

ERFAHRUNGEN MIT LEICHTBAU-FAHRWERKEN FÜR DEN REGIONALVERKEHR

B. Meier / O. Polách

ABB Daimler-Benz Transportation (Schweiz) AG
Profitcenter Winterthur
CH-8401 Winterthur

Received: September 20, 1998

ABSTRACT

Die neuesten Fahrwerke für die GTW 2/6 der Hessischen Landesbahn und der DB AG werden beschrieben. Es wird insbesondere auf die Eigenschaften des verwindungsweichen Drehgestellrahmens sowie auf Betriebserfahrungen eingegangen. Lauftechnische Untersuchungen und Optimierungen in der Kastenabstützung und Drehgestellanbindung werden erläutert. Die Einzelachsfahrwerke FEBA für den Nahverkehrszug Class 72 der NSB und deren Auslegung werden gezeigt.

Keywords: Schienenfahrzeuge, Fahrwerke, Regionalverkehr

1. EINLEITUNG

Aufbauend auf den Erfahrungen mit radialeinstellenden Fahrwerken für Hochleistungslokomotiven befasst sich die ehemalige SLM (heute Adtranz Schweiz, Profitcenter Winterthur) seit Anfang der 90-er Jahre mit der Entwicklung, Konstruktion und Fertigung von modernen Trieb- und Lauffahrwerken für den Regionalverkehr. Dies sowohl im Bereich der Normalspur wie auch der Meterspur.

Erstmals wurden im Drehgestell für die Triebwagen Be 4/4 der Sihltal-Zürich-Uetliberg-Bahn eine zugkraftunabhängige Radialeinstellung in ein Drehgestell mit verwindungsweichem Drehgestellrahmen Bauart SLM eingebaut.

Die sehr guten Ergebnisse dieser Konstruktion auf kurvenreichen Strecken mit grosser Steigung, in erster Linie seien hier die deutlich längeren Standzeiten der Radlauflächen und Spurkränze, und eine markante Reduktion des Kurvenkreischens erwähnt, bildeten dann die Basis für entsprechende Weiterentwicklungen, vorab für Prototypfahrzeuge und nun für grössere Stückzahlen in Gelenktriebwagen GTW 2/6 für die Schweiz und Deutschland.

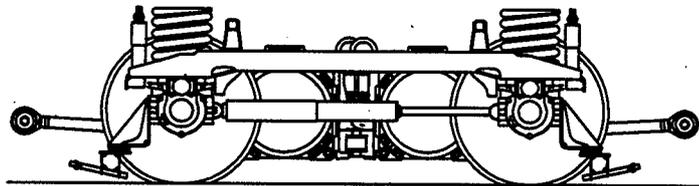
2. DIE FAHRWERKE FÜR DEN GTW 2/6

2.1 Rahmenloses Triebfahrwerk

Infolge der speziellen Anordnung unter einem kurzen GTW-Mittelteil [2] entfällt die sonst für ein Drehgestell typische Anforderung, gegenüber dem Fahrzeugkasten grosse Drehbewegungen um die Fahrzeughochachse ausführen zu müssen. Dieser Anwendungsfall ist somit prädestiniert für den Einsatz eines gewichtssparenden, rahmenlosen Fahrwerks. Das Grundkonzept betreffend Achsantrieb und Radialeinstellung der Achsen besteht aus teilabgedeckten Antrieben, die in Fahrwerksmitte miteinander verkop-

pelt und am Kasten aufgehängt sind. Die Vertikallasten werden direkt über weiche Federsätze vom Kasten auf die Achslager übertragen, der Drehgestellrahmen wird dadurch überflüssig.

Als zentrale Komponenten sind die beiden Antriebseinheiten, bestehend aus je einem querliegenden Motor mit zweistufigem Getriebe, einerseits auf den Radsätzen tatzgelagert, andererseits in Fahrwerksmitte am Kasten mit vertikalen Pendeln aufgehängt und quer miteinander verbunden



(Motorquerkupplung).

Die Längsanbindung und Uebertragung der Zugkräfte erfolgt je über eine Zugdruckstange vom Tatzlagerrohr an den Kasten. Eine leichte Längstraverse zwischen den Achslagern sichert die Achslagergehäuse gegen Verdrehen und stellt die nötigen Steifigkeiten für die Achsführung sicher. Sie dient ebenfalls als Befestigungsstelle für allfällige Magnetschienenbremsen, wie dies bei den Meter-spurausführungen reali-

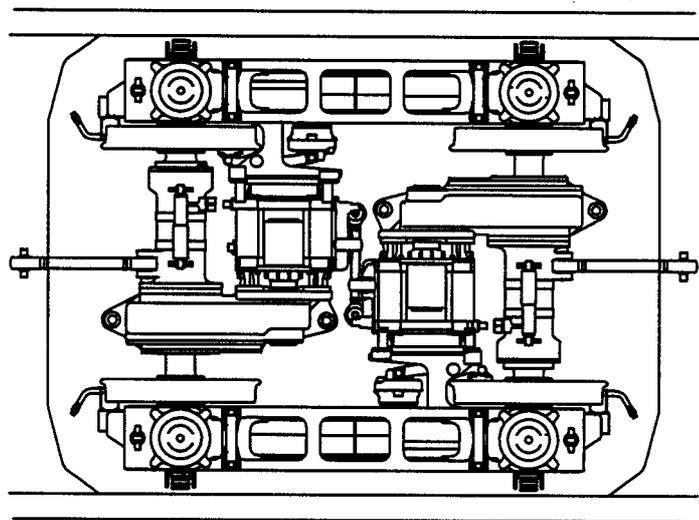


Bild 1: Triebfahrwerk

siert wurde. [3]. Queranschlagpuffer an den Achslagergehäusen stellen die nötige Progression der Fahrwerks-Querfederung sicher.

