

Gekoppelte Einzelachsfahrwerke FEBA mit Radialeinstellung erfolgreich erprobt

Dr.-Ing. Oldřich Polách, Doz. habil.
Dr.-Ing. Dietmar Kraft
Daimler-Chrysler Rail Systems (Schweiz) AG, Winterthur

Das Beibehalten und die Weiterentwicklung des Eisenbahnbetriebes im Regional- und Nahverkehr bedingt eine Erhöhung der Attraktivität und der Wirtschaftlichkeit. Um diese zu erreichen, werden neue Fahrzeug- und Fahrwerk-Konzepte entwickelt. Die Fahrwerke sollen vor allem folgende Eigenschaften erfüllen:

- kostengünstig,
 - niedriges Gewicht,
 - gleisschonend,
 - zuverlässig,
 - wartungsfreundlich.
- Gleichzeitig sollen sie
- einen sicheren Betrieb und
 - einen hohen Fahrkomfort sicherstellen.

Diese Eigenschaften weist das neue Fahrwerkskonzept auf, das von Adtranz Winterthur, ehemals SLM, entwickelt und erfolgreich erprobt wurde – die gekoppelten Einzelachsfahrwerke FEBA. Adtranz Winterthur setzt so die Tradition der sich radial einstellenden Fahrwerke fort, die sowohl bei Hochleistungslokomotiven als auch bei Fahrzeugen für den Regionalverkehr zum Einsatz

kommen [1]. Aufbauend auf den Erfahrungen mit den sich radial einstellenden, verwindungsweichen Drehgestellen für die Triebwagen der Sihltal – Zürich – Uetliberg-Bahn (SZU) entstanden Fahrwerke, die speziell in Gelenktriebwagen (GTW) mit hohem Niederfluranteil eingesetzt werden [2, 3]. Als Weiterentwicklung der dort verwendeten, rahmenlosen Triebfahrwerke wurde ein neuartiges Einzelachsfahrwerk mit dem Namen FEBA („Flexibler Einzelachs-BAukasten“) entwickelt.

Zur Anwendung kommt das Konzept erstmals im Auftrag für die Regionalfahrzeuge „Class 72“ der Norwegischen Staatsbahnen (NSB), das vom Konsortium Ansaldo-Breda und Adtranz realisiert wird. Diese Regionalfahrzeuge sind vierteilige Einheiten mit einer Gesamtlänge von etwa 80 m, sind für eine Höchstgeschwindigkeit von 160 km/h bestimmt und bieten Sitzplätze für 300 Passagiere. Ein Teil der Nutzfläche ist niederflurig (Fussbodenhöhe 750 mm) realisiert. Die insgesamt 36 Zugkompositionen werden in den Jahren 2000 – 2001 ausgeliefert.

Die Einzelachsfahrwerke FEBA kommen an den Wagenübergängen zum Einsatz. Die benachbarten Wagenkästen werden auf jeweils zwei gekoppelten Einzelachsfahrwerken FE-

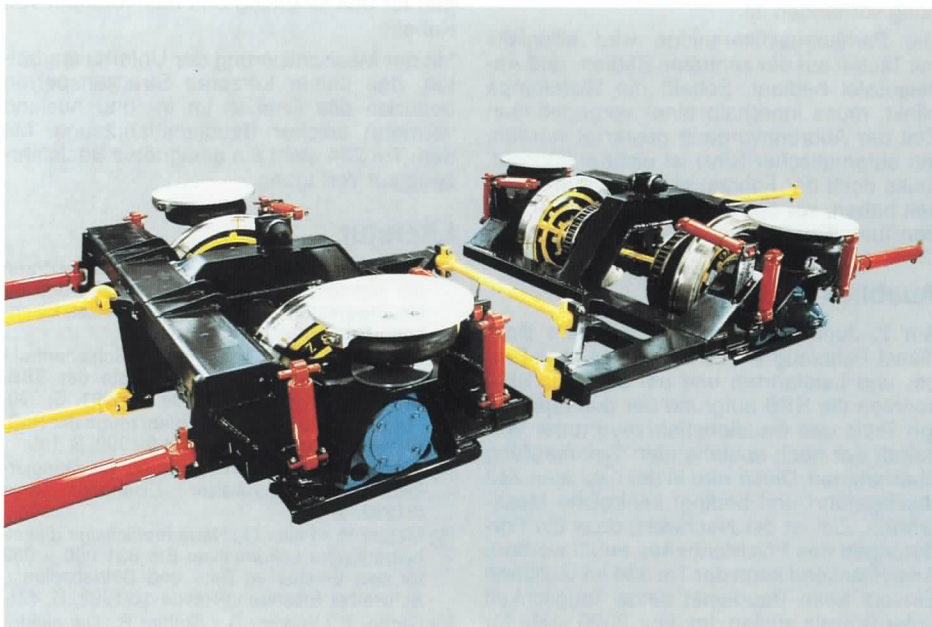
BA abgestützt. Die längselastische Verkopplung zweier benachbarter Radsätze löst die Frage der Radsatzsteuerung elegant ohne zusätzliche Elemente. Trotzdem bleibt eine leichte und schnelle Trennbarkeit der einzelnen Wagen zu Unterhaltszwecken gewährleistet, ohne dass zusätzliche Hilfsfahrwerke nötig sind. Die Endwagen stützen sich an den Kompositionsenden auf die Triebdrehgestelle ab, die durch ihre elastische Radsatzführung eine passive Radialeinstellung ermöglichen.

