The cover features a yellow background with a series of thin, parallel diagonal lines that fan out from the bottom left towards the top right. On the left side, there are several horizontal bars: a blue bar at the top, a white bar below it, and then four blue bars. The text 'Seeßelberg' is positioned to the right of the white bar.

Seeßelberg

Kranbahnen

planen, konstruieren,
berechnen, fertigen,
inspizieren, ertüchtigen

6. Auflage

Bauwerk
Beuth

Kranbahnen

Mehr zu diesem Titel ... finden Sie in der Beuth-Mediathek



Zu vielen neuen Publikationen bietet der Beuth Verlag nützliches Zusatzmaterial im Internet an, das Ihnen kostenlos bereitgestellt wird. Art und Umfang des Zusatzmaterials – seien es Checklisten, Excel-Hilfen, Audiodateien etc. – sind jeweils abgestimmt auf die individuellen Besonderheiten der Primär-Publikationen.

Für den erstmaligen Zugriff auf die Beuth-Mediathek müssen Sie sich einmalig kostenlos registrieren. Zum Freischalten des Zusatzmaterials für diese Publikation gehen Sie bitte ins Internet unter

www.beuth-mediathek.de

und geben Sie den folgenden **Media-Code** in das Feld „Media-Code eingeben und registrieren“ ein:

M292597888

Sie erhalten Ihren Nutzernamen und das Passwort per E-Mail und können damit nach dem Log-in über „Meine Inhalte“ auf alle für Sie freigeschalteten Zusatzmaterialien zugreifen.

Der Media-Code muss nur bei der ersten Freischaltung der Publikation eingegeben werden. Jeder weitere Zugriff erfolgt über das Log-In.

Wir freuen uns auf Ihren Besuch in der Beuth-Mediathek.

Ihr Beuth Verlag

Hinweis: Der Media-Code wurde individuell für Sie als Erwerber dieser Publikation erzeugt und darf nicht an Dritte weitergegeben werden. Mit Zurückziehung dieses Buches wird auch der damit verbundene Media-Code ungültig.

Kranbahnen

Prof. Dr.-Ing. Christoph Seeßelberg

Kranbahnen

**planen, konstruieren, berechnen,
fertigen, inspizieren, ertüchtigen**

**6., vollständig überarbeitete
und erweiterte Auflage**

Beuth Verlag GmbH · Berlin · Wien · Zürich

Bauwerk

© 2020 Beuth Verlag GmbH

Berlin · Wien · Zürich

Saatwinkler Damm 42/43

13627 Berlin

Telefon: +49 30 2601-0

Telefax: +49 30 2601-1260

Internet: www.beuth.de

E-Mail: kundenservice@beuth.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

Die im Werk enthaltenen Inhalte wurden vom Verfasser und Verlag sorgfältig erarbeitet und geprüft. Eine Gewährleistung für die Richtigkeit des Inhalts wird gleichwohl nicht übernommen. Der Verlag haftet nur für Schäden, die auf Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit seitens des Verlages zurückzuführen sind. Im Übrigen ist die Haftung ausgeschlossen.

Druck und Bindung: Drukarnia Skleniarz, Kraków

Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier nach DIN EN ISO 9706.

ISBN 978-3-410-29259-3

Vorwort zur 6. Auflage

Planung, Entwurf, Berechnung, Nachweis und Fertigung von Kranbahnträgern nach den harmonisierten europäischen Normen stehen im Mittelpunkt dieses Buches. Neben den neu zu bauenden Kranbahnen werden besonders auch Inspektion, Reparatur und Ertüchtigung von Kranbahnen im Bestand behandelt. Vier Jahre nach dem Erscheinen der letzten Auflage hat sich der Stand der Technik weiterentwickelt. Einige relevante Normen sind in neuen Ausgaben erschienen (z.B. DIN EN 1991-2NA, DIN EN 1993-6NA, DIN EN 1993-1-1NA, DIN EN 1090-2, DIN EN 10365). Darüber hinaus hat sich die Nachweispraxis weiterentwickelt. Wichtige Forschungsprojekte aus Stuttgart (z.B. [EK18]), Aachen (z.B. [CF18]), Graz (z.B. [KZU20]) und München (z.B. [BSRE15]) liefern neue, praxisrelevante Erkenntnisse. Themen, die sich mit Kranbahnen im Bestand auseinandersetzen, wie z.B. Ertüchtigung und Restnutzungsdauer, werden angesichts der immer älter werdenden Industrieinfrastruktur immer wichtiger.

Diese Entwicklungen machten eine komplette Überarbeitung und Ergänzung der „Kranbahnen“ notwendig; keine einzige Seite ist unverändert geblieben. Besonders die Kapitel 5 (Auflager, Stöße, Stützen), 6 (Fertigung und Montage), 7 (Prüfung und Inspektion von Kranbahnen), 15 (Ermüdungsnachweis) und 16 (Schrauben- und Schweißverbindungen) wurden erweitert, das Kapitel 9 (Vorbemessungstabellen von Kranbahnen aus Walzprofilen) wurde neu hinzugefügt. Bei der Beispielrechnung in Kap. 17 wurde die Stahlgüte der Kranbahn von S 235 auf S 355 verändert, um dem Trend zu S 355 Rechnung zu tragen. In den vorderen Kapiteln wurden viele Konstruktionsvorschläge ergänzt und Details verbessert.

Beim Nachdenken über die Frage, wie sich neue wissenschaftliche Erkenntnisse in der Praxis von Entwurf, Berechnung und Nachweis der Kranbahnträger nutzen lassen, merkt man unwillkürlich, wie Recht doch Leonardo da Vinci mit seinem oben zitierten Satz hat: Es wird ein Problem gelöst und dabei entstehen 5 neue Fragen. Das macht Wissenschaft so spannend!

Das Buch wendet sich an Bauingenieure, die Kranbahnen planen, konstruieren, berechnen, bauen, betreiben und warten. Für Kransachverständige und in der Fördertechnik aktive Maschinenbauingenieure kann es ebenfalls eine Hilfe sein. Eine weitere wichtige Zielgruppe sind Studierende an Hochschulen, die sich im Rahmen von Stahlbau-Vorlesungen vertiefend mit den Tragwerken der Fördertechnik auseinandersetzen wollen.

Die hilfreiche Unterstützung vieler Fachkollegen hat mir sehr weitergeholfen:

Herr Raphael Possler, M.Eng. hat die Vorbemessungstabellen in Kap. 9 des Buches erarbeitet. Dafür schulde ich ihm großen Dank!

Sehr dankbar bin ich dem erfahrenen Kransachverständigen und Statiker Dipl.-Ing. Reiner Thoss, von dem ich gelernt habe, die Krananlage auch von der Kranbrücke her zu denken, also den Blickwinkel des Maschinenbauers einzunehmen. Die teilweise unterschiedlichen Sichtweisen aus dem Bauingenieurwesen und aus dem Maschinenbau zu kombinieren, bringt wirklichen Mehrwert bei der Bewertung von Krananlagen.

Alle Fragen aus den Themenbereichen Stahl und Schweißen konnte ich bei meinem Kollegen Prof. Dr.-Ing. Ömer Bucak platzieren, er hat für alles eine praxisgerechte Lösung parat gehabt. Danke dafür!

Meinem Kranbau-Kollegen an der Hochschule München, Prof. Dr.-Ing. André Dürr, danke ich für den intensiven und weiterführenden fachlichen Austausch. Es ist ein Glück, dass die Hochschule München gleich über zwei Kranbauer verfügt!

Mit Herrn Dr.-Ing. Mathias Euler, vormals Universität Stuttgart, habe ich viele fruchtbare Diskussionen geführt. Die wichtigen Ergebnisse seiner Forschungsarbeiten sind auch in diesem Buch berücksichtigt.

Mein besonderer Dank für alle Gespräche gilt dem Altmeister der deutschen Fördertechnik, Herrn Dr.-Ing. habil. Werner Warkenthin, der seit weit mehr als einem halben Jahrhundert gleichermaßen tief in der Theorie wie in der Ingenieurpraxis verwurzelt ist.

Lorenz Ziche, B.Eng. hat dankenswerterweise einige Finite-Element-Berechnungen ausgeführt, die dabei helfen, Phänomene zu erklären und zu visualisieren.

Den vielen Kollegen und Kolleginnen aus der Praxis, die gute Fragen stellten, lehrreiche Beispiele lieferten oder aber interessante Fotos beisteuerten, gilt mein herzlicher Dank. Ihre Namen sind dort, wo dies möglich war, angegeben.

Um die fortgeschrittenen Optionen der Dokumentenorganisation und des Textsatzes nutzen zu können, wurde die 6. Auflage der „Kranbahnen“ erstmalig in LaTeX erstellt. Dieses open-source Textsatzsystem, das von Naturwissenschaftlern fast durchgängig schon seit vielen Jahren genutzt wird, ist im Bereich des Ingenieurwesens bisher wenig verbreitet. Nur Dank der Anregung, der großartigen und tätigen Hilfe (z.B. Übersetzung der alten Auflage von MS-Word in LaTeX) und Beratung meiner Tochter Frau Dr. rer.nat. Frauke Seeßelberg ist es gelungen, diese Auflage der „Kranbahnen“ in LaTeX zu erstellen. Der Leser mag sich davon überzeugen, dass das Experiment gelungen ist. Der Mehrwert für den Leser entsteht neben dem einheitlicheren Textsatz besonders auch durch die vielen anklickbaren Querverweise auf Bilder, Tabellen, Kapitel und Quellen, die natürlich nur über das E-Book genutzt werden können.

Die Zusammenarbeit mit Frau Sandra Handorf vom Beuth Verlag war hervorragend, vielen Dank dafür!

Die Geduld meiner Frau Sabine Seeßelberg habe ich in den 9 Monaten der Entstehungszeit dieser Auflage äußerst stark strapaziert, weil meine Arbeitswoche plötzlich mindestens sechs Arbeitstage hatte. Ohne ihr Verständnis und ihre Unterstützung, für die ich ihr von ganzem Herzen dankbar bin, hätte es diese Neuauflage nicht geben können.

Sehr verehrte Leserinnen und Leser, Ihre Ideen und Hinweise zu den bisherigen Auflagen haben mir geholfen, das Buch zu verbessern. Auch zukünftig freue ich mich sehr über Ihre Kommentare, gerne auch als E-Mail an christoph@seesselberg.de oder an den Verlag.

Aktuelle Hinweise zum Buch werden im Beuth Webshop www.beuth.de, ggf. auch unter www.seesselberg.de veröffentlicht.

Marzling, im November 2020

Christoph Seeßelberg

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Fördertechnik, Krane, Kranbahnen	1
1.2	Besonderheiten von Kranbahnen	3
1.3	Bauarten von Krananlagen	5
1.4	Normen für Krane und Kranbahnen	12
1.5	Geltungsbereich der deutschen Landesbauordnungen (LBO) für Kranbahnen	17
1.6	Grenzzustände und Teilsicherheitsbeiwerte Widerstand	17
1.7	Koordinatensystem	19
2	Planung von Brückenkrananlagen	20
2.1	Tabellen und Daten für die Planung	20
2.2	Kranfahrwerksystem	31
2.3	Seitenführungssysteme	32
3	Kranschienen und ihre Befestigung	35
3.1	Schienenformen	35
3.2	Befestigung der Schiene, Schienenunterlagen	38
3.3	Schienenstöße	45
3.4	Zur Auswahl von Kranschiene und Laufgrad	50
3.5	Nachweis diskontinuierlich gelagerter Profilschienen	57
3.6	Schienenverschleiß, Auswechslung	59
3.7	Entgleisungsschutz	60
4	Kranbahnträger: Statisches System und Querschnitte samt Aussteifung	61
4.1	Statisches System der Kranbahn	61
4.2	Querschnittstypen für Kranbahnträger	63
4.3	Walzprofile als Kranbahnträger für Brückenlaufkrane	63
4.4	I-Schweißprofile, Dreiblechquerschnitte	69
4.5	Mit Winkeln verstärkte I-Profile	73
4.6	Kranbahnen mit halbierten Walzprofilen als Obergurte	75
4.7	Weitere zusammengesetzte Querschnitte	76
4.8	Träger mit Horizontalverband	77
4.9	Kastenträger	77
4.10	Besondere Bauarten für Kranbahnträger	81
4.11	Kranbahnträger aus anderen Werkstoffen	82
4.12	Aussteifung von Kranbahnträgern aus Stahl	85

5	Auflager, Stöße und Stützen	88
5.1	Auflagerungen für Kranbahnträger	88
5.2	Stöße der Kranbahnträger	95
5.3	Kranbahnträgerstützen	100
6	Anforderungen an Fertigung und Montage von Kranbahnträgern	104
6.1	Einstufungen, Anforderungen an den fertigen Betrieb	104
6.2	Qualität der Schweißnähte bei EXC3/DIN EN 1090-2	105
6.3	Korrosionsschutz	106
6.4	Geometrische Toleranzen	107
6.5	Vermessung der Kranbahn	114
7	Prüfungen und Inspektionen von Krananlagen	116
7.1	Arten von Prüfungen, Prüfpersonal, Dokumentation	116
7.2	Einmalige Prüfungen der Krananlage	119
7.3	Wiederkehrende Prüfungen der Krananlage (Maschinenbau)	123
7.4	Wiederkehrende Inspektionen von Kranbahnen (Bauwesen)	124
8	Einwirkungen auf Kranbahnen	134
8.1	Einwirkungen aus Kranbetrieb	134
8.2	Weitere Einwirkungen auf Kranbahnträger	143
8.3	Hubklassen, Schwingbeiwerte, Beanspruchungsklassen	145
8.4	Einwirkungskombinationen (EK)	148
8.5	Kräfte aus Beschleunigung und Bremsen	151
8.6	Kräfte aus Schräglauf	157
8.7	Pufferkräfte	167
8.8	Auswertung des Krantatenblatts	175
9	Vorbemessung von Kranbahnen aus Walzprofilen	179
9.1	Parameterfeld und Randbedingungen für die Vorbemessungstabellen	179
9.2	Vorbemessung des Kranbahnquerschnitts mit Tabellen	182
9.3	Vorbemessungstabellen	187
9.4	Wirtschaftliche Einsatzbereiche der Profilreihen	196
9.5	Anwendungsbeispiel	196
10	Berechnung von Kranbahnen	199
10.1	Schnittgrößen und ihre Darstellungsformen	199
10.2	Der von Wanderlasten befahrene Einfeldträger	201
10.3	Der von Wanderlasten befahrene Mehrfeldträger	206
10.4	Querschnittswerte von ausgewählten Kranbahnquerschnitten	213
10.5	Anmerkungen zur Berechnung von Kranbahnen	216
10.6	Spannungen aus globalen Schnittgrößen	222
10.7	EDV-Programme zur Berechnung von Kranbahnen	225
10.8	Wirkung der Lasten aus Kranbetrieb auf Hallenbinder	228
10.9	Berechnung von Trägern mit Horizontalverband	233
10.10	Berechnung dünnwandiger Kastenträger	236
11	Querschnittsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	243

