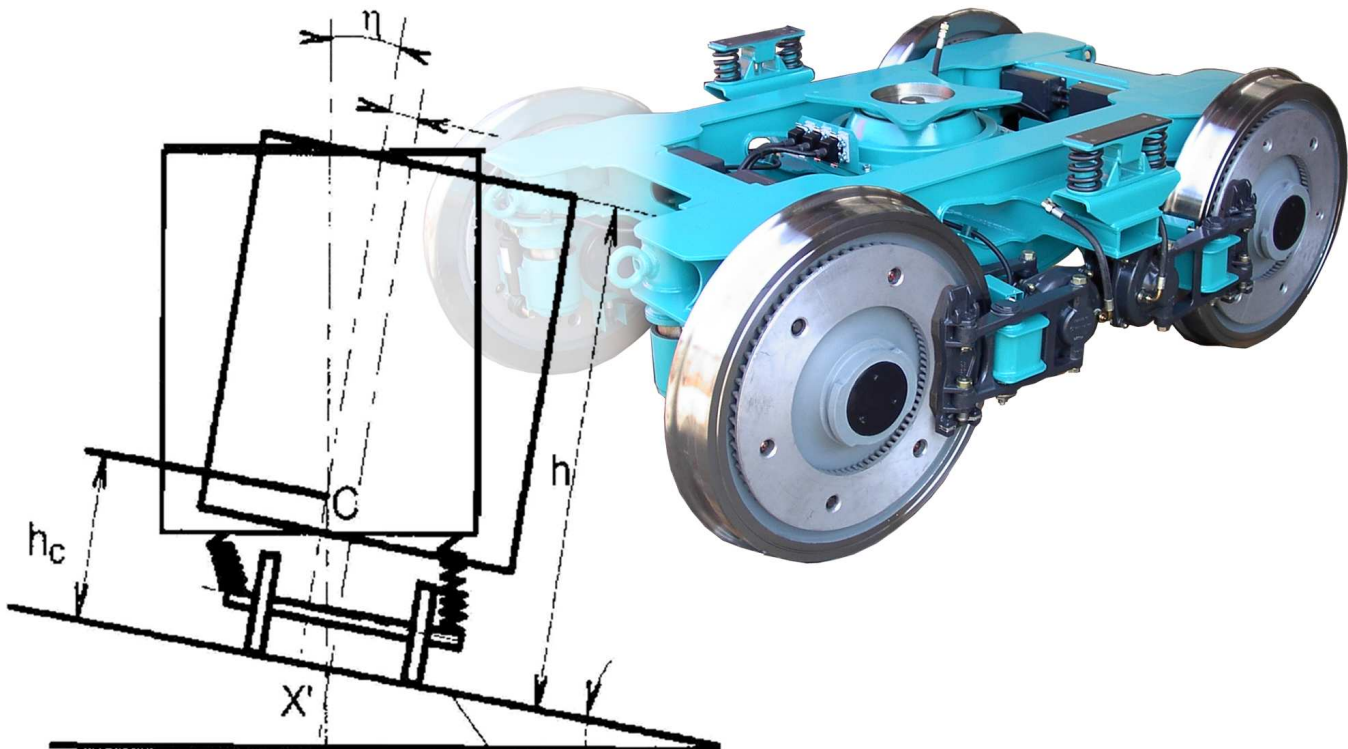


Bericht Nr. 15/2005
LEILA-DG
Untersuchung des Wankverhaltens versus Y25
(Einhaltung der Fahrzeugbegrenzungslinie)



Bearbeitet von: Prof. Dr.-Ing. Markus Hecht
Dipl.-Ing. Johannes Keudel

Stand: Juli 2005

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zusammenhang	1
1.2	Koordinatensystem	2
2	Anschlagmaße und Wankverhalten	3
2.1	Anschlagmaße	4
2.2	Wank- und Querverschiebungsverhalten	6
3	Zusammenfassung und Fazit	9
A	Literaturverzeichnis	11