Die oben beschriebene Radsatzführung stellt auf einfachste Weise die zugkraftunabhängige Radialeinstellung der Radsätze bei Bogenfahrt sicher. Durch die Motorquerkupplung sind die Ausdrehbewegungen der Radsätze miteinander gekoppelt, was die Radialeinstellung wesentlich unempfindlicher gegenüber der Rad-Schiene-Berührgeometrie, und besonders geeignet für das Befahren enger Kurven macht.

Die Federauslegung, zusammen mit der relativ grossen Querbasis der Vertikalabstützung, macht bei diesem Fahrwerk eine zusätzliche Wankstütze überflüssig.

Pro Radsatz ist ein Radbrems Scheibenpaar eingebaut. Der Einbau eines zweiten Radbrems Scheibenpaares ist möglich, und wird für die GTW's für die DB AG zur Zeit realisiert. Die pneumatischen Bremszylinder mit Betätigungsgestänge sind am Motorschild, bzw. am Getriebegehäuse befestigt. Als Festhaltebremse werden Federspeicher verwendet.

Vier hydraulische Vertikaldämpfer, zwei Querdämpfer über den Achsen und allenfalls zwei Schlingerdämpfer längs zwischen den Achslagern, vervollständigen die Ausrü-

stung des rahmenlosen Triebfahrwerks, wie es in der beschriebenen Ausführung zur Zeit für die Hessische Landesbahn ausgeliefert wird, und für die weiteren Anwendungen für die DB AG vorgesehen ist.

Das Fahrwerk hat, inklusive Motoren und Getrieben, ein Gewicht von lediglich 7,4 t.

2.2 Verwindungsweiches Laufdrehgestell

Zentrales Element der verwindungsweichen Laufdrehgestelle ist der offene, H-förmige Drehgestellrahmen. Wie bereits die Rahmen der eingangs erwähnten Lenkachs-Drehgestelle für die Triebwagen Be 4/4 der Sihltal-Zürich-Uetliberg-Bahn zeichnen sich auch diese Rahmen durch die spezielle Geometrie des Mittelträgers aus, die es erlaubt, extrem grosse Gleisverwindungen praktisch reaktionsfrei aufzunehmen [1], [4], [5].

An auf den Achsen gelagerten Bremswagen befinden sich die pneumatischen Betätigungsorgane für die Wellenbrems-scheiben. Die beiden Bremswagen sind in Drehgestellmitte mitein-

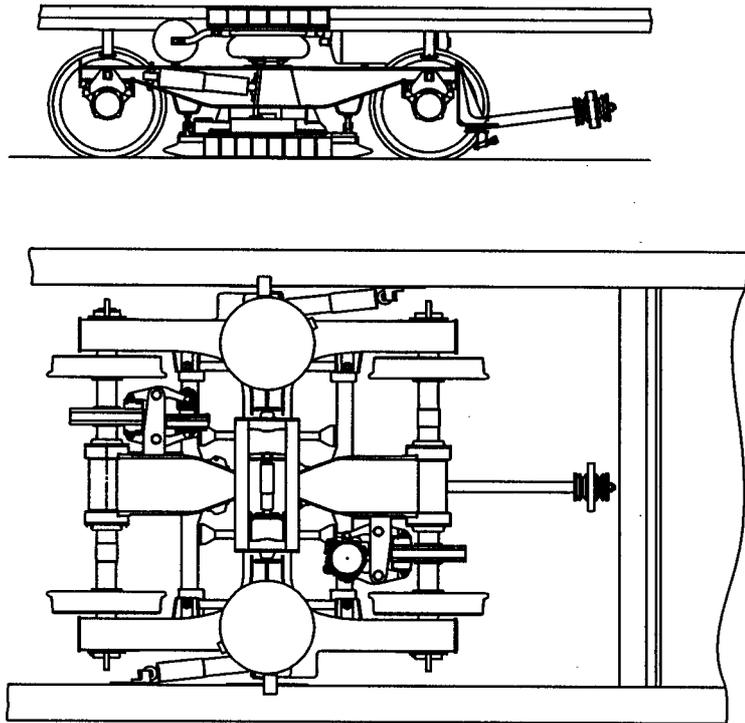


Bild 2: Laufdrehgestell

ander verbunden, und vertikal gegenüber dem Rahmen mittels eines Pendels gehalten. Werden zusätzlich Magnetschienenbremsen benötigt, so werden diese in Tiefaufhängung direkt am Drehgestellrahmen gehalten, was infolge der in Vertikalrichtung relativ harten Kennlinie der Primärfederung möglich ist.

