

KARL-HEINZ LINKE, Berlin; HUBERT KÜGLER, Schwabach; REINHARD IMMISCH, Möllbrücke (Kärnten)

Pro und Contra Neigetechnik

Über 25 Jahre Erfahrungen mit der Neigetechnik im Streckennetz der Deutschen Bahn

Der Titel dieses Beitrages benennt das Problem: Es gibt Gründe für den Einsatz von Neigezügen; es gibt aber auch Gegenstände. Der Einsatz ist weniger eine technische Frage, sondern vor allem abhängig vom Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen. Wann und wo rechtfertigt eine Fahrzeitverkürzung den finanziellen und betrieblichen Mehraufwand für Spezialfahrzeuge und Streckenausrüstung, der für den Einsatz von Neigezügen erforderlich wird?

In den Jahren um die Jahrtausendwende wurden verstärkt Untersuchungen angestellt, die praktikable Antworten auf die in der Überschrift gestellte Frage geben sollten. Die damals erzielten Erkenntnisse wurden von den Autoren in einem Beitrag in der Zeitschrift „Der Eisenbahningenieur“ (Heft 11/2007) veröffentlicht. Da sich an der Historie und den technischen Details nichts Wesentliches geändert hat, ist der Artikel als Grundlage für den vorliegenden Beitrag genutzt worden. Darüber hinaus wird hier auf einige aktuelle Entwicklungen eingegangen, die zumindest eine Teilantwort auf die Titelfrage geben.

Erfahrungen mit Neigetechnik

Nach der Einführung der Fahrzeugbaureihe VT 610 auf der Strecke Nürnberg–Bayreuth im Jahre 1992 gab es nunmehr Erfahrungen mit der Neigetechnik im Streckennetz der Deutschen Bahn. Im Folgenden wird die Neigetechnik bewusst nur soweit dargestellt, wie sie zum Verständnis des hier gegebenen Überblicks erforderlich erscheint. Zu weiteren Details wird auf die einschlägigen Veröffentlichungen und Richtlinien der DB AG (siehe Literaturverzeichnis) verwiesen. Es wird ein Überblick zur Geschichte sowie zum aktuellen und zukünftigen Einsatz von NeiTech-Fahrzeugen gegeben, und es werden die Erfahrungen am Beispiel der Sachsen-Franken-Magistrale (Dresden–Hof–Nürnberg) gezeigt, einer der Strecken, die für den Einsatz von Neigetechnik prädestiniert ist.

Was ist Neigetechnik („NeiTech“)? Man versteht darunter eine Technik, bei der die Wagenkästen eines Eisenbahnzuges zur Verringerung der auf den Fahrgast wirkenden Seitenbeschleunigung beim

Bild 1 ICE T ET 411 bei der Ausfahrt aus einem Bogen. Gut zu erkennen sind die verschiedenen Neigungswinkel der einzelnen Wagenkästen. (Foto Sebastian Terfloth, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1860589>)



schnelle(re)n Durchfahren von Gleisbögen geneigt werden können. Durch das Neigen des Wagenkastens während der Kurvenfahrt wird erreicht, dass die auf den Reisenden wirkende Zentrifugalbeschleunigung den vorgegebenen Komfortgrenzwert nicht überschreitet. Zurzeit bestehen zwei grundsätzlich unterschiedliche Konstruktionsausführungen für die Wagenkastenneigung – man unterscheidet zwischen passiver und aktiver Neigetechnik.

Aktive Neigetechnik

Das aktive System beruht auf einer Gleisbogenabhängigen Steuerung des Wagenkastens (GSt). Der Wagenkasten wird gezielt durch pneumatische oder hydraulische Zylinder oder elektrische Servomotoren während der Bogenfahrt zur Kurveninnenseite geneigt. Die Ansteuerung erfolgt über elektronische Regelsysteme sowie eine Sensorik, die im Bereich der ersten bzw. letzten Achse des Zuges liegt. Die Neigung kann bis zu 8° betragen. Die Neigetechnik wird bei den bisher bekannten NeiTech-Fahrzeugen ab einer Geschwindigkeit von 70 km/h aktiviert, dabei muss die Überhöhung oder die Überhöhungsänderung des Gleises mindestens 20 mm betragen. Es gibt unterschiedliche Bauarten von Fahrzeugen mit aktiver Neigetechnik.

