

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	Drehkrane	6
1.3.3	Brückenkrane	7
1.3.4	Portalkrane und Halbportalkrane	10
1.3.5	Konsolkrane	12
1.3.6	Hafenkrane	13
1.3.7	Mobile Krane: Turmdrehkrane und Fahrzeugkrane	15
1.3.8	Schiffskrane	15
1.4	Normen für Krane und Kranbahnen	16
1.4.1	Kran und Kranbahnen 1936 bis 1980: DIN 120	16
1.4.2	Kranbahnen in der damaligen DDR: TGL 13471	16
1.4.3	Krane in der Bundesrepublik Deutschland und in Europa	17
1.4.4	Kranbahnen in der Bundesrepublik Deutschland und ab 2012 in Europa	18
1.5	Grenzzustände, Nachweise, Teilsicherheitsbeiwerte Widerstand	20
1.6	Koordinatensystem	21
2	Planung von Brückenkrananlagen	22
2.1	Tabellen und Daten für die Planung	22
2.2	Kranfahrwerkssystem	35
2.3	Seitenführungssystem	37
3	Kranschienen und ihre Befestigung	40
3.1	Schienenformen	40
3.2	Befestigung der Schiene am Kranbahnträger, Schienenunterlagen	43
3.2.1	Verschweißung	44
3.2.2	Verbindung mit HV-Schrauben und Nieten	44
3.2.3	Klemmen der A- oder F-Schienen	45
3.2.4	Kranschienenunterlagen	47
3.3	Schienenstöße	48
3.4	Zur Auswahl von Kranschienen und Laufrad	53
3.4.1	Kombination von Schiene und Laufrad nach DIN 15072	53
3.4.2	Hertz'sche Pressung	55
3.4.3	Nachweis der Rad/Schienen-Kombination nach ISO 16881-1	56
3.4.4	Nachweis der Rad/Schienen-Kombination nach DIN EN 13001-3-3	59
3.5	Schienenverschleiß, Auswechslung	60
3.6	Entgleisungsschutz	61
4	Kranbahnträger: statisches System und Querschnitte	62
4.1	Statisches System der Kranbahn	62
4.2	Querschnittsarten für Kranbahnträger bei Brückenlaufkranen	64
4.3	Walzprofile als Kranbahnträger für Brückenlaufkrane	65
4.3.1	Vergleich der Eigenschaften der Profilvereihen	65
4.3.2	Eignung der Walzprofilreihen als Kranbahnträger	69
4.3.3	Wahl der Stahlgüte für Walzprofil-Kranbahnträger	69

4.4	I-Schweißprofile	70
4.4.1	Halsnähte von I-Schweißprofilen	70
4.4.2	Entwurfsregeln für optimale I-Schweißprofile	71
4.4.3	I-Schweißprofil oder Walzprofil?	74
4.5	Mit Winkeln verstärkte I-Profile	75
4.6	Kranbahnen mit halbierten Walzprofilen als Obergurte	78
4.7	Weitere zusammengesetzte Profile	79
4.8	Träger mit Horizontalverband	80
4.9	Kastenträger	83
4.10	Besondere Bauarten für Kranbahnträger	84
4.11	Aussteifung der Kranbahnträger mit Quersteifen	85
4.12	Kranbahnträger aus Stahlbeton oder Spannbeton	86
5	Auflager und Kranbahnträgerstöße	87
5.1	Auflager der Kranbahnträger	87
5.1.1	Auflager bei leichtem Kranbetrieb	87
5.1.2	Auflager bei mittlerem Kranbetrieb	92
5.1.3	Vertikale Auflagerung bei schwerem und schwerstem Kranbetrieb.	92
5.1.4	Aussteifung des Kranbahnquerschnitts am Auflager	92
5.2	Kranbahnträgerstöße	93
6	Kranbahnstützen und Aussteifungen	98
6.1	Stützen für Kranbahnträger	98
6.2	Aussteifung der Kranbahnen und ihrer Stützen	101
7	Anforderungen an Fertigung und Montage von Kranbahnträgern	103
7.1	Einstufungen, Anforderungen an den fertigenden Betrieb	103
7.2	Qualität der Schweißnaht nach DIN EN 1090-2	104
7.3	Toleranzen	105
7.4	Vermessung der Kranbahn	107
8	Prüfungen von Kran und Kranbahnen	108
8.1	Arten von Prüfungen, Prüfpersonal, Dokumentation	108
8.2	Einmalige Prüfungen der Krananlage	110
8.3	Wiederkehrende Prüfungen der Krananlage	114