Symbol	Beschreibung	Zusammenhang
a^*	Halber Drehzapfenabstand	Allgemeine Fahrzeugparameter
a^+	Halber Achsstand im Drehgestell	Allgemeine Fahrzeugparameter
s_z	vertikale Einsenkung Primärfesselung	Allgemeine Fahrzeugparameter
s_y	laterale Auslenkung Primärfesselung	Allgemeine Fahrzeugparameter
s_x	longitudinale Auslenkung Primärfesselung	Allgemeine Fahrzeugparameter
c_{t^+}	Verwindungssteifigkeit des Fzg-Aufbaus	Allgemeine Fahrzeugparameter
z_3	Maß für Vertikal-Spiel der Primärfesselung nach DB AG [1]	Allgemeine Fahrzeugparameter
s_w	Stützweite	Allgemeine Fahrzeugparameter
b^+	Halber Querabstand der Primärfedern	Allgemeine Fahrzeugparameter
b_A	Halber Querabstand der (Nenn-)Radaufstandspunkte	Allgemeine Fahrzeugparameter
D	Dämpfungsgrad	Allgemeine Fahrzeugparameter
d^+	Dicke der Beilage für Drehgestellverwindung	Zulassung / Prüfverwindung
d^*	Dicke der Beilage für Fahrzeugverwindung	Zulassung / Prüfverwindung
g^*	Prüfverwindung des Fahrzeugaufbaus	Zulassung / Prüfverwindung
g^+	Prüfverwindung des Drehgestells	Zulassung / Prüfverwindung
r_B	Bogenradius	Trassierung
g	Steigung der Gleisverwindung	Trassierung
u	(ausgeführte) Überhöhung	Trassierung
u_f	Überhöhungsfehlbetrag	Trassierung
a_q	Freie Seitenbeschleunigung	Trassierung
g_{erd}	Gravitationsbeschleunigung	Trassierung
v	Fahrgeschwindigkeit	Trassierung
$\underline{\bar{e}}^{ia}$	Koppelementhilfsbasis am Körper i	MEDYNA
$\underline{\bar{e}}^{ja}$	Koppelementhilfsbasis am Körper j	MEDYNA
sp_w	Spurweite	Rad/Schiene-Kontakt
e_0	Halber Messkreisabstand	Rad/Schiene-Kontakt
μ_{rs}	Reibungskoeffizient zwischen Rad und Schiene	Rad/Schiene-Kontakt
Q	Vertikalkraft zwischen Rad und Schiene	Rad/Schiene-Kontakt
Y	Horizontalkraft zwischen Rad und Schiene	Rad/Schiene-Kontakt
T_x	Längsschlupfkraft	Rad/Schiene-Kontakt
T_y	Querschlupfkraft	Rad/Schiene-Kontakt
Δz_{rad}	Radanhebung	Rad/Schiene-Kontakt
gp_{AL-DGy}	Laterales Spiel (gap) AL-Gehäuse - DG-Rahmen	Y25 Drehgestell
μ_{HK}	Reibungskoeffizient Halbkugelgelenk	Allg. Drehgestell-Parameter
μ_{GS}	Reibungskoeffizient Gleitstück	Allg. Drehgestell-Parameter
r_{Ku}	Kugelradius der Drehpfanne	KE91 - Drehpfanne
μ_{HK}	Reibungskoeffizient Drehpfanne	KE91 - Drehpfanne

Tabelle 1: Verwendete Formelzeichen und Symbole

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Zusammenhang

Ziel dieser Arbeit ist es, die Einhaltung der Fahrzeugbegrenzungslinie für mit LEILA-DG ausgerüstete Güterwagen zu untersuchen. Dieser Nachweis muss entsprechend dem UIC Merkblatt 505-1 [2] zunächst prinzipiell für jede Güterwagenbauart individuell durchgeführt werden und schließt neben der rein statischen Betrachtung der Geometrie auch alle quasistatischen Verschiebungen sowie das Wanken bis zu einem Überhöhungsfehlerbetrag von $u_f = 50$ mm mit ein. Da das Konzept von LEILA-DG unter anderem die volle Migrationsfähigkeit zum herkömmlichen Güterwagen Y25 zum Ziel hat [3], darf LEILA-DG gegenüber dem Y25 bei selber Seitenbeschleunigung maximal das selbe Wank- und Querverschiebungsverhalten aufweisen. Somit kann für Güterwagenbauarten, die bereits mit dem Laufwerk Y25 zugelassen sind, die Untersuchung auf Einhaltung der Fahrzeugbegrenzungslinie beim Einsatz von LEILA-DG als Vergleichsrechnung zum Y25 unabhängig von der Fahrzeuggeometrie vollzogen werden.

