

Eisenbahn JOURNAL

B 30873 E • ISBN 3-89610-079-3

DM 22,80 hfl 29,--
sfr 22,80 lfr 490,--
S 170,-- Lit 27 000

**Special-
Ausgabe
4/2001**

Neigetechnik in Europa

Konrad Koschinski
Michael Krolop

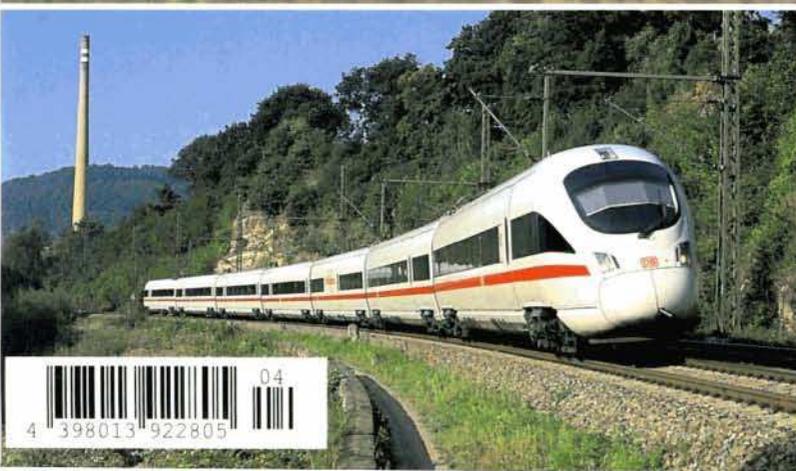


Bild 1 (Titel): „Harz-Express“ nach Halle bei Belleben. Noch neigt sich nur der Triebkopf 612 511, denn der Zug fährt erst in die Kurve ein (Mai 2000). Unten: ICE 1614 München–Berlin bei Kahla im Saaletal (14.8.2000); ETR 450 „Pendolino“ in Milano C (26.6.1996).
Abb.: W. Clössner, O. Buhler, R. Latten

Bild 2: Am Stellwerk B1 in Frose, das wegen neuer Sicherungstechnik entbehrlich ist, legt sich RE 3612 Halle–Hannover in die Kurve. Es führt 612 515 (11.3.2001).
Abb.: W. Herdam



Einleitung	6	Deutsche Pendolinos: Die Baureihe 610	50
Schneller durch die Gleisbögen	8	Vom Pendolino zum Regio-Swinger:	
Europas schräge Züge	16	Die Baureihen 611 und 612	55
Die Züge im Länderüberblick	18	ICE-T und ICE-TD:	
Der „NeiTech-Club“ wird größer	47	Die Baureihen 411/415 und 605	62
116 Neigezüge für TEE-Allianz	47	InterCityNight: Talgo-Wagen der DB AG	70
Neigezüge in Deutschland:		Neigezug-Strecken der DB AG	74
Es begann mit dem 634	48	Impressum / Literaturverzeichnis	81
		NeiTech-Züge im Modell	82