11.1	Querschnittsklassen	243
11.2	Allgemeines zum Querschnittsnachweis	244
11.3	Querschnittsnachweis für Kranbahnträger der QK 1/2	245
11.4	Querschnittsnachweise für Kranbahnträger der QK 3	249
12	Nachweise der lokalen Beanspruchungen im GZT	251
12.1	Lasteinleitung aus Rädern von Laufkranen	251
12.2	Radlastpressung	252
12.3	Stegbiegung infolge exzentrischer Radlasteinleitung	256
12.4	Beulnachweis des Stegblechs nach EC 3-1-5	260
13	Bauteilnachweis: Biegedrillknicken	270
13.1	Überblick	270
13.2	Ersatzstabverfahren „Knickender Obergurt“	270
13.3	Ersatzstabverfahren nach EC 3-6, Anhang A	274
13.4	BDK-Nachweis als Schnittgrößen-/ Spannungsnachweis	277
13.5	Empfehlungen zur Auswahl des BDK-Nachweisverfahrens	278
14	Gebrauchstauglichkeitsnachweis	280
14.1	Grenzwerte für Verformungen und Verschiebungen	280
14.2	Berechnung der Durchbiegungen	289
14.3	Abschätzung der Eigenfrequenzen	293
14.4	Sicherstellung elastischen Verhaltens	294
14.5	Begrenzung des Stegblechatmens im GZG	296
14.6	Begrenzung der Schwingungen des Unterflansches	297
15	Ermüdungsnachweis	298
15.1	Betriebsbeanspruchung, Versagensvorgang, Konzepte	299
15.2	Einstufung von Kranbahnen in Beanspruchungsklassen	307
15.3	Wöhlerlinien, normierte Wöhlerlinien und zugehörige Kerbfälle	320
15.4	Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-6 und DIN EN 1993-1-9	339
15.5	Ermüdung von Horizontalträgern	351
15.6	Ermüdungsgerecht konstruieren, fertigen und montieren	351
16	Schrauben- und Schweißverbindungen	355
16.1	Schraubenverbindungen an Kranbahnträgern	355
16.2	Schweißverbindungen an Kranbahnträgern	359
16.3	Schienenschweißnähte	362
16.4	Steghalsnähte	373
17	Beispielrechnung Kranbahn	377
17.1	Aufgabenstellung	377
17.2	Lastannahmen und Einstufungen	377
17.3	Schnittgrößen	378
17.4	Querschnittswerte und vollplastische Schnittgrößen	380
17.5	Querschnittsnachweise	381
17.6	Bauteilnachweis: Biegedrillknicken (BDK)	383
17.7	Lokale Nachweise	386

17.8 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	393
17.9 Ermüdungsnachweis	395
17.10 Zusammenfassung und Bewertung	400
17.11 Weitere Berechnungsbeispiele in der Literatur	401
18 Kranbahnen für Hängekrane und Laufkatzen	402
18.1 Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	402
18.2 Nachweis der Tragfähigkeit des Unterflanschs	405
18.3 Nachweise von Kranbahnen für Hängekrane und Laufkatzen	411
18.4 Berechnungsbeispiel Katzbahnträger	415
18.5 Konstruktive Details	421
19 Bestandskranbahnen: Ertüchtigung und Restnutzungsdauer	425
19.1 Allgemeine Überlegungen	425
19.2 Ertüchtigung von Kranbahnen	429
19.3 Kranradlasten über die Krankonstruktion reduzieren	431
19.4 Kranlasten durch die Kransteuerung begrenzen	434
19.5 Restnutzungsdauer einer Bestandskranbahn	438
A Abkürzungsverzeichnis	449
B Häufig verwendete Formelzeichen	450
Literaturverzeichnis	453
Stichwortverzeichnis	469

1 Einleitung

1.1 Fördertechnik, Krane, Kranbahnen

Fördertechnik ist gefragt, wenn Menschen oder Güter über kurze Entfernungen auf meist festgelegten Wegen transportiert werden sollen. Dabei handelt es sich i. d. R. um innerbetrieblichen Transport oder Warenumschlag an Lagerplätzen. Die Fördertechnik [HKS12] behandelt alle dazu nötigen Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse sowohl unter technischen als auch ökonomischen Gesichtspunkten. Entwurf, Nachweis und Konstruktion der notwendigen Anlagen und Geräte (Fördermaschinen) sind damit ein wesentlicher Teil der Fördertechnik. Fördermaschinen werden unterschieden in Stetigförderer (z. B. Transportbänder) und Unstetigförderer. Krane, um die es im Folgenden ausschließlich geht, zählen zur letzteren Gruppe. An der Planung und Entwicklung von Kranen als Fördermaschinen sind mehrere technische Disziplinen beteiligt:

- Funktion von Kranen => Teilgebiet des Maschinenbaus
- Tragwerke von Kranen und Kranbahnen => Teilgebiet des Stahlbaus
- Antriebe, Mechanismen, elektrische Steuerung, Energie => Teilgebiete des Maschinenbaus und der Elektrotechnik

Dieses Buch behandelt für die Krantechnik wichtige Tragwerke des Stahlbaus am Beispiel der Kranbahnträger (Abb. 1.1). Die Oberkante der Schiene eines Kranbahnträgers bildet die Schnittstelle zwischen Bauwerk und Maschinenbau. Die Kranbahnen gelten deshalb als zum Bauwesen gehörige Tragwerke der Fördertechnik. Um deren Beanspruchung verstehen zu können, ist ein Grundwissen über die Funktionsweise der sie belastenden Krananlagen notwendig.

Begriffsdefinitionen:

- **Hebezeuge** sind Lotrechtförderer für Einzellasten. Werden Hebezeuge in Krananlagen verwendet, spricht man von Hubwerken. Der Hubvorgang kann handbetätigt oder kraftbetätigt erfolgen.

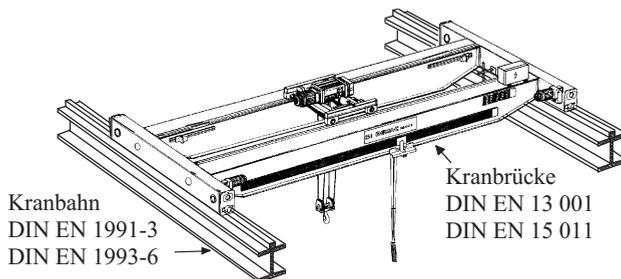


Abb. 1.1: Brückenlaufkran und Kranbahnen

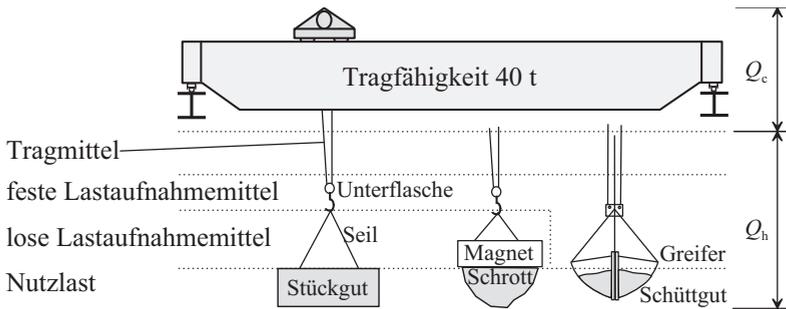


Abb. 1.2: Begriffe bei Krananlagen nach [EK17]

- **Krane** sind Hebezeuge, die in eine oder mehrere Richtungen bewegt werden können. Alle beweglichen Teile einer Krananlage werden im Folgenden als Kran bezeichnet.
- **Kranbahnen (Kranbahnträger)** dienen als Fahrweg für bewegliche Krane. Die Krane können dabei auf einer aufgelegten Schiene stehen oder am Flansch des Kranbahnträgers hängen.
- **Krananlagen** können aus Kranen und Kranbahnen bestehen.
- **Tragfähigkeit** m_{RC} : maximale Nennlast oder Nennt Tragfähigkeit, die betriebsmäßig höchstens vom festen Lastaufnahmemittel aufgenommen werden darf. Angabe in kg und ab 1000 kg in t. Die Nennlast setzt sich zusammen aus den Massen von Nutzlast und losen Lastaufnahmemitteln. (DIN EN 15 011, 3.3)
- **Hublast** m_H : Summe der vom Kran angehobenen Massen, die als das Maximum gilt, für dessen Heben der Kran konstruktiv ausgelegt ist. Die Last setzt sich zusammen aus Tragfähigkeit, dem festen Lastaufnahmemittel und dem Tragemittel. (DIN EN 15 011, 3.4)
- **Tragemittel**: Teil der Hublast, entweder ein Seil, Band oder eine Kette, mit dem/der das feste Lastaufnahmemittel aufgehängt wird, siehe Abb. 1.2. (DIN EN 15 011, 3.5)
- **Lastaufnahmemittel (LAM)**: Bauteil, welches der Lastaufnahme dient, z. B. ein Lasthaken, eine Unterflasche oder ein Greifer, siehe Abb. 1.2.
Als feste Lastaufnahmemittel werden die LAM bezeichnet, die fest mit dem Tragemittel verbunden sind.
- **Hubwerk**: Maschine zum Anheben der Last.
- **Nutzlast oder Payload**: Masse der Last, die an das LAM gehängt oder vom LAM getragen werden kann, siehe Abb. 1.2.

In gewerblich genutzten Gebäuden sind Krananlagen wesentliche Bestandteile der Einrichtung. Der Wille, schwere körperliche Arbeit zu vermeiden, steigende Löhne, Gesundheitsschutz, Automation und Massenproduktion – kurzum: der Wettbewerbsdruck – waren früher die Triebfedern für die starke Entwicklung der Krantechnik; sie werden es auch in Zukunft bleiben.

Der Begriff „Kran“ soll sich um die Jahrhundertwende 19./20. Jh. eingebürgert haben. Der Anblick von Kranen aus dieser Zeit mit ihren fachwerkartigen Füßen, dem drehbaren Maschinenhaus und dem Ausleger soll an Kraniche erinnert haben, deren vereinfachter Name dann auch für die Hebezeuge verwendet wurde (siehe Brockhaus Enzyklopädie, Band 10, 17. Auflage, Wiesbaden 1970, S. 579). Der Plural des Krans lautet folglich – analog zu „Kraniche“ – fachsprachlich „Krane“, während umgangssprachlich auch „Kräne“ verwendet wird (siehe Duden,



Abb. 1.3: Titelblatt des Kranbau-Katalogs von Rudolph Bredt, Düsseldorf 1894/1895; Rudolph Bredt (1842 – 1900) nach [Kur03]

Band 1, 20. Auflage, Mannheim, Wien, Zürich 1991, S. 418). Die Plural-Form „Kräne“ ist allerdings in der Fachwelt verpönt und wird dort nicht verwendet.

Zur Geschichte des Kranbaus siehe [BLS00], [Dub22], [Kur00], [Kur03], [Ziz03]. Abb. 1.3 zeigt das Titelblatt des ersten deutschen Kran-Katalogs der Firma Ludwig Stuckenholz von Rudolph Bredt (1842–1900), dem Altmeister des deutschen Kranbaus. $\frac{1}{4}$ des gesamten aus dem Jahr 1894 stammenden Katalogs ist den Laufkränen gewidmet, aber auch andere damals gängige Krantypen werden vorgestellt. Die Firma L. Stuckenholz ist eine der Vorgängerfirmen der DEMAG Cranes and Components GmbH.

1.2 Besonderheiten von Kranbahnen

Kranbahnen weisen meist einfache statische Systeme auf (Ein-, Zwei- oder Mehrfeldträger). Trotzdem sind sie ganz besondere Tragwerke mit Merkmalen, die sich von denen der im Stahlhochbau üblichen Bauwerke unterscheiden:

- (a) **Kranbahnträger sind „nicht vorwiegend ruhend“ beansprucht.** Die auftretenden Spannungen sind im Regelfall über die Zeit veränderlich $\sigma = \sigma(t)$, siehe Abb. 1.4. Eine nur statische Bemessung, wie sie im Stahlhochbau üblich ist, reicht deshalb nicht aus. Mit zunehmender Lastwechselzahl nimmt die Beanspruchbarkeit des Werkstoffs ab, der Stahl ermüdet. Ermüdungsprobleme spielen eine wichtige Rolle bei Konstruktion, Bemessung, Nachweis, Fertigung und Montage von Kranen und Kranbahnen.