Bauart „Pendolino“ (Fiat/Alstom) Das Neigesystem, das von FIAT Ferroviaria (heute Alstom) ursprünglich für die italienischen ETR-Züge entwickelt wurde, kommt auch in Deutschland bei den Baureihen ET 411/415 (ICE T) und der Baureihe VT 610 zum Einsatz. Bei diesem System wird der Neigungswinkel (bis maximal 8°) über hydraulische Zylinder eingestellt. In den Drehgestellen sind Beschleunigungssensoren und Kreisel vorhanden, welche die aktuell wirkende Zentripetalbeschleunigung an die Neigetechniksteuerung melden, die daraus den benötigten Neigungswinkel berechnet. Grundsätzlich sind die Sensoren im führenden Drehgestell ausschlaggebend; für die weiteren Wagen wird der Neigungswinkel und -zeitpunkt aus ihren Daten berechnet.

Bauart „neicontrol-E“ (ADtranz/Bombardier) Das von ADtranz (heute Bombardier) entwickelte System wurde in die Triebwagen der Baureihen VT 611 und 612 eingebaut. Die Neigung erfolgt elektrisch mit Hilfe von Servomotoren. Bei diesem System beträgt der mögliche Neigungswinkel ebenfalls 8°. Vorteil dieser Technik ist, dass für ein Drehgestell jeweils nur ein Motor benötigt wird und dass sie damit wesentlich weniger Platz und Energie verbraucht als die hydraulische Variante. Sie kann im Gegensatz zu den Pendolino-Varianten komplett unterflur untergebracht werden. Neben diesen beiden am weitesten verbreiteten Bauarten der aktiven Neigetechnik gibt es weitere Bauformen, die z. B. speziell für den ICE TD, Baureihe VT 605 von der Firma Siemens oder für den schwedischen X2000 von ADtranz entwickelt wurden.

Wankkompensation Bei der Wankkompensation wird der Wagenkasten nur um ca. 2° geneigt, um das insbesondere durch die Federung bei der Bogendurchfahrt mögliche „Wanken“ des Fahrzeugs nach außen zu kompensieren. Diese Technik wird, wenn die Zulassung für den bogenschnellen Einsatz erteilt ist, bei Doppelstockzügen „TWINDEXX FVDosto“ im Streckennetz der SBB eingesetzt werden.

Bild 2 Parameter für NeiTech-Strecken
(Zusammenstellung Karl-Heinz Linke)

	DB AG	ÖBB	ČD
NeiTech-Geschwindigkeiten :			
[km/h]	$70 \leq V_{\text{NeiTech}} \leq 160$	$70 \leq V_{\text{NeiTech}} \leq 160$	$70 \leq V_{\text{NeiTech}} \leq 160$
nicht ausgeglichene Seitenbeschleunigung in Gleisbögen :			
	R<250m: $300 \text{ mm } \ddot{u}_f$ ¹⁾	R<250m: $0,85 \text{ m/s}^2$ ($\triangleq 130 \text{ mm } \ddot{u}_f$)	R<300m: $240 \text{ mm } \ddot{u}_f$
	R≥250m: $300 \text{ mm } \ddot{u}_f$	R<750m: $1,60 \text{ m/s}^2$ ($\triangleq 245 \text{ mm } \ddot{u}_f$)	R≥300m: $270 \text{ mm } \ddot{u}_f$
		R≥750m: $1,80 \text{ m/s}^2$ ($\triangleq 275 \text{ mm } \ddot{u}_f$)	
nicht ausgeglichene Seitenbeschleunigung in Bogenweichen abhängig von der Schienenform:			
S49 („B“) u. S54 („C“):	$150 \text{ mm } \ddot{u}_f$ ²⁾	$0,65 \text{ m/s}^2$ ($\triangleq 100 \text{ mm } \ddot{u}_f$)	$130 \text{ mm } \ddot{u}_f$ mit beweglicher Herzstückspitze
UIC 60 :	$150 \text{ mm } \ddot{u}_f$	$0,85 \text{ m/s}^2$ ($\triangleq 130 \text{ mm } \ddot{u}_f$) ³⁾	$110 \text{ mm } \ddot{u}_f$ mit fester Herzstückspitze
Höchstgeschwindigkeit (NeiTech) auf Schienen der Form S49 (ÖBB Form „B“):			
	160 km/h	160 km/h ³⁾	160 km/h , aber nur max. $220 \text{ mm } \ddot{u}_f$
maximale Neigung der Überhöhungsrampe :			
	$1 : (6 \times V)$	$1 : (4 \times V)$	$1 : (6 \times V)$ bei gerader Rampe $1 : (4 \times V)$ bei BLOSS-Rampe
Zwangspunkte⁴⁾ :			
	$150 \text{ mm } \ddot{u}_f$	keine Angabe	$130 \text{ mm } \ddot{u}_f$