Vorwort

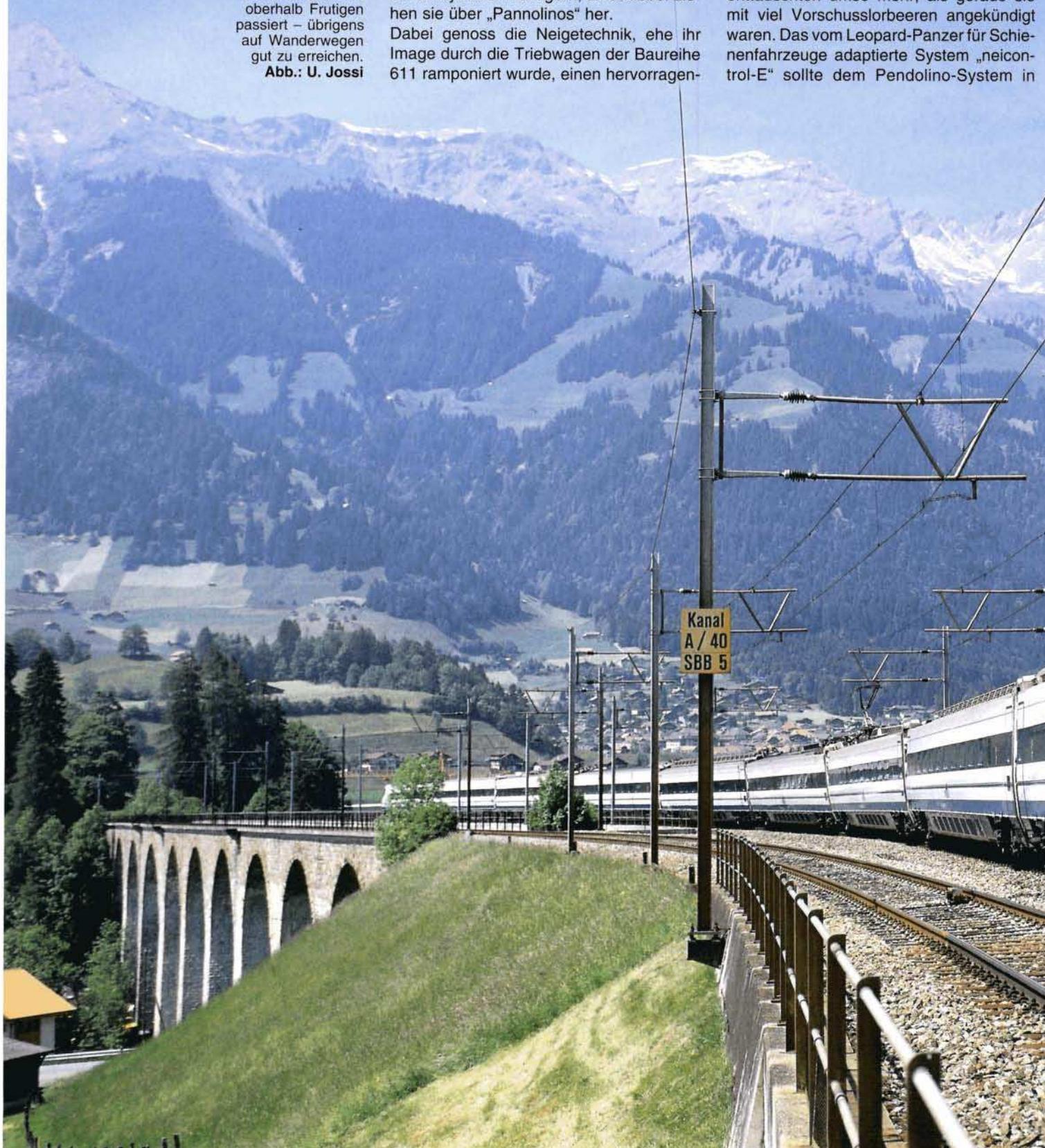
Bild 3: Die „Cisalpino“ genannte Version des Pendolino befährt auch die Lötschbergstrecke der BLS mit ihren imposanten Viadukten. Dieser am 29. Mai 1997 auf der Lötschberg-Nordrampe abgelichtete ETR 470 hat gerade die Kanderbrücke oberhalb Frutigen passiert – übrigens auf Wanderwegen gut zu erreichen.

Abb.: U. Jossi

Das Thema ist heikel. Kaum eine Innovation auf deutschen Schienen hat durch derart viele Pannen Aufsehen erregt wie die Neigetechnik. Da mögen Vertreter der gescholtenen Bahnindustrie noch so betonen, dass das „Nichtneigen“ ihrer Züge mit Fehlfunktionen der Neigetechnik eigentlich nichts zu tun habe – das Misstrauen sitzt tief. Verärgerte Fahrgäste interessiert es herzlich wenig, ob Probleme mit anderen Bauteilen oder mit der Datenübertragung die Pannen verursacht haben. Sie sind sauer auf die Bahn, die ihnen offenbar unausgereifte Fahrzeuge zumutet. Und der Presse ist die schlechte Nachricht eher eine Schlagzeile wert als die gute. Flinke Schreiber analysieren nicht gern, umso lieber ziehen sie über „Pannolinos“ her. Dabei genoss die Neigetechnik, ehe ihr Image durch die Triebwagen der Baureihe 611 ramponiert wurde, einen hervorragenden

Ruf. Die 1992 in Dienst gestellten „Pendolinos“ der Baureihe 610 fuhren zuverlässig durch Franken und die Oberpfalz. Die Bahn freute sich über gestiegene Fahrgastzahlen. Politiker und Verkehrsplaner schwärmten vom Aufbruch in eine neue Eisenbahnepoche mit flotten Kurvenflitzern auf alten Trassen. Fahrzeuggewinne von bis zu 30% galten als machbar – ohne kostspielige Investitionen in die Infrastruktur.

