

Dipl.-Ing. Carsten Bußmann, Berlin

# **Vergleich von Theorien zum quasistatischen Bogenlauf und ihre Verifizierung durch Versuche mit dem ICE**

Reihe **12**: Verkehrstechnik/  
Fahrzeugtechnik

Nr. **338**

*ZVK<sup>oe</sup>*

*HLuHB Darmstadt*



*14006990*

---

## Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen, Indizes, Koordinatensystem und Darstellungsarten .....	IX
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Übersicht über den Stand der Erkenntnisse zu fahrdynamischen Berechnungen allgemein und zu Berechnungen zum quasistatischen Bogenlauf im Besonderen .....</b>	<b>3</b>
2.1 Der heutige Stand der rechnerischen Behandlung allgemeiner fahrdynamischer Probleme .....	3
2.1.1 Lineare und nichtlineare Betrachtungsweise .....	5
2.1.2 Übliche nichtlineare Berechnungsfälle .....	6
2.1.2.1 Das nichtlineare Stabilitätsverhalten .....	6
2.1.2.2 Das nichtlineare Störverhalten .....	9
2.1.2.3 Das nichtlineare Führverhalten .....	10
2.2 Die historische Entwicklung der Berechnungsmethoden zum quasistatischen Bogenlaufverhalten bis zum heutigen Zeitpunkt .....	12
2.3 Die Beschreibung der Kontaktmechanik für fahrdynamische Berechnungen .....	13
<b>3 Die Fragestellung und Zielsetzung der vorliegenden Arbeit .....</b>	<b>16</b>
<b>4 Überblick über bisher eingesetzte Verfahren zur Bogenlaufberechnung .....</b>	<b>17</b>
4.1 Das Verfahren zur Bogenlaufberechnung nach Uebelacker/Vogel und Heumann .....	18
4.1.1 Das ursprüngliche Verfahren von Heumann .....	18
4.1.2 Das Verfahren nach Heumann in modifizierter Form .....	24
4.2 Das Berechnungsverfahren zum Bogenlauf von Boocock .....	36
4.2.1 Grundlagen der Theorie .....	36
4.2.2 Ergebnisse für ein Fahrzeugmodell .....	37
4.3 Berechnung des dynamischen Bogenlaufs .....	40
<b>5 Die quasistatische Bogenlaufberechnung in MEDYNA</b>	
5.1 Die Ermittlung der Rad/Schiene-Kontaktkräfte .....	42
5.2 Der Algorithmus zur Findung einer quasistatischen Gleichgewichtslage im Gleisbogen .....	45
5.3 Berechnungsergebnisse für ein Fahrzeugmodell .....	47

<b>6 Vergleich der Ergebnisse aus Berechnungen mit den Verfahren nach Heumann, Boocock und MEDYNA</b> .....	49
6.1 Vergleich der Ergebnisse aus Berechnungen von Boocock mit denen von MEDYNA .....	50
6.2 Vergleich der Ergebnisse von Heumann mit denen der in MEDYNA enthaltenen Programmmodule zur Bogenfahrberechnung .....	54
6.2.1 Die Ergebnisse für die ausgeglichene Bogenfahrt .....	56
6.2.2 Die Ergebnisse für unausgeglichene Bogenfahrt .....	68
6.2.2.1 Vorderer Radsatz .....	69
6.2.2.2 Hinterer Radsatz .....	70
6.2.3 Die Ergebnisse für unterschiedlich wendesteife Radsatzanbindungen bei ausgeglichener Bogenfahrt .....	87
<b>7 Reale Rad- und Schienenprofile und ihre Verwendung für Bogenlaufberechnungen</b> .....	92
7.1 Rad- und Schienenprofile und kontaktgeometrische Größen .....	92
7.1.1 Die Darstellung gemessener Rad- und Schienenprofile durch Splinefunktionen .....	93
7.1.2 Die Ermittlung von Geometriefunktionen mit geglätteten Profilen .....	95
7.2 Die Anwendung von RSPROF und RSGEO .....	96
7.2.1 Die Anwendung von RSPROF auf reale Profile .....	96
7.2.2 Die Anwendung von RSGEO auf reale Rad/Schiene Profilkombinationen .....	98
7.3 Vergleich und Beurteilung von Schienenprofilen im Verlauf eines Gleisbogens .....	98
<b>8 Beispielrechnungen für verschiedene Bogenfahrsituationen</b> .....	113
8.1 Die Fahrzeugmodellierung .....	113
8.2 Die durchgeführten Berechnungen .....	115
8.3 Die Ergebnisse der Modellberechnungen für verschiedene Bögen .....	116
8.3.1 Die Ergebnisse für die Profilpaarung S1002/UIC60 mit unterschiedlichen Spurweiten .....	119
8.3.2 Die Ergebnisse für die Profilpaarung S1002/UIC60 mit elastischen Schienen .....	122