Um das quasistationäre Wank- und Querverschiebeverhalten zu untersuchen, wird das Fahrzeug wie auch der Fahrweg in einem Mehr-Körper-System (MKS) durch entsprechende Modellierung abgebildet. Das dieser Untersuchung zugrunde liegende MKS-Modell der LEILA-DG-Wagen sowie des Fahrwegs inklusive der im Modell hinterlegten Kennlinien und Massen der einzelnen Komponenten etc. ist in KEUDEL [4] umfassend dargelegt. Die Modellierung des Y25 ist in KEUDEL [5] auf Basis von umfangreichen Messungen dokumentiert.

1.2 Koordinatensystem

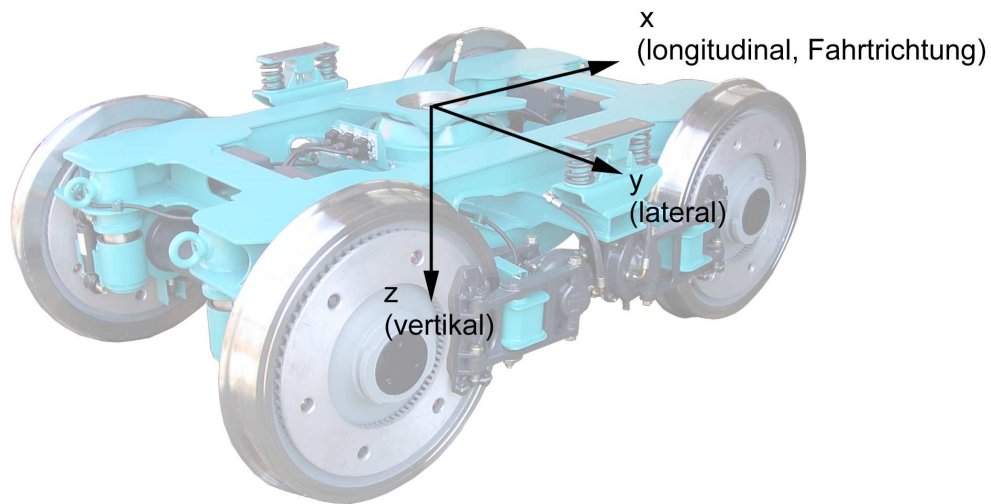


Abbildung 1.1: Allgemeines Koordinatensystem

Die Abbildung 1.1 zeigt das allgemeine Koordinatensystem (Referenzsystem) der vorliegenden Arbeit. Wie für Betrachtungen von Schienenfahrzeugen gebräuchlich, zeigt die X-Achse in Fahrtrichtung und die Y-Achse quer zur Fahrtrichtung nach rechts, so dass der Z-Achse im Rechtssystem die Ausrichtung nach vertikal unten verbleibt.

Kapitel 2

Anschlagmaße und Wankverhalten

Grundsätzlich muss jeder (international verkehrende) Wagen die kinematische Fahrzeugbegrenzungslinie entsprechend dem Merkblatt UIC 505-1 [6] einhalten. Soweit die konstruktiven Steifigkeiten des Fahrzeugs nicht in jeder Betriebssituation das Einhalten der Begrenzungslinie sicherstellen können, müssen entsprechende Anschläge zum Eingriff kommen und ein Überschreiten der Begrenzungslinie verhindern.

Aufgrund der Vielzahl von Wagentypen, die sich insbesondere im geometrischen Querschnitt und Grundriss (Aufbauabmaße) sowie ihrer Schwerpunkt- respektive Wankpol-Lage unterscheiden, kann der für ein Drehgestell zulässige Wankwinkel bzw. die Querverschiebung des Wagenkastens nicht allgemeingültig sondern nur für jeden Wagentyp individuell angegeben werden.

Bisherige Fahrzeuge nutzen die zur Verfügung stehende kinematische Fahrzeugbegrenzungslinie zum Teil schon statisch nahezu erschöpfend aus¹, so dass hier wenig Auslegungsspielraum besteht.

Vor dem Hintergrund der Migrationsfähigkeit sind daher beim Einsatz von LEILA-DG keine größeren Wankwinkel oder Querverschiebungen als bei bestehenden Laufwerken zuzulassen. Das im europäischen Raum dominant verbreitete Laufwerk ist das Drehgestell Y25, für das die Charakteristik der Primärfesselung durch Messungen am FG Schienenfahrzeuge der TU Berlin [5] vergleichsweise genau bekannt ist.