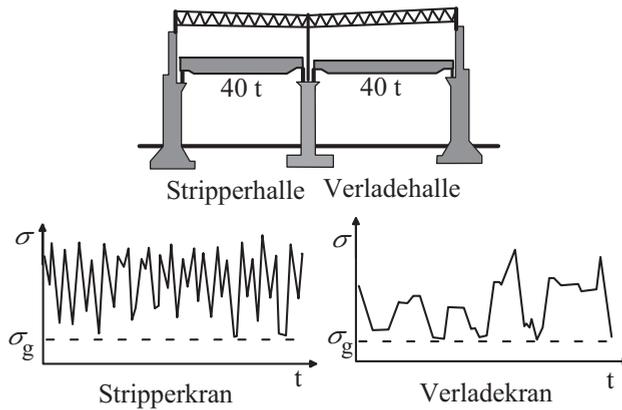


Abb. 1.4: Spannungs-Zeit-Verlauf für zwei Krane nach [Pet94]

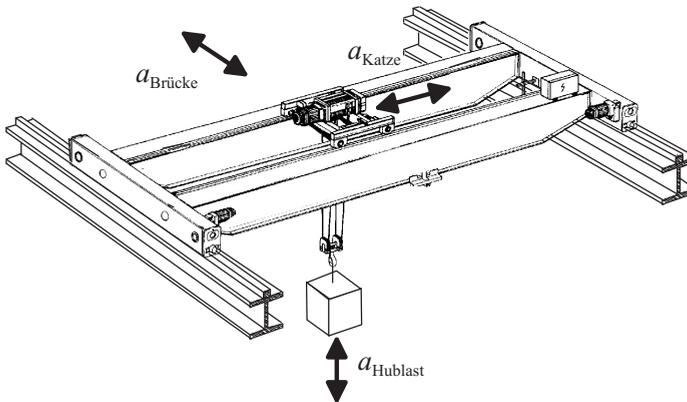


Abb. 1.5: Beschleunigte Massen beim Kranbetrieb

- (b) **Massenkräfte** $F = m \cdot a$ infolge der Beschleunigung a können die Krananlage mit der Masse m in alle Richtungen beanspruchen. Sie werden z. B. durch Anfahr- und Bremsvorgänge der Kranbrücke und der Krankatze oder durch vertikales Beschleunigen der Hublast verursacht (Abb. 1.5). Teilweise werden die auftretenden Massenkräfte explizit berechnet, teilweise auch vereinfacht in Form eines Schwingbeiwerts als Faktor auf die statischen Gewichtskräfte berücksichtigt.
- (c) **Komplexe Stabilitätsprobleme** sind beim Nachweis der Kranbahnträger zu lösen, zum Beispiel Biegedrillknicken in Verbindung mit planmäßig vorhandener Torsion.
- (d) **Die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit** von Krananlagen sind wesentlich höher als im Stahlhochbau sonst üblich. Nur bei Einhaltung der Grenzwerte für die Verformungen ist ein zuverlässiger Kranbetrieb zu erwarten.
- (e) **Die steifenlose Lasteinleitung der Radlast** in den Kranbahnträger erfordert stets einen Beulnachweis des Stegs unter Berücksichtigung von Querlasten.

1.3 Bauarten von Krananlagen

DIN 15001-2 teilt die Fördermaschinen nach der Art ihrer Verwendung ein, z. B. Hafenkranne, Gießkranne, Werkstattkranne. Diese Einteilung ist im Hinblick auf die Bestimmung der Einwirkungen von Bedeutung. Die Einteilung der Kranne nach der Bauart gemäß DIN 15001-1 bezieht sich dagegen vorwiegend auf das Stahltragwerk. Es werden ortsfeste und ortsveränderliche Krananlagen unterschieden. Eine Krananlage ist ortsveränderlich, wenn sie an wechselnden Orten eingesetzt werden kann. Bauarten ortsfester Krananlagen sind z.B.:

- Laufkatzen
- Drehkranne
 - Wandschwenkkranne
 - Säulendrehkranne
- Brückenkranne
 - Brückenlaufkranne
 - * Einträger-Brückenlaufkranne
 - * Zweiträger-Brückenlaufkranne
 - Hängkranne, Deckenkranne
- Konsolkranne (Wandlaufkranne)
- Portalkranne
 - Vollportalkranne
 - Halbportalkranne

1.3.1 Laufkatzen

Laufkatzen hängen am Unterflansch eines als Katzbahnträger bezeichneten Kranbahnträgers und können sich – hand- oder kraftbetätigt – in Richtung des Katzbahnträgers bewegen (Abb. 1.6). Auch der Hubvorgang kann entweder von Hand oder kraftbetätigt erfolgen. Hängkatzen kommen als eigenständige Kranne, deren Katzbahnträger direkt am Gebäude befestigt sind, genauso vor wie als Bestandteil von Brückenkranen, Schwenkkranen oder Portalkranen.

Hängkatzen werden bei Hublasten bis ca. 10 t eingesetzt. Sie können Hublasten nur entlang des Katzbahnträgers transportieren. Deshalb findet man z. B. in der Automobilproduktion mit ihren entlang der Montagebänder verlaufenden Transportwegen viele Kranbahnen für Laufkatzen.

1.3.2 Drehkranne

Es werden Säulendrehkranne und Wandschwenkkranne unterschieden.

- **Säulendrehkranne** (Abb. 1.7) besitzen eine ortsfeste Säule, einen Ausleger und das Hebezeug (meist eine Laufkatze). Die Säule ist im Fundament eingespannt. Drehen, Fahren, Heben sind von Hand oder kraftbetrieben möglich. Die maximale Last kann bis ca. 6 t betragen. Das maximale Traglastmoment bleibt i. d. R. kleiner als 300 kNm. Die bedienbare Grundfläche ist kreisförmig.

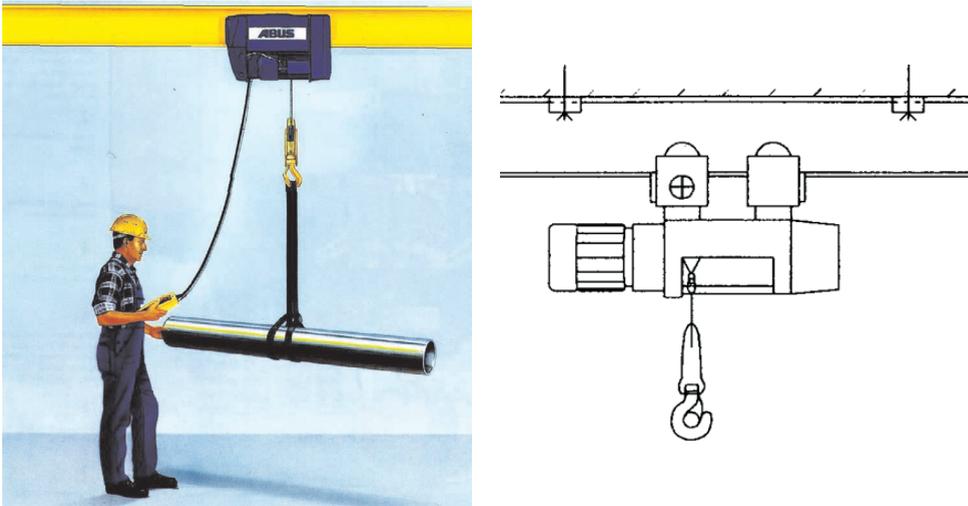


Abb. 1.6: Kranbahn mit Laufkatze (Firma ABUS)



Abb. 1.7: Säulendrehkrane nach DIN EN 16851 (© ABUS Kransysteme GmbH)

- **Wandschwenkkrane** (Abb. 1.8) sind oben und unten gelagert. Das obere Lager ist ein einwertiges Lager und nimmt nur Horizontalkräfte auf. Das untere Lager ist zweiwertig; es nimmt vertikale und horizontale Lasten auf. Die maximale Last kann bis ca. 4 t betragen. Das maximale Traglastmoment bleibt meist unter 150 kNm. Es kann eine kreis-ausschnittsförmige Fläche bedient werden.

1.3.3 Brückenkrane

Brückenkrane im Sinne von DIN EN 15011 sind Krane, die auf Schienen oder Fahrbahnen bewegbar sind. Sie besitzen mindestens einen horizontalen Hauptträger und sind mit mindestens einem Hubwerk ausgestattet.



Abb. 1.8: Wandschwenkkran nach DIN EN 16851 (© ABUS Kransysteme GmbH)



Abb. 1.9: Einträger-Brückenlaufkran nach DIN EN 15011 (Firma Donges)

1.3.3.1 Brückenlaufkrane

Brückenlaufkrane (Abb. 1.9 bis Abb. 1.11) bestehen aus einem oder zwei Brückenträgern, den Kopfträgern und der Katze mit dem Hebezeug. Der Laufkran fährt auf Schienen, die oben auf den Kranbahnträger aufgelegt sind. Der Querschnitt der Kranbrücke kann z. B. aus einem I-Walzprofil oder einem Kastenträger bestehen. Für das Verhältnis von Brückenspannweite s zu Radstand a (Abb. 1.10) sollte $s/a \leq 7$ gelten, um gute Laufeigenschaften des Krans zu gewährleisten.

Einträger-Brückenlaufkrane können Lasten bis ca. 10 t und darüber übernehmen und eine Spannweite bis ca. 22 m überbrücken. Der Brückenträger liegt auf den Kopfträgern auf oder ist zwischen ihnen eingehängt. Am Brückenträger leistet meist eine Hängekatze die Hubarbeit.

Zweiträger-Brückenlaufkrane können höhere Lasten als Einträger-Krane ertragen und größere Spannweiten überbrücken: 100 t Hublast und 30 m Spannweite sind keine Seltenheit, aber auch noch größere Hublasten kommen z. B. in Stahlwerken vor. Als Katze wird meist eine oben auf Schienen gesetzte Laufkatze mit Elektroseilzug oder Windwerk eingesetzt, weniger oft eine Hängekatze. Da Zweiträger-Brückenkrane steifer sind als Einträger-Krane, besitzen sie im Regelfall bessere Laufeigenschaften.

1.3.3.2 Hängekrane und Deckenkrane

Im Unterschied zum Laufkran hängt der Hängekran an den Untergurten der Kranbahnträger, siehe Abb. 1.12 und Kapitel 18. Üblicherweise werden Hängekrane als Einträger-Hängekrane

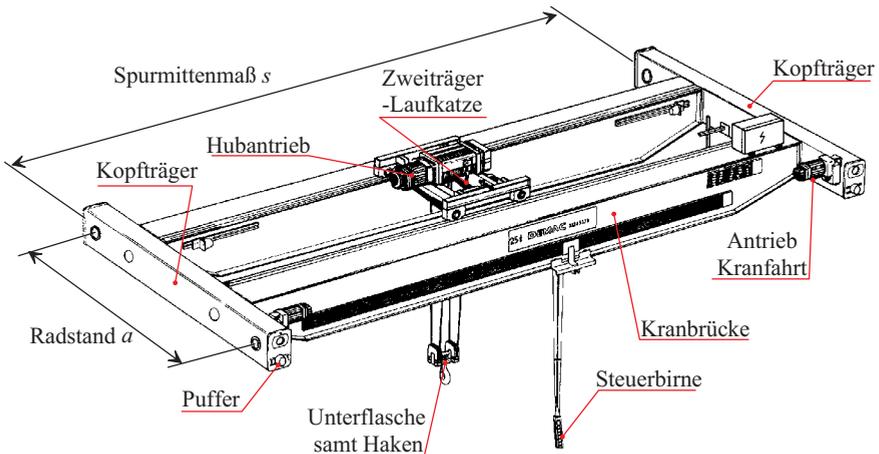


Abb. 1.10: Bauteile eines Zweiträger-Brückenlaufkrans (Firma DEMAG)

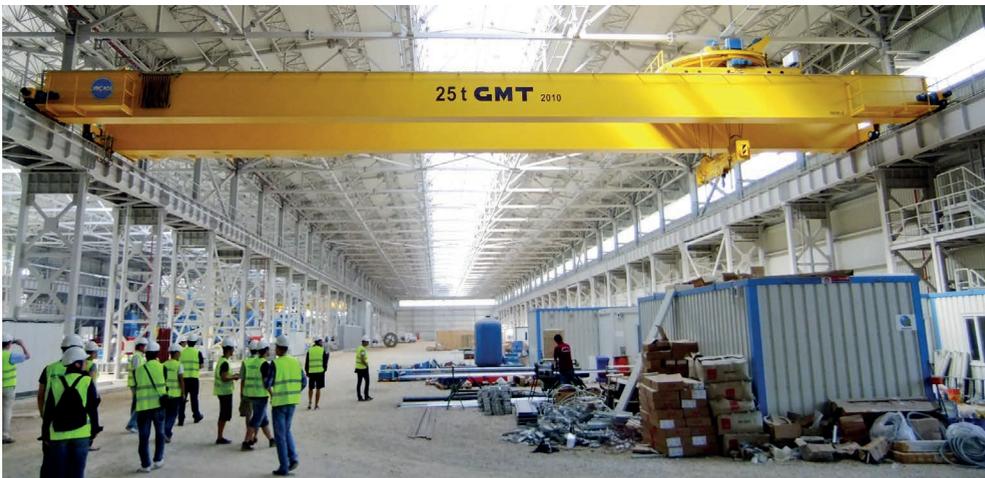


Abb. 1.11: Kranhalle mit Zweiträger-Brückenlaufkranen (Bursa, Türkei, 2011)

ausgeführt. Der Brückenträger besteht oft aus einem I-Walzprofil. Die Radlasten werden – siehe Abb. 1.12 – am Unterflansch eingeleitet und führen zu einem mehrachsigen Spannungszustand im Untergurt des Kranbahnträgers. Hängekrane werden üblicherweise bis ca. 10 t Hublast und bis ca. 20 m Spannweite eingesetzt.

Deckenkrane sind Hängekrane, deren Kranbahnen fest (also nicht pendelnd) am Dach oder an der Deckenkonstruktion befestigt sind. Hängekrane, deren Laufschienen an Konsolen der Hallenstützen befestigt sind, werden im Sinne der Unfallverhütungsvorschrift DGUV V52 [DGU01] als Brückenkrane behandelt ([KH11] S. 40).



Abb. 1.12: Deckenkrane (Firma DEMAG)

1.3.4 Portalkrane und Halbportalkrane

Portalkrane (Abb. 1.13) bestehen aus einem Rahmen, der auf zwei parallelen Schienen fahrbar aufgestellt ist. Auf der Brücke fährt eine Laufkatze quer zur Hauptfahrtrichtung des Krans.

Portalkrane werden als Zwei- oder Dreigelenkrahmen ausgebildet. Bei einer Ausführung als Dreigelenkrahmen wird ein Gelenk an den oberen Endpunkt einer der beiden Stützen gelegt, die dadurch in der Kranebene zur Pendelstütze wird.

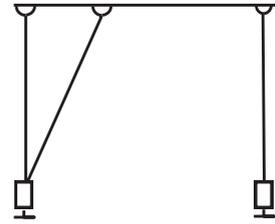
Portalkrane werden meist außerhalb von Gebäuden eingesetzt, z. B. als Hofkran, zur Containerverladung oder als Hafenkran.

Als Fahrweg kann ein Betonfundament mit aufgelegter Kranschiene dienen. Wegen der größeren Unebenheiten der Schienen – z. B. infolge von Setzungen oder größeren Maßabweichungen des Betonfundaments – werden die hohen, meist auf viele Räder aufgeteilten Vertikallasten statisch bestimmt übertragen. Dazu ist ein Fahrwerk mit Radschwingen notwendig, siehe Abb. 1.13 c).

