

## Numerische Simulation des Fahrverhaltens von Schienenfahrzeugen auf dem Rollprüfstand



Deutsche Bahn

Jürgen von Würzen, Deutsche Bahn AG

Zur Entwicklung und Konstruktion moderner Schienenfahrzeuge, insbesondere für hohe Geschwindigkeit, ist seit Jahren die numerische Simulation der Wechselwirkung Fahrweg - Fahrbahn von großer Bedeutung.

### FAHRTECHNISCHE ANFORDERUNGEN AN HOCHLEISTUNGS-SCHIENENFAHRZEUGE

Zur Optimierung des Fahr- und Schwingungsverhaltens eines Fahrzeugs sind in erster Linie drei Forderungskomplexe zu erfüllen:

- 1) Die Quer- und dynamischen Vertikalkräfte auf das Gleis sind so zu begrenzen, daß die Sicherheit gegen Entgleisen gewährleistet ist, und die Belastung des Oberbaus in vertretbaren Grenzen gehalten wird.
- 2) Die Beschleunigungen, denen Reisende, Bahnpersonal und Ladegut ausgesetzt sind, sind zu minimieren, um hohen Fahrkomfort zu gewährleisten, bzw. das Ladegut zu schonen und den Aufwand zur Ladegutsicherung zu minimieren.
- 3) Der von den Fahrzeugen nach außen und innen emittierte Lärm ist, auch auf Grund von gesetzlichen Bestimmungen, zu minimieren.

Rahmenanforderungen sind:

- 4) Reduzierung des Energieverbrauchs, d.h. fahrtechnisch in erster Linie Gewichtsreduktion
- 5) Hohe Reisegeschwindigkeit, oft auch hohe Anfahrbeschleunigung
- 6) Kompatibilität mit vorhandenen Anlagen, oft auch mit vorhandenen Fahrzeugen in einem Zug.

Hierbei ist zu beachten, daß neue Hochleistungsfahrzeuge sowohl die fahrtechnischen Möglichkeiten verschiedener neuer Hochleistungsstrecken voll ausnutzen sollen, als auch auf dem bestehenden, heterogenen Streckennetz der Deutschen Bahn AG bei attraktiven Reisezeiten sicher und komfortabel fahren sollen.

### DER ROLLPRÜFSTAND

Zur Erforschung sowohl der technischen und wirtschaftlichen Grenzen des Rad-Schiene-Systems,

als auch der fahrtechnischen Untersuchung und Optimierung von kommerziellen Eisenbahnfahrzeugen unter Laborbedingungen entstand Ende der siebziger Jahre der Rollprüfstand der Deutschen Bahn in München. Er bildet die Fahrschienen durch rotierende Stahlrollen nach, auf die das komplette Eisenbahnfahrzeug aufgesetzt wird. Die sich drehenden Rollen können zusätzlich hydraulisch in verschiedenen Freiheitsgraden bewegt werden und stellen dadurch die Fahrt dieses Eisenbahnfahrzeugs über eine reale Strecke im Labor dar. Seine besonderen Eigenschaften sind:

- definierte und reproduzierbare Versuchsrandbedingungen (Laborbedingungen)
- gute Möglichkeit der Optimierung, bzw. selektiven, systematischen Untersuchung von Einzelproblemen
- Möglichkeit zur Untersuchung kritischer Zustände, wie Ermittlung der Betriebsgrenzen, Ausfall sicherheitsrelevanter Bauteile
- kurze Durchführungszeit der Versuche

Auf Grund dieser Eigenschaften eignen sich Rollprüfstandsversuche gut für eine Begleitung durch Simulationsrechnungen.

### AUSWAHL EINES SIMULATIONSPROGRAMMS

Es wurde eine ausgereifte Simulationssoftware gesucht, die in der Lage ist, Simulationsrechnungen auf folgenden Gebieten durchzuführen:

- Fahr- und Schwingungsverhalten von Eisenbahnfahrzeugen
- Bremstechnik und Bremssteuerung
- Zugdynamik und
- Stromabnehmer, Fahrleitung und deren Wechselwirkung.

Hierzu eignet sich das Verfahren der Mehrkörperdynamik-Simulation. Das Fahrzeug, bzw. der Rollprüfstand werden als Gebilde aus starren, räumlich ausgedehnten Körpern beschrieben, die über Gelenke, federnde und dämpfende Elemente, sowie krafterzeugende Elemente verbunden werden. Auch Anschläge oder Reibung werden so beschrieben. Wichtige Anforderungen an ein solches Mehrkörper-Simulationsprogramm sind:

- leistungsfähige Berechnungsalgorithmen für

- voll nichtlineare Rechnung
- verschiedene, problemspezifisch wählbare mathematische Lösungsverfahren
- ein Modul, der den Rad-Schiene-Kontakt mit Schlupf, Reibung und Elastizität beschreibt
- Möglichkeit der Einbindung der Ergebnisse von Finite-Elemente-Berechnungen zur Beschreibung elastischer Körper (Wagenkasten, akustische Simulation)
- Möglichkeit zur Implementierung komplexer Regelalgorithmen in den Simulationsablauf. Der Einsatz von aktiven Komponenten, wie aktive Neigetechnik, aktiver Stromabnehmer oder adaptive Laufwerke läßt sich so simulieren.

