

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Fördertechnik, Krane, Kranbahnen	1
1.2 Besonderheiten von Kranbahnen.....	3
1.3 Bauarten von Krananlagen	4
1.3.1 Hängekatzen.....	5
1.3.2 Schwenkkrane	6
1.3.3 Brückenkrane	6
1.3.4 Portalkrane und Halbportalkrane	9
1.3.5 Konsolkrane	12
1.3.6 Kabelkrane	13
1.4 Normen für Krane und Kranbahnen	13
1.5 Eurocodes: Grenzzustände, Nachweise, Teilsicherheitsbeiwerte Widerstand.....	16
1.6 Koordinatensystem	17
2 Einwirkungen auf Krane und Kranbahnen.....	18
2.1 Einwirkungen auf Kranbahnen und Lastgruppen nach EC 1-3.....	18
2.1.1 Vertikale, veränderliche Lasten aus Kranbetrieb.....	18
2.1.2 Horizontale, veränderliche Lasten aus Kranbetrieb.....	19
2.1.3 Weitere veränderliche Einwirkungen nach EC 1-3	19
2.1.4 Außergewöhnliche Einwirkungen	20
2.1.5 Betrieb von mehreren Kränen gleichzeitig	20
2.1.6 Einwirkungen auf Kranbahnen von Hängekränen und Laufkatzen.....	22
2.2 Hubklassen, Schwingbeiwerte und Beanspruchungsklassen	23
2.2.1 Hubklassen.....	23
2.2.2 Schwingbeiwerte für den Kranbetrieb	24
2.2.3 Beanspruchungsklassen (BK)	26
2.2.4 Einstufung von Kränen nach F.E.M.-Richtlinie 1.001	26
2.2.5 Einstufung von Kränen nach DIN 15 018 und DIN 4132	27
2.3 Kranfahrwerksysteme	28
2.4 Massenkräfte aus Antrieb nach EC 1-3	29
2.4.1 Massenkräfte längs der Fahrtrichtung.....	29
2.4.2 Massenkräfte längs und quer zur Fahrtrichtung	32
2.5 Kräfte aus Schräglauf nach EC 1-3	36
2.5.1 Seitenführungssysteme	36
2.5.2 Grundlagen der Berechnung der Schräglaufrkräfte	37
2.5.3 Schräglaufrkräfte S und $H_{S,i,j,T}$ nach EC 1-3.....	39
2.5.4 Schräglaufrkräfte von zweiachsigen Kränen IFF.....	43
2.5.5 Überlagerung von Schräglaufrkräften und Masselasten	44
2.6 Pufferkräfte nach EC 1-3	45
2.7 Einwirkungen aus Erdbeben nach EC 8-1	52
2.8 Einwirkungskombinationen (EK).....	52
2.8.1 EK Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT).....	52
2.8.2 EK Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	54
2.8.3 EK Grenzzustand der Ermüdung (GZE)	54
3 Planung von Krananlagen und Konstruktion von Kranbahenträgern.....	56
3.1 Planung von Brückenkrankenlagern, Unfallverhütung	56
3.2 Kranschienen	69

3.2.1	Schienenformen	69
3.2.2	Auswahl der Schienenarten nach VDI-Richtlinie 3576	72
3.2.3	Befestigung der Schiene am Kranbahenträger, Schienenunterlagen.....	73
3.2.4	Schienenstöße	78
3.2.5	Verschleiß und Schäden an Schienen.....	82
3.2.6	Zur Auswahl von Kranschiene und Laufrad.....	83
3.3	Statisches System der Kranbahn	87
3.4	Querschnitte von Kranbahenträgern	89
3.4.1	Querschnittstypen	89
3.4.2	Wahl der Stahlgüte	99
3.5	Auflager	100
3.6	Kranbahenträgerstöße	104
3.7	Kranbahnstützen.....	108
3.8	Aussteifung der Kranbahnen und ihrer Stützen	111
3.9	Prüfungen von Kran und Kranbahnen	112
3.9.1	Arten von Prüfungen, Prüfpersonal, Dokumentation	112
3.9.2	Einmalige Prüfungen der Krananlage.....	114
3.9.3	Wiederkehrende Prüfungen der Krananlage.....	118
3.9.4	Prüfungen von Kranbahnen	119
3.10	Anforderungen an Fertigung und Montage von Kranbahenträgern und Schienen	120
4	Schnittgrößen von Kranbahenträgern aus Biegetragwirkung	125