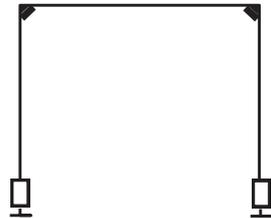
Bei einer Ausführung als Halbportalkran wird eine Kranseite auf einer hochgelegten Kranbahn geführt. Diese Ausführungsvariante kann z. B. sinnvoll sein, wenn die Krananlage innen oder außen an eine Gebäudewand anschließt, siehe Abb. 1.14.

1.3.5 Konsolkrane

Konsolkrane, die auch als Wandlaufkrane bezeichnet werden, sind verfahrbare Krane mit einem Kragträger als Lastarm (Abb. 1.15).



a) Portalkran
als Dreigelenkrahmen;
Termiz, Usbekistan 2014

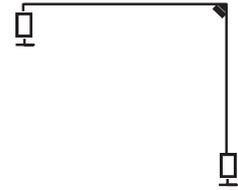


b) Portalkran
als Zweigelenkrahmen;
Inntal, Österreich 2005

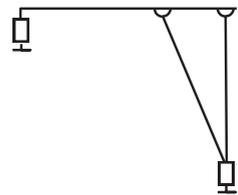


c) Fahrwerk
eines Portalkrans:
Radlasten unabhängig
von Schienen-
unebenheiten;
Hamburg 2003

Abb. 1.13: Portalkrane



a) Halbportalkran
als Zweigelenkrahmen;
Bursa, Türkei 2011



b) Halbportalkran
als Zweigelenkrahmen;
© ABUS
Kransysteme GmbH

Abb. 1.14: Halbportalkrane

Die beiden Kranbahnträger befinden sich an einer Hallenseite übereinander. Die Vertikallasten werden in den unteren Kranbahnträger eingeleitet. Das durch Eigengewichte und die Hublast erzeugte Kragmoment wird in ein horizontales Kräftepaar umgewandelt. Die Tragfähigkeit kann 10 t erreichen, die Länge des Lastarms bis zu 7,5 m.

1.3.6 Hafenkranne

Containerkrane (Abb. 1.16 a) prägen die Skyline eines jeden Hafens.

Wippkrane (Abb. 1.16 b) werden gerne für die Beladung von Schiffen verwendet.

1.3.7 Mobile Krane: Turmdrehkrane und Fahrzeugkrane

Fahrzeugkrane (Abb. 1.16 c) werden durch die Weiterentwicklung der Stähle immer leistungsfähiger:



Abb. 1.15: Konsolkrane (© ABUS Kransysteme GmbH)

Das Verhältnis von Eigengewicht zu Hublast verbessert sich. Die maximalen Hublasten liegen mittlerweile bei über 1200 t, das maximale Lastmoment über 3600 tm.

Turmdrehkrane (Abb. 1.16 d) werden ebenfalls den mobilen Kransystemen zugerechnet.

1.3.8 Schiffskrane, Eisenbahnkrane

Schiffskrane (Abb. 1.17) dienen der Be- und Entladung von Frachtschiffen und sind mit der Schiffskonstruktion direkt verbunden. Eisenbahnkrane sind für den Betrieb auf Schienen optimierte mobile Kransysteme.

1.4 Normen für Krane und Kranbahnen

1.4.1 Normen für Krane in Deutschland und in Europa

Abb. 1.18 zeigt einen Überblick über die im Folgenden aufgelisteten Normen.

DIN 120 (1936–1974) „Berechnungsgrundlagen für Stahlbauteile von Kranen und Kranbahnen“:

DIN 120 galt gleichzeitig für Krane (Maschinenbau) und für Kranbahnen (Bauwesen). Nicht zuletzt auf Grund von Schadensfällen (Ermüdungsversagen an hochbeanspruchten Hüttenkranen, siehe [Sah68]) wurde die Norm in den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts überarbeitet. DIN 120 entspricht nicht mehr dem heutigen Stand der Technik.

DIN 15018 (1974–2012) „Krane“: Neue wissenschaftliche Erkenntnisse, besonders auf dem Gebiet der Betriebsfestigkeit, führten im maschinenbaulichen Kranbau in 1974 zur Ablösung der DIN 120 und zur Einführung der DIN 15018. Für die dem Baubereich zugeordneten Kranbahnen war zunächst weiterhin DIN 120 maßgebend.



a) Containerkrane; Vancouver, Kanada 2011



b) Wippkrane;
Nishny Novgorod, Russland 2014



c), d) Schwere Fahrzeugkrane; Firma Liebherr, Biberach



e) Leichter Turmdrehkran als Baustellenkran; Marzling 2012

Abb. 1.16: Hafenkranne und mobile Krane



Abb. 1.17: Schiffskrane (Ushuaia, Argentinien, 2016)

DIN EN 13 001 und DIN EN 15 011: (2012 bis heute): Euronormen ersetzen die mittlerweile zurückgezogene DIN 15 018 und regeln die Bemessung der Krane. Die neuen Krannormen beinhalten nun auch das semiprobabilistische Sicherheitskonzept. Sie sind in vielen – nicht in allen – Bereichen kompatibel zu den Eurocode-Normen des Baubereiches. Produktnormen sind inklusive der darin angegebenen mitgeltenden Normen primär anzuwenden. Für Brücken- und Portalkrane gilt die maschinenbauliche Produktnorm (Typ-C-Norm nach EN ISO 12 100):

- DIN EN 15 011 Krane – Brücken- und Portalkrane

Für aufgehängte oder freistehende Leichtkransysteme, Säulendrehkrane und Wanddrehkrane gilt die maschinenbauliche Produktnorm (Typ-C-Norm):

- DIN EN 16 851 Krane – Leichtkransysteme

Allgemeine maschinenbauliche Krannormen sind dann anzuwenden, wenn die spezifischen Produktnormen für eine Fragestellung keine Regelung vorsehen. Wichtige Teile der Normenfamilie DIN EN 1 3001 Krane – Konstruktion (Typ-C-Norm) allgemein sind:

DIN EN 13 001-1	Teil 1: Allgemeine Prinzipien und Anforderungen
DIN EN 13 001-2	Teil 2: Lasteinwirkungen
DIN EN 13 001-3-1	Teil 3.1: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise von Stahltragwerken
DIN EN 13 001-3-2	Teil 3.2: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise von Drahtseilen
DIN EN 13 001-3-3	Teil 3.3: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise von Rad/Schiene-Kontakten

Weitere maschinenbauliche Regelwerke für Krane: Während im Bereich des Bauwesens die bauaufsichtlich eingeführten Normen konsequent anzuwenden sind, ist der maschinenbauliche Bereich traditionell hinsichtlich Berechnung und Nachweis weniger stark festgelegt. Dies führte zu einem Nebeneinander verschiedener Normen und Regeln. Außer den DIN-Normen gibt es für

die Bemessung von Kranen weitere Regelwerke, die immer wieder angewandt werden:

- F.E.M.-Richtlinie 1.001 „Berechnungsgrundlagen für Krane“, Ausgabe 1998 [FEM98]
- FKM-Richtlinie [FKM12], 1994 erstmalig erschienen, aktuell in der 6. Ausgabe von 2012 vorliegend

1.4.2 Normen für Kranbahnen in Deutschland und seit 2012 in Europa

DIN 120 (1936–1980) „Berechnungsgrundlagen für Stahlbauteile von Kranen und Kranbahnen“

DIN 120 entspricht nicht mehr dem heutigen Stand der Technik. Besonders im Hinblick auf den Ansatz der horizontalen Lasten aus Kranbetrieb und hinsichtlich der Bewertung der Ermüdung liegen die Regelungen der DIN 120 auf der unsicheren Seite. Der Nachweis einer Kranbahn nach DIN 120 wird heute nicht mehr als Nachweis einer ausreichenden Standsicherheit akzeptiert, DIN 120 gilt als unsichere Altnorm.

TGL 13471: Kranbahnen in der damaligen DDR (1969–1990): In der damaligen DDR wurden Kranbahnen und deren Unterstützungen nach TGL 13 471 „Stahltragwerke für Kranbahnen“ (Ausgabe 1968) in Verbindung mit TGL 13 500 „Stahltragwerke, Berechnung und bauliche Durchbildung“ berechnet, siehe [GLR20].

Mit den Normen TGL 21-386 001, Blatt 1 und 2 aus dem Jahr 1965 konnten Kranbahnträger im Rastermaß 6 m oder 12 m bei Hublasten bis 50 t bemessen werden.

Die TGL-Normen entsprechen nicht mehr in allen Bereichen dem heutigen Stand der Technik. Die nach TGL ermittelten Seitenkräfte sind geringer als nach den heutigen Normen. Eine nach TGL bemessene Kranbahn im Baubestand kann deshalb nicht automatisch als ausreichend sicher angesehen werden. Die genannten TGL-Normen gelten als unsichere Altnormen.

DIN 4132: (1980–2012) „Kranbahnen“: Im Jahr 1980 wurde mit der DIN 4132 endlich eine Norm für Kranbahnen eingeführt, die zu DIN 15 018 kompatibel war. Damit konnte die längst als überholt geltende DIN 120 endlich zurückgezogen werden. Seit 1995 wurde DIN 4132 in Verbindung mit DIN 18 800 und der Anpassungsrichtlinie Stahlbau angewendet. Damit waren alle Nachweise erstmalig nach dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept zu führen. Nachweise nach DIN 4132 gelten im Regelfall auch heute noch als Nachweis einer ausreichenden Sicherheit.

Eurocodes: (2012 bis heute) Seit 2012 sind die Eurocodes in allen 16 Bundesländern bauaufsichtlich eingeführt. Für Kranbahnträger sind folgende Eurocodes besonders relevant:

- DIN EN 1991-3 „Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen“ – im Folgenden auch als EC 1-3 bezeichnet. EC 1-3 wird zur Anwendung in Deutschland durch einen Nationalen Anhang ergänzt.
- DIN EN 1993-6 „Kranbahnen“ – im Folgenden auch als EC 3-6 bezeichnet – regelt auf der Widerstandsseite die Bemessungsverfahren für Kranbahnen. EC 3-6 wird zur Anwendung in Deutschland durch einen Nationalen Anhang ergänzt.

Für Kranbahnträger relevante Stahlbau-Grundnormen (Auswahl)

- DIN EN 1993-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Kurzbezeichnung: Eurocode 3 Teil 1-1.

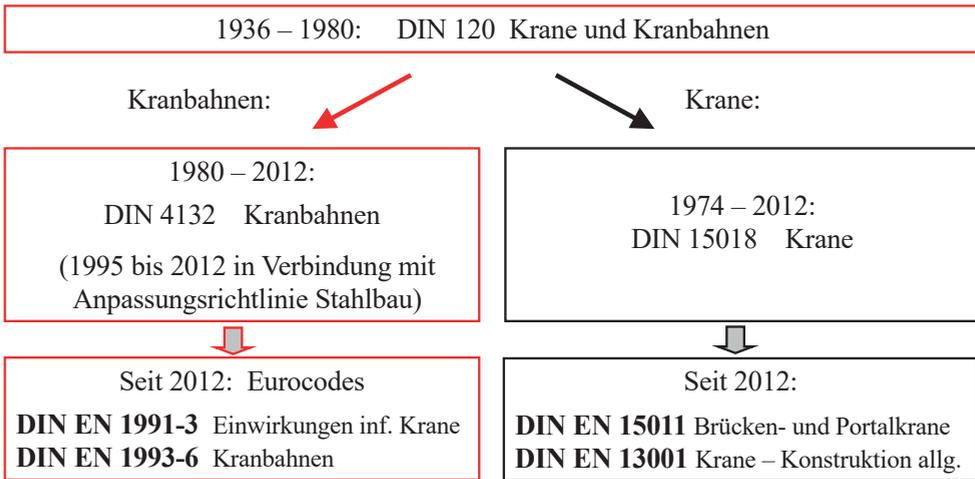


Abb. 1.18: Entwicklung der Normen für Krane und Kranbahnen seit 1936

- DIN EN 1993-1-5: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-5: Plattenbeulen. Kurzbezeichnung: Eurocode 3 Teil 1-5.
- DIN EN 1993-1-8: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen. Kurzbezeichnung: Eurocode 3 Teil 1-8.
- DIN EN 1993-1-9: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-9: Ermüdung. Kurzbezeichnung: Eurocode 3 Teil 1-9.

Weitere für Kranbahnträger relevante Einwirkungsnormen

- DIN EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung
- DIN EN 1991, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke
- DIN EN 1998-1, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten. Diese Norm wurde allerdings bisher nicht bauaufsichtlich eingeführt, stattdessen ist noch die bereits zurückgezogene frühere nationale Erdbebennorm DIN 4149 anzuwenden. Es ist aber geplant, im Zuge der bevorstehenden Neuausgabe des Nationalen Anhangs zu DIN EN 1998-1 den EC 8 endlich bauaufsichtlich einzuführen.

1.4.3 Format der Quellenangaben bei Eurocode-Normen in diesem Buch

Quellenhinweise auf Eurocode-Normen werden in diesem Buch platzsparend jeweils unter Weglassung von „DIN EN 199“ in folgendem Format angegeben (Beispiele):

- [3-1-1/5.2.2] DIN EN 1993 Teil 1-1, Kapitel 5.2.2
 [1-3/Tab.2.6] DIN EN 1991 Teil 3, Tabelle 2.6
 [3-6/Bild 6.2] DIN EN 1993 Teil 6, Bild 6.2
 [3-1-1NA/Tab.1] Nationaler Anhang zu DIN EN 1993, Teil 1-1, Tabelle 1

1.5 Geltungsbereich der deutschen Landesbauordnungen (LBO) für Kranbahnen

Die Frage, ob die jeweilige Landesbauordnung eines deutschen Bundeslandes auch auf Kranbahnen anzuwenden ist, ist für die Planung und die Bauausführung der Kranbahn entscheidend, regelt sie doch die einzuhaltenden rechtlichen Randbedingungen. Tabelle 1.1 zeigt, dass der Sachverhalt in den 16 Ländern unterschiedlich geordnet ist. In 7 der 16 Bundesländer gilt die jeweilige LBO auch für Kranbahnen. In 9 Bundesländern sind dagegen Krane und Krananlagen vom Geltungsbereich der LBO ausgeschlossen. Da die Kranbahn Teil der Krananlage ist, kann die Aussage nur so verstanden werden, dass die Kranbahn nicht in den Geltungsbereich der jeweiligen LBO fällt. Doch welche Konsequenz hat das für die Kranbahnen in diesen 9 Bundesländern? Dürfen die Eurocode Normen in diesen 9 Bundesländern bei der Bemessung von Kranbahnen unberücksichtigt bleiben? Nach Ansicht des Autors ist diese Frage mit „nein“ zu beantworten. Denn es gilt nach Einschätzung der Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz, „dass eine Kranbahn, soweit sie als ortsfeste Unterstützungsstruktur Bestandteil eines Gebäudes sei, auch relevante Auswirkungen auf die Statik des Gebäudes haben kann. In diesen Fällen ist die Kranbahn nicht vom Geltungsbereich [...] der Landesbauordnungen ausgeschlossen“ (Schreiben vom 16.12.2016, zitiert nach [EK17]). Aus der Liste der als Technische Baubestimmungen eingeführten technischen Regeln (Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums des Innern vom 26.11.2014) geht hervor: „Soweit von Krananlagen jedoch Lasten auf Gebäude übertragen werden, hängt die Standsicherheit des Gebäudes auch von der ordnungsgemäßen Beschaffenheit der mit dem Gebäude verbundenen Kranbahn ab. Die DIN EN 1991-3 in Verbindung mit DIN EN 1991-3/NA wird daher für solche Kranbahnen eingeführt, von denen Lasten auf Gebäude übertragen werden“. Dies gilt, obwohl Bayern zu den Ländern zählt, in deren LBO festgelegt ist, dass sie nicht für Krananlagen gilt.