Die Euphorie verflieg 1996. Neue Neigezüge, von Adtranz ohne Prototyp in Serie gebaut und von der DB AG ohne die bisher übliche Erprobung in Dienst gestellt, legten einen blamablen Fehlstart hin. Die 611er enttäuschten umso mehr, als gerade sie mit viel Vorschusslorbeeren angekündigt waren. Das vom Leopard-Panzer für Schienenfahrzeuge adaptierte System „neicontrol-E“ sollte dem Pendolino-System in



puncto Zuverlässigkeit, Energiebedarf und Wartungsarmut überlegen sein. Aber die modernste Neigetechnik nützt nichts, wenn Fahrmotoren streiken, Gelenkwellen brechen und Computer abstürzen.

Mittlerweile sind auch aus anderen Gründen Zweifel am Nutzen der Neigetechnik aufgekommen. So bleiben die Reisezeitverkürzungen oft hinter hochgesteckten Erwartungen zurück, weil die DB AG Strecken nur halbherzig für „bogenschnelles Fahren“ ertüchtigt hat. Außerdem bereitet die zu geringe Platzkapazität der Triebwagenzüge Verdross. Dies zwingt dazu, Garnituren aus mehrere Einheiten zu bilden, was bei ICE-T-Doppelgarnituren sogar doppeltes Zugbegleit- und Speisewagenpersonal erfordert.

Leider werden in der Berichterstattung oft Fehlplanungen der Bahn und konstruktive Mängel, Probleme mit mechanischen bzw.

elektrischen Bauteilen und der Software miteinander vermengt – heraus kommt ein sachlich nicht gerechtfertigtes Pauschalurteil gegen die Neigetechnik.

Indes sind Neigezüge trotz aller Probleme keineswegs „out“. Die DB AG hat die Bestellung der Baureihe 612 auf 290 Einheiten erhöht und 28 weitere ICE-T in Auftrag gegeben. Dass der Trend zur „schrägen Eisenbahn“ anhält, zeigt sich noch deutlicher, wenn man über Deutschland hinaus blickt. Europaweit sind rund 800 Triebzüge mit Neigetechnik im Einsatz oder bestellt, davon allein 254 Züge verschiedener Pendolino-Versionen von Fiat-Ferroviana, Alstom-Fiat und Partnern. Außerdem hat die TEE-Allianz 116 Neigezüge ausgeschrieben.

Dieses EJ-Special gibt erstmals einen Gesamtüberblick. Der Themenbogen spannt sich von frühen Experimenten bis

hin zu jüngsten Entwicklungen. Dabei gilt den deutschen Zügen besondere Aufmerksamkeit. Der einführende Beitrag von Michael Krolop beantwortet die Fragen, welche Neigetechniksysteme es gibt, wie sie funktionieren und welche infrastrukturellen Begleitmaßnahmen erforderlich sind. Am Schluss finden Sie eine Übersicht der von Neigezügen befahrenen DB-Strecken. Auch der Frage, welche Reisezeitersparnis die Neigetechnik bewirkt, wird anhand mehrerer Beispiele nachgegangen. „Über einen Kamm scheren“ lässt sich die Antwort allerdings nicht. Warum, möge dieses Heft erhellen, übrigens ganz bewusst ohne mathematische Formeln. Zwar ist das Thema NeiTech höllisch kompliziert, kann aber auch „Augenfutter“ bieten – die Fotos von schnittigen Zügen auf Europas Schienensträngen zeigen es.