¹z.B. Vergleich DB AG MERKBUCH GÜTERWAGEN [7] versus UIC 505-1 [6]

Im Sinne der Migrationsfähigkeit sind also einerseits die Querverschiebung sowie andererseits die Wankbewegung des LEILA-DG mit denen des Y25 zu vergleichen und geeignet durch Anschläge zu begrenzen.

2.1 Anschlagmaße

Die wesentlichen Unterschiede zwischen LEILA-DG und dem Y25 bestehen in Bezug auf das potenzielle Wankverhalten in der Primärfesselung. Hier erfordert die Innenlagerung von LEILA-DG gegenüber dem außengelagerten Y25 hinsichtlich des Wankverhaltens deutlich größere Vertikalsteifigkeiten². Der vertikalen Einsenkung ist nach Erschöpfen des sogenannten z_3 -Maßes von 32 mm [4] ein metallischer Anschlag überlagert.

Das Wankverhalten des LEILA-DG (wie auch des Y25) lässt sich allerdings nicht durch vertikale Anschläge in der Primärfesselung über die Regulierung des z_3 -Maßes begrenzen: Kommt der Anschlag auf einer Seite zum Eingriff, kann die andere „*schwebende*“ Seite trotzdem ausfedern. Bei nahezu identischem Wankwinkel verlagert sich dabei lediglich der Wankpol lateral aus der Fahrzeugmitte in Richtung des Anschlags. Daher ist es sinnvoll, die notwendige Begrenzung des Wankwinkels durch Einstellung der Anschlagmaße in der Sekundärfesselung zu vollziehen. Dies bietet zudem den Vorteil, bei Bedarf je Wagentyp und seiner Ausnutzung des verfügbaren Lichtraumprofils das Spiel der Gleitstücke kostengünstig individuell einstellen zu können.

Während das Nennmaß des vertikalen Gleitstückspiels beim Y25 12 mm beträgt, wird das obere Werksgrenzmaß in ÖBB DB 662 [10, S. 25] mit $12 + 4 = 16$ mm angegeben. Der bei Erreichen dieses Werksgrenzmaßes mögliche Rollwinkel bei Verwendung des Y25 stellt somit das Limit für Vergleichsrechnungen dar.

In Hinblick auf die maximale Querverschiebung des Fahrzeugaufbaus ist zunächst das laterale Nennspiel der Primärfesselung des Y25 von ± 10 mm zu betrachten. Das Werksgrenzmaß der Lateralansschläge im Lagergehäuse beträgt nach DB AG DS98404 [11, Anhang 2, 2.17] 163 mm gegenüber dem Nennzustand von 163 mm. Das Werksgrenz-

²Da die Gummimetallemente der Primärfederung gegenüber der nachteiligen Reibungsdämpfung vom Y25 [5] wie auch blattgefederten Schakenlaufwerken [8, 9] keine reibungsbedingte Versteifung bei geringen Kraftamplituden aufweisen, ist das Laufverhalten durch die steifen Gummifedern aber nicht negativ beeinflusst!

maß für den Innenabstand der Radsatzlagerführungen in Querrichtung im Drehgestellrahmen beträgt nach DB AG DS98403 [1, Anhang 4.1, Seite 207] 1860 mm gegenüber dem Nennzustand 1857 mm. Damit ergibt sich das bei Erreichen beider Werkgrenzmaße maximal mögliche Querspiel der Lagergehäuse gegenüber dem Drehgestellrahmen

$gp_{AL-DGy_{max}}$ zu

$$gp_{AL-DGy_{max}} = 10 + 0.5 \cdot (165 - 163) + 0.5 \cdot (1860 - 1857) = 12.5 \text{ mm} \quad (2.1)$$

Dieser maximale Wert ist auf die Werksgrenzmaße der primären und sekundären Anschlagspiele des LEILA-DG aufzuteilen, um die Migrationsfähigkeit zu gewährleisten. Dabei ist zu bedenken, dass dieses Maß eventuell aus Gründen der Lebensdauer bzw. Überlast des Gummiwerkstoffs seitens des Federherstellers weiter verringert werden muss.