In Rheinland-Pfalz sind nach § 62 LBO (1998) Kranbahnen für Krane bis 50 kN Traglast genehmigungsfrei, im Saarland gilt nach § 61 LBO (2004) eine ähnliche Regelung für Krane bis 1 t Traglast.

Es wäre in einer globalisierten Welt sehr wünschenswert, wenn es den 16 Bundesländern wenigstens gelänge, die Frage, ob Kranbahnen nun in den Geltungsbereich der LBO fallen oder nicht, einheitlich zu beantworten.

Übereinstimmend gilt in allen Bundesländern, dass die Krane nicht in den Geltungsbereich der LBO fallen. Ein Kran stellt eine Maschine dar, für die eine Konformitätserklärung abzugeben ist.

1.6 Grenzzustände und Teilsicherheitsbeiwerte Widerstand

Eine Bemessung nach Eurocode erfolgt gegen Grenzzustände. Drei Grenzzustände sind relevant

- **Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)**, Kapitel 11, Kapitel 12, 13 und 16.

Mit dem Erreichen des Grenzzustandes der Tragfähigkeit versagt das Bauwerk infolge Überbeanspruchung. Dies kann den Einsturz des Gebäudes oder einzelner Teile davon bedeuten. Im Rahmen der Nachweise gegen den GZT wird gezeigt, dass die tatsächlichen Lasten einen durch die Teilsicherheitsbeiwerte festgelegten Abstand vom Versagenspunkt haben. Zu den Nachweisen im GZT gehören beispielsweise die Nachweise, dass die Quer-

Tab. 1.1: Geltungsbereich LBO's (Landesbauordnungen), jeweils §1; Stand: März 2020

Bundesland	NICHT im LBO Geltungsbereich ...	LBO gilt für KrB.
Baden-Württemberg	„Kräne und Krananlagen“	siehe Abs. 1.6
Bayern	„Kräne und Krananlagen“	siehe Abs. 1.6
Berlin	„Kräne und Krananlagen“	siehe Abs. 1.6
Bremen	„Kräne und Krananlagen“	siehe Abs. 1.6
Hessen	„Krane und Krananlagen“	siehe Abs. 1.6
Niedersachsen	„Kräne und Krananlagen“	siehe Abs. 1.6
NRW	„Kräne und Krananlagen“	siehe Abs. 1.6
Sachsen	„Kräne und Krananlagen“	siehe Abs. 1.6
Thüringen	„Krane und Krananlagen“	siehe Abs. 1.6
Brandenburg	„Kräne, mit Ausnahme von Kranbahnen und Unterstützungen“	ja
Hamburg	„Kräne und ähnliche Anlagen, mit Ausnahme ihrer ortsfesten Bahnen und Unterstützungen“	ja
Mecklenburg-Vorpommern	„Kräne und Krananlagen mit Ausnahme der Kranbahnen und Kranfundamente“	ja
Rheinland-Pfalz	„Kräne, mit Ausnahme von Kranbahnen und deren Unterstützungen“	ja
Saarland	„Kräne und Krananlagen mit Ausnahme ihrer ortsfesten Bahnen und Unterstützungen“	ja
Sachsen-Anhalt	„Krane, mit Ausnahme von Kranbahnträgern und deren Unterstützungen“	ja
Schleswig-Holstein	„Kräne und Krananlagen mit Ausnahme der Kranbahnen und Kranfundamente“	ja

schnitte die Schnittgrößen aufnehmen können und dass die einzelnen Bauteile nicht infolge Knicken oder Biegedrillknicken – also infolge nicht ausreichender Stabilität – versagen.

- **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)**, Kapitel 14.

Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind dadurch gekennzeichnet, dass die Bedingungen, unter denen das Bauwerk seinen Zweck erfüllen kann, kritisch werden. Bei Kranbahnen ist der GZG z.B. überschritten, wenn die vertikalen oder horizontalen Durchbiegungen so groß werden, dass kein ordnungsgemäßer Kranbetrieb mehr möglich ist. Die Einhaltung der Gebrauchstauglichkeit ist zwar keine bauaufsichtliche Forderung, zivilrechtlich aber von Bedeutung. Die Grenzwerte können zwischen den am Bau Beteiligten vereinbart werden, wenn man die in den Normen vorgeschlagenen Werte nicht übernehmen möchte.

- **Grenzzustand der Ermüdung (GZE)**, Kapitel 15 und 16.

Mit dem Nachweis einer ausreichenden Ermüdungsfestigkeit wird über GZT und GZG hinaus nachgewiesen, dass das Bauwerk nicht nur unmittelbar nach der Fertigstellung,

sondern für einen definierten Zeitraum (z.B. 25 Jahre) sicher genutzt werden kann. In Kombination mit einem Inspektionsplan wird so erreicht, dass Risse entweder gar nicht auftreten oder – falls sie auftreten – rechtzeitig entdeckt und repariert werden.

Als Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite (Materialseite) werden für Kranbahnen u. a. folgende Werte festgelegt:

- GZT, [3-6NA/6.1(1)] :
 - Nachweise gegen Fließen: $\gamma_{M0} = 1,0$
 - Nachweise gegen Stabilitätsversagen: $\gamma_{M1} = 1,1$
 - Nachweise von Verbindungsmitteln; Nachweis des Nettoquerschnitts gegen Zugversagen (z. B. bei Schraubenlöchern): $\gamma_{M2} = 1,25$
 - Mit einer Ausnahme folgt der NA dabei den Empfehlungen der DIN EN 1993-6. Im Unterschied zur DIN EN 1993-6 mit $\gamma_{M1} = 1,0$ legt der NA abweichend $\gamma_{M1} = 1,1$ fest. Hintergrundinformationen zum Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} bei Stabilitätsnachweisen finden sich z. B. in [NSUS08].
- GZG, [3-6NA/7.5(1)]: $\gamma_{M,ser} = 1,0$
- GZE, [3-6NA/9.2(2)]: γ_{Mf} siehe Abschnitt 15.1.5

Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen sind in Abschnitt 8.4 enthalten.

1.7 Koordinatensystem

Das in diesem Buch verwendete Koordinatensystem [3-1-1/1.7(1)] wird in Abb. 1.19 dargestellt. Die Indizes zur Bezeichnung von Momenten ergeben sich aus der Achse, um die das Moment wirkt.

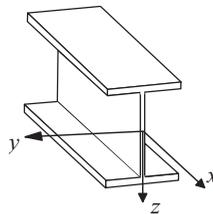


Abb. 1.19: Koordinatensystem nach DIN EN 1993-1-1, Kap. 1.7(1)

2 Planung von Brückenkrananlagen

2.1 Tabellen und Daten für die Planung

Kranhallen werden oft zu einem Zeitpunkt geplant, an dem der Lieferant des Krans noch nicht feststeht. Exakte Daten, z. B. für die Kranlasten, liegen dann noch nicht vor. Im Folgenden werden einige Planungsdaten herstellerunabhängig vorgestellt, die eine Grundlage für den Vorwurf einer Kranhalle liefern können. Die Werte sind jedoch nicht als Konstruktionsdaten, sondern nur als Planungsgrößen einzustufen. Als Hilfsmittel sind empfehlenswert:

- VDI-Richtlinie 2388 [VDI07]: liefert Daten für Krananlagen für leichten bis mittleren Betrieb (bis HC2/S3)
- VDI-Richtlinie 3576 [VDI11a]: gibt Hinweise zu Schienen und deren Auflagerung
- Unterlagen der Kranhersteller und Kranausrüster
- Unfallverhütungsvorschrift DGUV V52 [DGU01] enthält z. B. Sicherheitsabstände.

Eine Vorplanung der Brückenkrananlage kann in den Arbeitsschritten a) bis g) erfolgen:

a) Eigenschaften des geplanten Krans wählen

- Tragfähigkeiten von Kranen in [t] können wie in Tab. 2.1 angegeben gewählt werden. Höhere Traglasten sind analog zu bilden (siehe auch DIN 15 021).
- Die Hubhöhen sind ebenfalls genormt. Möglich sind z. B. (in [m]) 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20 oder 25 m.
- Als Fahrgeschwindigkeiten für Krane kommen z. B. in Frage (in [m/min]): 1,0; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160 m/min. Bei flurbedienten Kranen mit kabelgebundener Steuerung darf maximal $v = 63$ m/min gewählt werden. Bei drahtlosen Steuerungen werden maximale Fahrgeschwindigkeiten von bis zu 160 m/min geplant.
- Einstufung in Hubklasse und Beanspruchungsklasse nach Abschnitt 8.3 vornehmen.

Tab. 2.1: Genormte Tragfähigkeiten von Kranen in [t]

Tragfähigkeit in [t]									
0,13	0,16	0,2	0,25	0,32	0,4	0,5	0,63	0,8	1
1,25	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,3	8	10
12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100
125	160	200	250	usw.					

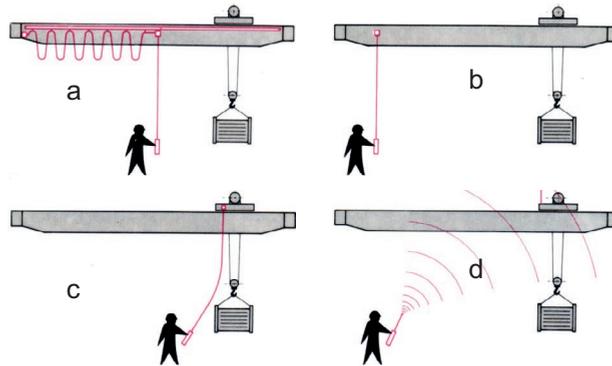


Abb. 2.1: Bedienung des Krans von Flur aus: am Kran verfahrbar (a), fest am Kran (b), fest an der Katze (c), drahtlose Steuerung (d) (nach DEMAG-Prospekt)

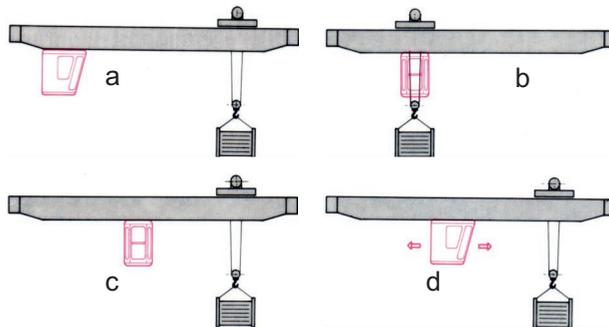


Abb. 2.2: Führerhausbedienung: seitlich fest am Hauptträger (a), fest an der Katze (b), mittig fest am Hauptträger (c), am Hauptträger unabhängig verfahrbar (d) (nach DEMAG-Prospekt)

- Brückenkran oder Hängekran ?
Die Regeleinsatzbereiche nach VDI-Richtlinie 2388 sind von der Hublast und vom Spurmittenmaß (Spannweite als horizontaler Abstand der Kranbahnträgerachsen) abhängig:
 - Einträger-Hängekran: bis 10 t, Spurmittenmaß s von 4 m bis 24 m
 - Zweiträger-Hängekran: bis 10 t, Spurmittenmaß s von 7 m bis 30 m
 - Einträger-Brückenlaufkran: bis 10 t, Spurmittenmaß s von 4 m bis 24 m
 - Zweiträger-Brückenkran: Spurmittenmaß s von 4 m bis über 35 m
- Art der Kranbedienung in Abhängigkeit von der zu lösenden Transportaufgabe wählen:
 - In Abb. 2.1 sind 4 Varianten der Kranbedienung von Flur aus dargestellt. Am häufigsten werden die Varianten a (am Kran verfahrbar) und d (drahtlose Steuerung) gewählt.
 - In Abb. 2.2 sind 4 Varianten mit Führerhausbedienung dargestellt.

Tab. 2.2: Laufstege und Zugänge zu Laufkränen und Hängekränen (ohne Deckenkrane)

		Steuerstand an der Kranbrücke (Abb. 2.2 a, c, d); Bodenhöhe über Flur:		Steuerstand an der Katze (Abb. 2.2 b); Bodenhöhe über Flur:		Bedienung von Flur aus siehe Abb. 2.1
		≤ 5 m	> 5 m	≤ 5 m	> 5 m	
Kran- aus- rüstung	Notabstieg aus dem Steuerstand, z. B. ausziehbare Leiter, Abseilgerät o. Ä.	ja		ja		
	Kranträgerlaufbühne, freier Durchgang min. 2,0 m × 0,45 m	ja*)	ja*)	ja*)	ja	***)
Gebäude- aus- rüstung	Fahrbahnlaufsteg min. 1,8 m × 0,4 m, Zugang mit mindestens einer Treppe**)		ja		ja	
	Zugangsbühne mit Treppe an einer Stelle der Kranbahn fest angebracht	ja		ja		
*) Wenn Zugang zum Steuerstand nur über Kranträgerlaufbühne möglich. **) Zugang zum Kran in jeder Stellung; von 50 m bis 200 m Kranbahnlänge: ein weiterer Aufstieg ist erforderlich, je weitere 100 m ein zusätzlicher Aufstieg. ***) Ggf. sind die Vorgaben an Kranträgerlaufbühnen nach DIN EN 13 586 zu erfüllen.						

b) Zugänge oder Laufstege

Im Folgenden werden einige Regeln für typische Fälle wiedergegeben. Die vollständigen Regeln können VDI-Richtlinie 2388 [VDI07] oder DGUV V52 [DGU01], siehe auch [KH11] und [KK17] entnommen werden.

