

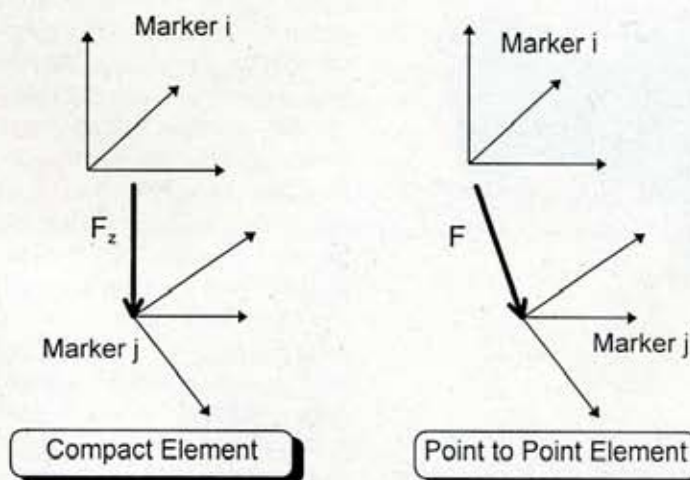
EXPERTENTIPS: MODELLIERUNG VON SCHIENENFAHRZEUGEN

SIMPACK ist ein allgemeines Mehrkörpersimulationsprogramm. Der Rad/Schiene-Modul ist eine spezielle Erweiterung um Modellierungselemente und Rechenverfahren, aber auch eine Sammlung von Werkzeugen, welche die Arbeit an der laufdynamischen Auslegung von Schienenfahrzeugen optimieren sollen. Sie haben weiterhin die volle Freiheit, aber ein bestimmter Stil der Modellierung hilft, das Potential von SIMPACK und SIMPACK Wheel/Rail voll zu nutzen. Im Übrigen lassen sich die meisten der beschriebenen Tips auf allgemeine Mehrkörpersysteme übertragen.

Johannes Gerl, INTEC GmbH

Grundlegendes über Kraftelemente

SIMPACK kennt abgesehen von Spezialelementen zwei Arten von Kraftwirkungen: *Compact* und *Point to Point*. Bei einem *Compact Element* legt per definitionem Marker i die Richtung



der Kraft fest und Marker j den Punkt, durch den die Kraft wirkt. Bei einem *Point to Point Element* hingegen wirkt die Kraft immer auf der Verbindungslinie zwischen Marker i und Marker j. Zur Definition eines kräftefreien Zustands läßt sich eine Anfangslänge festlegen. Damit SIMPACK in der Lage ist, die Krafrichtung zu ermitteln, darf der Abstand der Marker allerdings niemals Null werden. Derartige Restriktionen gibt es bei *Compact Elements* nicht, es ist aus verschiedenen Gründen sogar sinnvoll, die

Marker bereits in der Einbaulage aufeinander zu legen: Vorspannkraften gleichen damit nur die Gravitationskräfte aus. Wird innerhalb einer Parametervariationsrechnung die Federsteifigkeit variiert, so müssen nicht jedesmal von Neuem die Gleichgewichtslage oder Nomi-

nelle Schnittkräfte berechnet werden.

Es bieten sich (neben der Kontrolle im 3D-Window) zwei Werkzeuge an, um die korrekte Einbaulage von Kraftelementen zu überprüfen: *MBS-Info: Force Elements*, wo die momentanen Abstandsvektoren aller Kraftelemente ausgegeben werden und der *Assembly Test*, wo eine Kontrolle der Anfangsbeschleunigungen Aufschluß gibt, ob das Modell in der eingegebenen Lage im Gleichgewicht ist. Vor der Berechnung Nomineller Schnittkräfte oder einer Gleichge-

wichtslage ist ein Assembly-Test ohne Gravitation aufschlußreich: Das Modell eines Fahrzeugs sollte (in den meisten Fällen) kräftefrei sein und nur geringe Initialbeschleunigungen aufweisen.

