Anwendungen. Je nach Anforderungen und Wahl des Antriebs (Tatzlagermotor oder voll abgefederter Antrieb mit Hohlwelle) können folgende Ausführungen des Drehgestells angeboten werden:

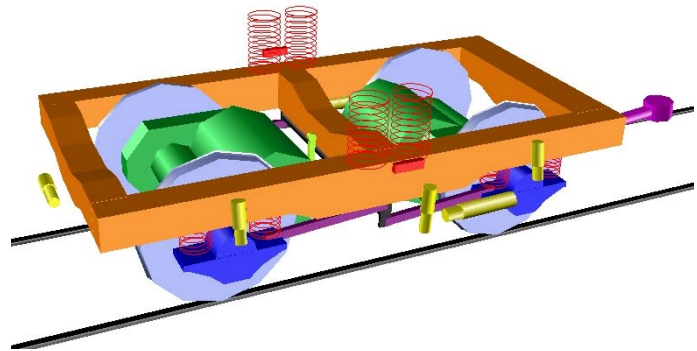


Bild 3: Modell des Lokomotiv-Drehgestells mit der Kopplung der Radsätze mittels Koppelwelle

- steife Radsatzführung (in Längsrichtung)
- weiche Radsatzführung
- sehr weiche Radsatzführung mit Koppelwelle zur Kopplung der Radsätze eines Drehgestells
- sehr weiche Radsatzführung mit Koppelwelle ergänzt mit einem Dämpfer an der Koppelwelle.

Mit der modularen Bauweise der Radsatzführung und mit Variation der Parameter (Bild 4) können sehr unterschiedliche Einsatzbereiche abgedeckt werden, von hohen Geschwindigkeiten auf überwiegend geraden Strecken bis zum Betrieb auf Strecken mit sehr großem Anteil von kleinen Bogenradien.

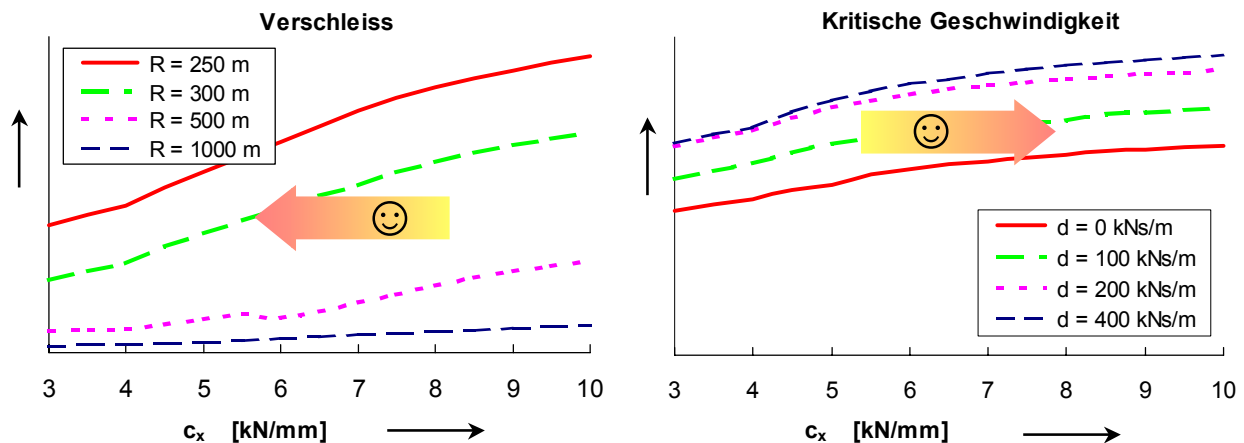


Bild 4: Widerspruch der Anforderungen der Fahrstabilität und der Bogenfreundlichkeit am Beispiel der Variante mit Tatzlagermotor und Kopplung der Radsätze: Mit der abnehmenden äquivalenten Steifigkeit der Radsatzführung c_x wird der Verschleiß des anlaufenden Rades reduziert, besonders in kleinen Bogenradien (links). Die kritische Geschwindigkeit des Fahrzeuges (rechts) nimmt dabei ab (d – Dämpfungskonstante des Schlingerdämpfers). Die optimalen Parameter der Radsatzführung werden auf Grund der Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeuges und der zu befahrenden Bogenradien bestimmt.

4. Systemanalyse der Kraftschlussregelung und Fahrzeugdynamik

Der Fortschritt der Entwicklung von Hard- und Software ermöglicht neue Systemanalysen, die zum Bestandteil der Fahrzeugentwicklung und Optimierung geworden sind. Bei der Hochleistungslokomotiven ist das vor allem die mechatronische Analyse der Fahrt auf der Adhäsionsgrenze. Solche Analysen wurden früher auf Systeme mit einem einfachen mechanischen Ersatzmodell des Torsionssystems eingeschränkt, später um Modellierung der wichtigsten Freiheitsgrade des mechanischen Teils bei der Fahrt

in der Geraden ergänzt. Mit Co-Simulation unterschiedlicher Programme, die in der Regelung und in der Fahrzeugdynamik verwendet werden, und mit einer Erweiterung der Modellierung des Rad-Schiene-Kontaktes zur Berücksichtigung des Adhäsionsmaximums [5] wurden vollständige fahrzeugdynamische Analysen der Zusammenhänge der Kraftschlussregelung und der Fahrzeugdynamik ermöglicht. Beispiel der Co-Simulation einer Anfahrt der Lokomotive auf bogenreicher Strecke unter schwierigen Adhäsionsbedingungen zeigt Bild 5.