Konrad Koschinski



Schneller durch die Gleisbögen

Wie funktioniert die Neigetechnik und was bringt sie? Damit ausgerüstete Züge fahren um bis zu 30% schneller „durch die Kurven“, doch der in der Praxis erzielte Zeitgewinn fällt ganz unterschiedlich aus – zuweilen enttäuschend niedrig. Wie im Folgenden erläutert, spielen zahlreiche, oft unterschätzte Faktoren eine Rolle, insbesondere auch Infrastrukturmaßnahmen, die der Einführung der Neigetechnik in mehr oder minder großem Umfang vorausgehen. Die Strecken der Eisenbahnen sind zum großen Teil im 19. Jahrhundert entstanden. Da große Erdbewegungen den Bau erheblich verteuert hätten, lehnte sich die Trassierung eng an die Struktur des Geländes an. Hohe Fahrgeschwindigkeiten besaßen damals keine Priorität.

Viele außerhalb der Neu- und Ausbaustrecken liegende Streckenabschnitte sind noch heute sehr bogenreich und lassen nur geringes Tempo zu. Da Linienkorrekturen zu meist einen großen baulichen Aufwand erfordern, stellt eine durch Gleisbogen und Fahrgeschwindigkeit einstellbare Neigung der Wagenkästen zur Begrenzung der auf die Fahrgäste wirkenden Zentrifugalkraft eine interessante Alternative zur Erzielung von Fahrzeitgewinnen dar. Zweck einer solchen Neigetechnik ist es, die Gleisbögen mit wesentlich höheren als nach der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) eigentlich zugelassenen Geschwindigkeiten durchfahren zu können.

Welche Geschwindigkeit in einem Gleisbogen zulässig ist, hängt zunächst von dessen geometrischer Beschaffenheit ab, in erster Linie also von seinem Radius. Bedeutend ist dabei vor allem die nach außen wirkende Zentrifugalkraft, die bei gleich bleibender Fahrgeschwindigkeit mit abnehmendem Radius immer größer wird. Bereits lange bevor eine Entgleisung droht, beeinflusst diese Kraft bei zu schneller Kurvenfahrt das Komfortempfinden der Fahrgäste in erheblichem Maße negativ.

Um den Einfluss der Zentrifugalkraft einzuschränken, hat die Eisenbahn bereits früh damit begonnen, die Kurven mit „Überhöhungen“ zu bauen. Die äußere Schiene liegt dann höher als die innere. Aus der Überhöhung der Gleise in Kurven folgt quasi ein Steilkurveneffekt, der der Zentrifugalkraft, die Züge in Kurven erfahren, entgegen wirkt. Aufgrund der Entgleisungssicherheit (man denke an in solchen Kurven an fahrende schwere Güterzüge) kann die Gleisüberhöhung allerdings nicht grenzenlos dimensioniert werden, sodass in aller Regel ein „Überhöhungsfehlbetrag“, nämlich die Differenz zwischen der zur Kompensation der Zentrifugalkraft erforderlichen und der tatsächlich realisierbaren Überhöhung zurück bleibt. Dies ist der Grund, warum man als Reisender auch in überhöhten Kurven immer noch etwas von der Zentrifugalkraft merkt.

Werden nun Gleisbögen mit einer höheren Geschwindigkeit durchfahren als bislang zugelassen, so wird zunächst einfach der Überhöhungsfehlbetrag vergrößert. Die im Zug spürbare Zentrifugalkraft würde damit den von der EBO zugelassenen Wert überschreiten. Verfügt ein solcher Zug nun aber über eine Neigetechnik, so kann diese den Fehlbetrag durch die Neigung des Wagenkastens wieder ausgleichen und die im Zug wahrnehmbare Zentrifugalkraft auf den zugelassenen Wert zurückführen.

Möglich ist dies, da der zugelassene Wert für die wahrnehmbare Zentrifugalkraft zunächst nur einen Komfortwert darstellt, der weit entfernt von dem Grenzwert vor der Entgleisung ist. Hier gilt es ein oft vernommenes Missverständnis auszuräumen: Die zwischen Rad und Schiene wirkenden Kräfte werden durch die Neigetechnik selbst nicht oder nur unwesentlich beeinflusst. Ausschlaggebend für die Gleisbeanspruchung sind vielmehr Fahrgeschwindigkeit, Achslasten, Fahrwerksgestaltung und in Gleisbögen die Querbesehleunigung.

Theoretisch können auch Züge ohne Neigetechnik genau so schnell wie NeiTech-Züge durch die Kurven brausen. Die Folge wäre allerdings ein erheblicher Komfortverlust – wandernde Tassen im Speisewagen würden zur Regel.