8.3.3	Die Ergebnisse für unterschiedliche Profilabzeichnungen des Jahres 1987 .....	125
8.3.3.1	Ergebnisse für den 698m Bogen .....	163 / A
8.3.3.2	Ergebnisse für den 462m Bogen .....	125
8.3.3.3	Ergebnisse für den 454m Bogen .....	166 / A
8.3.3.4	Ergebnisse für den 464m Bogen .....	128
8.3.3.5	Ergebnisse für den 451m Bogen .....	169 / A
8.3.3.6	Ergebnisse für den 1174m Bogen .....	172 / A
8.3.4	Die Ergebnisse für Profilabzeichnungen der Jahre 1987 und 1989 im Vergleich .....	131
8.3.4.1	Ergebnisse für den 698m Bogen .....	175 / A
8.3.4.2	Ergebnisse für den 462m Bogen .....	131
8.3.4.3	Ergebnisse für den 1174m Bogen .....	178 / A
<b>9</b>	<b>Meßtechnik, Auswertung und Meßergebnisse durchgeführter Bogenlaufmessungen .....</b>	<b>134</b>
9.1	Gemessene Versuchsgrößen und Meßtechnik .....	134
9.1.1	Gemessene Versuchsgrößen .....	134
9.1.2	Meßtechnik .....	134
9.2	Die Auswertung der Meßwerte .....	137
9.3	Ergebnisse der Auswertung für die einzelnen Bögen .....	138
9.3.1	Ergebnisse für den 698m-Bogen .....	181 / B
9.3.2	Ergebnisse für den 462m-Bogen .....	139
9.3.3	Ergebnisse für den 454m-Bogen .....	183 / B
9.3.4	Ergebnisse für den 464m-Bogen .....	141
9.3.5	Ergebnisse für den 451m-Bogen .....	185 / B
9.3.6	Ergebnisse für den 1174m-Bogen .....	187 / B
<b>10</b>	<b>Vergleich von Rechen- und Meßergebnissen .....</b>	<b>143</b>
10.1	Vergleich der für eine symmetrische Modellierung des Drehgestelles berechneten Radaufstandskräfte mit den gemessenen .....	143
10.2	Notwendige Änderungen des Rechenmodelles zur Anpassung an die Meßergebnisse als Folge des Vergleiches der Radaufstandskräfte .....	148
10.3	Vergleich der für eine angepaßte, unsymmetrische Modellierung des Drehgestelles berechneten Radquerkräfte mit den gemessenen .....	152

<b>11 Schlußfolgerungen, Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	159
11.1 Ergebnisse aus den Vergleichen von Heumann, Boocock und MEDYNA .....	159
11.2 Ergebnisse aus den Vergleichen verschiedener realer Rad/Schiene- Profilkombinationen in Bögen .....	160
11.3 Ergebnisse und Schlußfolgerungen aus den Vergleichen von Messung und Rechnung .....	161
11.4 Darstellung offener Fragen und Ausblick auf weitere, notwendige Untersuchungen .....	161
<b><u>Anhang</u></b> .....	162
<b>A Die Ergebnisse für unterschiedliche Profilabzeichnungen     der Jahre 1987 und 1989</b> .....	163
<b>B Ergebnisse der Auswertung der Meßwerte für die einzelnen Bögen</b> .....	181
<b>C MEDYNA-Datensatz für das Boocock-Modell</b> .....	189
<b>D MEDYNA-Datensatz des MD52-Drehgestelles</b> .....	191
<b>Literatur</b> .....	194