Prinzip der Fahrwerke FEBA

Die zu einem Jakobsfahrwerk gekoppelten Einzelachsfahrwerke FEBA vereinen die Eigenschaften von Drehgestell und Einzelachse in idealer Weise miteinander. Sie können unabhängig von der Art der Wagenkupplung eingesetzt werden. Die einfache Koppelvorrichtung der Einzelachsfahrwerke ermöglicht eine schnelle Trennung für Reparatur und Instandhaltung. Die einzelnen Wagen können ohne zusätzliche Einrichtungen rangiert werden.

Die Primärfederung der Einzelachsfahrwerke bilden Gummielemente in Form von Winkelfedern. Als Sekundärfederung werden Luftfedern mit einem Zusatzluftvolumen verwendet. Zwei – oder als Option drei – Scheibenbremsen bringen die benötigte Bremsleistung. Die Zug- und Bremskräfte werden durch zwei Zug-/Druckstangen übertragen, die jedes Fahrwerk längs an seinen Kästen koppeln und es auch gegen Nickbewegungen abstützen. Zwei mittig über der Achse angeordnete Gummipuffer bilden die Querschränken die Querbewegungen zwischen Fahrwerk und Wagenkasten ein. Die Vertikal-, Quer- und Längsdämpfer stellen ein ruhiges Fahrverhalten und hohen Fahrkomfort sicher.

Die Kopplung der Einzelachsfahrwerke benachbarter Wagen wird mittels zweier in der Horizontalebene parallel angeordneter



Links: Prototypen der gekoppelten Einzelachsfahrwerke FEBA mit eingebauten Messradsätzen (Zeichnung/Foto: Adtranz).

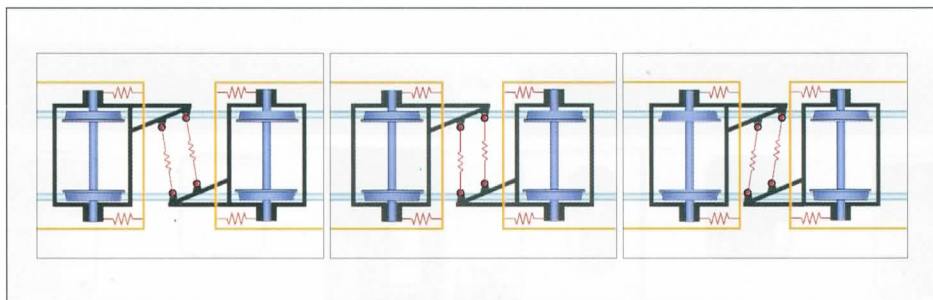
Unten: Anordnung der Einzelachsfahrwerke FEBA im Regionalzug Class 72 der Norwegischen Staatsbahnen (Zeichnung: Adtranz).



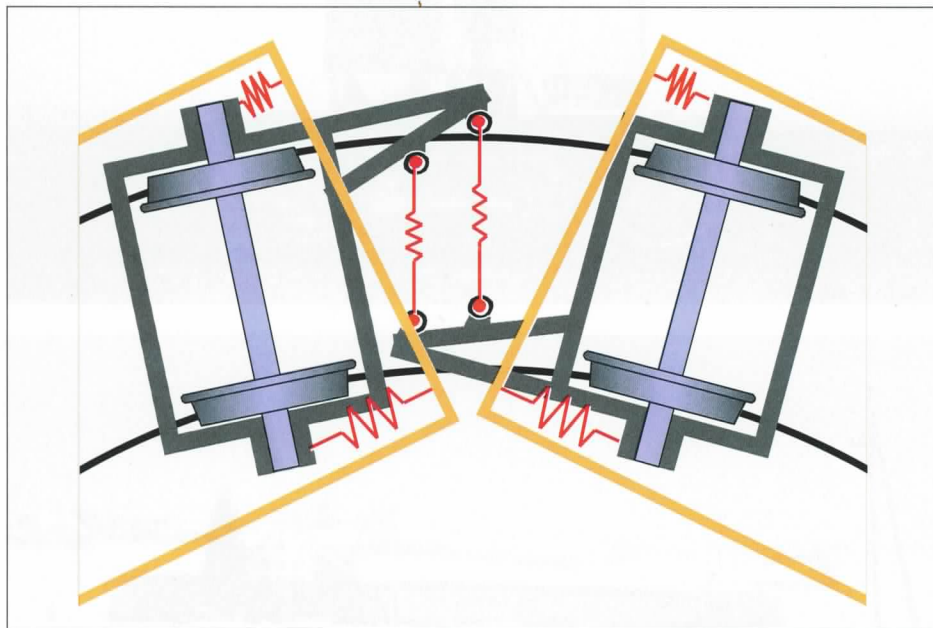
gekoppelte Einzelachsfahrwerke FEBA

Oben: Die Kopplung der Einzelachsfahrwerke FEBA mittels zweier Querlenker ermöglicht freie Längsbewegung der Wagenkästen, wobei die Parallelität der Radsätze in der Geraden sichergestellt ist (Zeichnung: Adtranz).

Mitte oben: Im Bogen stellen sich die Einzelachsfahrwerke FEBA dank der Nachgiebigkeit der Fahrwerkkopplung radial ein. Wie aus dem Bild ersichtlich, unterstützt die Längsdeformation der Sekundärfederung das Ausdrehen der Fahrwerke in die radiale Position (Zeichnung: Adtranz).