¹⁾ abhängig von der Fahrzeugzulassung
²⁾ bei S49-Weichen Austausch der Radlenker in S54
³⁾ Voraussetzung: Achslast maximal 17 t, sonst nur $0,65 \text{ m/s}^2$ bzw. 140 km/h
⁴⁾ nach Vorschriften der DB AG und ČD sind **Zwangspunkte**
 – Übergänge zwischen Fahrbahn mit Bettung und Fahrbahn ohne Bettung sowie
 – befestigte Bahnübergänge

Wenn die Neigetechnik genutzt wird, um schneller als für konventionelle Züge (hier „konventionell“ = [Zug] ohne Neigetechnik) zugelassen zu fahren, spricht man vom bogenschnellen Fahren oder vom Fahren mit erhöhter zulässiger Seitenbeschleunigung („ES-Profil“). Fahren NeiTech-Züge mit eingeschalteter Neigetechnik aber nur mit „konventioneller“ Geschwindigkeit (mit Regelseitenbeschleunigung oder im „RS-Profil“) spricht man von „Komfortneigung“, d. h., es wird dabei nur der Komfort gesteigert, indem durch die Neigung des Wagenkastens die auf den Fahrgast wirkenden Querschleunigung auf nahezu Null reduziert wird, der Fahrgast also in den Kurven nichts spürt.

Passive Neigetechnik

Im Gegensatz zu den aktiven Neigesystemen wurde von Talgo (Spanien) ein System entwickelt, beim dem die Wagenkästen über hoch liegende Luftfedern so pendelnd aufgehängt sind, dass ein virtueller Drehpunkt oberhalb des Wagendaches entsteht. Während der Kurvenfahrt schwingt der Wagenkasten aufgrund der Zentrifugalkraft unterhalb dieses Schwerpunktes nach Bogenaußen. Der Neigungswinkel erreicht hier Werte bis $3,5^\circ$. Dieses System kommt ohne Sensorik und Steuerungselemente aus, ist billiger und einfacher als die aktive Neigetechnik, die möglichen Fahrzeitverbesserungen sind dabei aber geringer.

In Deutschland verkehrten einige DB-Nachtzüge mit Talgo-Wagen, die von einer Lokomotive mit konventioneller Geschwindigkeit gezogen werden – für eine angenehme Nachtfahrt steht hier nicht die Reisezeit im Vordergrund, sondern es wird die zuvor beschriebene „Komfortneigung“ genutzt.