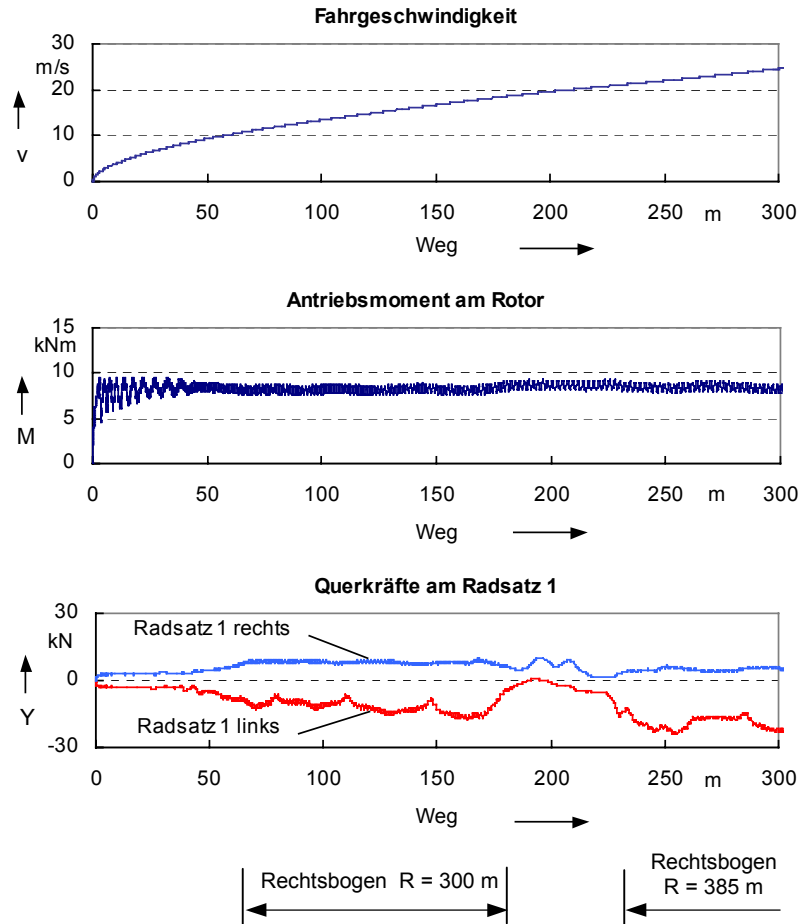


Bild 5: Resultate der Co-Simulation der Fahrzeugdynamik und Kraftschlussregelung: Anfahrt auf bogenreicher Strecke

5. Zusammenfassung

Zur Auslegung, Optimierung und zum Nachweis der Fahreigenschaften moderner Hochleistungslokomotiven werden komplexe dynamische Berechnungen benötigt. In Bombardier Transportation Winterthur werden moderne Simulationsprogramme verwendet, die einerseits die Standardberechnungen der Fahrzeugdynamik ermöglichen, andererseits auch komplexe Berechnungen der gegenseitigen Beeinflussung der Antriebsdynamik und der Fahrtechnik bei einer Fahrt auf der Adhäsionsgrenze abdecken. Dadurch werden die Voraussetzungen zur Optimierung der Systemdynamik während der Fahrzeugentwicklung erreicht.

Literatur:

- [1] Meier, B.; Schrader, S.: New Bogie Designs Reduce Life-Cycle Costs and Track Forces. Proc. of the 7th International Heavy Haul Conference, Brisbane, Australia, 10.-14. 6. 2001
- [2] Gerber, M.; Drabek, E.; Müller, R.: Die Lokomotiven 2000 - Serie 460 - der Schweizerischen Bundesbahnen. Schweizer Eisenbahn-Revue 10/1991
- [3] Schöning, J.: Erfahrungen bei der Inbetriebnahme und dem Einsatz der Umrichterlokomotiven Re 460. ZEV+DET Glasers Annalen 121 (1997), Nr. 2/3, S. 138-149
- [4] Müller, R.: Veränderungen von Radlaufflächen im Betriebseinsatz und deren Auswirkungen auf das Fahrzeugverhalten (Teil 1). ZEV+DET Glasers Annalen 122 (1998), Nr. 11, S. 675-688
- [5] Polach, O.: Rad-Schiene-Modelle in der Simulation der Fahrzeug- und Antriebsdynamik. Elektrische Bahnen 99 (2001), Nr. 5, S. 219-230