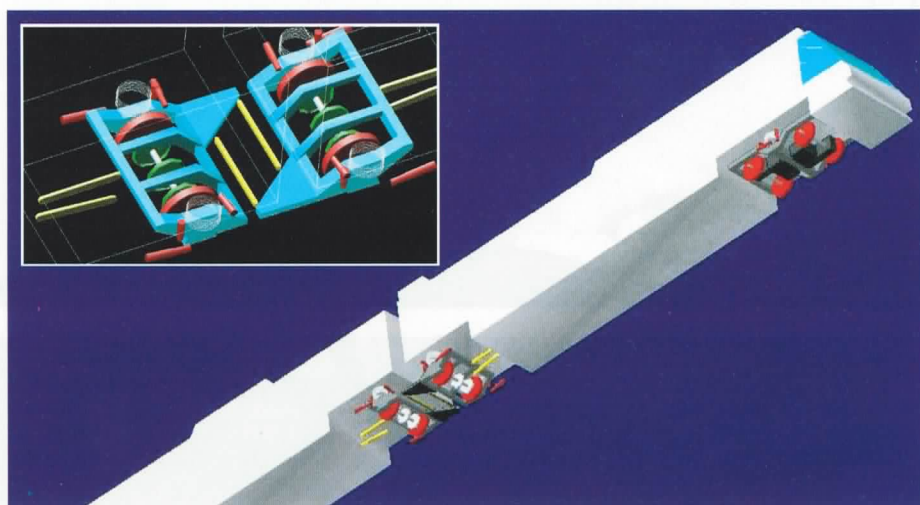


Querlenker mit Sphärolagerung realisiert, so dass sich die Einzelachsfahrwerke in Längs- und Vertikalrichtung gegenseitig frei bewegen können. Die Ausdrehsteifigkeit der Fahrwerke um die Hochachse ist durch die Steifigkeit der Sphärolager bestimmt. Durch die Kopplung der Fahrwerke wird der Nachteil der Einzelachsfahrwerke bei Bogenfahrt behoben: Ohne Fahrwerkkopplung würden sich die Wagen wie Zweiachser mit grossem Achsabstand verhalten. Bei Verzicht auf spezielle Steuermechanismen träten dann in Bögen grosse Anlaufwinkel und Rad/Schiene-Kräfte auf. Dadurch würde der Verschleiss stark zunehmen und die Sicherheit gegen Entgleisen sinken. Die Verkopplung der Einzelachsfahrwerke verringert den für die Anlaufwinkel und Rad/Schiene-Kräfte massgeblichen Achsabstand auf den eines Jakobsdrehgestells. Im Gegensatz zu einem herkömmlichen Jakobsdrehgestell ergibt sich durch die Verkopplung eine bessere Möglichkeit zur Radialeinstellung im Bogen, und die Manipulation einzelner Wagen ist ohne Hilfsfahrwerke möglich.



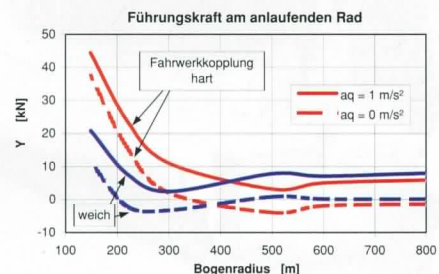
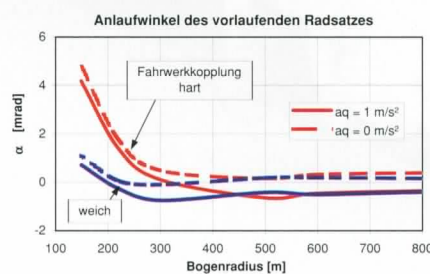
Die Einzelachsfahrwerke FEBA sind mittels ihrer Kopplung gegenseitig gesteuert. Die durch die Rollradius-Differenz hervorgerufenen Längskräfte im Rad/Schiene-Kontakt ergeben Momente um die Hochachse, die den Radsätzen in die radiale Position helfen. Das am nachlaufenden Radsatz wirkende Moment bleibt bei den Radsätzen ohne gegenseitige Steuerung nicht ausgeschöpft. Durch die Kopplung der Radsätze wird der Momentüberschuss an den vorlaufenden Radsatz weitergegeben und dadurch dessen Selbsteinstellung verbessert, so dass die Radsätze auch in kleineren Bogenradien radiale Position einnehmen können.

Im Unterschied zum Drehgestell wird bei den FEBA-Fahrwerken die Radialeinstellung der Radsätze zusätzlich durch die Wirkung der Sekundärfederung unterstützt. Bei konventionellen Drehgestellen verursacht die Ausdrehsteifigkeit ein Rückstellmoment, das die Rad/Schiene-Querkräfte im Bogen erhöht. Bei einem Jakobsdrehgestell werden die Rückstellmomente vom Drehgestellrahmen aufgenommen und gegenseitig ausgeglichen. Bei den gekoppelten FEBA-Fahrwerken übt die Längssteifigkeit der Kastenabstützung ein zusätzliches Moment um die



Mitte unten: Modell des Regionalzugs NSB Class 72 für fahrzeugdynamische Berechnungen mit Detailansicht der gekoppelten Fahrwerke FEBA (Foto: Adtranz).

Unten: Berechnete quasistatische Werte des Anlaufwinkels am vorlaufenden Radsatz und der Führungskraft am anlaufenden Rad im Bogen. Einzelachsfahrwerke FEBA im Erprobungsträger, Achslast 13 t, trockene Schiene; Resultate der Simulationen mit dem Programm MEDYNA (Grafik: Adtranz).





Hochachse aus, das den Fahrwerken in die radiale Lage hilft.