Referenzsysteme

Da SIMPACK in Relativkoordinaten arbeitet, werden die Marker eines Körpers grundsätzlich in Bezug zum Körperfesten Referenzsystem angegeben. Da Zusammenbauzeichnungen von Laufwerken (und kompletten Fahrzeugen) gewöhnlich auf Drehgestellmitte (Kastenmitte) und Schienenoberkante bezogen sind, bietet es sich an, das körperfeste Referenzsystem eines Laufwerkrahmens (Wagenkastens) mittig zwischen die Radsätze (die Laufwerke) auf Niveau Null zu legen. Die Lagen von Markern, an denen Federn oder Dämpfer wirken, sind somit ohne Umrechnung aus den Zeichnungen zu entnehmen, und lassen sich einfach spiegeln und kopieren. Verwendet man die Körperfesten Referenzsysteme auch noch als Koppelmarker in den Gelenken, so finden sich in den Gelenkkoordinaten im Anfangszustand abgesehen von den Koordinaten in Fahrtrichtung nur Nullen. Exzentrizitäten lassen sich einfach durch entsprechende Koordinaten des Schwerpunkts einführen.

Primärfederung

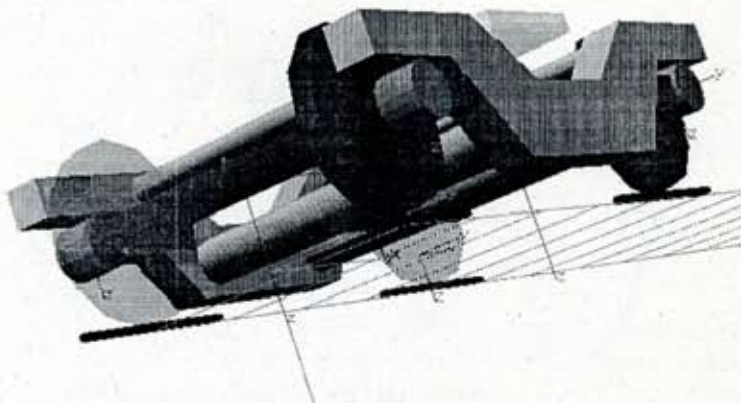
In der Primärfederung eines Schienenfahrzeugs treten im normalen Fahrbetrieb nur vergleichsweise geringe Verformungen auf. Diese Tatsache läßt sich nutzen, um die komplette Radsatzführung einer Seite unter Vernachlässigung ihrer Kinematik in einem kompakten, dreidimensionalen Federelement mit paralleler Dämpfung (Typ 05) abzubilden. Marker i (Richtung) muß dabei auf dem Drehgestellrahmen liegen, Marker j (Punkt) auf der Achse des Radsatzes. Möchte man die Kinematik der Radsatzführung berücksichtigen,

05 (translatorisch) und 13 (kardanisch und torsional) für die Lager des Achslenkers und die Primärfedern, sowie 06 für die Primärdämpfer.

Entscheidet man sich für eine Modellierung der Achslenker als eigene Körper, sollte man beachten, daß mit der relativ geringen Masse der Lenker und der hohen Radialsteifigkeit der Lagerbuchsen hohe Frequenzen in der Größenordnung von 100 Hz auftreten, die mitunter Zeitschrittintegrationen verlangsamen. Zwar besteht durch die Einführung hoher parallelgeschaltener Dämpfungen die Möglichkeit, einer Bewegung

dann als eigene *Point to Point Elements*, anstatt als Anteil der entsprechenden Federkraft modelliert sein. Je nach Simulationsziel kann die serielle Steifigkeit der Befestigungselemente der Dämpfer und ihre zumeist nichtlineare Kennlinie von Bedeutung sein. Schlingerdämpfer haben sowohl mit ihrer Dämpfungscharakteristik als auch ihrer seriellen Steifigkeit einen starken Einfluß auf die Stabilität eines Fahrzeugs, die Frequenz des Drehgestellschlingerns und die Strukturschwingungen des Kastens. Sie sollten daher sehr sorgfältig modelliert werden.

