

# Stahlbau

## Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung

Rolf Kindmann

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

<b>1</b>	<b>Einleitung und Übersicht</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung	1
1.2	Grundsätzliches	4
1.3	Bezeichnungen und Annahmen	8
1.4	Inhalt und Gliederung	11
1.5	Berechnungsbeispiele (Übersicht)	13
<b>2</b>	<b>Tragverhalten, Berechnungs- und Nachweisverfahren</b>	<b>15</b>
2.1	Lineares und nichtlineares Tragverhalten	15
2.2	Nachweisverfahren	17
2.3	Definition der Stabilitätsfälle	20
2.4	Nachweisführung bei Theorie II. Ordnung	23
2.5	Erläuterungen zum Verständnis	29
2.6>	Fließzonentheorie	35
2.7	Geometrisch nichtlineare Berechnungen	37
<b>3</b>	<b>Nachweise für das Biegeknicken mit Abminderungsfaktoren</b>	<b>42</b>
3.1	Vorbemerkungen	42
3.2	Planmäßig mittiger Druck	43
3.3	Einachsige Biegung mit Druckkraft	51
3.4	Zweiachsige Biegung mit Druckkraft	56
3.5	Nachweis von Stäben und Stabwerken	58
3.6	Knickzahlen $\alpha$ nach DIN 4114	62
3.7	Modifizierte Abminderungsfaktoren $K$	64
<b>4</b>	<b>Stabilitätsproblem Biegeknicken</b>	<b>^</b>
4.1	Ziele	66
4.2	Stabiles Gleichgewicht	67
4.3	Knickbedingungen	68
4.4	Eulerfälle I und IV	72
4.5	Knickbiegelinien und Knicklängen	75
4.6	<i>Eulersche</i> Knickspannung	78
4.7	Hinweise zur Berechnung von $N_{Ki}$	80

4.8	Ersatz von Tragwerksteilen durch Federn	85
4.9	Druckstäbe mit Federn an den Enden	89
4.10	Lösen von Knickbedingungen	97
4.11	Druckstab mit Wegfeder in Feldmitte	100
4.12	Elastisch gebettete Druckstäbe	102
4.13	Poltreue Normalkräfte/Pendelstützen	110
4.14	Knicklängen für ausgewählte Systeme	119
<b>Nachweise für das Biegedrillknicken mit Abminderungsfaktoren</b>		<b>125</b>
5.1	Vorbemerkungen	125
5.2	Stäbe ohne Biegedrillknickgefahr	125
5.3	Planmäßig mittiger Druck	127
5.4	Einachsige Biegung ohne Normalkraft	129
5.5	Druckgurt als Druckstab	133
5.6	Einachsige Biegung mit Drucknormalkraft	136
5.7	Zweiachsige Biegung mit Drucknormalkraft	138
5.8	Planmäßige Torsion	138
5.9	Abminderungsfaktoren nach Eurocode 3	140
5.10	Genauigkeit der Abminderungsfaktoren	144
5.11	Hinweise zur Nachweisführung	146
/5.12	Stütze mit planmäßiger Biegung	149
<b>6</b>	<b>Stabilitätsproblem Biegedrillknicken</b>	<b>152</b>
6.1	Vorbemerkungen	152
6.2	Einführungsbeispiel	153
6.3	$M_{Ki,y}$ für vier Basissysteme	158
6.4	$N_{Ki}$ für Biegedrillknicken	160
6.5	Aufteilung in Teilsysteme	163
6.6	Träger mit Randmomenten	165
6.7	Herleitung von Berechnungsformeln	171
6.8	$M_{Ki,y}$ für einfachsymmetrische I-Querschnitte	175
6.9	Seitlich abgestützte Träger	177
6.10	Kragträger	182
6.11	Träger mit Drehbettung	184
<b>7</b>	<b>Nachweise unter Ansatz von Ersatzimperfektionen</b>	<b>186</b>
7.1	Nachweisführung	186
7.2	Geometrische Ersatzimperfektionen	186
7.3	Schnitterößen nach Theorie II. Ordne	198