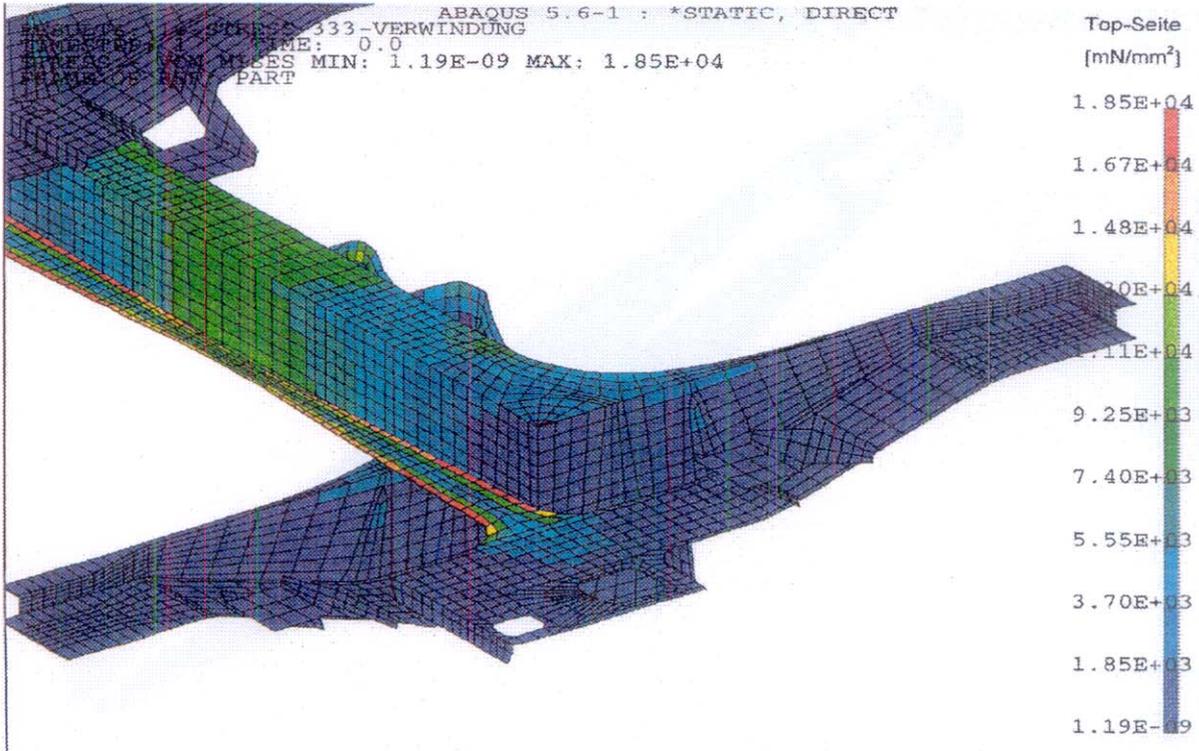
Die Längsanbindung der Drehgestelle geschieht ebenfalls über Zug-Druck-Stangen von einem Bremswagen weg an den Kasten. Dies erlaubt wiederum eine Radialeinstellung der Radsätze, mit allen bereits weiter oben beschriebenen Vorteilen.

Die Abfederung geschieht in der Primärfederstufe über eine Gummischichtfeder, in der Sekundärfederstufe sind pro Drehgestell zwei Luftfedern mit integrierter Notfederung platziert. Die spezielle Ausführung des Drehgestellrahmens hat die Eigenschaft einer Wankstütze in der Primärfederstufe, was eine zusätzliche Wankstütze in der Luftfederstufe, mit den bekannten, negativen Auswirkungen auf die Körperschallübertragung, überflüssig macht.

Hydraulische Dämpfer werden nur sehr spärlich benötigt. Die Primärfederstufe kommt komplett ohne Dämpfer aus, in der Sekundärfederstufe braucht es mindestens einen Querdämpfer und infolge der guten Radialeinstellung (weiche Radsatzführung) zwei

Schlinderdämpfer in Fahrzeuginnenrichtung. Die Vertikaldämpfung konnte mit gutem Erfolg komplett ins Luftfedersystem integriert werden, was die LCC-Verantwortlichen freuen wird. Das komplette Drehgestell in Normalspurausführung mit Magnetschiebenbremsen zeichnet sich durch ein sehr tiefes Gewicht von nur 3,3 t aus.