Einsatzparameter

Zum bogenschnellen Einsatz der NeiTech-Züge gibt es selbstverständlich Regelwerke. Danach können entweder die ES-Geschwindigkeiten aus den gegebenen Trassenwerten (Istzustand) oder aber ggf. zu ändernde Trassenparameter für die Anpassung an eine Zielgeschwindigkeit (Beseitigung von Geschwindigkeitseinbrüchen) ermittelt werden. Diese Bedingungen (Parameter) sind derzeit bei den einzelnen Bahnverwaltungen noch nicht einheitlich. Die Tabelle (Bild 2) gibt einen Vergleich der wichtigsten NeiTech-Streckenparameter für die aktive Technik zwischen der DB AG, ÖBB und ČD. Die Begrenzung der NeiTech-Geschwindigkeiten auf maximal 160 km/h ist nicht NeiTech-systembedingt. Sie resultiert aus der bei vielen Bahnverwaltungen gültigen Vorschrift, dass bei $V > 160 \text{ km/h}$ eine LZB- oder ETCS-Level 2-Ausrüstung erforderlich wird. Sollen nur Neigezüge schneller fahren, würden dafür unverhältnismäßig hohe Sprungkosten entstehen. Auf entsprechend ausgerüsteten Schnellfahrstrecken wird ein gesondertes Geschwindigkeitsprofil für NeiTech-Züge bisher nicht genutzt.

GNT – Zugsicherungssystem für Neigetechnikzüge

Verkehren Neigezüge bogenschnell, d. h. mit höherer Geschwindigkeit als konventionelle Züge, hat dies Folgen für die Geschwindigkeitsüberwachung. Einerseits müssen bestimmte Funktionen der weiterhin wirksamen standardmäßigen punktuellen Zugbeeinflussung (PZB) außer Kraft gesetzt werden, andererseits muss die höhere Geschwindigkeit weitgehend kontinuierlich überwacht werden. Diese Funktionen übernimmt bei der DB AG die „Geschwindigkeitsüberwachung für NeiTech-Züge“ (GNT) als

Typ	Land / Bahn	Hersteller	Neigetechnik-Typ	Indienststellung	Anzahl ¹	Wagen je Zug	Fzgmasse [t]	Radsatzfahrmasse [t]	Antrieb	V _{max} [km/h]	
Züge mit aktiver Neigetechnik											
ICE T	ET 411 ET 415	BRD / DB	Siemens/Bombardier/ Alstom	Fiat / Pendolino	1999/2005 1999	60 11	7 5	402 298	ca. 16,6 t	elektr.	230
ICE TD	VT 605	BRD / DB	Siemens / Bombardier	Siemens	2000	20	4	232	ca. 16,7 t	diesel- elektr.	200
VT 610		BRD / DB	Siemens/AEG/ABB	Fiat / Pendolino	1992	20	2	95,4	ca. 15,0	diesel- elektr.	160
VT 611		BRD / DB	ADtranz/DWA	ADtranz / neicontrol-E	1996	50	2	116	ca. 15,0	diesel- hydraul.	160
VT 612 „Regioswinger“		BRD / DB	ADtranz/Bombardier	ADtranz / neicontrol-E	1996	192	2	94	ca. 15,3	diesel- hydraul.	160
X 2000		Schweden / SJ	ASEA, ABB	ASEA	1990	52		344	18,25	elektr. Triebkopf	210
Sm3 / S220		Finnland / finn. Staatsb.	Alstom / Transtech	Fiat / Pendolino	1992...2005	18	6			elektr.	220
ETR 470 „Cisalpino“		Cisalpino AG (Bern)	Alstom	Fiat / Pendolino	1996	9	9	798	14,8	elektr.	200
ETR 610		Cisalpino AG (Bern)	Alstom	Fiat / Pendolino	2008	14	7	450		elektr.	250
ETR 490	Alaris	Spanien / RENFE	GEC Alstom/Fiat	Fiat	1998...1999	10	3	171	17,0	elektr.	220
SBB RABDe 500 ICN		Schweiz / SBB	ADtranz / Alstom	Fiat / SIG	1999...2005	44	7	355		elektr.	200
CD 680		ČZ / ČD	Alstom/Siemens	Fiat / Pendolino	2005	7	7			elektr.	200
Class 390		Großbrit./ Virgin Trans	Alstom	Fiat / SIG	2002	53	9			elektr.	201
Class 221		Großbrit./ Virgin Trans	Bombardier	Bombardier	2002	44 Wg.	4...5			diesel	200
IC4		Dänemark / DSB	Ansaldobreda	Fiat / Pendolino	<i>offen</i>	83	4			diesel- elektr.	200
Züge mit passiver Neigetechnik											
Talgo	IC-Night	BRD / DB- NachtZug	Talgo	Talgo	1994	112 Wg.	var.	12-14 ³	12-14	Zuglok	140
Talgo	Pendular ²	Spanien / RENFE	Talgo	Talgo	1980	1111 Wg.	var.	12-14 ³	12-14	Zuglok	160 -250
Talgo 350		Spanien / RENFE	Talgo / Bombardier	Talgo	2005	552 Wg.	12	14 ³	17,0 ⁴	2 Triebk.	330
Talgo 250		Spanien / RENFE	Talgo	Talgo	im Bau	440 Wg.	11	14 ³	18,0 ³	Triebkopf	250
(die Angaben zur Indienststellung/Inbetriebnahme und zu den Fahrzeugmassen differieren zwischen in einigen Quellen)											
¹ wenn nicht der Zusatz Wagen (Wg.) angegeben, handelt es sich um die Anzahl Triebzüge											
² Serien 4...7											
³ Masse eines (Zwischen-)Wagens											
⁴ Triebkopf											

