

# Ein Konzept für den Traglastnachweis gurtgelagerter doppelsymmetrischer I-Träger unter Berücksichtigung der Profilverformung

Vom Fachbereich 13 – Bauingenieurwesen und Geodäsie  
der Technischen Universität Darmstadt

ZUR  
Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktor-Ingenieurs

genehmigte  
DISSERTATION

vorgelegt von

**Dipl.-Ing. Georg Geldmacher**

aus Nordhorn

Referent:

Prof. Dr.-Ing. J. Lange

Korreferent:

Prof. Dr.-Ing. H. Friemann

Tag der Einreichung:

24. Juni 2008

Tag der mündlichen Prüfung:

22. Januar 2009

Darmstadt 2009

D 17

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>11</b>
1.1	Stand der Forschung . . . . .	14
1.2	Formulierung der Forschungsaufgabe . . . . .	16
<b>2</b>	<b>Elastisches Potential und Differentialgleichungen</b>	<b>19</b>
2.1	Vereinfachtes Potential des Biegedrillknickens mit zwei Profilverformungen . . . . .	19
2.1.1	Inneres Potential . . . . .	19
2.1.2	Äußeres Potential . . . . .	23
2.1.3	Zusammenfassung zum Gesamtpotential . . . . .	31
2.2	Differentialgleichungen (Euler'sche Gleichungen) . . . . .	32
2.2.1	Differentialgleichungen und Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung . . . . .	34
<b>3</b>	<b>Modell zur Behandlung gurtweise gelagerter Träger</b>	<b>40</b>
3.1	Ermittlung von Verzweigungslasten mit dem Ritz'schen Verfahren . . . . .	40
3.2	Ansätze für die Profilverformung . . . . .	42
3.2.1	Ansatzfunktion für den Freiheitsgrad $\Delta\vartheta_1$ . . . . .	44
3.2.2	Ansatzfunktion für den Freiheitsgrad $\Delta\vartheta_2$ . . . . .	47
3.3	Anwendung des Ritz'schen Verfahrens für gurtweise gelagerte Einfeldträger mit Querlasten . . . . .	58
3.3.1	Untersuchung im Matlab-Programm . . . . .	58
3.3.2	Reduzierter Ansatz . . . . .	59
3.3.3	Modellansatz für die querschnittstreue Theorie . . . . .	64
3.3.4	Bestimmung der Modellparameter des Stabilitätsproblems . . . . .	67
3.4	Betrachtung des Spannungsproblems Theorie I. Ordnung . . . . .	70
3.5	Festlegung der Parameter und Zusammenfassung . . . . .	75
3.5.1	Festlegung der Modellparameter . . . . .	75
3.5.2	Zusammenfassung . . . . .	76
3.6	Verifizierung des Modells anhand der Parameterstudie . . . . .	77
3.7	Vergleich mit anderen Lösungen . . . . .	85

<b>4</b>	<b>Erweiterung des Modells auf weitere Systeme</b>	<b>94</b>
4.1	Überstände . . . . .	94
4.1.1	Mechanisches Modell und Lösungsansatz . . . . .	94
4.1.2	Verifizierung . . . . .	96
4.2	Einfeldträger mit Kragarmen . . . . .	100
4.2.1	Problemerörterung und Ansatz im Modell . . . . .	100
4.2.2	Verifizierung . . . . .	101
4.3	Durchlaufträger . . . . .	104
4.3.1	Problemerörterung und Ansatz im Modell . . . . .	104
4.3.2	Verifizierung . . . . .	105
4.4	Drehgebettete Träger . . . . .	109
4.4.1	Problemerörterung und Ansatz im Modell . . . . .	109
4.4.2	Verifizierung . . . . .	110
4.5	Systeme mit antimetrischen Eigenformen . . . . .	111
4.6	Wabenträger und Träger mit regelmäßigen Stegöffnungen . . . . .	115
4.6.1	Modellbildung . . . . .	116
4.7	Berücksichtigung der Walzradien . . . . .	120
4.7.1	Drillwiderstand der Gurte unter Berücksichtigung der Walzradien . . . . .	120
4.7.2	Bettungsziffern $k_{\vartheta I,r}$ und $k_{\vartheta II,r}$ unter Berücksichtigung der Walzradien . . . . .	122
4.7.3	Näherungsformel . . . . .	125
<b>5</b>	<b>Experimentelle Ermittlung von Traglasten</b>	<b>126</b>
5.1	Planung und Vorüberlegungen . . . . .	126
5.1.1	Versuchsordnung . . . . .	126
5.1.2	Versuchsprogramm . . . . .	127
5.2	Versuchsstand . . . . .	128
5.2.1	Lagerung . . . . .	130
5.2.2	Lasteinleitung . . . . .	132
5.2.3	Versuchskörper . . . . .	133
5.3	Versuchsablauf und Definition der Versuchstraglast . . . . .	134
5.3.1	Versuchsablauf . . . . .	134
5.3.2	Definition der Traglast . . . . .	135
5.4	Ergebnisse . . . . .	137
5.4.1	Traglasten . . . . .	137
5.4.2	Qualitative Beschreibung des Versagensmechanismus . . . . .	138
5.5	Nachrechnung mit der FE-Methode . . . . .	142