2.3 Strukturintegrität



**Bild 3: Laufdrehgestellrahmen GTW 2/6 HLB
 (Vergleichsspannungen bei 5‰ Gleisverwindung)**

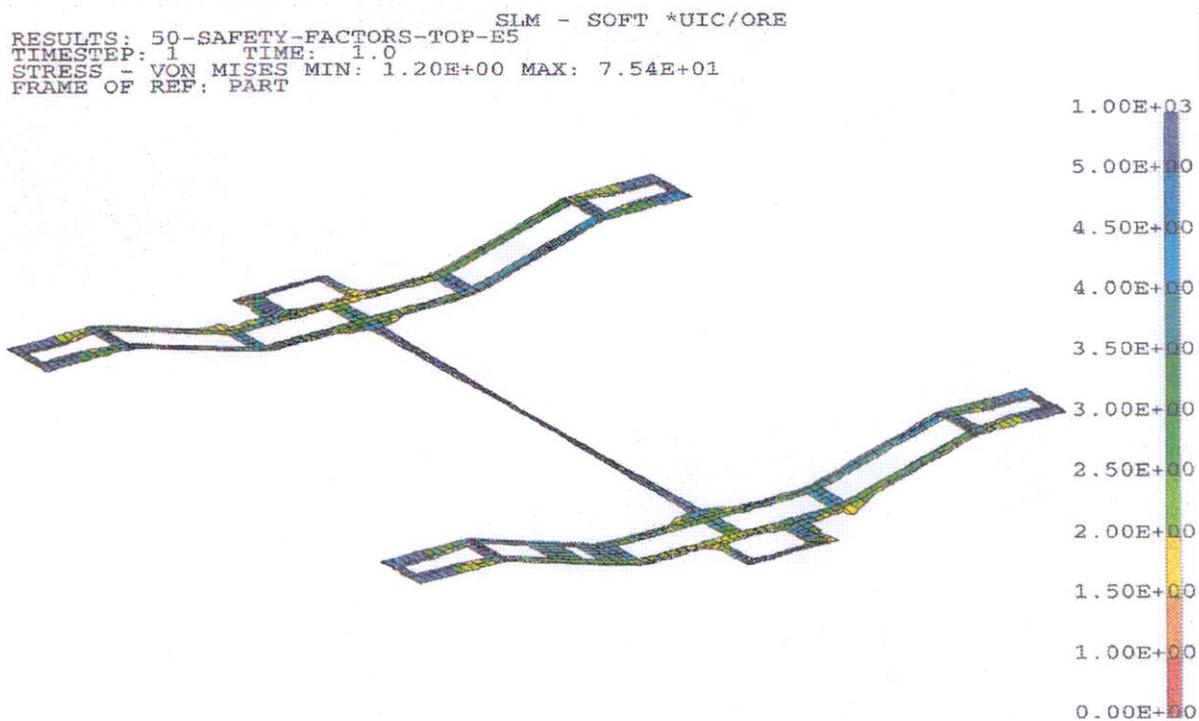


Bild 4: Untergurt zu Laufdrehgestellrahmen GTW 2/6 HLB

Die Schlüsselkomponenten der Fahrwerke wurden schon in einem sehr frühen Konstruktionsstadium für hohe Zuverlässigkeit mit sehr geringem Leistungsgewicht konzipiert und deshalb mit der Finite Elemente Methode untersucht. Besonders sorgfältig wurden der Drehgestellrahmen, der Bremswagen und die Längstraverse der Triebfahrwerke analysiert.

Die Lastannahmen beruhen auf den entsprechenden UIC-Vorschriften, wobei die speziellen Eigenschaften radialeinstellender Radsätze und ideal verwindungsweicher Drehgestellrahmen mit einfließen.

Als Werkzeug dient in der Regel die Software von IDEAS / ABAQUS, wobei vor allem für die Spannungsbewertung in Winterthur ent-

wickelte Software verwendet wird. Für die in Deutschland zu liefernden Serien ist ein Drehgestellrahmen-Schwingversuch nach den gängigen europäischen Normen notwendig. Ein solcher Test an einem Rahmen für die GTW 2/6 der Hessischen Landesbahn wurde im Frühjahr 98 erfolgreich durchgeführt.

Ebenfalls mit FEM wird auch die Reaktion des Drehgestellrahmens auf die Verwindung ermittelt, welche im Versuch leicht nachgewiesen werden kann. Im Gegensatz zu verschiedenen Konkurrenzprodukten kann hier berechtigt von einem verwindungsweichen Rahmen gesprochen werden. Um nebst reinen Zahlen einen praktischen Eindruck zu vermitteln, zeigt Bild 5 die Rahmendeformation unter der Last eines Menschen (75 kg). Die entsprechende Achslagerauflage federt um 85mm ein. Dies entspricht bereits einer Gleisverwindung von 34‰ !

Bei maximal zulässigen Verwindungen von 7‰ treten an den höchstbeanspruchten Stellen im Drehgestellquerträger (Untergurt) Spannungen von 26 N/mm² auf, was vergleichbar ist mit den Spannungen, die bei starren Drehgestellrahmen im gleichen Lastfall infolge der unterschiedlichen Primärfederkräfte auftreten, wobei diese Spannungen meist an wesentlich ungünstigeren Stellen (Schweisnaht zwischen Längs- und Querträger) auftreten.