Weitere Kriterien für ein solches Simulationsprogramm sind gute Bedienbarkeit, Zukunftssicherheit, Austauschbarkeit von Modelldaten mit Industriepartnern und die bahnspezifische Kompetenz des Softwareherstellers.

Auf Grund dieser Anforderungen wurde das Mehrkörper-Simulationsprogramm der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR, Oberpfaffenhofen) Mitte 1995 ausgewählt.

#### SIMULATION DES FAHRVERHALTENS EINES EISENBAHNFahrZEUGS AUF DEM ROLLPRÜFSTAND

Schon im Rahmen seiner Inbetriebnahme wurden am Rollprüfstand umfangreiche Berechnungen u.a. zur Bestimmung der Eigendynamik dieses komplexen mechanischen Systems unternommen.

Durch das MKS-Programm SIMPACK soll künftig insbesondere parallel zu den Versuchen das Fahr- und Schwingungsverhalten von Eisenbahnfahrzeugen auf dem Rollprüfstand nachgebildet und direkt mit den Versuchsergebnissen verglichen werden.

Hierdurch sollen zum Beispiel

- 1) ein verbessertes Verständnis der Eigendynamik des Rollprüfstands einschließlich seiner Antriebs- und Bremsausrüstung, sowie des Gesamtsystems Fahrzeug-Rollprüfstand erreicht werden, speziell im Vergleich zu den Verhältnissen auf realer Strecke und
- 2) eine Unterstützung der Versuchsplanung durch Abschätzung kritischer Bereiche einzelner Parameter, wie Feder- oder Dämpferkennlinien erfolgen.

Durch einen solchen Abgleich von Ergebnissen von Versuchen mit dem realen Fahrzeug und Simulationsrechnungen erhält man auch ein verbessertes, unter Rollprüfstandsbedingungen verifiziertes Simulationsmodell des Fahrzeugs. Falls das Fahrzeugverhalten mittels Simulationsrechnungen unter Bedingungen untersucht werden soll, die durch Versuche nicht oder nur mit hohem Aufwand untersucht werden können, z.B. Seitenwindeinflüsse verspricht das so verifizierte Simulationsmodell des Fahrzeugs eine höhere Zuverlässigkeit der Berechnung. Insgesamt soll durch versuchsbegleitende Simulationsrechnungen der Erkenntnisgewinn pro Versuch am realen Fahrzeug erhöht, d.h. je nach Kundenwunsch auch Teile der Hardwareversuche ersetzt, und Kosten verringert werden.

#### ZUKÜNFTIGE ZIELE VON SIMULATIONSRECHNUNGEN AM ROLLPRÜFSTAND

Hierzu gibt es folgende Überlegungen:

- 1) Erprobung zumindest teilautomatischer Verfahren zur Verifikation des Simulationsmodells des Fahrzeugs, bzw. von Parametern des Modells, ausgehend von einem gegebenen Simulationsmodell. Dabei ist u.a. zu bestimmen, welche geeigneten, definierten Erregungen der Rollprüfstand in das Fahrzeug einleiten soll, um diese Verfahren effizient und sicher zu betreiben.
- 2) Aufgabenfeld Fahrweg - Fahrzeug - Wechselwirkung: Mitentwicklung eines Verfahrens zur Beurteilung der Gleislagequalität und des Abnutzungsvorrats des Oberbaus einer Strecke anhand des durch Simulationen abgeschätzten Fahrverhaltens und der dort verkehrenden Fahrzeuge (Störgrößen-Reaktions-Verfahren).
- 3) Schnelle, bzw. Echtzeitberechnung zusätzlicher externer Einflüsse, wie Seitenwind, aerodynamische Kräfte bei Tunnelleinfahrt und Zugbegegnung oder unterschiedliche Schienenzustände auf das Laufverhalten des Fahrzeugs, da sich auf dem Rollprüfstand befindet, so daß die Wirkung dieser externen Einflüsse längerfristig vielleicht durch Hardware simuliert werden kann (Hardware in the Loop).

Deutsche Bahn AG, Zentralbereich Forschung, Versuche, Forschungs- und Versuchszentrum 3, Rollprüfstand  
Ihr Ansprechpartner: L. Pfäffl, Heidemannstraße 182, 80939 München  
Telefon: (+49) 89/1309-7329, Telefax: (+49) 89/3234881