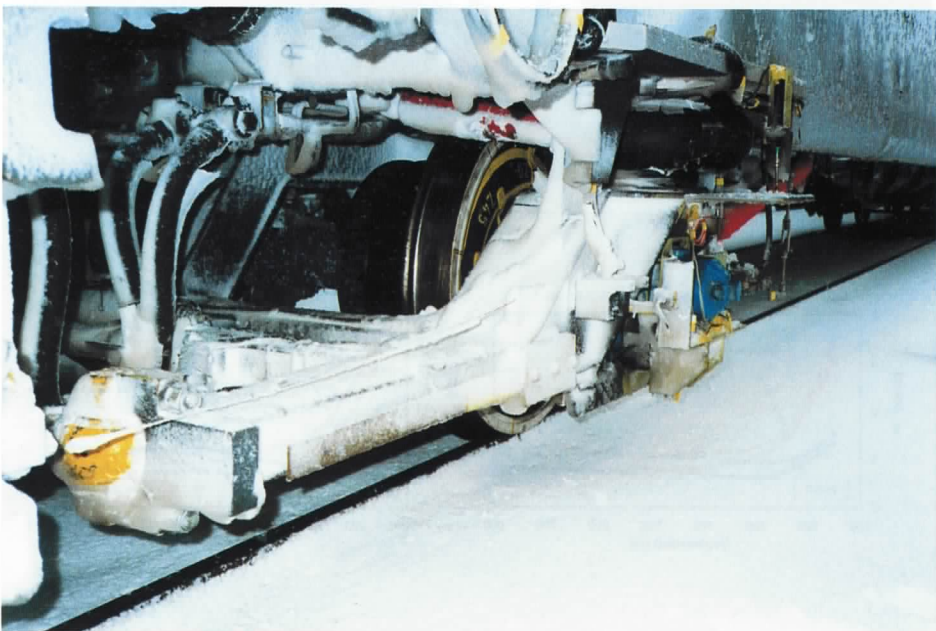
Die Kopplung der Einzelachsfahrwerke wirkt gleichzeitig positiv auf die Laufstabilität. Die Ausführung der Fahrwerkkopplung gewährleistet eine im Vergleich zum Drehgestell grosse Verwindungsweichheit der beiden Fahrwerke zueinander, was auch bei schlechter Gleislage eine hohe Sicherheit gegen Entgleisen bringt.

Die Eigenschaften der FEBA-Fahrwerke wurden im voraus virtuell mit Simulationen getestet. Es wurden Modelle in den Programmen MEDYNA und ADAMS/Rail aufgebaut und die Fahreigenschaften untersucht. Als Beispiele werden die berechneten Rad/Schiene-Kräfte und Anlaufwinkel für unterschiedliche Steifigkeiten der Fahrwerkkopplung aufgeführt. Die Simulationsergebnisse zeigen sehr gute Eigenschaften der Fahrwerke bei der Bogenfahrt. Durch die Optimierung der Steifigkeit der Fahrwerkkopplung werden eine sehr gute radiale Einstellung und dadurch auch sehr niedrige, beinahe konstante Querkkräfte in Bögen bis zu einem Radius von knapp 200 m erreicht.

Erprobungsträger

Zur Erprobung der fahrzeugdynamischen Eigenschaften, des Lärm- und Vibrationsverhaltens sowie zum Baugruppentest wurden zwei Prototypen der Einzelachsfahrwerke FEBA gebaut und unter einem Erprobungsträger getestet. Der Erprobungsträger bestand aus zwei ausgemusterten RIC-Reisezugwagen der SBB, die in der SBB-Hauptwerkstätte Olten um jeweils drei Fensterteile gekürzt wurden, um die für die Serie vorgesehene Abstützlänge zu erreichen. Gleichzeitig wurden die Innenausstattung ausgeräumt und die Asbestisolation im Dachbereich beseitigt. Die Wagen wurden durch eine Kurzkupplung verbunden und in der Mitte auf den gekoppelten Einzelachsfahrwerken FEBA abgestützt. An den Enden blieben die ursprünglichen Drehgestelle, die mit Schlingerdämpfern nachgerüstet wurden.

Einer der Wagen erhielt eine neue Innenausstattung und diente als Messwagen. Neben dem Messraum wurde ein Auswerterraum mit einigen Sitzen eingerichtet. Im Vorraum des Wagens über dem Fahrwerk FEBA wurden zwei Fenster im Boden geschaffen, durch welche die Fahrwerke während der Fahrt beobachtet werden konnten. Zur unabhängigen Stromversorgung der Messtechnik diente ein



Oben: Unter dem Erprobungsträger eingebaute Einzelachsfahrwerke FEBA mit Messinstrumentierung, aufgenommen während eines Umbaus der Zusatzluftbehälter (ausgebaute Behälter durch die offene Tür erkennbar) (Foto: Adtranz).

Mitte: Versuchszug bei Winterwetter auf der Strecke Biberbrugg – Einsiedeln der Schweizerischen Südostbahn (Foto: SER/ERI).

Unten: Unbeabsichtigt, aber im Hinblick auf die Anwendungsbedingungen in Norwegen willkommen, wurden die Fahrwerke während der Testfahrten einem harten Wintertest ausgesetzt, den sie (im Gegensatz zur Messausrüstung) mit Bravour bestanden (Foto: Adtranz).

Oben: Versuchszug für die Fahrten mit der Maximalgeschwindigkeit von 176 km/h in Thun: Lokomotive Re 460, EC-Wagen als Bremswagen, Erprobungsträger und (nicht sichtbar im Bild) Steuerwagen IC-Bt (Foto: Adtranz).