4.1	Schnittgrößen und ihre Darstellungsmöglichkeiten	126
4.2	Schnittgrößen am Einfeldträger: Culmannsche Laststellung.....	126
4.2.1	Herleitung	126
4.2.2	Vorgehensweise bei zwei beliebigen Radlasten	128
4.2.3	Vorgehensweise bei einer Gruppe aus n beliebigen Radlasten	129
4.3	Grenzlinien am Einfeldträger	132
4.4	Maximale Schnittgrößen bei mehrfeldrigen Kranbahnen	134
4.4.1	Maximale Schnittgrößen und Auflagerkräfte von Mehrfeldträgern.....	135
4.4.2	Einflusslinien von Zweifeldträgern mit gleichen Stützweiten	139
4.5	Auflagerlasten aus Kranbahenträgern	140
5	Querschnittsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT).....	146
5.1	Schnittgrößen und Spannungen aus globaler Tragwirkung	146
5.1.1	Spannungsberechnung mit Tragwirkungssplitting	146
5.1.2	Schnittgrößen und Spannungen aus Torsion für I-Profile	148
5.2	Querschnittswerte	152
5.2.1	Doppeltsymmetrisches I-Profil mit Flachstahlschiene	152
5.2.2	Einfachsymmetrisches I-Profil	154
5.2.3	Vollplastische Momente für doppeltsymmetrische I-Profile.....	155
5.3	Querschnittsnachweise	155
5.3.1	Querschnittsklassen, Querschnittswerte von Kranbahenträgern	155
5.3.2	Querschnittsnachweis für Biegemomente	156
5.3.3	Querkraftnachweis nach [3-1-1/6.2.6].....	158
5.3.4	Interaktion Biegung M_y – Querkraft V_z [3-1-1/6.2.8].....	158
5.3.5	Spannungsnachweise für Kranbahenträger	159
5.4	Berechnung von Trägern mit Horizontalverband	160
6	Lokale Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)	164

6.1	Lokale Beanspruchungen infolge örtlicher Radlastpressung	164
6.1.1	Beanspruchungsarten aus Radlasteinleitung.....	164
6.1.2	Radlastpressung	166
6.1.3	Stegbiegung infolge exzentrischer Radlasteinleitung.....	168
6.2	Beulnachweise nach EC 3-1-5	172
6.2.1	Allgemeines zum Beulen	172
6.2.2	Beulnachweis des Stegblechs unter der Radlast als lokaler Nachweis... <td>173</td>	173
6.2.3	Flanschinduziertes Stegblechbeulen	176
6.2.4	Begrenzung des Stegblechatmens.....	177
6.2.5	Beulnachweis der Druckflansche.....	177
6.2.6	Stegbleche mit Längsseifen	177
6.2.7	Stegbeulen im Auflagerbereich.....	178
6.2.8	Software für den Beulnachweis	179
7	Bauteilnachweis: Biegendrillknicken.....	180
7.1	Einführung.....	180
7.2	Ersatzstabverfahren „Knickender Obergurt“.....	181
7.3	Alternatives Ersatzstabverfahren nach EC 3-6, Anhang A	184
7.3.1	Vorgehensweise beim Nachweis	184
7.3.2	Vereinfachtes Verfahren nach Anhang A	186
7.4	Schnittgrößenberechnung nach Wölbkrafttorsion Th. II. Ordnung	187
7.4.1	Zur Notwendigkeit der Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion	187
7.4.2	Spannungsberechnung mit Stabwerksprogrammen.....	189
7.5	BDK-Nachweis als Schnittgrößennachweis nach Wölbkrafttorsion Th. II. O.....	190
7.6	Empfehlungen zur Auswahl des BDK-Nachweisverfahrens	192
8	Nachweis der Verbindungsmitte von Kranbahnen.....	193
8.1	Schraubenverbindungen an Kranbahnrägern	193
8.2	Allgemeines zu Schweißnähten an Kranbahnrägern.....	194
8.3	Schieneenschweißnähte.....	196
8.3.1	Unterbrochene oder durchlaufende Schieneenschweißnähte?.....	196
8.3.2	Druckkontakt bei Steghals- und Schienenkehlnähten?.....	198