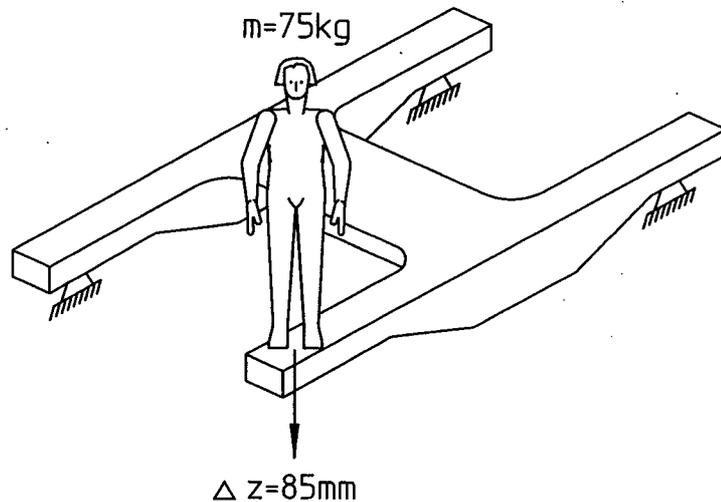


Bild 5: Anschauliche Verwindungsmessung

2.3 Lauftechnische Berechnungen

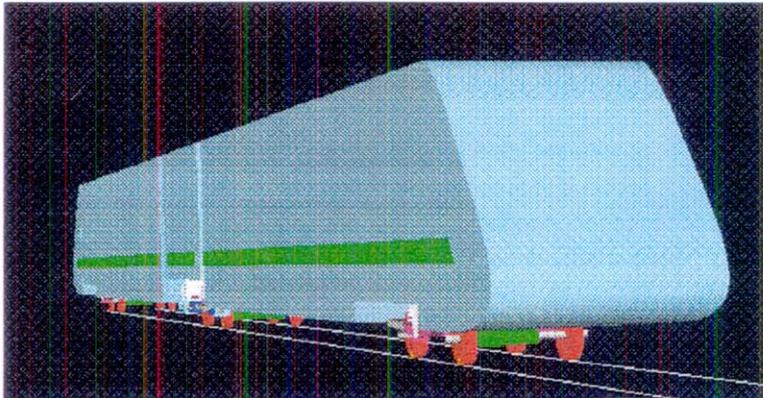


Bild 6: Modell des GTW 2/6 für lauftechnische Berechnungen

Die Entwicklung und Konstruktion der Fahrwerke wird durch lauftechnische Berechnungen unterstützt. Zu diesen Berechnungen wird seit 2 Jahren, neben dem schon jahrelang eingesetzten Programm MEDYNA, das moderne und leistungsfähige Programm

ADAMS/Rail verwendet. Das Programm ADAMS/Rail stellt eine breite Palette an Rechenverfahren, Auswerte- und Darstellungsmöglichkeiten wie z. B. Animationen zur Verfügung. Als Beispiel wird in den Bildern 6 und 7 das ADAMS/Rail-Modell des GTW 2/6 für die Hessische Landesbahn gezeigt.

Im Rahmen der Auslegungs- und Nachweisrechnungen werden typischerweise folgende Berechnungen durchgeführt:

- Eigenwertanalyse (Eigenfrequenzen und -dämpfungen)
- lineare Stabilitätsanalyse
- Störverhalten und Fahrkomfortberechnung in der Geraden
- Berechnung der Entgleisungssicherheit im Gleis mit Verwindung
- quasistatische Bogenfahrtberechnung

Beispiele der quasistatischen Bogenfahrtberechnungen des GTW 2/6 (Laufdrehgestell) sind in Bild 8 gezeigt. Aus den Resultaten ist die für die meisten Bogenradien beinahe ideale radiale Einstellung der Radsätze ersichtlich, die auch in den Messungen bei anderen GTW-Fahrzeugen (siehe Bild 8) bestätigt wurde.

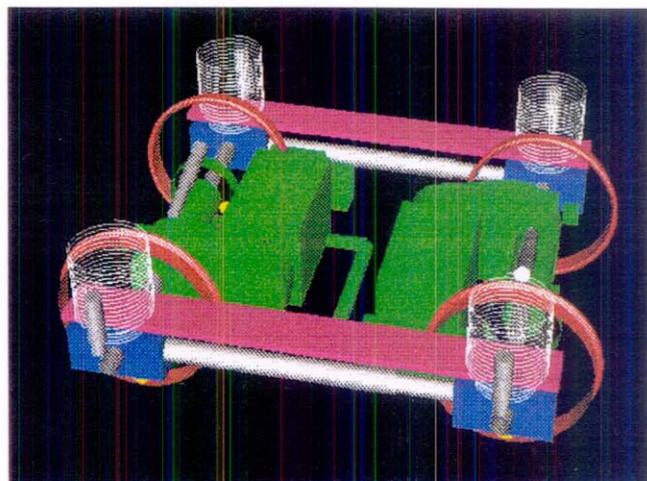


Bild 7: Modell des Triebfahrwerks GTW 2/6

2.5 Erfahrungen aus Versuchen und Betrieb

Bisherige Betriebserfahrungen mit GTW-Fahrwerken zeigen eine sehr gute Kundenzufriedenheit. Die Fahrzeuge sind durch gute Fahrkomfortwerte gekennzeichnet. Positiv werden vor allem die bogenfreundlichen Eigenschaften der Fahrwerke beurteilt. Durch

die weiche Kopplung der Radsätze zum Drehgestellrahmen resp. zum Kasten des Mittelteils bei den Triebachsätzen, kombiniert mit der gegenseitigen Kopplung der Radsätze, wird einerseits eine radiale Einstellung der Radsätze mit entsprechend positiven Auswirkungen auf die Rad/Schiene-Kräfte und den Verschleiss erreicht, andererseits entsteht kein Zusatzaufwand für die Wartung empfindlicher Steuermechanismen.