Während für das Y25 selten Schleifspuren an den lateralen Reibpaarungen auszumachen sind, die auf Kontakt der Anschläge während des Regelbetriebs hindeuten würden, ist dies aufgrund der konstruktiven Steifigkeiten für das LEILA-DG ebenfalls nur in Ausnahmefällen zu erwarten. Dementsprechend ist beim LEILA-DG auch nahezu kein Verschleiß in den Anschlägen zu erwarten. Folglich kann das gesamte zur Verfügung stehende Querspiel von $gp_{AL-DGy_{max}} = 12.5 \text{ mm}$ als Nennmaß den LEILA-DG-Komponenten zugeteilt werden. Gemäß dem aktuellen Konstruktionsstand erfolgt die Aufteilung wie folgt

[4]:

Primärfesselung lateral :	± 10.0 mm
Sekundärfesselung horizontal (längs+quer):	$R = 2.5$ mm

2.2 Wank- und Querverschiebungsverhalten

Das Wank- und Querverschiebungsverhalten wird anhand quasistatischer Simulationsrechnungen für die langsame Fahrt in der Geraden bei Variation der Überhöhung respektive der freien Seitenbeschleunigung untersucht. Dabei wird mit einem beladenen Kesselwagenaufbau ein Fahrzeug mit höchstem Schwerpunkt zugrunde gelegt, so dass jeder andere Güterwagen bei selber Seitenbeschleunigung mutmaßlich einen geringeren Wankwinkel aufzeigt.

Die Abbildung 2.1 zeigt in Abhängigkeit der freien Seitenbeschleunigung die Wankwinkel des Fahrzeugaufbaus für LEILA-DG und das Y25.