Mitte: Erprobungsträger für Fahrversuche mit Fahrwerken FEBA (Zeichnung/Foto: Adtranz).

im Messwagen installiertes Stromaggregat. Die Radsätze der Einzelachs-fahrwerke FEBA wurden mit DMS-Streifen bestückt und als Messradsätze verwendet. Ausserdem war der Erprobungsträger mit verschiedenen Weg-, Kraft- und Beschleunigungssensoren und anderen Aufnehmern ausgestattet, die insgesamt etwa 90 direkt gemessene oder berechnete Signale lieferten.

Fahrversuche

Ziel der Fahrversuche war es,

- die Realisierbarkeit des neuartigen Fahrwerkskonzeptes aufzuzeigen,
- nachzuweisen, dass eine Fahrwerksauslegung möglich ist, die extreme Bogenfreundlichkeit und Höchstgeschwindigkeiten von 160 km/h im geraden Gleis in Einklang bringt,
- die Simulationsrechnungen mit der Realität abzugleichen.

Die Fahrten fanden von November 1998 bis Februar 1999 auf folgenden schweizerischen Strecken mit Fahrgeschwindigkeiten bis 176 km/h statt:

Strecke	Untersuchungsziel
SBB-Verwindungsgleis Olten	Entgleisungssicherheit in stark verwundenem Gleis
Oberwinterthur – Märstetten	Fahrten bis 120 km/h auf überwiegend geradem Gleis
Oberwinterthur – Stammheim	Fahrten bis 95 km/h auf bogenreicher Strecke (Minimalradius 280 m)
Biberbrugg – Einsiedeln	Fahrten bis 60 km/h auf Strecke mit sehr engen Radien (Minimalradius 143 m)
Gümligen – Thun	Fahrten bis 176 km/h auf gerader Strecke

Ausser bei den Hochgeschwindigkeitsfahrten auf der Strecke Gümligen – Thun bestand die Versuchskomposition aus folgenden Fahrzeugen (in dieser Reihung):

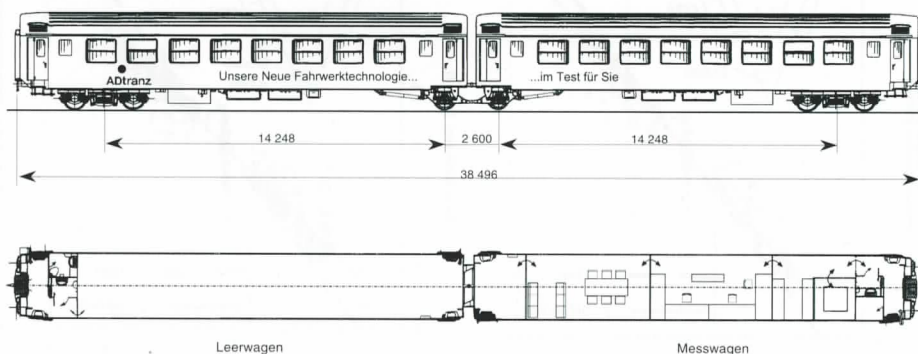
- Steuerwagen DZt,
- Messwagen Erprobungsträger,
- Leerwagen Erprobungsträger,
- Lokomotive Re 4/4 II.

Bei den Hochgeschwindigkeitsfahrten setzte sich die Komposition zusammen aus:

- Steuerwagen IC-Bt,
- Messwagen Erprobungsträger,
- Leerwagen Erprobungsträger,
- Eurocity-Wagen,
- Lokomotive Re 460.

Insgesamt legte der Erprobungsträger 6917 Kilometer zurück, davon 1993 Kilometer bei hohen Fahrgeschwindigkeiten in der Komposition mit der Lokomotive 2000.

Während der Versuche wurde der Erprobungsträger mehrfach umgebaut, um den Einfluss einzelner Parameter zu untersuchen (unter anderem verschiedene Schwingungsdämpfer, diverse Einstellungen des Luftfedersystems, unterschiedliche Steifig-



keiten der Fahrwerkkopplung, Ausbau der Primärfeder). Zeitweise wurde der Erprobungsträger mit Ballast beladen. Ferner wurden diverse Ausfallszenarien (Luftfedersystem, Dämpfer) untersucht.

Resultate der Fahrversuche

Fahrt in der Geraden

Durch das Luftfedersystem ergibt sich ein sehr angenehmer Schwingungskomfort. Die Anforderungen der NSB für den Seriezug konnten bis zur Höchstgeschwindigkeit eingehalten werden. Die Messungen zeigen, dass bei gut abgestimmter Luftdämpfung auf hydraulische Vertikaldämpfer verzichtet werden kann.

Untersucht wurde das Fahrverhalten mit drei verschiedenen Steifigkeiten der Fahrwerkkopplung (weich, mittel und hart; Steifigkeitsverhältnisse 50 %, 100 %, 140 %). Bei keiner dieser Varianten wurden aufklingender („instabiler“) Wellenlauf oder unzulässig hohe Querbeschleunigungen an den Fahrwerksrahmen festgestellt. Damit bestätigten sich die positiven Ergebnisse der Simulationsrechnungen. Diese zeigten, dass die Geschwindigkeit, bei der unzulässiger, heftiger Wellenlauf auftritt, mit abnehmender Steifigkeit der Fahrwerkkopplung sinkt, aber bei den untersuchten Kopplungen noch deutlich über der Höchstgeschwindigkeit von 160 km/h liegt. Die Fahrversuche zum Ausfallverhalten bestätigten, dass das System selbst bei wesentlich reduzierter Wirkung der Schlingerndämpfer genügend Reserve besitzt.