Neigetechnik, Funktionsprinzip und Streckenausrüstung

Die Neigetechniksysteme

Neigetechniksysteme werden sowohl in lokomotivbespannten Zügen als auch in Triebwagen bzw. Triebzügen eingesetzt. Die Neigung des Wagenkastens kann auf zwei Arten erfolgen:

- natürlich aufgrund der bei Kurvenfahrten auftretenden Zentrifugalkraft (passives Neigen) oder
- erzwungen durch eine hydraulisch, elektrisch oder pneumatisch angetriebene Verstellmechanik (aktives Neigen).

Die passive Neigetechnik ist simpel und preiswert und kommt ohne Regeltechnik und Sensoren aus. Mit ihr wird ein Neigungswinkel von etwa $3,5^\circ$ erreicht.

Weiter verbreitet sind die aktiven Systeme. Sie basieren meist auf einer Neigung des Wagenkastens über mechanische und hydraulische Einrichtungen. Zunehmend gewinnen auch die geringeren Wartungsaufwand versprechenden Systeme mit elektrischen Stellantrieben an Bedeutung. Der mit aktiver Neigetechnik maximal erreichte Neigungswinkel liegt bei 8° . Hiervon müssen in aller Regel aber noch die Federwege des Fahrzeugs abgezogen werden, sodass gegenüber dem Gleis etwa 6 bis $6,5^\circ$ Neigung erreicht werden.

Funktionsprinzip

Die passive Neigetechnik wird vor allem beim „Talگو Pendular“ eingesetzt. Sie beruht auf dem Pendelprinzip, bei dem der Wagenkasten oberhalb des Schwerpunkts gelagert ist. Man spricht dabei auch von einem „Kettenkarussell-Prinzip“, bei dem der Wagenkasten in Kurven auf natürliche Art nach außen schwingt und somit geneigt wird.

Die mit der aktiven Neigung des Wagenkastens verbundenen Abläufe sind wesentlich komplizierter. Hier sind zunächst verschiedene Messsensoren erforderlich, deren Aufgabe in der Erfassung der in Kurven auftretenden Querschleunigung (Seitenbeschleunigung) einerseits sowie der schnellen und zuverlässigen Erkennung des Kurvenanfangs andererseits besteht.

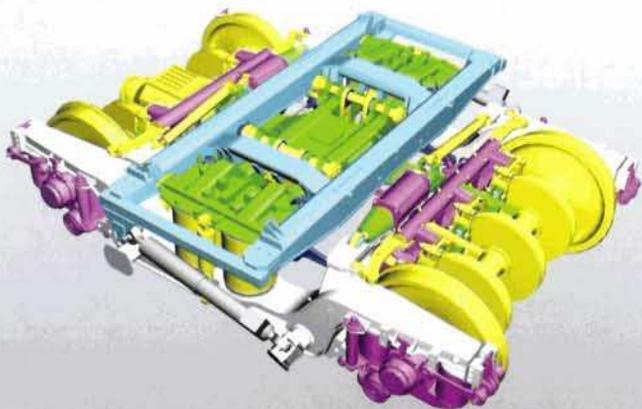
Die Bestimmung der tatsächlich wirkenden Querschleunigung erfolgt an den Drehgestellen der Fahrzeuge sowie in deren Innenräumen. Den Sensoren nachgeschaltete Filter stellen sicher, dass unterschieden werden kann, ob der gemessene Wert tatsächlich durch eine Kurvenfahrt verursacht wird oder nur aus einem oberbaube-

dingten Schlingern des Fahrzeuges resultiert. Die Erkennung des Kurvenanfangs erfordert ein zweites Messsystem, bei dem zusätzliche Kreisel oder Winkelgeber eingesetzt werden, um die Ausdrehbewegung des Drehgestells unter dem Wagenkasten sowie die tatsächliche Überhöhung der Gleise festzustellen. Das schnelle und zuverlässige Erkennen des Kurvenanfangs ist entscheidend für die Funktionstüchtigkeit der Neigetechnik.