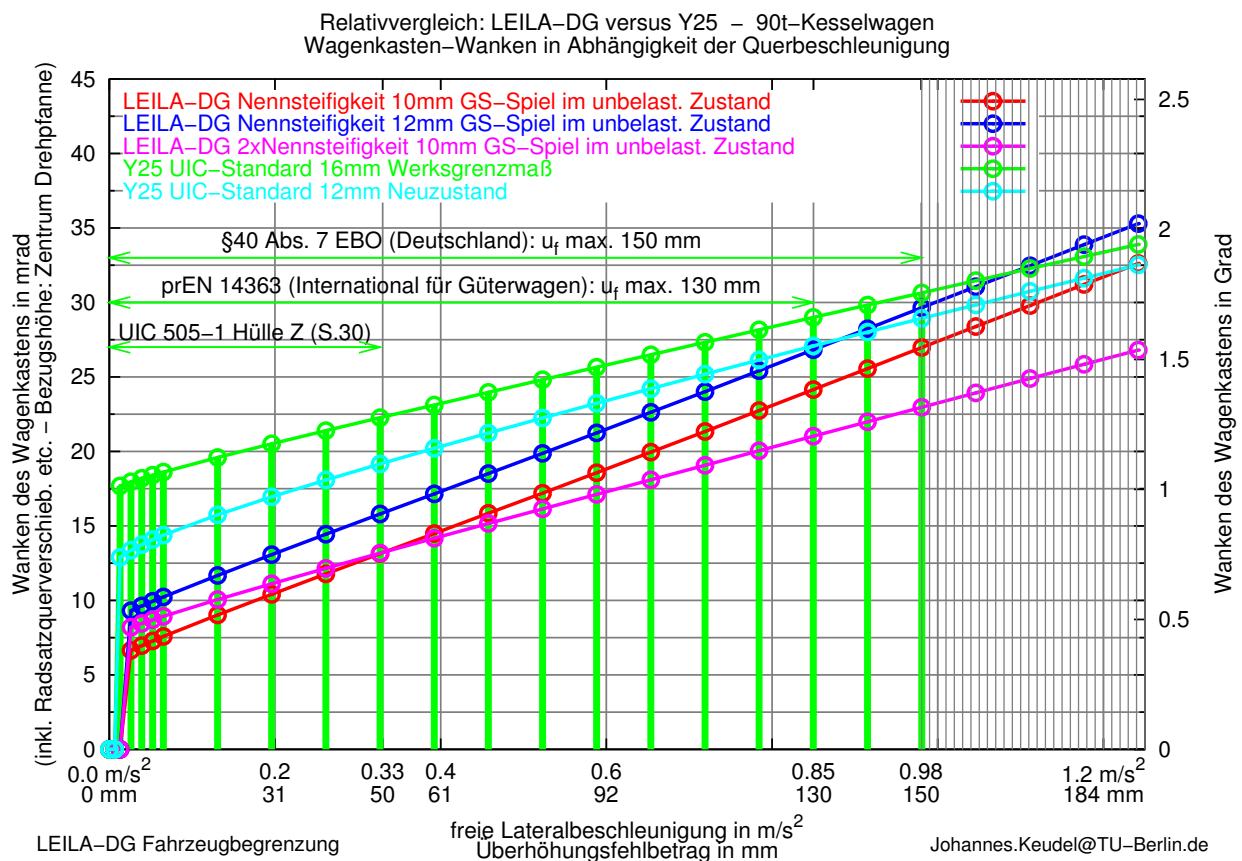


Abbildung 2.1: Wankverhalten LEILA-DG im Vergleich zu Y25

In der Abbildung 2.1 sind zunächst die Geltungsbereiche der zu berücksichtigenden Überhöhungsfehlbeträge nach EBO [12], PREN 14363 [13] sowie nach UIC 505-1 [2] vermerkt. In grün ist das stets einzuhaltende Wankverhalten des Y25 bei Erreichen des

Werksgrenzmaßes im vertikalen Gleitstückspiel angetragen. Der cyan-farbige Verlauf ergibt sich für das Y25 bei Nennmaß im vertikalen Gleitstückspiel von 12 mm. Wie der blaue Verlauf zeigt, überschreitet das LEILA-DG-Fahrzeug bei 12 mm Gleitstückspiel sowie Gummi-Nennsteifigkeiten ab 130 mm Überhöhungsfehlbetrag die Werte des nennmäßigen Y25, wobei die Wankbewegung aber unterhalb des grün gekennzeichneten Werksgrenz-Wankens vom Y25 verbleibt. Der in rot gehaltene Verlauf des LEILA-DG-Wankverhaltens bei 10 mm vertikalem Gleitstückspiel sowie Gummi-Nennsteifigkeit verläuft bis zur maximalen Anforderung von einem Überhöhungsfehlbetrag von 150 mm jederzeit unterhalb des cyan-farbenen Verlaufs vom Y25. Bei einer potenziellen Verdopplung der Gummisteifigkeit infolge Alterung und Temperatureinfluss zeigt der magenta-farbige Verlauf für 10 mm vertikales Gleitstückspiel sogar eine deutliche Reserve gegenüber dem Wanken des Y25 auf.

Die Ergebnisse der Abbildung 2.1 lassen also den Schluss zu, dass die derzeitige Steifigkeitsabstimmung sowie auch die gewählten vertikalen Anschlagmaße des LEILA-DG gegenüber dem Y25 ausreichend Wanksteifigkeit bietet. Zudem zeigt sich ein weiterer Spielraum zur Verringerung des Wankwinkels durch wagentyp-individuelle Änderung des Gleitstückspiels, falls dies z.B. aus Gründen der vorzuhaltenden Verschleißmaße der Gleitplatten für ausreichende Standzeiten notwendig sein sollte. Ein Betriebs- wie auch Werksgrenzmaß für das vertikale Gleitstückspiel muss in Abhängigkeit des einzuhaltenen Überhöhungsfehlbetrags sowie den geforderten Standzeiten zusammen mit einem zukünftigen Betreiber festgelegt werden.

Wie die Abbildung 2.2 zeigt, verbleibt die Querverschiebung des Fahrzeugaufbaus (auf Höhe des Drehfannenzentrums) gegenüber der Schiene für ein Fahrzeug mit LEILA-DG stets bei kleineren Werten, als dies bei einem Wagen mit Y25-Drehgestellen der Fall ist.