8.4	Prüfungen von Kranbahnen	114
9	Einwirkungen auf Kranbahnen	116
9.1	Einwirkungen aus Kranbetrieb und Lastgruppen	116
9.1.1	Vertikale, veränderliche Einwirkungen aus Kranbetrieb	116
9.1.2	Horizontale, veränderliche Einwirkungen aus Kranbetrieb	119
9.1.3	Außergewöhnliche Einwirkungen aus Kranbetrieb	120
9.1.4	Zusammenwirken von Kranen beim Heben von Lasten	120
9.1.5	Betrieb von mehreren Kranen gleichzeitig	121
9.1.6	Einwirkungen auf Kranbahnen von Hängekranen und Laufkatzen	122
9.1.7	Überlagerung von Schräglaufkräften und Masselasten	122
9.1.8	Lastgruppen	123
9.2	Weitere Einwirkungen auf Kranbahnträger	123
9.2.1	Weitere veränderliche Einwirkungen	123

9.2.2	Einwirkungen aus Erdbeben nach EC 8-1 als außergewöhnliche Einwirkung	123
9.3	Hubklassen, Schwingbeiwerte und Beanspruchungsklassen	125
9.3.1	Hubklassen	125
9.3.2	Schwingbeiwerte für den Kranbetrieb	128
9.3.3	Beanspruchungsklassen (BK)	128
9.4	Einwirkungskombinationen (EK)	129
9.4.1	EK Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)	129
9.4.2	EK Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	130
9.4.3	EK Grenzzustand der Ermüdung (GZE)	131
9.5	Kräfte aus Beschleunigung und Bremsen	132
9.5.1	Antriebskraft K	132
9.5.2	Horizontale Kräfte aus Beschleunigung und Bremsen	135
9.6	Kräfte aus Schräglauf	139
9.6.1	Grundlagen der Berechnung der Schräglaufräfte	139
9.6.2	Schräglaufräfte S und $H_{S,i,j,T}$ für starre Krane	140
9.6.3	Schräglaufräfte von zweiachsigen Brückenkranen IFF	146
9.7	Pufferkräfte	147
9.7.1	Eigenschaften von Puffern, Auftreten von Pufferkräften	147
9.7.2	Berechnung der Kraft H_{BI} nach DIN EN 13 001-2	149
9.7.3	Berechnung der Kraft nach DIN EN 1991-3	154
9.8	Krandatenblatt	155
10	Berechnung von Kranbahnträgern	158
10.1	Einwirkungen, Schnittgrößen, Darstellungsformen	158
10.2	Biegemomente an Einfeldträgern: Berechnung von Hand	160
10.2.1	Culmann'sche Lastposition	160
10.2.2	Culmann'sche Lastposition bei zwei beliebigen Radlasten	161
10.2.3	Gruppe aus n beliebigen Radlasten	162
10.2.4	Grenzlينien am Einfeldträger	166
10.3	Biegemomente an mehrfeldrigen Kranbahnträgern: Berechnung von Hand	168
10.3.1	Maximale Schnittgrößen von Mehrfeldträgern nach Rose	169
10.3.2	Einflusslinien von Zweifeldträgern mit gleichen Stützweiten	173
10.4	Querschnittswerte von Kranbahnquerschnitten	173
10.4.1	Doppelsymmetrisches I-Profil mit Flachstahlschiene	173
10.4.2	Dreiblechquerschnitt (Einfachsymmetrisches I-Profil)	175
10.4.3	Walzprofil mit angeschweißten Winkeln	176
10.4.4	Vollplastische Momente für doppelsymmetrische I-Profile	176
10.5	Tragwirkungssplitting: Einfache Spannungsberechnung von Hand	177
10.6	EDV-gestützte Berechnung von Kranbahnen nach Theorie II. Ordnung	180
10.6.1	Schnittgrößen aus Torsion	180
10.6.2	Spannungen aus Torsion für I-Profile	182
10.6.3	Zur Notwendigkeit der Wölbkrafttorsion Theorie II. Ordnung	183
10.6.4	Stabwerksprogramme zur Berechnung von Kranbahnen	186
10.7	Wirkung der Auflagerlasten aus Kranbahnträgern	188
10.8	Berechnung von Trägern mit Horizontalverband	193
10.9	Berechnung dünnwandiger Kastenträger	197
10.9.1	Berechnung von Kastenträgern nach Schindler	197
10.9.2	Berechnung der Belastung eines Querschottes	202