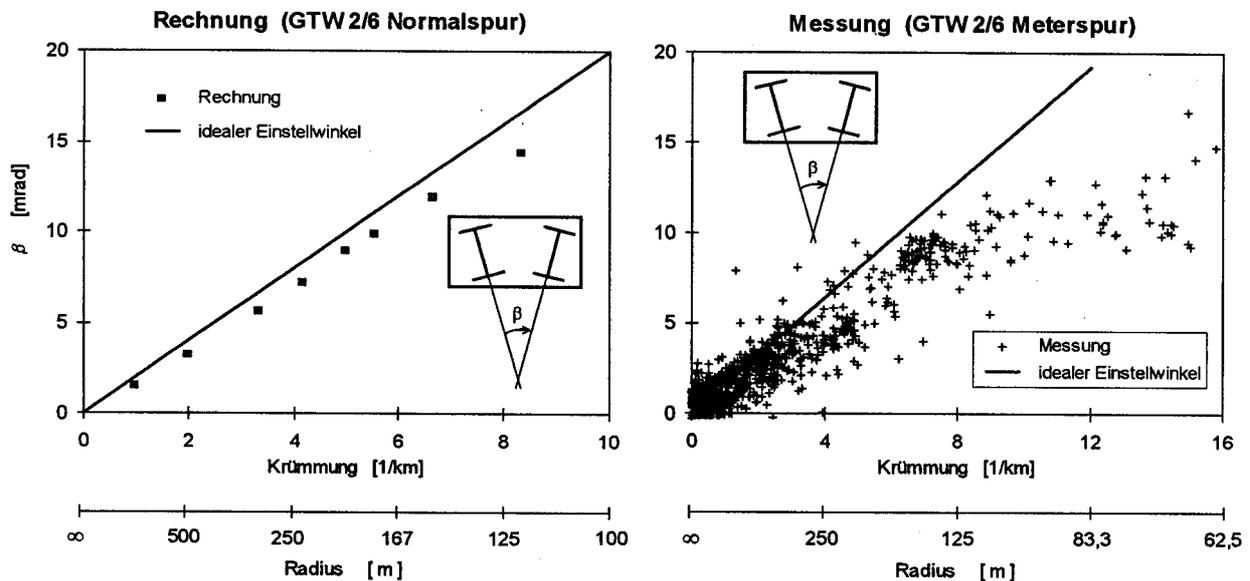


Bild 8: Einstellwinkel der Radsätze von GTW-Fahrwerken: Rechnung und Messung

Während der Inbetriebsetzung der Fahrzeuge mit GTW-Fahrwerken hat sich ein Potential für Verbesserungen gezeigt. So wurde eine Optimierung des Luftfedersystems bei der Familie der GTW-Schmalspurfahrzeuge durchgeführt und dadurch eine optimale Dämpfung der Tauchbewegung erreicht (Bild 9). Somit konnte auf die Vertikaldämpfer verzichtet werden. Gleichzeitig wurde eine deutliche Reduktion der Vibrationen des Wagenbodens erreicht, die vor allem über die Vertikaldämpfer in den Wagenkasten übertragen worden sind.

Eine weitere, bezüglich Körperschall- und Vibrationsübertragung empfindliche Schnittstelle, ist die Zug/Druck-Stange. Auch hier wurde mit mehreren Versuchen durch Variation der Gummielemente, Versteifung der Bodenstruktur des Wagenkastens und durch eine andere Anordnung der Zug/Druck-Stange eine deutliche Verbesserung erreicht.

3. EINZELACHSFAHRWERKE FEBA

Als Weiterentwicklung der bestehenden, rahmenlosen Triebfahrwerke der GTW - Familie werden auf Basis des Flexiblen Einzelachs BAukastens (FEBA) die gekoppelten Einzelachsfahrwerke für Gliederzüge (aktuell für die Class 72 der NSB für $V_{\max} = 160 \text{ km/h}$) gebaut.

Je zwei gekoppelte Einzelachsfahrwerke befinden sich unter dem Wagenende der Mittelwagen des Nahverkehrtriebzugs. Die einfache Koppelvorrichtung der Einzelachsfahrwerke ermöglicht dabei eine schnelle Trennung für Reparatur und Instandhaltung. Die einzelnen Wagenkasten bleiben ohne zusätzliche Hilfsfahrwerke manövrierbar.