7.4	Nachweis ausreichender Querschnittstragfähigkeit	199
7.4.1	Spannungsnachweise	199
7.4.2	Plastische Querschnittstragfähigkeit	200
	<b>Theorie II. Ordnung für Biegung mit Normalkraft</b>	<b>206</b>
8.1	Problemstellung und Ziele	206
8.2	Grundlegende Zusammenhänge	208
8.3	Prinzip der virtuellen Arbeit	212
8.4	Differentialgleichungen und Randbedingungen	217
8.5	Lösung der Differentialgleichung	220
8.6	Weggrößenverfahren	229
8.7	Vergrößerungsfaktoren	235
8.8	Iterative Berechnungen	248
8.9	Tragverhalten nach Theorie II. Ordnung	252
8.9.1	Ziele	252
8.9.2	Biegebeanspruchte Stäbe mit Druck- oder Zugnormalkräften	252
8.9.3	Druckstab mit Randmomenten	254
8.9.4	Maßgebende Bemessungspunkte und Laststellungen	256
8.9.5	Seitlich verschiebliche Rahmen	258
8.9.6	Seitlich unverschiebliche Rahmen	261
8.9.//	Erhöhte Biegemomente in druckkraftfreien Teilen	265
8.10*	Ersatzbelastungsverfahren für verschiebliche Rahmen	266
8.11	Berechnungsbeispiel Zweigelenrahmen	277
9	<b>Theorie II. Ordnung für beliebige Beanspruchungen</b>	<b>283</b>
9.1	Vorbemerkungen	283
9.2	Spannungen und Dehnungen	283
9.3	Verschiebungen $u$ , $v$ und $w$	286
9.4	Virtuelle Arbeit	291
9.5	Differentialgleichungen und Randbedingungen	297
9.6	Schnittgrößen	299
9.7	Lösungsmethoden	303
9.7.1	Berechnungsablauf	303
9.7.2	Genauere Lösungen	305
9.7.3	Näherungen	306
9.8	Beispiele zum Tragverhalten und zur Tragfähigkeit	309
9.8.1	Vorbemerkungen	309
9.8.2	Biegedrillknicken Einfeldträger	309
9.8.3	Biegedrillknicken Zweifeldträger	314
9.8.4	Einfluss der Querschnittsform	317

9.8.5	Biegedrillknicken mit planmäßiger Torsion	320
9.8.6	Einfluss von Trägerüberständen	322
9.8.7	Realistische Lastangriffspunkte	323
<b>10</b>	<b>Aussteifung und Stabilisierung</b>	<b>325</b>
10.1	Aussteifende Bauteile	325
10.2	Aussteifung von Gebäuden	326
10.3	Stabilisierung durch Abstützungen	330
10.4	Stabilisierung durch Behinderung der Verdrehungen	336
10.5	Stabilisierung durch konstruktive Details	341
10.6	• Ausführungsbeispiel Sporthalle	342
10.7	Ausführungsbeispiel eingeschossige Halle	350
10.7.1	Vorbemerkungen	350
10.7.2	Stabilität der Zweigelenkrahmen	350
10.7.3	Dachverbände	359
10.7.4	Wandverbände	365
<b>11</b>	<b>Stabilitätsproblem Plattenbeulen und Beulnachweise</b>	<b>366</b>
11.1	Problemstellung	366
/11.2	Nachweise bei beulgefährdeten Konstruktionen	369
11.3	Linearisierte Beultheorie	370
11.4	Beulen unausgesteifter Rechteckplatten	374
11.4.1	Ideale Beulspannungen	374
11.4.2	Konstante Randspannungen $a_x$	375
11.4.3	Linear veränderliche Randspannungen $a_x$	378
11.4.4	Schubspannungen $x$	380
11.4.5	Beulfelder mit unterschiedlichen Randbedingungen	381
11.5	Ausgesteifte Beulfelder	382
11.5.1	Steifentypen	382
11.5.2	Querschnittswerte von Steifen	383
11.5.3	Wirksame Gurtbreiten	383
11.5.4	Steifenanordnung	385
11.5.5	Beulwerte für ausgesteifte Beulfelder	386
11.5.6	Stabilität der Beulsteifen	389
11.6	Beulnachweise nach DIN 18800 Teil 3	390
11.7	Nachweise mit $b/t$ -Verhältnissen	394
11.8	Beulnachweise nach DIN Fachbericht 103	397
11.9	Methode der wirksamen Querschnitte	399
11.10	Konstruktionsdetails	403
11.11	Überkritisches Tragverhalten von Platten	405

Inhaltsverzeichnis	XI	
11.12	Berechnungsbeispiele	408
11.12.1	Vorbemerkungen	408
11.12.2	Geschweißter Träger mit I-Querschnitt	408
11.12.3	Geschweißter Hohlkastenträger	410
11.12.4	Stegblech eines Durchlaufträgers	411
11.12.5	Ausgesteiftes Bodenblech eines Brückenhauptträgers	414
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>418</b>	
<b>Sachverzeichnis</b>	<b>424</b>	