11	Querschnittsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT).....	204
11.1	Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung oder II. Ordnung?.....	204
11.2	Querschnittsklassen und Querschnittsnachweis.....	205
11.3	Querschnittsnachweis für Kranbahnträger der QK 1 und 2.....	207
11.3.1	Nachweis für zweiachsige Biegung und Wölbmoment; QK 1 und 2..	207
11.3.2	Nachweis für zweiachsige Biegung, Tragwirkungssplitting.....	207
11.3.3	Querkraftnachweis nach [3-1-1/6.2.6] für QK 1 und QK 2.....	208
11.3.4	Interaktion Biegung M_y – Querkraft V_z [3-1-1/6.2.8].....	209
11.3.5	Interaktion Biegung M_z – Querkraft V_y [3-1-1/6.2.8].....	210
11.3.6	Schnittgrößeninteraktion nach dem Teilschnittgrößenverfahren.....	210
11.4	Querschnittsnachweise für Kranbahnträger der QK 3.....	211
11.4.1	Nachweis der Schnittgrößen.....	211
11.4.2	Nachweis der Spannungen.....	211
12	Lokale Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT).....	213
12.1	Lasteinleitung aus Rädern von Laufkranen.....	213
12.2	Radlastpressung.....	214
12.2.1	Berechnung der Radlastpressung.....	214
12.2.2	Vergleichsspannungsnachweis an der Stegoberkante.....	216
12.2.3	Nachweise der Schienenschweißnähte und Halskehlnähte.....	218
12.3	Stegbiegung infolge exzentrischer Radlasteinleitung.....	218
12.4	Beulnachweise nach EC 3-1-5.....	222
12.4.1	Allgemeines zum Beulen.....	222
12.4.2	Beulnachweis des Stegblechs unter der Radlast.....	224
12.4.3	Flanschinduziertes Stegblechbeulen.....	228
12.4.4	Beulnachweise bei Stegblechen mit Längssteifen.....	228
12.4.5	Begrenzung des Stegblechatmens.....	228
12.4.6	Beulnachweis der Druckflansche.....	228
12.4.7	Stegbeulen im Auflagerbereich.....	228
12.4.8	Software für den Beulnachweis.....	229
13	Bauteilnachweis: Biegedrillknicken.....	230
13.1	Überblick.....	230
13.2	Ersatzstabverfahren „Knickender Obergurt“.....	231
13.3	Alternatives Ersatzstabverfahren nach EC 3-6, Anhang A.....	234
13.3.1	Nachweis nach EC 3-6, Anhang A.....	234
13.3.2	Vereinfachtes Verfahren nach EC 3-6 Anhang A.....	237
13.4	BDK-Nachweis als Schnittgrößennachweis.....	238
13.5	Empfehlungen zur Auswahl des BDK-Nachweisverfahrens.....	239
14	Gebrauchstauglichkeitsnachweis für Kranbahnen.....	242
14.1	Grenzwerte für Verformungen und Verschiebungen.....	242
14.1.1	Begrenzung vertikaler Verformungen.....	243
14.1.2	Begrenzung horizontaler Verformungen nach [3-6/Tab.7.1].....	245
14.1.3	Schwingungen von Kranbahnen.....	251
14.2	Berechnung der Durchbiegungen.....	252
14.2.1	Berechnung vertikaler Durchbiegungen δ_z	252
14.2.2	Berechnung der horizontalen Durchbiegung δ_y	255
14.3	Abschätzung der Eigenfrequenzen.....	255
14.4	Spannungsbegrenzung im GZG.....	258

14.5	Begrenzung des Stegblechatmens im GZG.....	259
14.6	Begrenzung der Schwingungen des Unterflansches im GZG	260
15	Ermüdungsnachweis von Kranbahnträgern	261
15.1	Beanspruchung, Versagensvorgang, Konzepte	261
15.2	Einstufung von Kranbahnen in Beanspruchungsklassen.....	266
15.2.1	Übertragung der Einstufung des Krans auf die Kranbahn.....	266
15.2.2	Grobe Einstufung einer Kranbahn nach DIN EN 1991-3, Tab. B.1	267
15.2.3	Feine Einstufung einer Kranbahn nach DIN EN 1991-3, Tab. 2.11.....	268