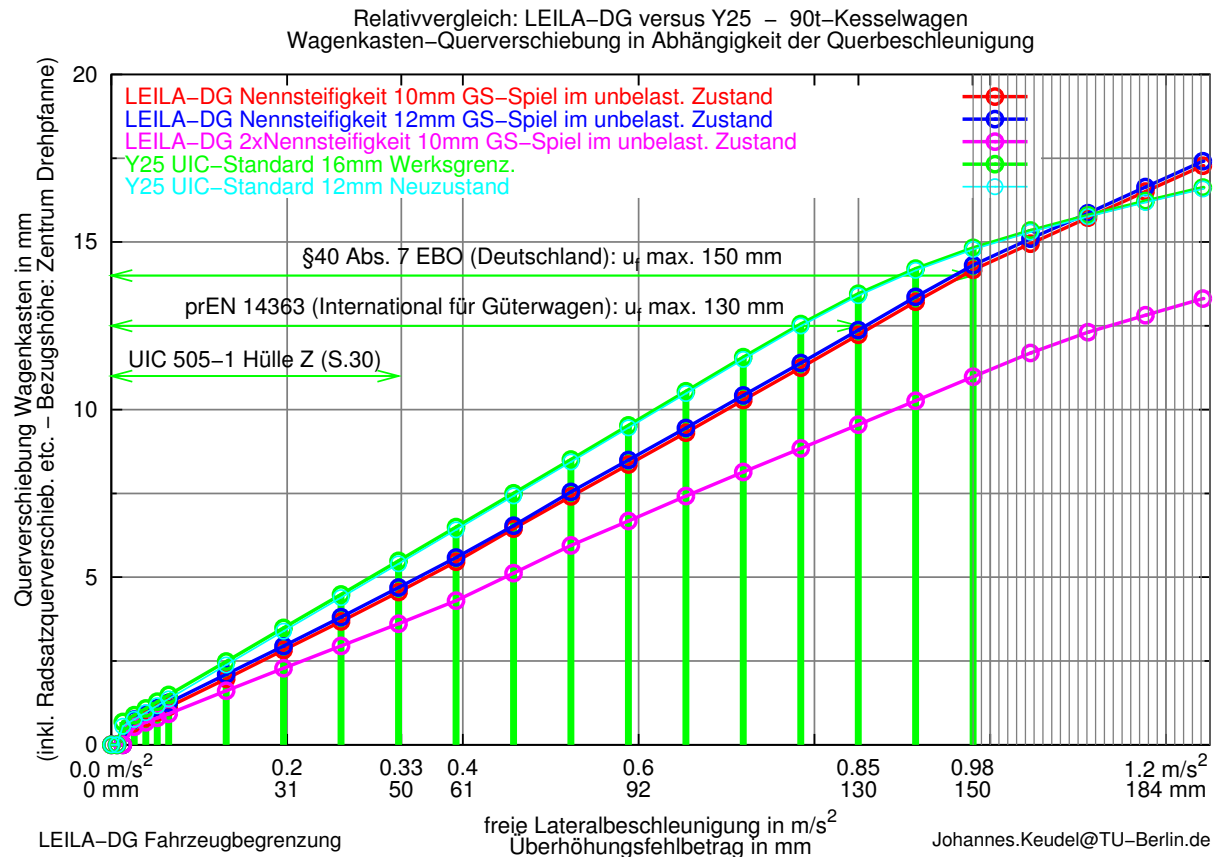


Abbildung 2.2: Lateralverschiebung LEILA-DG im Vergleich zu Y25

Die konstruktiv vorgesehenen Steifigkeiten (Gummifederung) reichen also aus, um hinsichtlich der Lateralverschiebung die Einhaltung der kinematischen, quasistatischen Fahrzeugbegrenzungslinie sicherzustellen. Zur Sicherheit zum Beispiel bei Federversagen oder nicht vorhersehbaren Betriebseinflüssen sind trotzdem auch in lateraler Richtung Anschläge vorzusehen, die maximal die Querbewegung des Y25 zulassen (s. Abschnitt 2.1).

Kapitel 3

Zusammenfassung und Fazit

Ausgehend von der Fragestellung nach dem Wankverhalten von mit LEILA-DG ausgerüsteten Fahrzeugen, lassen sich folgende Erkenntnisse aus der vorliegenden numerischen Simulation zusammenfassen:

Die Limitierung des vertikalen Gleitstückspiels erweist sich als die sinnvollste Methode, um das Wankverhalten des Fahrzeugaufbaus zu begrenzen. Bei einem vertikalen Gleitstückspiel des LEILA-DG-Wagens von 10 mm im unbelasteten Zustand treten unabhängig vom Fahrzeugtyp und der freien Seitenbeschleunigung gegenüber dem Nennzustand des UIC-Standarddrehgestells Y25 stets kleinere Wankwinkel auf. Ebenso verbleibt die Querverschiebung des Fahrzeugaufbaus (auf Höhe des Drehpfannenzentrums) gegenüber der Schiene stets unterhalb der des Y25-Wagens. In Hinblick auf die Einhaltung der Fahrzeugbegrenzungslinie kann das LEILA-DG somit als migrationsfähig gegenüber dem Y25 bezeichnet werden.