Bogenfahrt

Das Mass für die Fähigkeit der Einzelachsfahrwerke, sich im Bogen radial einzustellen, ist der Einstellwinkel. Darunter wird der um die Hochachse gemessene Winkel zwischen den Radsätzen zweier gekoppelter FEBA-Fahrwerke verstanden. Je näher der Einstellwinkel an den geometrisch berechenbaren idealen Einstellwinkel herankommt, desto besser stellen sich die Fahrwerke ein.

Zwei Diagramme zeigen gemessene Einstellwinkel in Abhängigkeit von Bogenkrümmung und -radius für trockene und feuchte Schienen. Dargestellt sind die Messpunkte mehrerer Fahrten mit Regressionsgeraden. Zum Vergleich ist der lineare Verlauf des idealen Einstellwinkels eingetragen. Bei trockener Schiene verläuft die Regressionsgerade der Einstellwinkel nur geringfügig flacher als die Idealkurve, und selbst bei feuchter Schiene wird eine sehr gute Radialeinstellung erreicht. Die Selbsteinstellung der Radsätze wirkt sehr gut gerade dann, wenn der Kraftschlussbeiwert und dadurch auch die Rad/Schiene-Kräfte am grössten sind – bei trockener Schiene. Bei gleicher Stellung im Gleis, das heisst bei gleichen Rollradien-Differenzen und somit gleichen Längsschlüpfen steigen die Längskraftschlusskräfte mit zunehmendem Kraftschlussbeiwert. Da das Moment der Längskraftschlusskräfte die Einstellung bewirkt, nimmt diese bei grösserem Kraftschluss zu.

Die Einstellgüte wird deutlich, wenn die Steigungen der Regressionsgeraden auf die Steigung der Idealeinstellung bezogen wird (siehe Bild). Im Idealfall ergäbe sich ein Wert

von 100 %. Die gekoppelten FEBA-Fahrwerke erreichen mit der mittleren Steifigkeit der Fahrwerkkopplung 84 % der Idealeinstellung. Das ist ein hervorragender Wert. Zum Vergleich: Ein herkömmliches, starrachsiges Drehgestell hat eine Radialeinstellung von 0 %! Selbst bei feuchter Schiene erzielen die FEBA-Fahrwerke noch 74 % des idealen Einstellwinkels.

Laut Simulationsrechnungen erhöht sich die Einstellgüte mit abnehmender Steifigkeit der Fahrwerkkopplung. Dies fand sich bei den Fahrversuchen bestätigt. Beim Übergang von der harten zur mittleren und von der mittleren zur weichen Kopplungssteifigkeit verbessert sich die Einstellgüte um jeweils rund 10 % und erreicht bei der weichen Kopplung hervorragende 93,5 %. Über die Steifigkeit der Fahrwerkkopplung besteht die Möglichkeit, das Verhalten der Fahrwerke ideal auf den Anwendungsfall abzustimmen. Für ein

Hochgeschwindigkeitsfahrzeug, das selten auf bogenreichen Strecken fährt, empfiehlt sich eine harte, für ein häufig in engen Bögen verkehrendes Regionalfahrzeug eine weiche Kopplung. Dazwischen ist mit mittelsteifen Kopplungen jeder Kompromiss möglich.

Seit Jahrzehnten baute die SLM vornehmlich Fahrwerke, die sich im Bogen weitgehend ideal einstellen. Die geschilderten Ergebnisse zeigen, dass diese Tradition von Adtranz Winterthur mit den FEBA-Fahrwerken erfolgreich fortgesetzt wird. Und dies aus guten Gründen, denn ideal eingestellte Räder

- erfahren wenig Verschleiss,
- werden fast nie unrund,
- verschleissen die Schienen kaum,
- erzeugen im engen Bogen wenig Lärm,
- minimieren die Rad/Schiene-Kräfte,
- besitzen wenig Fahrwiderstand und
- sparen dadurch Zugkraft und Energie.