- Tab. 2.2 enthält Angaben zu Laufstegen und Zugänge für Brückenlaufkrane und Hängekrane ohne Deckenkrane. Deckenkrane sind Hängekrane, die fest – also nicht pendelnd – an der Dachkonstruktion oder der Decke befestigt sind. Für vom Flur aus bediente Deckenkrane sind grundsätzlich keine Zugänge erforderlich.
- Für alle Brücken-, Hänge- und Deckenkrane ist zusätzlich eine Arbeits- und Reparaturbühne erforderlich, die entweder am Kran angebracht ist oder am Gebäude an geeigneter Stelle befestigt ist. Auf eine solche Bühne darf nur verzichtet werden, wenn alle Arbeiten von den ggf. vorhandenen Laufstegen verrichtet werden können oder eine jederzeit verfügbare mobile Hubarbeitsbühne zur Verfügung steht.
- Ein Fahrbahnlaufsteg hat zwischen den Geländern eine lichte Weite von mindestens 40 cm. Diese Breite ist ein absoluter Mindestwert. Bei Laufstegen auf Kranbrücken ist nach DIN EN 13586 eine Mindestbreite von 45 cm zu berücksichtigen. Für einen Werkzeug tragenden Arbeiter kann es außerordentlich mühselig sein, einen zwischen den Geländern nur 40 cm breiten, möglicherweise mehrere hundert Meter langen Steg zu begehen.
- Ein Fahrbahnlaufsteg, der sich zwischen zwei benachbarten Kranbahnträgern (z. B. in der Mitte einer zweischiffigen Halle) befindet, muss oberhalb der Geländer im Minimum eine

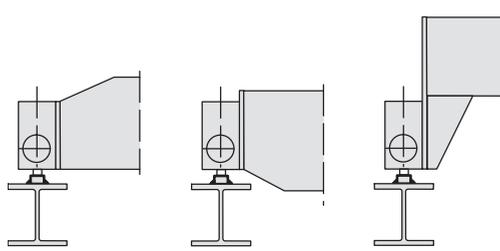


Abb. 2.3: Kranträgerausführungen nach [VDI07]

lichte Weite von 60 cm haben. Im Bereich von Stützen ist beidseits eine lichte Weite von 50 cm vorzusehen.

- Darüber hinausgehend sollte die Frage, ob an den Kranbahnen ein seitlicher Zugang über einen Laufsteg vorgesehen wird oder nicht, davon abhängig gemacht werden, wie das Umfeld des Krans gestaltet ist. Kommt man z. B. wegen der Produktion nur schwer mit einem Hubwagen an die Kranbahn heran, kann u. U. ein Laufsteg auch dann sinnvoll sein, wenn er aus Gründen der Unfallverhütung nicht zwingend erforderlich wäre.

c) Sicherheitsabstände

In Abb. 2.4 und Abb. 2.5 werden Sicherheitsabstände für typische Fälle angegeben. Die vollständigen Regeln können der DGUV Vorschrift 52 (bisher: BGV D6) [DGU01] entnommen werden. Eine ausführliche Darstellung mit vielen Beispielen findet sich in [KH11]. Siehe auch VDI 2388 [VDI07].

d) Maße des Krans

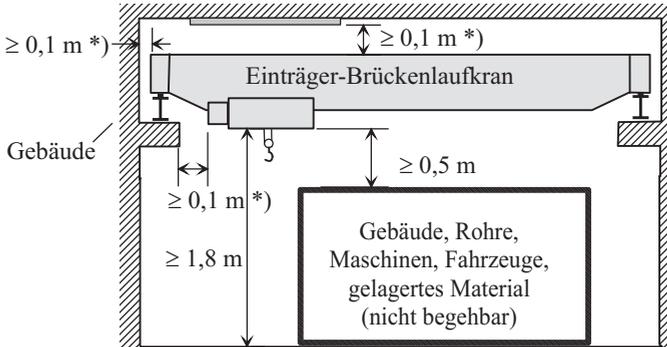
Verschiedene Möglichkeiten des Anschlusses der Kranbrücke an den Kopfträger werden in Abb. 2.3 dargestellt. Die Wahl der Variante hat Einfluss auf die Höhenlage der Kranbahnträger. Für die häufig gewählte mittlere Variante werden in Tab. 2.3 (Einträger-Brückenlaufkran) und Tab. 2.4 (Zweitträger-Brückenlaufkran) Maße angegeben, die für eine erste Planung ausreichend sind.

Für weitere Eingangsgrößen können Planungsdaten der VDI-Richtlinie 2388 [VDI07] entnommen werden.

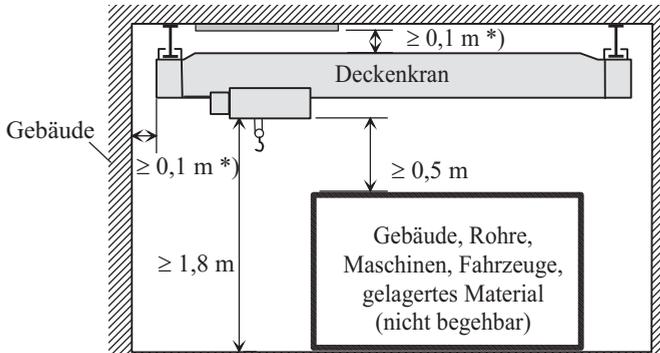
e) Arbeitsraum, Begrenzungsprofil und Lichtraumprofil

Basis für die Planung der Krananlage ist u. a. der erforderliche Arbeitsraum. Als Arbeitsraum wird der vom Kranhaken bedienbare Raum bezeichnet, siehe Abb. 2.6. Die Hallenmaße müssen den Arbeitsraum in Fahrtrichtung um die Krananfahrraße m_1 und m_2 überschreiten, in seitlicher Richtung um die Katzanfahrraße g_1 und g_2 und zusätzlich um die erforderlichen Sicherheitsabstände (siehe oben). Das Begrenzungsprofil ergibt sich aus der von den kraftbewegten Teilen des Krans überstrichenen Fläche ohne Berücksichtigung der Lastaufnahmeeinrichtungen (z. B. Haken). Das Lichtraumprofil erhält man, wenn man das Begrenzungsprofil um die erforderlichen Sicherheitsabstände erweitert. Abb. 2.7 zeigt, was passieren kann, wenn das Begrenzungsprofil des Krans nicht frei von Gegenständen gehalten wird. Der nutzbare Hallenquerschnitt ergibt sich aus dem Profil des Arbeitsraums ohne das Kran-Lichtraumprofil.

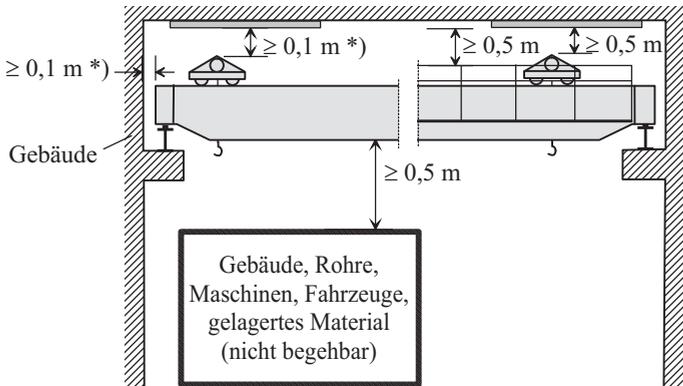
a) Sicherheitsabstände (Auswahl) für flurbediente Einträger-Brückenlaufkrane



b) Sicherheitsabstände (Auswahl) für fest montierte Hängekrane

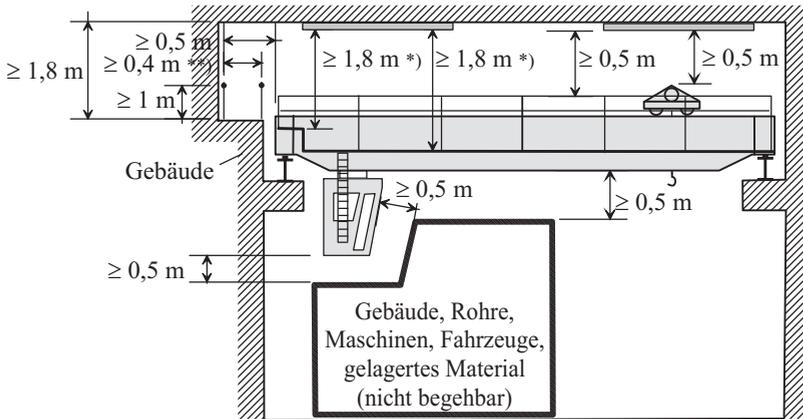


c) Sicherheitsabstände (Auswahl) für flurbediente Zweiträger-Brückenlaufkrane



*) Im Regelfall Sicherheitsabstand nicht zwingend nötig, empfohlener Abstand 0,1 m.

Abb. 2.4: Sicherheitsabstände nach DGUV V52, siehe VDI 2388 [VDI07], Bilder 8 – 10



*) Nur erf., wenn der Steuerstand über die Kranträgerlaufbühne erreicht wird (DGUV V52, §9).

**) Die sehr gering angegebene Mindestbreite von 0,4 m sollte eher die Ausnahme als die Regel sein, da die Begehung eines so schmalen Laufstegs beschwerlich ist.

Abb. 2.5: Sicherheitsabstände (Auswahl) für Zweiträger-Brückenlaufkrane mit Steuerstand nach DGUV V52, siehe VDI 2388 [VDI07], Bild 11

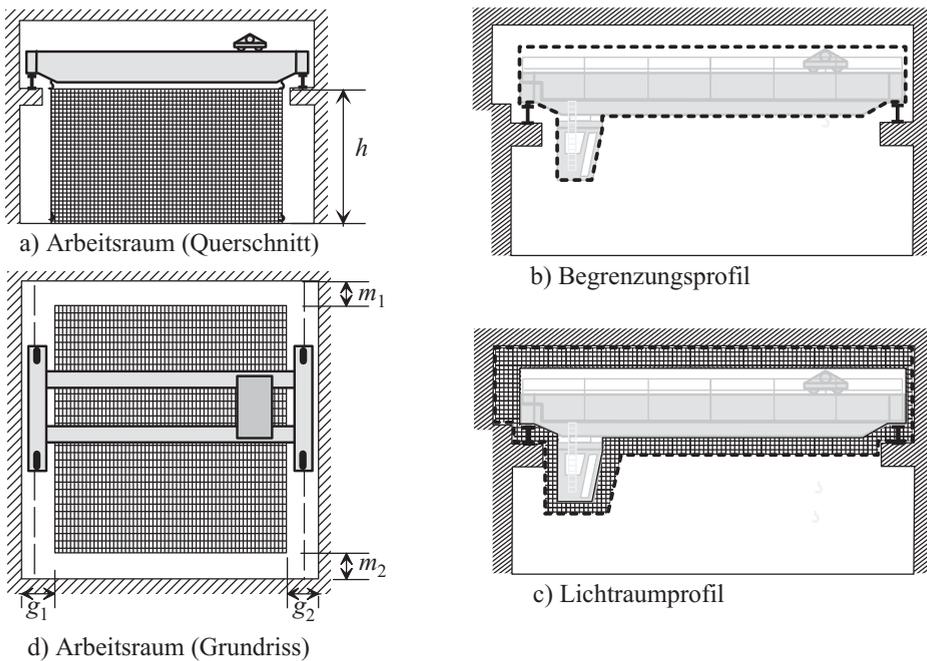
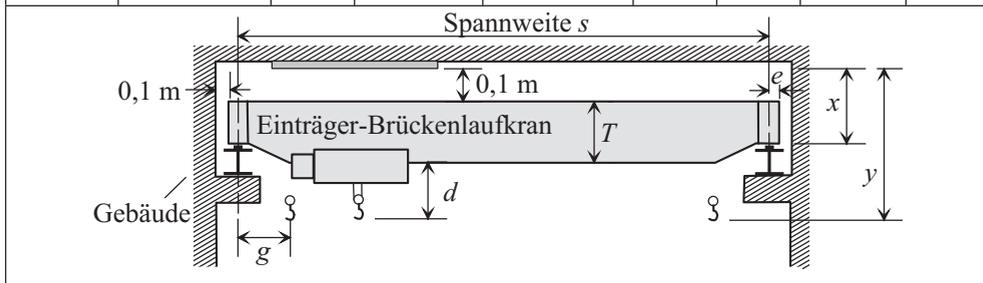


Abb. 2.6: Arbeitsraum (a, d), Begrenzungsprofil (b) und Lichtraumprofil (c) von Krananlagen

Tab. 2.3: Entwurfsmaße für Einträger-Brückenlaufkrane nach [VDI07]

Hublast [t]	Spannweite s [m]	e [cm]	Radstand a [cm]	Trägerhöhe T [cm]	x [cm]	d [cm]	g [cm]	y [cm]
2	12,5	10	200	43	49	63	100	116
	15		200	58				131
	19		250	68				141
	24		315	70	143			
5	12,5	10	200	58	49	71	108	129
	15		200	68				149
	19		250	68				149
	24		315	90	171			
6,3	12,5	13	200	68	49	71	108	149
	15		250					79
	19		250	79	160			
	24		315	100	50			181
8	12,5	13	200	71	49	91	136	172
	15		200					71
	19		250	91	50			192
	24		315	102	50			203
10	12,5	13	200	71	50	91	136	172
	15		200	79				180
	19		250	79				180
	24		315	99				200



f) Vertikale Radlasten

Die charakteristischen vertikalen Radlasten F können mit Tab. 2.5 bis Tab. 2.8 abgeschätzt werden, siehe VDI-Richtlinie 2388 [VDI07]. In ihnen sind nur die Lasten aus Kranbetrieb (Eigengewicht des Krans und Hublast) berücksichtigt, sie enthalten noch keine Schwingbeiwerte. Die Abschätzungen basieren auf einer Einstufung des Krans in HC2/S₂ und einer Triebwerksgruppe „1Am“ nach DIN 15 020. Für Hängekrane sind die Summen der Radlasten auf einer Fahrwerksseite angegeben, für Brückenlaufkrane die maximale Radlast eines zweiachsigen Krans.