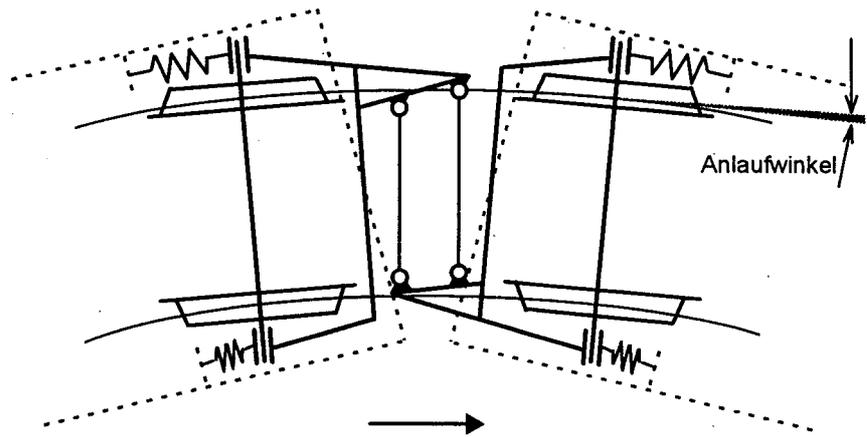


Bild 10: Trennbares Jakobsfahrwerk im Bogen

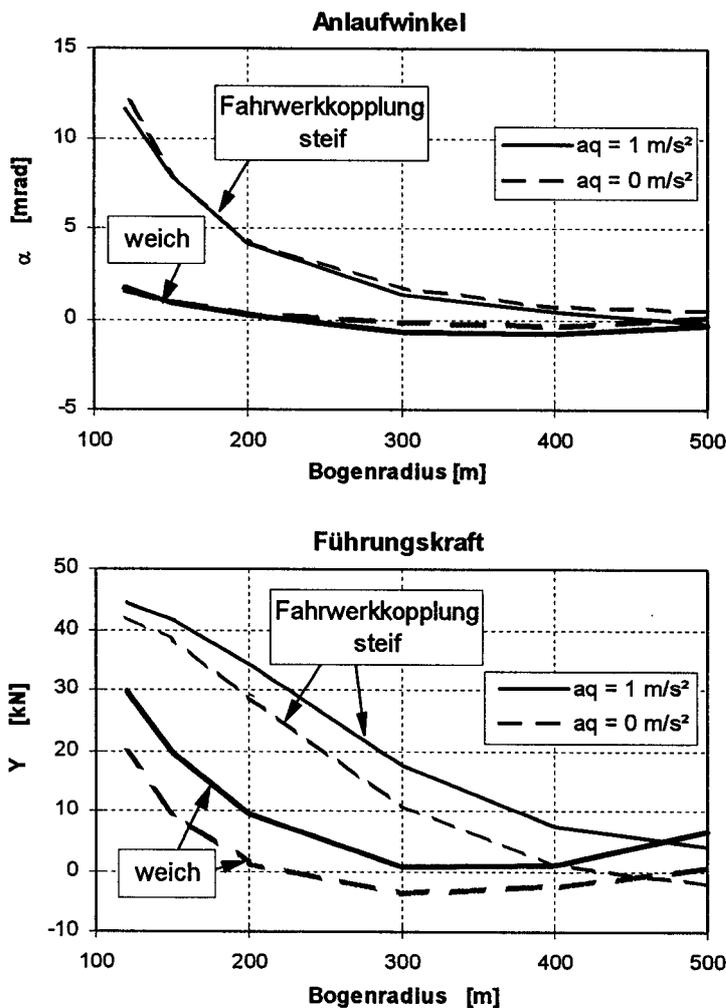
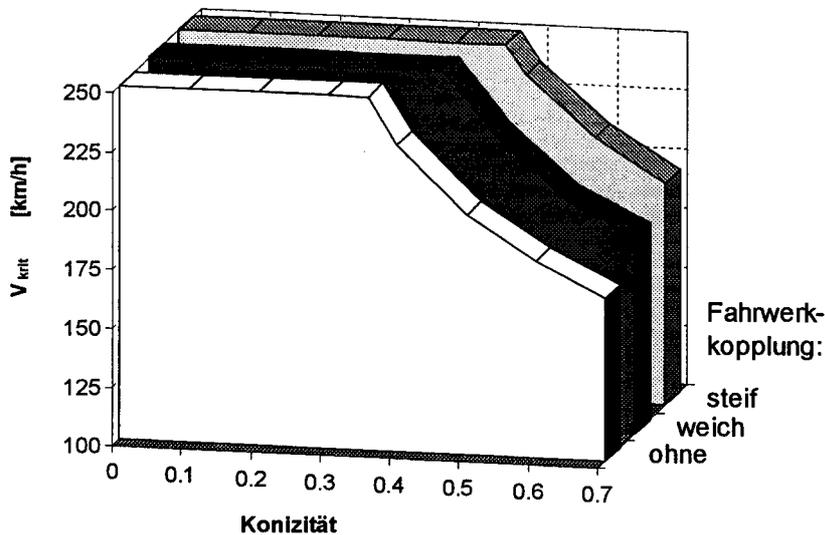


Bild 11: Anlaufwinkel des vorlaufenden Radsatzes und Führungskraft am bogenäusseren Rad

Die Kopplung der Einzelachsfahrwerke von benachbarten Wagen wird mittels zweier Querlenker realisiert (Bild 10), so dass sich die Einzelachsfahrwerke in Längs- und Vertikalrichtung gegenseitig freibewegen können. Die Kopplung der Fahrwerk-Drehbewegung um die Hochachse ist jedoch steif und in der Horizontalebene verhalten sich die Einzelachsfahrwerke wie ein Jakobsdrehgestell mit weicher Radsatzführung. Die Anlaufwinkel sind nicht nur kleiner wie bei den üblichen Einzelachsfahrwerken, sondern auch kleiner als bei einem Jakobs-Drehgestell. Durch die positive Wirkung der Längssteifigkeit der Sekundärfederung und durch die optimierte Nachgiebigkeit der Fahrwerk-Kopplung wird eine gute Radialeinstellung auch in engen Bogenradien erreicht.

Bild 11 zeigt die berechneten Anlaufwinkel und Querkräfte im Rad/Schiene-Kontakt für zwei Varianten der Steifigkeit der Fahrwerkskopplung. Durch Optimierung der Steifigkeit der Fahrwerkskopplung werden die bestmöglichen Laufeigenschaften im Bogen für die vorgegebene Höchstgeschwindigkeit und Randbedingungen im Rad/Schiene-Kontakt erreicht.



Die Kopplung der Einzelachsfahrwerke wirkt gleichzeitig positiv auf die Laufstabilität, wie die Resultate der linearen Stabilitätsuntersuchungen in Bild 12 beweisen. Durch die Kopplung der Fahrwerke wird die kritische Geschwindigkeit bei hohen Konizitäten im Vergleich mit Fahrwerken ohne Kopplung um 20 bis 60 km/h erhöht. Damit ist bei FEBA-

Bild 12: Einfluss der Fahrwerkskopplung auf die Laufstabilität

Fahrwerken die Laufstabilität bei einer Fahrzeughöchstgeschwindigkeit von 160 km/h auch bei hohen Konizitäten im Rad/Schiene-Kontakt sichergestellt, ohne dabei auf aufwendige, aktive Elemente zurückgreifen zu müssen.