Das besondere Problem dabei ist, dass am Kurvenanfang noch nicht alle für die „richtige“ Einstellung des Wagenkastens erforderlichen Informationen vorliegen. Da andererseits die Wagenkasten-neigung nicht verzögert werden darf, läuft das Einschwingen in eine Kurve etwa folgendermaßen ab: Unmittelbar nach Erkennen eines Kurvenanfangs werden sofort die Stellantriebe aktiviert und mit einem geschwindigkeitsabhängigen Steuersignal gespeist. Der Wagenkasten wird also geneigt, wobei die Nei-

Bild 4: „Pendolino“ der Baureihe 610 am 30. Juli 1995 bei Alfalter. Auf der Strecke Nürnberg–Bayreuth/Hof sind Neigezüge schon seit 1992 planmäßig unterwegs.
Abb.: B. Eisenschink





Pendolino-Neigetechnik

Das Neigetechnik-System der Pendolino-Züge ist – nicht zuletzt aufgrund des griffigen Produktnamens – sicher das bekannteste. Zudem

ist es sehr weit verbreitet. Die Wagenkasten-Neigung wird bei dieser Technik durch Hydraulikzylinder durchgeführt, die durch ein im Zug eingebautes Rechnersystem gesteuert werden. Im Zug verteilte Sensoren erfassen hierzu kontinuierlich Geschwindigkeit und Querbesehleunigung. Aufgrund der Sensordaten erfolgt ständig eine Bestimmung des erforderlichen Wagenkasten-Neigungswinkels sowie der entsprechenden Neigungsgeschwindigkeit. Neigungswinkel und -geschwindigkeit werden in jedem Wagen autonom eingestellt.

In den Drehstellen des Pendolino kann jeweils ein Radsatz angetrieben sein. Die Drehstelle haben Lenker mit Gummiradsatzfedern

als Primärfederung und Schraubenfedern als Sekundärfederung. Die Wagenkästen sind über Pendel an einer Wiege aufgehängt, sodass die Neigung über hydraulische Zylinder erfolgt, die sich auf die Drehgestellwiege abstützen. Die Energie für die Hydraulik wird von einem Hochdruckbehälter zur Verfügung gestellt.

Pendolino-Züge erreichen eine Wagenkasten-Neigung von bis zu 8°. Dies entspricht einem Fliehkraftausgleich von 1,35 m/s², sodass die Züge mit einer nicht ausgeglichenen Querbesehleunigung von bis zu 2 m/s² fahren können, während die Fahrgäste einer Fliehkraftbesehleunigung von maximal 0,65 m/s², also weit unterhalb der Wohlbefindlichkeitsgrenze ausgesetzt sind.

Bild 5: Pendolino-Drehgestell. An der Wiege (blau) sind Wagenkasten und Neigevorrichtung befestigt. **Abb.: Alstom, Slg. Krolop**

gegeschwindigkeit in Abhängigkeit zur aktuellen Fahrgeschwindigkeit eingestellt wird. Noch während der Neigevorgang läuft, wird aufgrund der Messungen der Gleisüberhöhung und der tatsächlichen gemessenen Querbesehleunigung ein weiteres Steuersignal gebildet, das den Neigungswinkel begrenzt. Dieser Vorgang ist besonders kompliziert, da einerseits das zweite Steuersignal erst im Laufe der Kurvenfahrt gebildet werden kann und andererseits bei der Neigung der Wagenkästen unbedingt Schaukelbewegungen zu vermeiden sind, da diese von den Fahrgästen als sehr unangenehm empfunden werden.

In der Praxis erfordert die Entwicklung geeigneter Regelalgorithmen für die Kurvenfahrt eine große Zahl von Versuchsfahrten, bei denen empfindlich veranlagte Fahrgäste über längere Strecken solange gefahren werden, bis sie weder über Übelkeit noch über Unwohlsein klagen. Die bei diesen Fahrten gefundenen Algorithmen sind jedoch keineswegs universeller Natur. Um in Regionen oder Ländern mit anderen Trassierungsparametern (Gestaltung von Übergangsbögen, Mindestüberhöhungen etc.) einen befriedigenden Fahrkomfort zu erreichen, müssen bei Zügen mit aktiver Wagenkasten-Neigung die Regelalgorithmen an die Trassierungsparameter angepasst werden. Grenzüberschreitende Einsätze von Zügen mit aktiver Neigetechnik sind also nicht so leicht zu realisieren.