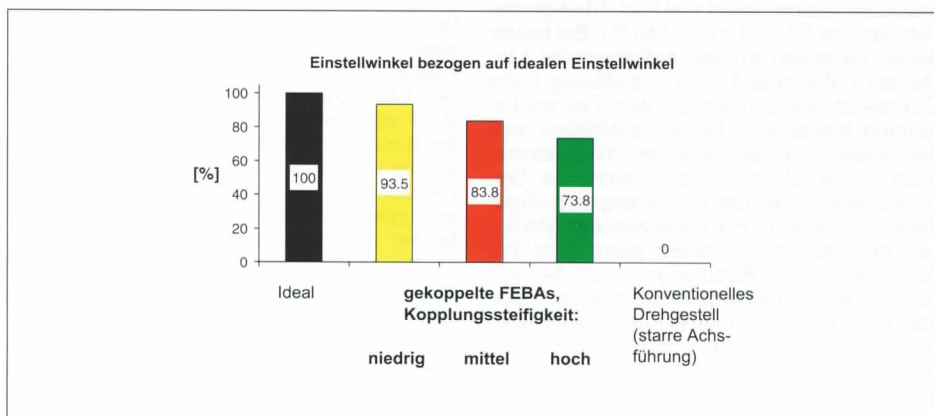
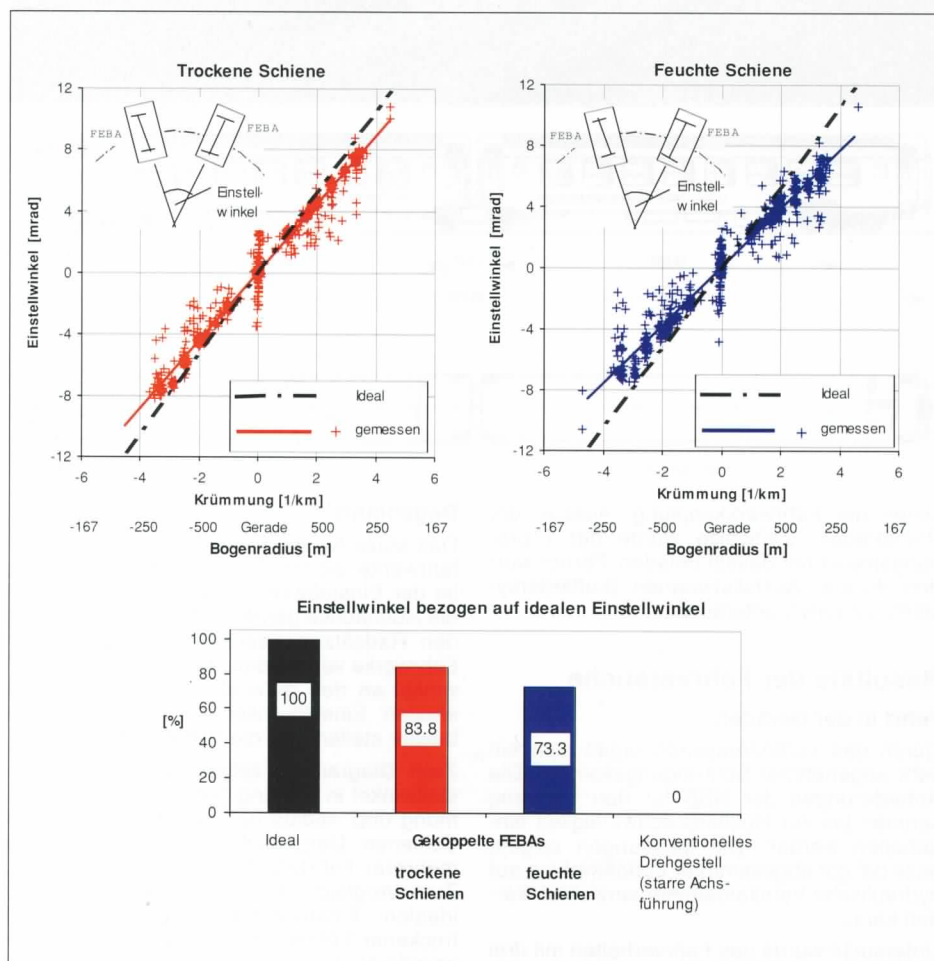
Auf den Vorteil minimierter Rad/Schiene-Kräfte wird im Folgenden näher eingegangen. Zu unterscheiden ist zwischen quasistatischen und dynamischen Kräften. Quasistatische Kräfte sind die bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit durch einen Bogen mit konstantem Radius auftretenden mittleren Kräfte. Ihnen überlagern sich dynamische Effekte. Die Spitzenwerte der Kräfte werden als dynamische Kräfte bezeichnet.

In Übereinstimmung mit den Resultaten der Auslegungsrechnungen sind die quasistatischen Führungskräfte Y (Rad/Schiene-Seitenkräfte) sehr niedrig. Abgebildet sind exemplarisch die Messwerte für zwei Bögen mit 300 und 400 Meter Radius, die bei trockener und bei feuchter Schiene durchfahren wurden. Mit maximal 14,9 kN liegen die Kräfte deutlich unter dem zulässigen Grenzwert von 60 kN. Ein sehr positives Verhalten zeigt das zweite Fahrwerk FEBA: Die Fliehkraft wird von beiden Rädern abgestützt; das bogeninnere Rad erzeugt keine nach bogenausen gerichtete „Blindkraft“. Am vorderen Fahrwerk sind die Blindkräfte erfreulich gering. Die Summen $S = \sum Y$ der quasistatischen Führungskräfte von Aussen- und Innenrad liegen deutlich unterhalb des Grenzwertes nach Prud'homme, so dass genügend Reserve für dynamische Spitzen bleibt.

Auch die dynamischen Rad/Schiene-Kräfte an den Einzelachs-fahrwerken FEBA liegen weit unterhalb der Grenzwerte. Als Beispiel sind in drei Bildern die statistischen Auswertungen

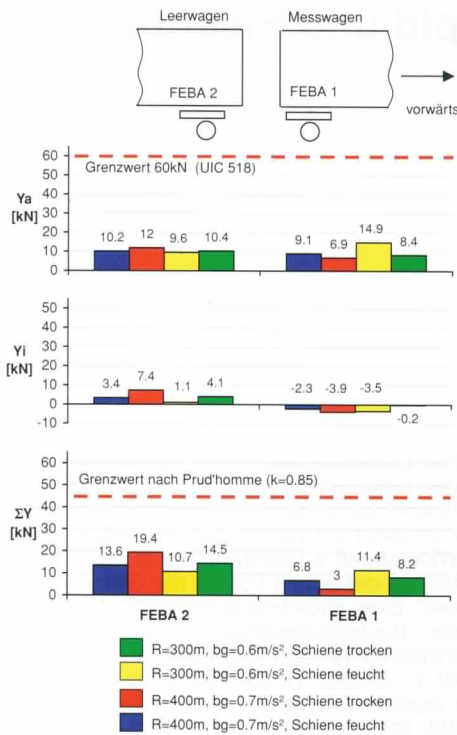
- der Führungskräfte Y der bogenäusseren Räder,
- der Summen $S = \sum Y$ der Führungskräfte sowie
- der Entgleisungsquotienten Y/Q der bogenäusseren Räder (gebildet aus Führungskraft Y und vertikaler Radkraft Q)

dargestellt. Jeder Punkt repräsentiert einen Messabschnitt. Zusätzlich wurden die Regressionsgeraden und Vertrauensgrenzen eingetragen. Die Kräfte am vorausfahrenden FEBA streuen stärker als die am zweiten. Grund ist, dass das vordere Fahrwerk näher mit dem Spurradius an der Fahrschienenkante rollt, deren seitliche Unebenheiten daher stärker auf das Fahrwerk übertragen werden als am zweiten FEBA.