Da die Kopplung der Einzelachsfahrwerke um die Längsachse sehr weich ist, verhalten sich die gekoppelten FEBA-Fahrwerke wie ein verwindungsweiches Drehgestell. Die Radentlastungen in kurzweiligen Verwindungen sind klein und die Entgleisungssicherheit der Fahrwerke auf den Strecken mit schlechter Gleislage wird dadurch erhöht.

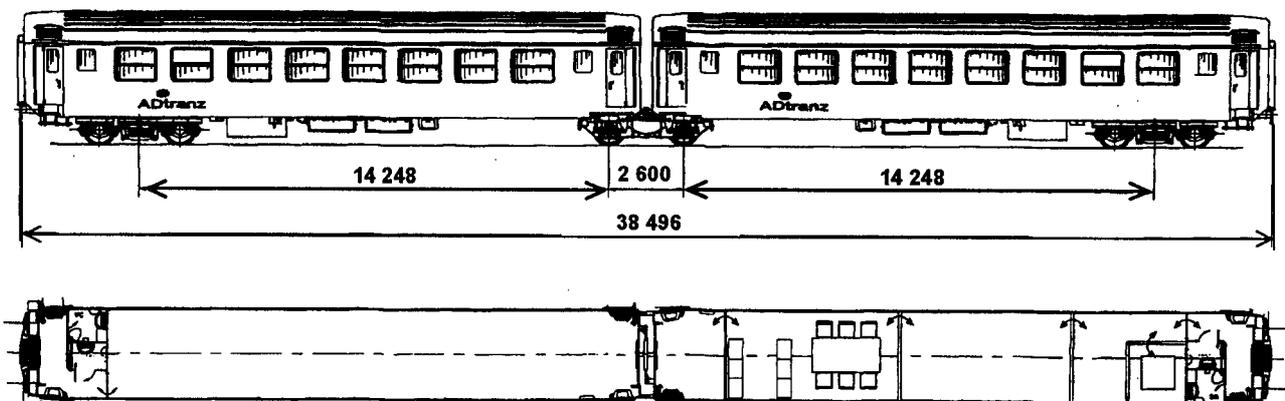


Bild 13: Erprobungsträger mit dem Fahrwerk FEBA in der Fahrzeugmitte

Zur Erprobung der lauftechnischen Eigenschaften, des Lärm- und Vibrationsverhaltens und Baugruppentests werden die trennbaren Jakobsfahrwerke unter einem Erprobungsträger eingebaut. Der Erprobungsträger (Bild 13) besteht aus zwei Wagenkasten, die durch eine Kurzkupplung verbunden und in der Mitte auf den gekoppelten Einzelsachs-fahrwerken abgestützt sind, während an den Enden die ursprünglichen Drehgestelle bestehen bleiben.

Im Rahmen des Versuchsprogramms werden folgende Grössen gemessen und ausgewertet

- Fahrkomfort
- Laufstabilität
- Rad/Schiene-Kräfte
- Anlaufwinkel, Einstellwinkel der Fahrwerke um die Hochachse im Bogen
- Federwege, Wankkoeffizient
- Beschleunigungs- und Körperschallübertragung
- Aussenlärm
- Lastkollektive der Bauteile

Die Fahrversuche werden vom Oktober bis Dezember dieses Jahres auf Strecken der Schweizerischen Bundesbahnen stattfinden. Um alle Varianten und Randbedingungen testen zu können, werden die Fahrwerke mehrmals umgebaut und der Erprobungsträger wird für einen Teil der Fahrten mit Ballast beladen. Das Versuchsprogramm wird mit Schnellfahrten abgeschlossen, bei denen der Fahrkomfort bei der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit von 160 km/h optimiert wird und die Laufstabilität bei einer um 10% erhöhten Geschwindigkeit, also bei 176 km/h, nachzuweisen ist.

4. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Steinacher, W.: Triebwagen Be4/4 der SZU. Schweizer Eisenbahn-Revue 4/1993, S. 147
- [2] Meier, A. - Wieser, U. - Meier, B.: Dieselelektrischer Gelenktriebwagen GTW 2/6 in Niederflurbauweise. Schweizer Eisenbahn-Revue 5/1996, S. 177 und Eisenbahn-Revue International 6/1996, S. 212
- [3] Wieser, U. - Zimmermann, A.: Elektrische Gelenktriebwagen Be 2/6 in Niederflurbauweise für BTI und CEV. Schweizer Eisenbahn-Revue 3/1998, S. 81
- [4] Cortesi, A.: Modernes, zweiachsiges Triebdrehgestell mit verwindungsweichem Rahmen. SLM Technische Mitteilungen 1986, S. 18
- [5] Cortesi, A.: Trends im Fahrzeugbau - SLM-Radialdrehgestelle. Eisenbahntechnische Rundschau 7-8/1996
- [6] Meier, B. - Polách, O. - Grossenbacher, T.: Leichtbau-Fahrwerke für den Regionalverkehr. Schweizer Eisenbahn-Revue 7-8/1998, S. 306 und Eisenbahn-Revue International 7-8/1998, S. 306