Begleitmaßnahmen

Um den durch die passive oder aktive Neigetechnik ermöglichten Geschwindigkeitsvorteil auch in einen Fahrzeitgewinn umzusetzen, bedarf es begleitender Maßnahmen.

Um die Belastung des Oberbaus bei schnellen Kurvenfahrten so gering wie möglich zu halten, ist eine gleisschonende Fahrwerksgestaltung bei den Fahrzeugen, zum Beispiel durch radial einstellbare Radsätze, unerlässlich. Positiv wirken sich auch gerin-

gere Achslasten infolge der konsequenten Anwendung von Leichtbauprinzipien aus. Im Falle der VT 610, 611, 612 sowie des ICE-T resultierten aus diesen Gründen trotz größerer Kurvengeschwindigkeiten bislang keine nachteiligen Instandhaltungsaufwendungen gegenüber konventionellen Zügen. Bei der Gestaltung des Wagenkastens ist darauf zu achten, dass sowohl in aufrechter als auch in geneigter Stellung das Umgrenzungsprofil eingehalten werden muss. Die komplette Integration der Verstelleinrichtung zum Neigen des Wagenkastens bei aktiver Neigetechnik in das Fahrwerk ohne Eingriff in die Wagenkastenstruktur ist inzwischen Standard (anders als bei der ersten Pendolino-Generation bis zum ETR 450). Wagenkasten und Fahrwerk werden dabei durch schräg angeordnete Stehpendel oder durch so genannte Tragrollen in Kombination mit bogenförmigen Auflagern verbunden. Die passive Neigetechnik erfordert hingegen nach wie vor erhebliche Eingriffe in die Struktur des Fahrzeugs.

Bei elektrischen Zügen mit Neigetechnik muss sichergestellt werden, dass der Stromabnehmer während der Bogenfahrt nicht vom Fahrdrabt abgleitet. Am einfachsten wird dieses Problem durch den Einsatz von nicht neigbaren Triebköpfen wie beim schwedischen X 2000 umgangen. Die italienischen Pendolino-Triebzüge sind zu diesem Zweck mit einem auf dem primärfedernden Fahrwerkrahmen montierten Tragjoch ausgestattet, das den Stromabnehmer unabhängig vom Wagenkasten und dessen Neigebewegungen trägt. Modernere Lösungen, wie beim ICE-T der DB, basieren auf einer Querverschubeinrichtung zur Kompensation der Neigebewegung.

Ausrüstung der Strecken

Bevor der erste Zug mit eingeschalteter Neigetechnik „bogenschnell“ verkehren kann, ist ein umfangreiches Genehmigungsverfahren zu bewältigen. Die dafür vorgesehenen Strecken müssen hinsichtlich ih-

rer Trassierungselemente und der Oberbaubeschaffenheit besonders überprüft und als geeignet festgestellt werden. Notwendig ist auch eine kontinuierliche Geschwindigkeitsüberwachung der Fahrzeuge.

Aus diesen beiden Bedingungen folgen vielfältige Anforderungen an die Gestaltung der Gleisanlagen und deren signaltechnische Ausrüstung, von denen nachfolgend die wichtigsten dargestellt werden sollen. Da mit dem Einsatz von Neigezügen oft eine Anhebung der zulässigen Streckenhöchstgeschwindigkeit von 120 oder 140 km/h auf 160 km/h erfolgt, lassen sich viele mit der Gestaltung der Gleisanlagen zusammenhängende Maßnahmen bereits hieraus ableiten. So muss zum Beispiel der Oberbau „genügend schwer“ sein – gefordert werden bei Tempo 160 mindestens S 49-Profile – und einen geeigneten Bettungsquerschnitt aufweisen. Streckenabschnitte mit Stahlschwellen können aus diesem Grund nicht für diese Geschwindigkeit zugelassen werden.

Zu beachten ist auch, dass die aktive Neigetechnik erst bei einer Geschwindigkeit oberhalb von 70 km/h wirksam ist. Das heißt: Es ist unbedingt zu vermeiden, dass auf Streckenabschnitten, auf denen Neigezüge schneller, konventionelle Züge jedoch nur langsamer als 70 km/h fahren dürfen, die Geschwindigkeit eines Neigetechnikzuges unter diesen Wert fällt. Er dürfte nach dem Abschalten der Neigetechnik nämlich nicht mehr auf die eigentlich für ihn zugelassene Geschwindigkeit beschleunigen. Um dem vorzubeugen, ist nach Möglichkeit daher die gesamte Strecke für eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von mindestens 80 km/h für konventionelle Züge auszubauen.