Tab. 2.4: Entwurfsmaße für Zweiträger-Brückenlaufkrane, flurbedient, ohne Kranträgerlaufbühne nach [VDI07]

Traglast [t]	Spannweite s [m]	e [cm]	Radstand a [cm]	Trägerhöhe T [cm]	x [cm]	u [cm]	g [cm]	y [cm]
5	10	10	200	37	139	0	65	94
	15		250	55		18		
	20		315	65		28		
	25	13	400	87	48			
	30		456	107	68			
10	10	10	200	55	144	18	75	108
	15	13	250	77	145	38		
	20		315	97		58		
	25		400	107		68		
	30		456	132		93		
16	10	17	200	69	177	19	97	145
	15		250	89		39		
	20		315	99		49		
	25		400	109		59		
	30		456	149		99		
20	10	17	250	69	187	19	97	158
	15		250	99		49		
	20		315	109		59		
	25		400	134		84		
	30		456	149		99		

The diagram illustrates the cross-section of a two-beam bridge crane. The main span is labeled 'Spannweite s '. The crane is mounted on a building structure ('Gebäude'). Key dimensions shown include: e (offset from the building edge to the crane beam), a (distance between the two beams), T (height of the beam), x (height from the crane top to the building ceiling), u (height from the crane bottom to the building floor), g (width of the crane base), and y (height from the crane top to the hook). A 0,1 m offset is also indicated on the left side.

g) Abschätzung einer Walzprofilgröße für den Kranbahnträger

Mit den Vorbemessungstabellen in Abschnitt 9.3 lässt sich nun bei Vorwahl der Profilreihe die erforderliche Profilgröße bestimmen.

Tab. 2.5: Summe der maximalen Radlasten einer Fahrwerksseite $\Sigma \max F$ [kN] ohne Schwingbeiwerte als Funktion von Spurmittenmaß s und Hublast für einen Einträger-Hängekran [VDI07]

Spurmittenmaß s		Hublast						
		6 m	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m
0,5 t		10	13	15	18	20	23	25
1 t		19	22	24	27	30	32	35
2 t		27	30	32	35	37	40	42
3,2 t		46	49	51	54	57	59	62
5 t		60	63	66	69	71	74	77
6,3 t		84	87	89	92	95	97	100
10 t		115	118	120	123	125	128	130

Tab. 2.6: Max. Radlast F [kN] ohne Schwingbeiwerte als Funktion von Spurmittenmaß s und Hublast für einen zweiachsigen Einträger-Brückenlaufkran [VDI07]

Spur s		Hubl.								
		8 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m	20 m	22 m	24 m
0,5 t		6	7	8	8	9	10	11	11	12
1 t		10	11	12	13	14	15	16	17	18
2 t		15	16	17	18	19	20	21	22	23
3,2 t		22	23	24	25	26	27	28	29	30
5 t		29	31	32	34	35	37	38	40	41
6,3 t		35	37	39	40	42	44	46	47	49
8 t		47	49	51	52	54	56	58	60	62
10 t		56	58	60	62	64	66	68	70	72

Tab. 2.7: Max. Radlasten F [kN] ohne Schwingbeiwerte als Funktion von Spurmittenmaß s und Hublast für einen zweiachsigen Zweiträger-Brückenlaufkran mit Elektroseilzug, ohne Kranträgerlaufbühne und Steuerstand [VDI07]

Spur s		Hubl.										
		10 m	12 m	14 m	16 m	18 m	20 m	22 m	24 m	26 m	28 m	30 m
3,2 t		23	25	27	29	32	34	36	38	40	42	44
5 t		29	32	34	36	39	41	44	46	48	51	53
6,3 t		38	40	43	45	48	50	53	55	58	60	63
8 t		47	50	52	55	57	60	62	65	67	70	72
10 t		55	58	61	63	66	69	71	74	77	79	82
12,5 t		66	70	73	76	80	83	87	90	93	97	100
16 t		80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120
20 t		98	102	107	111	116	120	124	129	133	138	142

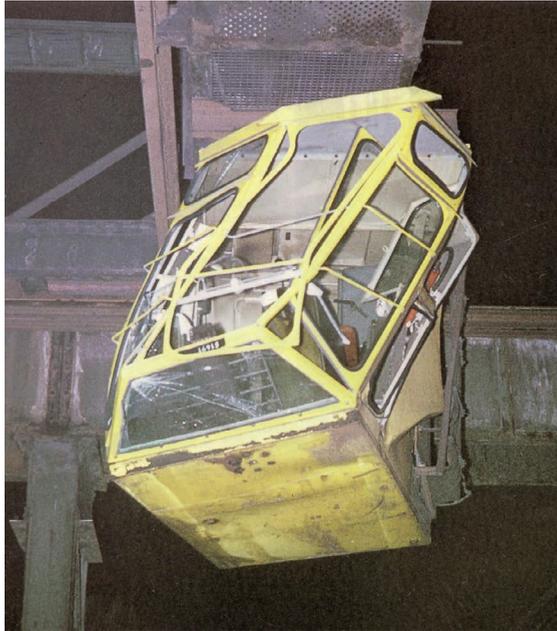


Abb. 2.7: Steuerstand bei der Fahrt an zu hoch gelagertes Material angestoßen [DGU12b]

Tab. 2.8: Max. Radlasten F [kN] ohne Schwingbeiwerte als Funktion von Spurmittenmaß s und Hublast für einen zweiachsigen Zweiträger-Brückenlaufkran mit Elektroseilzug, mit Kranträgerlaufbühne und Steuerstand [VDI07]

Hubl. \ Spur s	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m	20 m	22 m	24 m	26 m	28 m	30 m
25 t	135	142	148	155	161	168	174	181	187	194	200
32 t	165	172	179	186	193	200	207	214	221	228	235
40 t	200	208	215	223	230	238	245	253	260	268	275
50 t	245	254	263	272	281	290	299	308	317	326	335
63 t	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400

Beispiel 2-1: Vorplanung einer Brückenkrananlage in einer einschiffigen Halle

Gegeben: Kran HC2/S₂, Hublast 16 t

- Mit Kran bedienbarer Arbeitsraum: Breite/Höhe = 18 m/7,5 m
- Kranbedienung von Flur aus
- Abstand der Hallenbinder: $l = 6,0$ m
- Kranbahnträger als Zweifeldträger; Profilreihe HEB; S 355

Gesucht sind Abschätzungen für das minimal erforderliche lichte Innenmaß der Halle und für das Kranbahnträgerprofil.

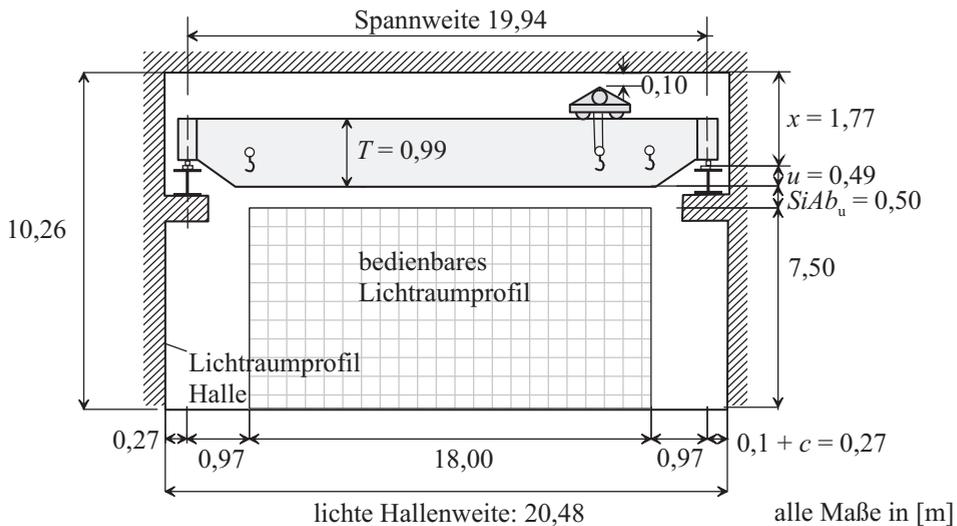


Abb. 2.8: Für den Kranbetrieb mindestens notwendige Hallenmaße (Beispiel 2-1)

Lösung:

- Gewählt: Zweiträgerbrückenkran, da Hublast größer als 10 t
- Laufsteg: nicht erforderlich, siehe Abb. 2.2
- Sicherheitsabstände ($SiAb$) nach Abb. 2.4:
 - nach oben: $SiAb_o = 10$ cm (Empfehlung)
 - zur Seite: $SiAb_s = 10$ cm (Empfehlung)
 - nach unten: $SiAb_u = 50$ cm
- Einzelmaße gemäß Tab. 2.4 eingetragen in Abb. 2.8
 - Radstand des Krans $a = 3,15$ m; Trägerhöhe $T = 0,99$ m
 - Abstand Schienenoberkante – UK Dach: $x = 1,77$ m (inkl. $SiAb_o$)
 - vertikaler Abstand Schienenoberkante – UK Brückenträger: $u = 0,49$ m
 - kürzester horizontaler Abstand Schienenachse – Lasthaken: $g = 0,97$ m
 - horizontaler Abstand Schienenachse – Außenkante Kopfträger: $e = 0,17$ m
 - Spurmittenmaß $s = 18,0$ m $+ 2 \cdot g = 19,94$ m
- Die Gesamtmaße ergeben sich daraus zu:
 - Lichte Mindesthöhe der Halle: $h = 7,5$ m $+ SiAb_u + u + x = 10,26$ m
 - Lichte Mindestbreite der Halle: $b = 18,0$ m $+ 2 \cdot (SiAb_s + g + e) = 20,48$ m
 - Radlast gemäß Tab. 2.7 für $s = 20$ m und 16 t Hublast: $\max F = 100$ kN
 - Vorauswahl des Walzträger-Profiles der HEB-Reihe für den Kranbahnträger $F = 100$ kN; $l = 6,0$ m; $a = 3,15$ m, Zweifeldträger, S 355: HEB 300 (Tab. 9.7)



Abb. 2.9: Einträger-Brückenlaufkran mit Einzelradantrieb „I“ erkennbar an dem Fahrtriebsmotor am Kopfträger am linken Bildrand

2.2 Kranfahrwerkssystem

Das Fahrwerkssystem der Kranbrücke hat großen Einfluss auf die Größe der Horizontallasten, mit denen der Kran die Kranbahn belastet. Durch die Auswahl des Antriebstyps und der Art der Radlagerung ist das Kranfahrwerkssystem festgelegt.

Antriebstypen

- Typ „I“ – Einzelradantrieb (Abb. 2.9): Jedes der beiden Räder j der Achse i hat seinen eigenen Antrieb, es liegt keine Drehzahlkopplung vor. (Alte Bez. nach DIN 15018: „E“)
- Typ „C“ – Zentralantrieb (Abb. 2.10): Beide Räder einer Achse i werden durch einen einzigen Motor angetrieben bzw. beide Räder einer Achse sind drehzahlgekoppelt. (Alte Bezeichnung nach DIN 15018: „W“)

In mehr als 99 % der Fälle liegt der Achstyp I vor, während die drehzahlgekoppelte Achse C besonders bei modernen Kranen eine sehr seltene Ausnahme ist.

Horizontale Radlagerung

Ein Rad kann in Achsenlängsrichtung auf der Achse fixiert sein (Regelfall) oder in Achsrichtung beweglich sein (Ausnahme). Dafür werden folgende Bezeichnungen verwendet:

- „F“: Festlager: Das Rad kann Kräfte quer zur Fahrtrichtung abtragen, denn es ist fest mit seiner Achse verbunden. (Alte Bezeichnung nach DIN 15018: „F“)
- „M“: Loslager: Das Rad kann keine Kräfte quer zur Fahrtrichtung abtragen, wenn es beweglich auf der Achse sitzt. (Alte Bezeichnung nach DIN 15018: „L“)



Abb. 2.10: Zweiträger-Brückenkrane mit Zentralantrieb „C“. Der Fahrtriebomotor ist in Bildmitte erkennbar.

Kranfahrwerkssystem

Achstyp und Typ der horizontalen Radlagerung werden zur Bezeichnung des Kranfahrwerkssystems zusammengefasst; der erste Buchstabe steht für den Achstyp, der zweite Buchstabe für die Lagerung des einen Rades, der dritte Buchstabe für die Lagerung des anderen Rades. Es gibt vier Möglichkeiten:

- IFF: Einzelradantrieb mit beiden Rädern als Festlager (Regelfall)
- IFM: Einzelradantrieb, ein Rad Festlager, ein Rad Loslager
- CFF: Zentralantrieb; drehzahlgekoppelte Achse mit beiden Rädern als Festlager
- CFM: Zentralantrieb; drehzahlgekoppelte Achse, ein Rad als Festlager, eins als Loslager.

2.3 Seitenführungssysteme

Um den Kran auf der Schiene zu halten ist – wie bei allen Schienenfahrzeugen – eine seitliche Führung der Räder vorzusehen. Hierfür kommen zwei Techniken in Frage: entweder Spurkränze oder Seitenführungsrollen. Kommt der Spurkranz oder die Seitenführungsrolle in Kontakt mit der Schiene, so wirkt am Berührungspunkt eine horizontale Kontaktkraft. Um ein Kräftegleichgewicht zu gewährleisten, sind zusätzlich Reibungskräfte, die in der Rad/Schiene-Ebene wirken, notwendig.

Spurkranzgeführte Räder (Abb. 2.11) werden hauptsächlich bei leichtem und mittlerem Kranbetrieb verwendet. Durch das unvermeidliche Schleifen der Spurkränze an den Schienenköpfen entsteht Verschleiß an Rad und Schiene.

Seitenführungsrollen (Abb. 2.12) werden in Verbindung mit spurkranzlosen, zylindrischen Rädern eingesetzt, vorwiegend bei mittlerem und schwerem Kranbetrieb. Der Verschleiß der Schiene infolge des Abrollens der Seitenführungsrollen ist im Regelfall deutlich geringer als bei Spurkränzen.