Ein Betriebs- und Werksgrenzmaß für das vertikale Gleitstückspiel ist in Abhängigkeit der geforderten Standzeiten sowie der zugrunde zu legenden Anforderung hinsichtlich des Überhöhungsfehlbetrages gemeinsam mit künftigen Betreibern festzulegen.

Berlin, den

Prof. Dr.-Ing. M. Hecht

Dipl.-Ing. J. Keudel

Literaturverzeichnis

- [1] DEUTSCHE BAHN AG: *Richtlinie DB AG 984 03: Güterwagen und Container instandhalten - Drehgestelle*. Geschäftsbereich Werke, TRF-Geschäftsstelle, Werkstättenstr. 8, 04439 Engelsdorf, Januar 1995.
- [2] UIC: *Eisenbahnfahrzeuge - Fahrzeugbegrenzungslinien*. UIC Kodex 505-1 9, UIC - Internationaler Eisenbahnverband, Paris, November 2003.
- [3] SELIGER, GÜNTHER, JÜRGEN SIEGMANN, MARKUS HECHT, ULRICH KROSS, PETER DANZER und JOHANNES KEUDEL: *Wettbewerbsvorsprung dank Leila*. Güterbahnen, 2:18–26, 2003.
- [4] HECHT, M. und J. KEUDEL: *LEILA-DG - Dokumentation zum MKS-Modell (inkl. Kesselwagen + Hupac Taschenwagen T.4) - Komponenten, Kennlinien + Massenbilanz - Statische Kräfte und Einsenkungen*. Technischer Bericht 30/2004, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge, Sek. SG14, Salzufer 17-19, 10587 Berlin, Juni 2005.
- [5] KEUDEL, J.: *Messung der Charakteristik der Primärfesselung eines Güterwagendrehgestells der Bauart Y25 und deren Implementierung in ein MKS-Modell für die Simulationssoftware MEDYNA*. Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge, Sek. SG14, Salzufer 17-19, 10587 Berlin, März 2003. G53.18.1 1, Uni-Bib.:Abt. Schiffs- u. Meerestechnik.
- [6] UIC: *Eisenbahnfahrzeuge - Fahrzeugbegrenzungslinien*. UIC Kodex 505-1, UIC - Internationaler Eisenbahnverband, Paris, Januar 1993.
- [7] DB SYSTEMTECHNIK TZF 31, FACHAUTOR:PRASHUHN, E.: *DS 939 05: Merkbuch für Schienenfahrzeuge - Güterwagen und Ladeeinheiten - Band 1 und 2*. Deut-

sche Bahn AG, Druck und Informationslogistik der Deutschen Bahn, Kriegsstraße 1, 76131 Karlsruhe, Januar 2001.

- [8] HECHT, M., A. SCHIRMER und J. KEUDEL: *Messung der vertikalen und der longitudinalen Kraft-Weg-Kennlinien einer Blattfeder mit Langschakengehänge (in Bearbeitung)*. Technischer Bericht 31/2002, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge, Sek. SG14, Salzufer 17-19, 10587 Berlin.
- [9] JÖNSSON, PER-ANDERS und EVERT ANDERSSON: *Influence of link suspension Characteristics on freight wagon lateral dynamics*. In: *Proceedings of the 6th international conference on railway bogies and running gears - Bogie 04*. Department of Railway Vehicles, Budapest University of Technology and Economics, Zobory, I.
- [10] ÖBB : *Güterwagen betriebsfähig erhalten - DB 662*. Österreichische Bundesbahnen ÖBB, Juni 2001.
- [11] *Richtlinie DB AG 984 04: Radsätze und Radsatzlager instandhalten - Güterwagen-, Rzwg- und ICE- Mittelwagenradsätze*. Deutsche Bahn AG, Geschäftsbereich Werke, TRF-Geschäftsstelle, Werkstättenstr. 8, 04439 Engelsdorf, Oktober 1999.
- [12] *Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO)*. Dezember 1993.
- [13] NORMENAUSSCHUSS SCHIENENFAHRZEUGE: *DIN prEN 14363:2002 - Prüfung für die fahrtechnische Zulassung von Schienenfahrzeugen*. Deutsches Institut für Normung, November 2002.