Weiter erfordert das Fahren mit hohen Geschwindigkeiten eine besonders gute Gleislagequalität. Bogenweichen und Brücken ohne durchgehenden Schotteroberbau gelten bei der Ausrichtung der Gleislage als problematisch, da sie nicht von Stopfmaschinen bearbeitet werden können. Um



Bild 6: Als ICE 1517 Berlin–München überquert diese ICE-T-Garnitur am 18.11.2000 zwischen Lutherstadt Wittenberg und Pratau die Elbe.

Bild 7: Von Nürnberg kommender ICE-TD am 23.5.2001 bei Neuhaus (Pegnitz) – noch als „Vorbote“ des zweieinhalb Wochen später aufgenommenen ICE-Verkehrs Nürnberg–Dresden. **Abb. 6:** B. Schulz; **Abb. 7:** G. Weimann

durchgehend mit hoher Geschwindigkeit fahren zu können, müssen Bogenweichen also in gerade Abschnitte verlegt werden und Brücken ohne durchgehenden Schotteroberbau gegen solche mit durchgehendem Schotteroberbau getauscht werden.

Signal- und Sicherungstechnik

Dem Einsatz von Neigezügen ist die signal- und sicherungstechnische Ausrüstung der befahrenen Strecken anzupassen. Dabei sind zu unterscheiden:

- Anpassungen infolge der Geschwindigkeitserhöhung auf der Strecke und
- Anpassungen aufgrund des weiterhin notwendigen Einsatzes von Zügen mit unterschiedlicher Höchstgeschwindigkeit.

Bei den Anpassungen an die höhere Streckengeschwindigkeit handelt es sich um solche, die allgemein bei derartigen Maßnahmen erforderlich sind. Hierunter fällt zum Beispiel die Forderung nach einem generellen Vorsignalabstand von 1000 m. Bei ungünstigen Sichtverhältnissen im Annäherungsbereich zum Hauptsignal müssen gegebenenfalls zusätzliche Vorsignalwiederholer installiert werden. Des Weiteren sind die Bahnübergänge entsprechend der höheren Geschwindigkeit auszurüsten. Hierzu zählt das Verlegen von Einschaltkontakten und Überwachungssignalen so-





Bild 8: Drehgestell am Steuerwagen eines X 2 resp. X 2000 der SJ. **Abb.:** J. Hörstel

Bild 9: Neigetechnik des X 2000. **Abb.:** Adtranz, Slg. Krolop

Neigetechnik des X 2000

Das Konzept der schwedischen X 2000-Züge zeichnet sich durch die Konzentration der gesamten Antriebstechnik im Triebkopf aus. In den Kurven geneigt werden dabei nur die Reisezugwagen einschließlich des Steuerwagens. Deshalb können neben dem elektrischen Standardtriebkopf ohne großen Aufwand auch Mehrspannungs- oder Diesellokomotiven eingesetzt werden.

Die Neigung des Wagenkastens wird durch je zwei Hydraulikzylinder in den Drehgestellen erzeugt, wobei die Führung des Neigevorgangs durch Pendel erfolgt. Hydraulikzylinder und Pendel sind zwischen zwei Wiegebalken im Drehgestell angeordnet, die wiederum über Gummielelemente mit dem Drehgestell und über Luftfedern mit dem Wagenkasten verbunden sind. Die Einrichtungen zur Versorgung der Hydraulik sind vollständig im Unterflurbereich zwischen den Drehgestellen angeordnet.

Die Radsätze in allen Drehgestellen sind radial einstellbar. Hierdurch wird gegenüber starren Radsätzen eine Verringerung der dynamischen Kräfte in Kurven und damit eine geringere Abnutzung von Spurkränzen und Gleisen erzielt.

Die Wagenkastenneigung wird so gesteuert, dass etwa 70% der Zentrifugalkraft kompensiert werden. Der maximale Neigungswinkel beträgt 8°.