Mitte: Gemessene Einstellwinkel der gekoppelten Einzelachs-fahrwerke FEBA auf trockenen und feuchten Schienen in Abhängigkeit von Bogenkrümmung und -radius. Die Regressionsgeraden liegen sehr nahe am idealen Einstellwinkelverlauf. Die hohe Einstellgüte der gekoppelten Einzelachs-fahrwerke FEBA zeigt sich, wenn die Steigung der Regressionsgeraden auf die Steigung des idealen Einstellwinkelverlaufes bezogen wird (siehe Balkendiagramm) (Grafik: Adtranz).

Unten: Abhängigkeit der Einstellwinkelgüte von der Steifigkeit der Fahrwerkkopplung bei trockener Schiene (Strecke Oberwinterthur – Stammheim, Streckengeschwindigkeit). Durch geeignete Wahl der Steifigkeit lassen sich die gekoppelten Fahrwerke FEBA auf verschiedenste Anwendungsfälle optimieren (Grafik: Adtranz).



Oben: Beispiele für gemessene quasistatische Führungskräfte in Bögen der Strecke Oberwinterthur – Stammheim; bg: freie Seitenbeschleunigung auf Gleisebene, Ya: Führungskraft am Aussenrad, Yi: Führungskraft am Innenrad, ΣY : Summe der Führungskräfte an Aussen- und Innenrad (Grafik: Adtranz).

Zusammenfassung

Als Weiterentwicklung der in den Gelenktriebwagen (GTW) eingesetzten rahmenlosen Triebfahrwerke entstanden bei Adtranz Winterthur neuartige Einzelachsfahrwerke mit dem Namen FEBA. Erstmals kommen diese Fahrwerke in den 160 km/h schnellen Regional-Gliederzügen „Class 72“ für die Norwegischen Staatsbahnen zum Einsatz. Bei dieser Anwendung werden je zwei Ein-

Oben: Statistische Auswertung der an den Einzelachsfahrwerken FEBA gemessenen dynamischen Führungskräfte Y mit Regressionsgeraden und Vertrauensgrenzen ($k = 3$) in Abhängigkeit der freien Seitenbeschleunigung auf Gleisachse bg (Strecke Oberwinterthur – Stammheim; Achslast 13 t; Linksbögen; 99,85%-Werte der bogenäusseren Räder; trockene Schienen) (Grafik: Adtranz).

Mitte: Statistische Auswertung der an den Einzelachsfahrwerken FEBA gemessenen dynamischen Summe der Führungskräfte ΣY mit Regressionsgeraden und Vertrauensgrenzen ($k = 3$) in Abhängigkeit der freien Seitenbeschleunigung auf Gleisachse bg (Strecke Oberwinterthur – Stammheim; Achslast 13 t; 99,85%-Werte in Linksbögen; 0,15%-Werte in Rechtsbögen; Rechtsbögen dargestellt als Linksbögen; gleitende Mittelwertbildung über 2 m; trockene Schienen) (Grafik: Adtranz).

Unten: Statistische Auswertung der an den Einzelachsfahrwerken FEBA gemessenen dynamischen Quotienten Y/Q (Führungskraft Y , Radlast Q) mit Regressionsgeraden und Vertrauensgrenzen ($k = 3$) in Abhängigkeit der freien Seitenbeschleunigung auf Gleisachse bg (Strecke Oberwinterthur – Stammheim; Achslast 13 t; Linksbögen; 99,85%-Werte der bogenäusseren Räder; gleitende Mittelwertbildung über 2 m; trockene Schienen) (Grafik: Adtranz).

zelachsfahrwerke zu einem extrem verwindungsweichen und sich im Bogen nahezu radial einstellenden Jakobsfahrwerk verknüpft. Die Kopplung kann für Wartungszwecke schnell gelöst werden. So ist es möglich, die einzelnen Wagen des Gliederzuges ohne Einsatz von Hilfsfahrwerken zu manövrieren.

In Fahrversuchen mit einem Erprobungsträger wurde das neuartige Fahrwerkskonzept ausgiebig erprobt. Dabei zeigte sich, dass Fahrgeschwindigkeiten von 160 km/h im geraden Gleis und extreme Bogenfreundlichkeit auch in engen Bögen hervorragend in Einklang zu bringen sind. Positive Folge der guten Einstellung im Bogen sind niedrige Rad/Schiene-Kräfte. Im Betrieb sind geringer Rad- und Schienenverschleiss, wenig Kurvenlärm und niedriger Energieverbrauch zu erwarten.

Literatur

- [1] Cortesi, A.: Trends im Fahrzeugbau – SLM-Radialdrehgestelle. Eisenbahntechnische Rundschau 7-8/1996, S. 447 – 453.
- [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] Meier, B.; Polách, O.; Grossenbacher, Th.: Leichtbau-Fahrwerke für den Regionalverkehr. Schweizer Eisenbahn-Revue 7-8/1998, S. 306 – 312, und Eisenbahn-Revue International 7-8/1998, S. 306 – 312.
- [4] Meier, B.; Polách, O.: Erfahrungen mit Leichtbau-Fahrwerken für den Regionalverkehr. Proceedings of the 4th International Conference on Railway Bogies and Running Gears, Budapest, 21. – 23. Sept. 1998 (im Druck).