Wegen des bei Spurführungsrollen kleiner wählbaren Spurspiels ist der sich einstellende Schräglaufwinkel α zwischen Kranbahnachse und Kranachse deutlich geringer als bei Seitenführung

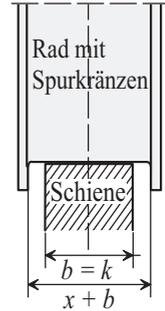


Abb. 2.11: Rad mit Seitenführung über Spurkränze; Spurspiel x

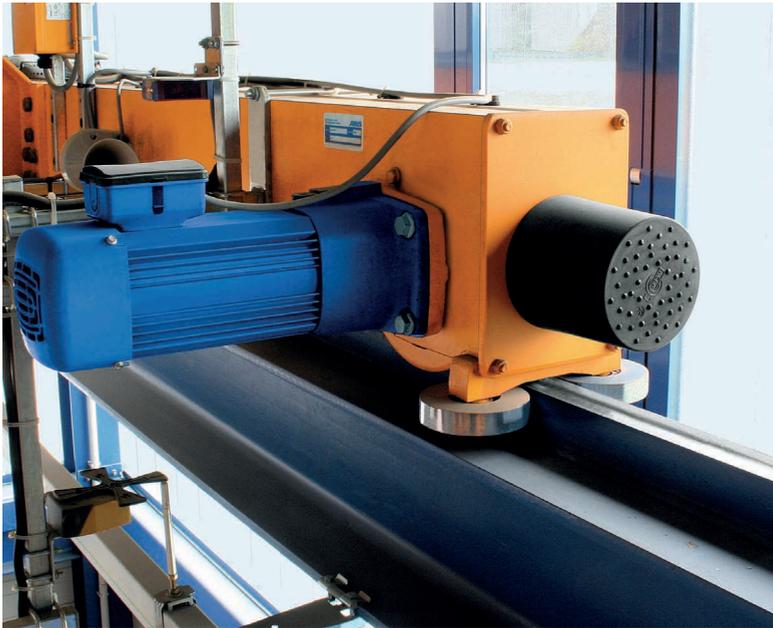


Abb. 2.12: Seitenführungsrollen rollen an einer Blockschiene ab (© ABUS Kransysteme GmbH)

über Spurkränze. Deshalb sind die Spurführungskräfte bei Seitenführung über Seitenführungsrollen oft ca. 40 % geringer als bei einer Spurführung über Spurkränze.

Der Einbau von Seitenführungsrollen erfolgt in der Regel nur auf einer Kranseite. Auf der anderen, horizontal nicht geführten Seite des Krans ist ein Entgleisungsschutz vorzusehen, der in Abschnitt 3.7 beschrieben wird. Die Führungsrollen können entweder auf der seitlichen Oberfläche des Schienenkopfes abrollen oder es werden für die Seitenführungsrollen separate Schienen z. B. am Steg angebracht.

1954 hat die Firma MAN erstmalig an einem deutschen Schmiedekran Führungsrollen zur Verminderung der Horizontallasten eingesetzt [BLS00]. Seitdem ist der Einsatz dieser Elemente im Kranbau weit verbreitet. Die Führungsrollen müssen nach DIN EN 13135 konstruiert sein.

Wirkt sich die Wahl von Seitenführungsrollen als Seitenführungssystem über die damit im Regelfall verbundene Reduzierung der Horizontallasten auf die Profilwahl des Kranbahnträgerquerschnitts aus? In vielen Fällen ergibt sich eine Reduzierung der Walzprofilgröße um ca. eine Stufe [See02].

Ob die Reduzierung der Horizontallasten mit Hilfe von Seitenführungsrollen wirtschaftlich zweckmäßig ist, muss im Einzelfall überprüft werden. Nehmen wir einmal an, dass einfache Seitenführungsrollen-Systeme für ca. 1000 € pro Kran erhältlich wären. Bei einem angenommenen Kilo-Preis der Walzträger von 2 € können sich Seitenführungsrollen u. U. ab einer Materialersparnis von 500 kg lohnen. Eine Profilreduzierung z. B. von HEB 400 auf HEB 360 bringt bei einer Kranbahnlänge von 30 m Länge eine Materialersparnis von 780 kg. Je länger die Kranbahn und je stärker die Profilreduzierung, desto lohnender ist der Einsatz von Seitenführungsrollen.

Seitenführungsrollen müssen gewartet werden. Wenn alte Seitenführungsrollen blockieren und nicht mehr gängig sind, kann dies zu hohem Schienenverschleiß führen.

3 Kranschienen und ihre Befestigung

3.1 Schienenformen

a) Flachstahlschienen, Blockschienen

Flachstahlschienen weisen einen rechteckigen Querschnitt auf, mit oder ohne gerundete oder abgeschrägte Kanten (Abb. 3.1). Die Verbindung zum Kranbahnträger wird über zwei Kehlnähte hergestellt (Abb. 3.1 d). Als Schienenwerkstoff wird ein Baustahl nach DIN EN 1993-1-1 gewählt. Vorzugsweise wird Baustahl S 355 wegen seiner gegenüber S 235 höheren Verschleißfestigkeit eingesetzt. Typische Abmessungen sind Schienenkopfbreite $b \times$ Höhe h : 50×40 oder 60×40 . Seltener werden 60×60 oder 70×70 gewählt (Maße in mm).

Die früher übliche kleinste Flachstahlschiene 50×30 ist wegen der nach DIN EN 1993-6 gewachsenen Schienenschweißnahtdicken heute keine gute Wahl mehr. Denn die Spurkränze der Räder oder die Seitenführungsrollen könnten bei abgenutzter Schiene in Kontakt mit den Schienenkehlnähten kommen und diese beschädigen (siehe unten Abb. 16.7). Empfohlen wird, als Schienenhöhe einen Mindestwert als $(2/3 \cdot b)$ zu wählen.

Flachstahlschienen kommen bei kleinen bis mittleren Raddrücken zum Einsatz, wenn eine Auswechslung der Schiene während der prognostizierten Einsatzdauer des Krans von zumeist 25 Jahren [3-6NA/2.1.3.2(1)] vermutlich nicht erforderlich wird. Angeschweißte Flachstahlschienen werden nur bei Kranen der Beanspruchungsklassen S_0 – S_3 empfohlen [3-6NA/8.5.2].

Eigenschaften abgenutzter Flachstahlschienen

Kranschienen unterliegen einem Verschleiß, der rechnerisch mit 25 % des Schienenkopfes zu berücksichtigen ist [3-6/5.6.2(2)]; bei Berechnungen im Rahmen des Ermüdungssicherheitsnachweises sind 12,5 % Verschleiß anzusetzen. Bei Flachstahlschienen gilt der gesamte Querschnitt als Schienenkopf. Der statischen Berechnung sind nicht die Querschnittswerte der neuwertigen, sondern der abgenutzten Schienen zugrunde zu legen. Zur verschleißbedingten Ablegereife der Schiene siehe Abs. 3.6.

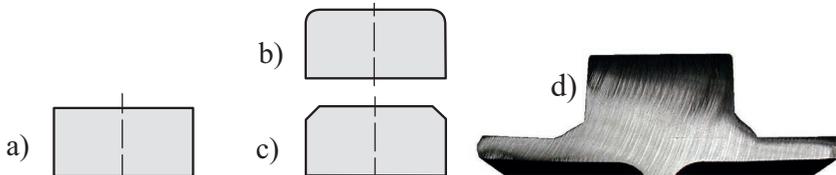


Abb. 3.1: Flachstahlschienen: a, b, c) Querschnittsformen, d) aufgeschweißt auf ein Walzprofil

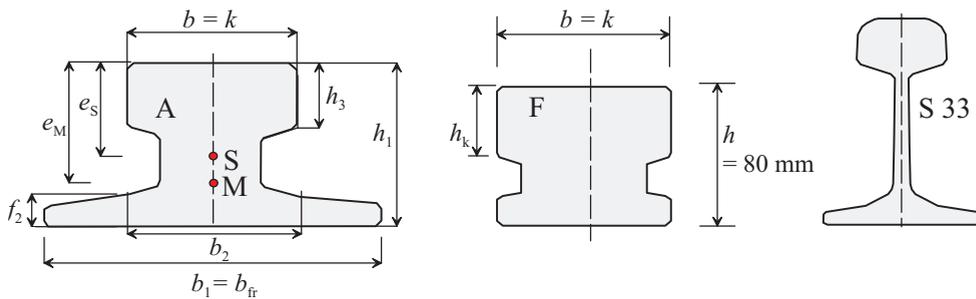


Abb. 3.2: Querschnitt einer Kranschiene A 100 (links; Kopfwölbung nicht dargestellt) und F 100 (Mitte) im Vergleich zur Eisenbahnschiene S 33 (rechts)

Tab. 3.1: Kranschiene Form A (DIN 536-1) und Form F (DIN 536-2), Querschnittswerte nach [KN17], Größenbezeichnungen siehe Abb. 3.2

	k	b_1	h_1, h	h_3, h_k	f_2	g	A	I_y	I_z	I_T
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[kg/m]	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ⁴]
A 45	4,5	12,5	5,5	2,0	1,1	22,2	28,24	90,0	168,5	39,10
A 55	5,5	15,0	6,5	2,5	1,25	31,8	40,56	179	335,8	88,07
A 65	6,5	17,5	7,5	3,0	1,4	43,3	55,14	322	607,6	173,0
A 75	7,5	20,0	8,5	3,5	1,54	56,3	71,77	536	1010	309,5
A 100	10,0	20,0	9,5	4,0	1,65	74,6	95,06	870	1342	670,7
A 120	12,0	22,0	10,5	4,75	2,0	100,4	127,9	1382	2345	1308
A 150	15,0	22,0	15,0	5,0	-	151,6	193,1	4413	3652	3013
F 100	10,0	10,0	8,0	4,1	-	57,75	73,57	412,5	547,5	604,4
F 120	12,0	12,0	8,0	4,1	-	70,31	89,57	498,0	971,3	906,7

g Metergewicht; A Fläche; I_y, I_z Biegeträgheitsmomente; I_T Torsionsträgheitsmoment

b) A-Kranschiene mit Fußflansch nach DIN 536-1

Kranschienen der Form A (Abb. 3.2, Querschnittswerte Tab. 3.1) haben Schienenkopfbreiten b von 45 mm bis 150 mm; entsprechend tragen sie die Bezeichnung A 45 bis A 150. Sie werden i.d.R. über Klemmung mit dem Kranbahnträger verbunden und sind daher leichter austauschbar als Flachstahlschienen. Als Werkstoff wird nach DIN 536-1 ein verschleißfester Stahl mit der Zugfestigkeit 69 kN/cm^2 verwendet, für die Schienenengrößen ab A 75 ist auch ein Stahl mit der Zugfestigkeit von 88 kN/cm^2 möglich. Schienen der Form A sind universell sowohl für Räder mit Spurkränzen als auch bei Seitenführungsrollen einsetzbar. Mittlere bis hohe Raddrücke sind ihr typischer Einsatzbereich. Rechts in Abb. 3.2 ist zum Vergleich der Proportionen die Eisenbahnschiene S 33 dargestellt, die wegen ihrer im Verhältnis zur Bauhöhe schmalen Aufstandsfläche für einen Einsatz als Kranbahnschiene normalerweise nicht in Frage kommt. Seit 1991 werden A-Schienen nur noch mit gewölbten Schienenköpfen gefertigt. Diese haben gegenüber den älteren A-Schienen mit ebenem Schienenkopf den Vorteil einer deutlich reduzierten Exzentrizität der Radlast, siehe [STS19] und [VDI11a]. A-Schienen mit ebenem Kopf sollten aus diesem Grund nicht mehr eingesetzt werden.

Tab. 3.2: Querschnittswerte von um 25 % abgenutzten A- und F-Schienen [KM17, KN17], Größenbezeichnungen siehe Abb. 3.2

Schiene	h_1 [cm]	Querschnitt A [cm ²]	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]	I_T [cm ⁴]	h_3 [cm]	e_S [cm]	e_M [cm]
A 45	5,00	26,0	67,41	164,7	30,77	1,5	3,084	3,816
A 55	5,87	37,3	131,9	327,1	68,5	1,87	3,591	4,396
A 65	6,75	50,6	235,4	590,4	133,4	2,25	4,099	4,999
A 75	7,62	65,8	388,3	979,3	236,5	2,62	4,599	5,592
A 100	8,50	85,1	628,5	1259	499,3	3,0	4,797	5,602
A 120	9,31	113,5	973,4	2173	953,7	3,56	5,194	5,752
A 150	13,75	173,6	3412	3301	2359	3,75	7,193	7,906
F 100	7,0	63,6	278,6	464,1	426,9	-	3,435	3,459
F 120	7,0	77,6	335,8	827,3	637,0	-	3,447	3,494

Tab. 3.3: Querschnittswerte von um 12,5 % abgenutzten A- und F-Schienen nach [KM17, KN17], Größenbezeichnungen siehe Abb. 3.2

Schiene	h_1 [cm]	Querschnitt A [cm ²]	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]	I_T [cm ⁴]
A 45	5,25	27,12	78,29	166,6	34,72
A 55	6,18	38,86	155,0	331,5	77,94
A 65	7,12	52,67	276,3	598,9	152,0
A 75	8,06	68,47	459,0	994,7	271,3
A 100	9,0	90,06	743,5	1301	580,6
A 120	9,9	120,7	1165	2258	1121
A 150	14,37	183,7	3891	3475	2667
F 100	7,5	68,57	341,3	505,8	511,3
F 120	7,5	83,57	411,7	899,3	765,1

Eigenschaften abgenutzter A-Schienen

Auch bei A-Schienen ist grundsätzlich ein 25%iger Verschleiß des Schienenkopfes bei allen Berechnungen zu berücksichtigen.

Im Rahmen der Ermüdungsrechnung wird der Verschleiß auf 12,5 % begrenzt. Der Querschnittsteil mit der Höhe h_3 (siehe Abb. 3.2) ist als Schienenkopf anzusehen. Die Querschnittswerte der abgenutzten A-Schienen können Tab. 3.2 (25 %) und Tab. 3.3 (12,5 %) entnommen werden. Zur verschleißbedingten Ablegereife der Schiene siehe Abs. 3.6.

c) F-Kranschiene nach DIN 536-2

Kranschienen vom Typ F (flach) sind 80 mm hoch und haben eine Schienenkopfbreite von 100 mm oder 120 mm, entsprechend tragen sie die Bezeichnung F 100 und F 120 (Abb. 3.2 Mitte, Querschnittswerte Tab. 3.1 bis 3.3). Sie sind nicht handelsüblich und werden bei neuen