Betrachtet man eine stark verformte Flexicoil- oder Luftfeder, so fällt es wiederum schwer, allgemeingültige Aussagen über die Wirkungen der resultierenden Kräfte zu treffen. Mit der konventionellen Vorgehensweise der Vorgabe einer festen Richtung und einer richtungsabhängigen Quantität der Kraft lassen sich Modelle finden, die für eine spezielle Simulationaufgabe (z.B. Vertikalkomfort) zutreffen. Ergebnisse einer allgemeingültigen Modellierung sind jedoch in jedem Fall kritisch zu prüfen.



ist es notwendig, für Achslenker oder andere Steuerungselemente eigene Körper einzuführen. In der Regel sind Radsatzlager steif genug, um als Gelenk modelliert zu werden, so daß sich eine Kopplung des Achslenkers mit einem Drehgelenk vom Typ *Revolute Y* direkt an den Radsatz anbietet. SIMPACK erkennt diese Modellierung und paßt bei der Zuweisung der Fahrzeuggeschwindigkeit die Anfangswinkelgeschwindigkeit des Lenkers automatisch an die des Radsatzes an. Da zwischen Drehgestellrahmen und Achslenker keine großen Bewegungen auftreten, ist man in der Vergabe der Marker für die Primärfederung relativ frei. Bewährt haben sich die Kraftelemente vom Typ

asymptotisches Abklingverhalten aufzuzwingen, jedoch wird damit unter Umständen die Dämpfung des gesamten Systems auf ein unrealistisch hohes Maß gesetzt.

Sekundäraufhängung

Im Gegensatz zur Primäraufhängung treten in der Sekundäraufhängung vor allem im Bogen vergleichsweise große Auslenkungen auf. Sollen verschiedene Simulationaufgaben (Stabilität, Bogenfahrt, Komfort, etc.) mit einem Modell abgedeckt werden, so müssen vor allem die Wirkrichtungen der Kräfte beachtet werden. Dämpfer, deren Koppelpunkte recht weit auseinander liegen, sollten

Wankstützen

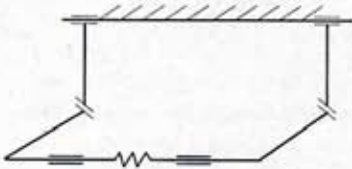
Wiederum ist die bevorzugte Modellierung sehr davon abhängig, welche Simulationaufgaben das Modell abdecken soll. Im einfachsten Fall reicht eine



Problematische Modellierung mit Kraftelementen

Ersatz- Drehfedersteifigkeit zwischen Wagenkasten und Drehgestellrahmen.

Während der Auslegung des Wankstabilisators und besonders, wenn eine Erregung von Strukturschwingungen des Kastens befürchtet wird, kann es