15.2.4	Einstufung von Spannungsverläufen nach DIN EN 13001	272
15.2.5	Klassierverfahren zur Ermittlung von Spannungskollektiven	273
15.2.6	Einstufung von Kranen nach DIN 15018	276
15.2.7	Einstufung von Kranen nach F.E.M.-Richtlinie 1.001	278
15.3	Wöhlerlinien, normierte Wöhlerlinien und zugehörige Kerbfälle	280
15.3.1	Wöhlerlinie und Schadensakkumulation	280
15.3.2	Normierte Wöhlerlinien nach DIN EN 1993-1-9	281
15.3.3	Werkstoffeinfluss auf die normierten Wöhlerlinien	284
15.3.4	Mittelspannungseinfluss auf die normierten Wöhlerlinien.....	284
15.3.5	Größeneinfluss auf die normierten Wöhlerlinien	285
15.3.6	Bestimmung der Kerbfälle.....	285
15.3.7	Kerbfälle EC 3-1-9 – DIN EN 13001 – DIN 15018 im Vergleich.....	293
15.4	Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-6 und DIN EN 1993-1-9	295
15.4.1	Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Norm prüfen.....	295
15.4.2	Inspektionsanzahl und Teilsicherheitsbeiwerte festlegen.....	296
15.4.3	Einwirkungskombinationen und Spannungsberechnung.....	297
15.4.4	Schadensäquivalente Spannungsschwingbreite.....	298
15.4.5	Ermüdungsnachweis für eine Kranbahn mit einem einzelnen Kran.....	300
15.4.6	Nachweis der Radlasteinleitungsspannungen.....	300
15.4.7	Nachweis für eine Kranbahn mit mehreren Kranbrücken	301
15.4.8	Beispiele für den Ermüdungsnachweis.....	303
15.5	Ermüdungsgerecht konstruieren, fertigen und montieren	307
16	Verbindungsmittel an Kranbahnträgern	309
16.1	Schraubenverbindungen an Kranbahnträgern	309
16.1.1	Arten von Schraubenverbindungen an Kranbahnträgern.....	309
16.1.2	Biegesteife Stirnplattenstöße	310
16.1.3	Sicherung von Schrauben gegen Verlust der Vorspannkraft.....	311
16.1.4	Ermüdungsnachweis von Schrauben	312
16.2	Allgemeines zu Schweißnähten an Kranbahnträgern.....	313
16.3	Schienenschweißnähte.....	315
16.3.1	Unterbrochene oder durchlaufende Schienenschweißnähte?	315
16.3.2	Druckkontakt zwischen Schiene und Oberflansch	317
16.3.3	Berechnung und Nachweis der Spannungen in Schienenkehlnähten	319
16.3.4	Versagensursachen von Schienenschweißnähten	324
16.4	Steghalsnähte.....	326
16.4.1	Entwurf, Berechnung, Nachweis	326
16.4.2	Ermüdungsfestigkeit von Halskehlnähten	328
17	Beispielrechnung Kranbahn nach Eurocode	330
17.1	Aufgabenstellung.....	330

17.2	Lastannahmen und Einstufungen	331
17.3	Schnittgrößen	331
17.4	Querschnittswerte und vollplastische Schnittgrößen	333
17.4.1	Allgemeine Querschnittswerte und Querschnittseinordnung	333
17.4.2	Querschnittswerte des Obergurts (Oberflansch + 1/5 Steg)	334
17.4.3	Vollplastische Schnittgrößen HEB 300 ($\gamma_{M0} = 1,0$)	334
17.4.4	Vollplastische Schnittgrößen HEB 300 ($\gamma_{M1} = 1,1$)	335
17.5	Querschnittsnachweise	335
17.5.1	Querschnittsnachweis – Biegemomente	335
17.5.2	Querschnittsnachweis – Querkraftnachweis	335
17.5.3	Alternativ: Spannungsnachweis obere Flanschecke	336
17.6	Bauteilnachweis: Biegedrillknicken (BDK)	336
17.6.1	Knickender Obergurt nach [3-6/6.3.2.3(1)] für EK 1	336
17.6.2	Knickender Obergurt nach [3-6/6.3.2.3(1)] für EK 5	337
17.6.3	BDK-Nachweis nach [3-6/Anhang A] für EK 5	337
17.6.4	BDK-Nachweis als Spannungsnachweis Th. II. O.	338