8.3.3	Berechnung und Nachweis der Spannungen in Schienenkehlnähten	200
8.3.4	Versagensursachen von Schieneenschweißnähten	205
8.4	Steghalsnähte.....	207
9	Gebrauchstauglichkeitsnachweis für Kranbahnen	208
9.1	Grenzwerte für Verformungen und Verschiebungen	208
9.1.1	Begrenzung vertikaler Verformungen nach [3-6/Tab.7.2]	208
9.1.2	Begrenzung horizontaler Verformungen nach [3-6/Tab.7.1]	209
9.1.3	Schwingungen von Kranbahnen	212
9.2	Berechnung der Durchbiegungen	213
9.2.1	Berechnung vertikaler Durchbiegungen δ_z	213
9.2.2	Berechnung der horizontalen Durchbiegung δ_x	216
9.3	Abschätzung der Eigenfrequenzen.....	217
9.4	Spannungsbegrenzung im GZG	220
9.5	Begrenzung des Stegblechatmens im GZG.....	220
9.6	Begrenzung der Schwingungen des Unterflansches im GZG	221
10	Ermüdungsnachweis von Kranbahnrägern.....	222

10.1	Einführung	222
10.2	Beanspruchung und Versagensvorgang	222
10.3	Werkstoffkennwerte für die Ermüdung	225
10.3.1	Die Entwicklung der Wöhlerlinie	225
10.3.2	Lineare Schadensakkumulation nach Palmgren-Miner	227
10.3.3	Wöhlerlinien nach EC 3-1-9	227
10.4	Einflussgrößen auf die Ermüdungsfestigkeit von Bauteilen	230
10.4.1	Kerbwirkung	230
10.4.2	Werkstoffeinfloss	232
10.4.3	Mittelspannungseinfluss	232
10.4.4	Größeneinfluss	233
10.5	Bausteine für den Ermüdungsnachweis	233
10.5.1	Randbedingungen für den Nachweis	233
10.5.2	Klassierverfahren zur Ermittlung von Spannungskollektiven	234
10.5.3	Schadensäquivalente Spannungsschwingbreite	236
10.5.4	Nennspannungskonzept	237
10.5.5	Zuverlässigkeitskonzept	238
10.6	Ermüdungsnachweis nach EC 3-6 und EC 3-1-9	238
10.6.1	Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Norm prüfen	238
10.6.2	Teilsicherheitsbeiwerte festlegen	239
10.6.3	Beanspruchungsklasse S _i bestimmen	240
10.6.4	Einwirkungskombinationen für den Ermüdungsnachweis bestimmen ..	240
10.6.5	Berechnung der schadensäquivalenten Spannungsschwingbreite	242
10.6.6	Bestimmung der Kerbfälle	242
10.6.7	Ermüdungsnachweis für eine Kranbahn mit einem einzelnen Kran	248
10.6.8	Nachweis der Radlasteinleitungsspannungen	248
10.6.9	Nachweis für eine Kranbahn mit mehreren Kranbrücken	249
10.6.10	Ermüdungsnachweis von Schrauben	250
10.7	Beispiele für den Ermüdungsnachweis	250
10.8	Ermüdungsgerecht konstruieren, fertigen und montieren	255
10.9	Ermüdungsnachweise EC – EN – DIN im Vergleich	256
11	Beispielrechnung Kranbahn nach Eurocode 10	260
11.1	Aufgabenstellung	260
11.2	Lastannahmen und Einstufungen	261
11.3	Schnittgrößen	261
11.4	Querschnittswerte und vollplastische Schnittgrößen	263
11.4.1	Allgemeine Querschnittswerte und Querschnittseinordnung	263
11.4.2	Querschnittswerte des Obergurts (Oberflansch + 1/5 Steg)	264
11.4.3	Vollplastische Schnittgrößen HEB 300 ($\gamma_M = 1,0$)	264
11.4.4	Vollplastische Schnittgrößen HEB 300 ($\gamma_M = 1,1$)	265
11.5	Querschnittsnachweise	265
11.5.1	Querschnittsnachweis – Biegemomente	265
11.5.2	Querschnittsnachweis – Querkraftnachweis	265
11.5.3	Alternativ: Spannungsnachweis obere Flanschecke	266
11.6	Bauteilnachweis: Biegendrillknicken (BDK)	266
11.6.1	Knickender Obergurt nach [3-6/6.3.2.3(1)] für EK 1	266
11.6.2	Knickender Obergurt nach [3-6/6.3.2.3 (1)] für EK 5	267