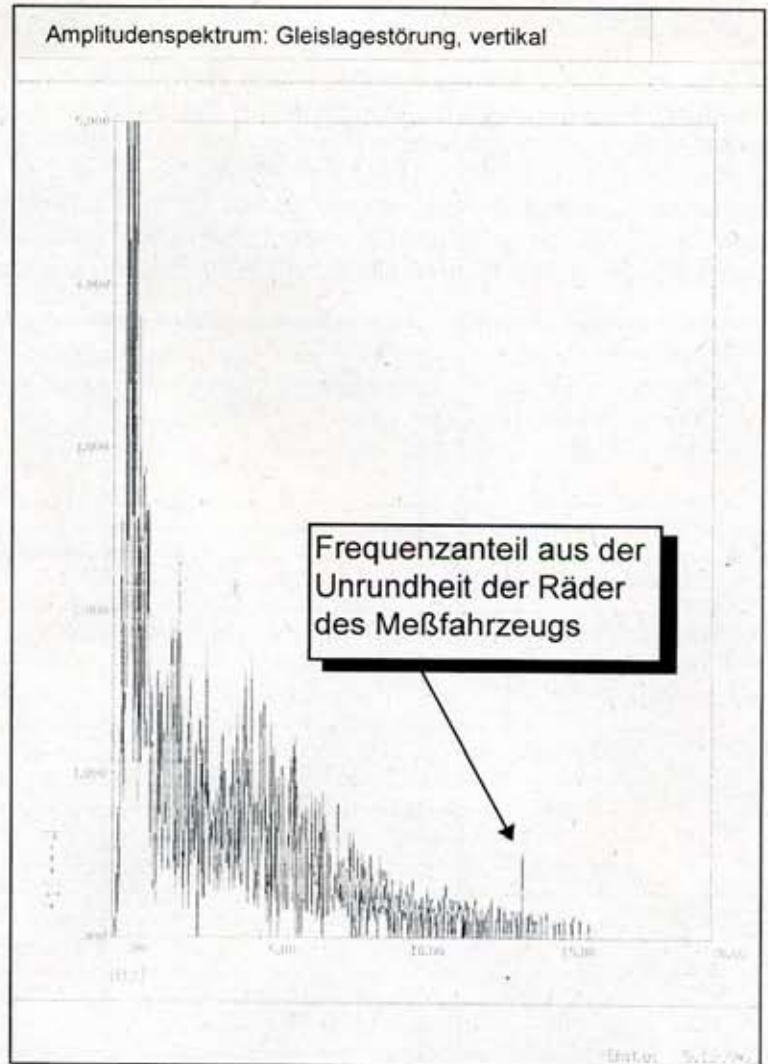


Sinnvolle Modellierung mit Zwangsbedingungen

notwendig sein, die Koppelstangen und den Stabilisator selbst zu modellieren. Das Problem dabei ist weniger der Modellierungsaufwand an sich, als vielmehr erneut die Problematik hoher Frequenzen und zu geringer Schrittweite gezwungener Zeitschrittintegration.

Gleislagestörung

Simulationen des Laufverhaltens von Schienenfahrzeugen im Zeitbereich erfordern die Erweiterung des Modells um realistische Gleislagestörungen. Zur Verfügung stehen zum einen gemessene Störungen, zum anderen aber auch statistische Zeitbereichsrealisierungen normierter Spektren. Beide sind durchaus kritisch zu betrachten, insbesondere wenn mit strukturelastisch modellierten Wagenkästen und entsprechend schwach gedämpften Modes der höhere Frequenzbereich eine Rolle spielt. So enthalten Messungen sehr häufig stark be-



wertete Frequenzanteile aus unrunder Rädern der Meßfahrzeuge, die bei hohen Geschwindigkeiten zu Resonanzen mit den Eigenfrequenzen der Wagenkastenstruktur resultieren können. Aus Spektren abgeleitete Erregungen im Zeitbereich enthalten durch die inverse Fourier Transformation per se dis-

krete Stützfrequenzen die wiederum zu o.g. Problematik führen können. Es empfiehlt sich in jedem Falle, im SIMPACK Postprocessing mit entsprechenden Filtern eine Spektralanalyse auf die Gleislagestörung durchzuführen, um „Phantomresonanzen“ als solche zu erkennen.

intec

Ingenieurgesellschaft für neue Technologien GmbH

Münchener Straße 20
D-82234 Wessling

Tel.: +49-8153-28 24 70

Fax.: +49-8153-28 18 50

Email: intec@dlr.de

HTTP: www.op.dlr.de/FF-DR/dr_fs/INTEC.html

SIMPACK Version 6, FEMBS, BEAM (1996 DLR)

ANSYS ist Warenzeichen von Swanson Analysis Systems, Inc.

NASTRAN ist Warenzeichen von MacNeal-Schwendler Corporation

ABAQUS ist Warenzeichen von Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc.

MATLAB ist reg. Warenzeichen von The MathWorks, Inc.

MATRIXx ist Warenzeichen von Integrated Systems, Inc.

Pro/ENGINEER ist Warenzeichen von Parametric Technology Corporation