Bild 3 Fahrzeuge mit Neigetechnik in Deutschland sowie eine Auswahl anderer europäischer Eisenbahnen

(Zusammenstellung Karl-Heinz Linke)

zusätzliche Zugbeeinflussung. Die Informationen für die GNT werden über Balisen (auf den ersten Strecken noch über Gleiskoppelpulen) zu den Antennen der Fahrzeuggeräte übertragen und beinhalten die notwendigen Werte, die das Steuergerät des Triebfahrzeuges zur kontinuierlichen Geschwindigkeitsüberwachung des Zuges im nächsten Streckenabschnitt benötigt. Bei Überschreiten der zulässigen Geschwindigkeit oder Störungen an der Neigetechnik und Ignorierung der Warnmeldungen durch den Triebfahrzeugführer wird der Zug zwangsweise auf eine zulässige Geschwindigkeit abgebremst. Ausführlicher soll an dieser Stelle nicht auf weitere technische Details bzw. Vorschriften eingegangen werden. Es wird hierzu auf die bereits erschienen Veröffentlichungen bzw. Richtlinien verwiesen (siehe Literaturverzeichnis).

Geschichte und Entwicklung der Neigetechnik

Der überwiegende Teil der Eisenbahnstrecken wurde Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts gebaut. Um eine kostengünstige und flächendeckende Erschließung zu erzielen, wurde durch weit-

gehende Anpassung der Trasse an die vorhandene Geländestruktur auf größere Erdbewegungen und Baumaßnahmen verzichtet. Es entstanden vor allem in Mittelgebirgen und Flusstälern bogenreiche Strecken, deren enge Gleisbögen nur geringe Geschwindigkeiten zulassen und die damit bald nicht mehr den Verkehrsbedürfnissen genügen. Die Konkurrenzfähigkeit zu den Mitbewerbern im Verkehrsmarkt fordert höhere Geschwindigkeiten zur Erzielung kürzerer Reisezeiten für optimierte Fahrpläne sowie günstige Fahrpreise und bequeme Fahrzeuge. Um ohne kostenaufwändige Umtrassierungen oder Neubauten vorhandene Strecken unter diesen Bedingungen weiter zu nutzen oder auch direkt mit einem neuen Netz mit höheren Geschwindigkeiten zu verknüpfen, wird die Neigetechnik eingesetzt.

Erste Versuche mit Neigetechnikwagen gab es bereits in den 1940er Jahren in den USA. Nach dem Zweiten Weltkrieg begannen Versuche mit NeiTech-Zügen u. a. in Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Schweden und Spanien. Die Experimente mit Neigetechnikzügen in Deutschland ab 1965 mit einer aktiven,