11.6.3	BDK-Nachweis nach [3-6/Anhang A] für EK 5	267
11.6.4	BDK-Nachweis als Spannungsnachweis nach Th.II.O.	268

11.6.5 Alternative: BDK-Nachweis als Schnittgrößennachweis nach Th.II.O.	269
11.7 Lokale Nachweise	269
11.7.1 Lasteinleitungsspannungen	269
11.7.2 Vergleichsspannungen an der Stegoberkante am Zwischenauflager.....	270
11.7.3 Nachweis der Schienenschweißnaht.....	271
11.7.4 Beulnachweise	273
11.8 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	275
11.8.1 Vertikale Durchbiegung.....	275
11.8.2 Horizontale Durchbiegung.....	275
11.8.3 Steglechlatmen und Untergurtschwingungen – GZG	276
11.8.4 Elastisches Verhalten.....	276
11.9 Ermüdungsnachweis.....	276
11.9.1 Grundlagen.....	276
11.9.2 Einwirkungskombinationen	277
11.9.3 Nachweise Oberkante Flansch, Schienenschweißnaht	277
11.9.4 Oberflansch im Bereich der angeschweißten Quersteife	279
11.9.5 Stegansatz im Feld	280
11.9.6 Stegansatz am Zwischenauflager, Quersteifenanschluss.....	281
11.10 Vergleich mit Bemessung nach DIN 4132	282
12 Kranbahnräger für Hängekrane und Laufkatzen	285
12.1 Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	285
12.1.1 Einwirkungen.....	285
12.1.2 Einwirkungskombinationen (EK)	287
12.2 Nachweis der Tragfähigkeit des Unterflanschs	288
12.2.1 Tragfähigkeit im GZT	288
12.2.2 Nachweis des Elastischen Verhaltens des Unterflanschs im GZG	288
12.3 Weitere Berechnungen und Nachweise	293
12.3.1 Nachweise im GZT	293
12.3.2 Nachweise im GZG	296
12.3.3 Ermüdungsnachweise	296
12.4 Berechnungsbeispiel 12-3 Katzbahnräger	296
12.4.1 Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	297
12.4.2 Schnittgrößen an der Stelle $x = 5,25 \text{ m}$ (max $M_{y,\text{feld}}$)	297
12.4.3 Nachweis der Unterflanschtragfähigkeit im GZT, EK 1	298
12.4.4 Nachweis elastisches Verhalten des Unterflanschs im GZG, EK 12	298
12.4.5 Querschnittsnachweis im GZT, EK 1	300
12.4.6 BDK-Nachweis nach [3-6/Anhang A]; GZT, EK 1.....	300
12.4.7 Beulnachweis im GZT	301
12.4.8 Ermüdungsnachweis im GZE	301
12.4.9 Nachweis der Durchbiegungen im GZG	302
12.5 Konstruktive Details für Kranbahnräger von Hängekrane und Hängekatzen	303
12.5.1 Querschnitte für Kranbahnräger	303
12.5.2 Aufhängung	303
12.5.3 Übergang bei Hängekrane.....	304
12.5.4 Verstärkung eines freien Unterflanschendes	304
13 Berechnung dünnwandiger Kastenträger	306
13.1 Berechnung von Kastenträgern nach Schindler	307
13.2 Konstruktion und Berechnung der Querschotte	310

14 Optimierung von Kranbahnrägerquerschnitten für Laufkrane	314
14.1 Walzprofile als Kranbahnräger-Querschnitte	314
14.1.1 Auswahl der Profilreihe	314
14.1.2 Einflussgrößen auf die Bemessung von Kranbahnräger-Walzprofilen .	317
14.2 I-Schweißprofile.....	321
14.2.1 Optimierung.....	321
14.2.2 Einfluss der Trägerhöhe auf die minimale Querschnittsfläche	325
14.2.3 Einige Entwurfsregeln für einfachsymmetrische I-Schweißprofile	327
14.3 I-Schweißprofil oder Walzprofil?	330
14.4 Winkelverstärkte Walzprofile	332
Anhang A: Abkürzungsverzeichnis	335
Anhang B: Häufig verwendete Formelzeichen	336
Normen und Literatur	338
Stichwortverzeichnis	350