5.5.1	Beschreibung des FE-Modells . . . . .	142
5.5.2	Vergleich der Ergebnisse aus Experiment und numerischer Nachrechnung . . . . .	145
<b>6</b>	<b>Entwicklung eines Nachweiskonzeptes</b>	<b>152</b>
6.1	Einordnung der gurtweise gelagerten Träger in Nachweiskonzepte ver- wandter Probleme . . . . .	152
6.1.1	Nachweiskonzept zum Biegedrillknicken mit Traglastkurven .	152
6.1.2	Nachweiskonzept für das Problem der lokalen Querlasteinlei- tung an den Gurten . . . . .	155
6.2	Parameterstudie zur Bestimmung von Traglasten gurtgelagerter Träger	157
6.2.1	Vorüberlegungen und Parameter . . . . .	157
6.2.2	Untersuchungsprogramm der Parameterstudie . . . . .	158
6.2.3	Modellierung . . . . .	159
6.2.4	Imperfektionen . . . . .	161
6.2.5	Werkstoffgesetz . . . . .	163
6.2.6	Plausibilität des Modells gegenüber Eurocode 3 . . . . .	164
6.2.7	Ergebnisse und Versagensmechanismen . . . . .	165
6.3	Vorschlag für Traglastkurven . . . . .	167
6.3.1	Anmerkungen zum plastischen Widerstand . . . . .	168
6.3.2	Traglastkurven für den Fall „Lager unten – Last oben“ . . .	170
6.3.3	Traglastkurven für die übrigen Fälle . . . . .	174
6.3.4	Untersuchung von Einzellasten . . . . .	179
6.3.5	Gegenüberstellung von Versuchsergebnissen . . . . .	179
6.3.6	Einfluss der Profilverformung auf die Traglast im Vergleich zur Gabellagerung . . . . .	183
6.4	Durchlaufträger und Einfeldträger mit Kragarm . . . . .	186
6.4.1	Durchlaufträger . . . . .	186
6.4.2	Einfeldträger mit Kragarmen . . . . .	196
6.5	Zusammenfassung des Nachweiskonzeptes . . . . .	198
6.5.1	Ermittlung der Verzweigungslast . . . . .	198
6.5.2	Ermittlung der Traglast . . . . .	200
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>201</b>
7.1	Zusammenfassung . . . . .	201
7.2	Ausblick . . . . .	203
<b>A</b>	<b>Äußeres Stegpotential bei Behandlung als Platte</b>	<b>205</b>

<b>B Einfluss der Profilverformung beim gabelgelagerten Einfeldträger mit konstantem Moment</b>	<b>209</b>
<b>C FE-Parameterstudie Eigenwerte</b>	<b>214</b>
<b>D Profilwerte bei Berücksichtigung der Walzradien</b>	<b>219</b>
<b>E Ermittlung der Materialkennwerte</b>	<b>221</b>
E.1 Zugproben . . . . .	221
E.2 Versuchsprogramm . . . . .	223
E.3 Versuchsdurchführung . . . . .	223
E.3.1 Gurtproben . . . . .	224
E.3.2 Ergebnisse Stegproben . . . . .	226
E.3.3 Fazit der Materialprüfung . . . . .	232
<b>F FE-Parameterstudie Traglasten</b>	<b>233</b>
F.1 Erläuterungen zu den Einfeldträgeruntersuchungen (Tabellen F.1 bis F.5) . . . . .	233
F.2 Erläuterungen zu den Untersuchungen zum Einfeldträger mit Kragarm (Tabelle F.6) . . . . .	239
F.3 Erläuterungen zu den Durchlaufträgeruntersuchungen (Tabelle F.8)	240
Glossar . . . . .	243
Literatur . . . . .	247