17.6.5	Alternative: BDK-Nachweis als Schnittgrößennachweis Th. II. O.	338
17.7	Lokale Nachweise	339
17.7.1	Lasteinleitungsspannungen	339
17.7.2	Vergleichsspannungen an der Stegoberkante am Zwischenauflager	340
17.7.3	Nachweis der Schienenschweißnaht	341
17.7.4	Beulnachweise	343
17.8	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	345
17.8.1	Vertikale Durchbiegung	345
17.8.2	Horizontale Durchbiegung	345
17.8.3	Stegblechatmen und Untergurtschwingungen – GZG	346
17.8.4	Elastisches Verhalten	346
17.9	Ermüdungsnachweis	346
17.9.1	Grundlagen	346
17.9.2	Einwirkungskombinationen	347
17.9.3	Nachweise Oberkante Flansch, Schienenschweißnaht	348
17.9.4	Oberflansch im Bereich der angeschweißten Quersteife	350
17.9.5	Stegansatz im Feld	350
17.9.6	Stegansatz am Zwischenauflager, Quersteifenanschluss	352
17.10	Vergleich mit Bemessung nach DIN 4132	353
18	Kranbahnträger für Hängekrane und Laufkatzen	355
18.1	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	355
18.1.1	Einwirkungen	355
18.1.2	Einwirkungskombinationen (EK)	357
18.2	Nachweis der Tragfähigkeit des Unterflanschs	358
18.2.1	Tragfähigkeit im GZT	358
18.2.2	Nachweis des elastischen Verhaltens des Unterflanschs im GZG	359
18.3	Nachweis von Kranbahnträgern für Hängekrane und Laufkatzen	363
18.3.1	Nachweise im GZT	364
18.3.2	Nachweise im GZG	366
18.3.3	Ermüdungsnachweise	366
18.4	Berechnungsbeispiel Katzbahnträger	367
18.4.1	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	367
18.4.2	Schnittgrößen an der Stelle $x = 5,25$ m ($\max M_{y,\text{Feld}}$)	368

18.4.3	Nachweis der Unterflanschtragfähigkeit im GZT, EK 1	368
18.4.4	Nachweis elastisches Verhalten des Unterflanschs im GZG, EK 102 ...	369
18.4.5	Querschnittsnachweis im GZT, EK 1	371
18.4.6	BDK-Nachweis nach [3-6/Anhang A]; GZT, EK 1	371
18.4.7	Beulnachweis, GZT	372
18.4.8	Ermüdungsnachweis	372
18.4.9	Nachweis der Durchbiegungen im GZG	373
18.5	Konstruktive Details für Kranbahnträger von Hängekränen und Laufkatzen.....	374
18.5.1	Querschnitte für Kranbahnträger von Hängekränen und Laufkatzen.....	374
18.5.2	Aufhängung	374
18.5.3	Übergang bei Hängekränen	376
18.5.4	Verstärkung eines freien Unterflansches	376
19	Bauen im Bestand: Kranbahnen	377
19.1	Allgemeine Überlegungen.....	377
19.2	Feststellung des Zustandes der Krahnbahn	378
19.3	Welche Normen sind anzuwenden?	382
19.4	Verstärkung der Kranbahnen.....	383
19.4.1	Querschnittsverstärkungen.....	383
19.4.2	Entschärfung der Lasteinleitung	384
19.4.3	Nachbehandlung von Schweißnähten.....	384
19.5	Lasten aus Kranbetrieb durch Gestaltung des Laufkrans begrenzen	385
19.6	Kranlasten durch die Kransteuerung begrenzen.....	388
19.7	Ermüdungssicherheit von Bestandskranbahnen.....	391
19.7.1	Aufgabenstellung	391
19.7.2	Weiternutzung einer Bestandskranbahn nach Ablauf der Lebensdauer	393
19.7.3	Weiternutzung bei Nutzungsänderung der Krananlage.....	395
19.7.4	Weiternutzung der Kranbahn bei unbekannter Nutzungshistorie.....	398
19.7.5	Vorübergehende Weiternutzung einer schadhafte Kranbahn	398
Anhang A:	Abkürzungsverzeichnis	400
Anhang B:	Häufig verwendete Formelzeichen	401
Literaturverzeichnis	403	
Stichwortverzeichnis	418	