

Gerhard Schmaußer, Heinz Nölke, Ernst Herz

Stahlwasserbau – Kommentar zu DIN 19704

- enthält Erläuterungen zu den einzelnen Textabschnitten der Norm und Hinweise und Anregungen für die Praxis
- Beiträge namhafter Autoren zu Fragen des Stahlwasserbau
- unveränderter Nachdruck der 1. Auflage von 2000

Das Buch enthält, neben dem Normenkommentar, 32 stahlwasserbautypische Berechnungsbeispiele. Die Erläuterungen zu DIN 19704:1998 „Stahlwasserbauten“ zeigen die Hintergründe der rechnerischen Nachweise und der neuen konstruktiven Hinweise auf. (Reprint der 1. Auflage von 2000)



9 / 2021 · ca. 350 Seiten · ca. 18 Tabellen
.....
Hardcover
ISBN 978-3-433-03367-8 ca. € 69*

ÜBER DAS BUCH

Dieses Buch enthält, neben dem Normenkommentar, 32 ausgewählte stahlwasserbautypische Berechnungsbeispiele und ist reich bebildert. Eine wertvolle Ergänzung sind außerdem 12 Sonderbeiträge über die Forschung und Entwicklung im Stahlwasserbau von namhaften Autoren.

Der Kommentar zu DIN 19704:1998 „Stahlwasserbauten“ enthält Erläuterungen zu den einzelnen Textabschnitten der Norm und Hinweise und Anregungen für die Praxis über die Hintergründe und Zielvorstellungen des Regelwerks. Es enthält gegenüber der früheren Ausgabe (Sept. 1976) eine Reihe wichtiger substantieller Änderungen und neue Regelungen. Dies gilt insbesondere für die neue Form der rechnerischen Nachweise und für die neuen konstruktiven Hinweise.

Die ausgewählten Berechnungsbeispiele führen u. a. in die Vorgehensweise beim Sicherheitskonzept, bei den Betriebsfestigkeitsnachweisen, bei Verschleißteilen und bei Kontaktproblemen (z. B. Laufrad und Laufschiene) ein.

Ferner konnten Beiträge namhafter Autoren zu Fragen des Stahlwasserbaus in das Buch aufgenommen werden. Das Buch erscheint in der Reihe „E&S ZEITLOS“ als unveränderter Nachdruck der 1. Auflage von 2000.

BESTELLUNG

Anzahl	ISBN /	Titel	Preis
	978-3-433-03367-8	Stahlwasserbau – Kommentar zu DIN 19704 [...]	ca. € 69*

Bitte richten Sie Ihre Bestellung an:
Tel. +49 (0)30 47031-236
Fax +49 (0)30 47031-240
marketing@ernst-und-sohn.de

108208 Free Shipping

www.ernst-und-sohn.de/3367

Privat

Geschäftlich

Firma, Abteilung

UST-ID Nr.

Name, Vorname

Telefon

Straße, Nr.

PLZ/Ort/Land

E-Mail

Datum/Unterschrift

BESTELLEN

+49 (0)30 470 31-236

marketing@ernst-und-sohn.de

www.ernst-und-sohn.de/3367

Vorwort

Die deutschen Bundeswasserstraßen, die Anlagen des Küstenschutzes, die Wasserkraftanlagen und die Anlagen in Staudämmen und in sonstigen Gewässern, z. B. des landwirtschaftlichen Wasserbaus, umfassen zahlreiche Stahlwasserbauten in unterschiedlichster Bauart. Ihr gemeinsames Merkmal ist das Zusammenwirken von Komponenten des Stahlbaus, des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und – wenn man noch die Gründungskörper mit einbezieht – des Massivbaus. Entwurf, Berechnung und konstruktive Gestaltung von Stahlwasserbauten erfordern daher in hohem Maße fächerübergreifende Ingenieurkompetenz.

Wegen der Bedeutung der Anlagen des Stahlwasserbaus in wirtschaftlicher Hinsicht, wegen der Notwendigkeit, die Anforderungen bezüglich Tragsicherheit und Funktionsfähigkeit zu erfüllen, und in Anbetracht der erheblichen Aufwendungen für die Erhaltung (Inspektion, Wartung und Instandsetzung) der vorhandenen Anlagen und für geplante Neubauten ist es unerläßlich, die technischen Regelwerke des Stahlwasserbaus dem Stand der Technik laufend anzupassen.

Das Bundesministerium für Verkehr (*BMV*) hat daher in der Vergangenheit „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen“ (ZTV-W Leistungsbereich 202, 216/1, 216/2, 218 und 220) für den Stahlwasserbau herausgegeben. Es hat damit

- neue Erkenntnisse aufgrund technischer Weiterentwicklungen berücksichtigt,
- auf Schadensfälle reagiert,
- dafür Sorge getragen, die Qualität, Funktionsfähigkeit, Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit der Bauwerke zu verbessern.

Im Juli 1991 wurde im Normenausschuß Wasserwesen der Arbeitsausschuß NAW AA II4 „Stahlwasserbau“ gegründet mit dem Ziel, die Normen DIN 19704 und DIN 19705 aus dem Jahr 1976 zu überarbeiten.

Mitglieder des Arbeitsausschusses waren:

Prof. Dr.-Ing. *G. Schmauß* (Obmann)
Ltd. BD Dipl.-Ing. *R. Wagner* (Stellv. Obmann)
Dr.-Ing. *H. Annemüller*
BOR Dipl.-Ing. *M. Behrendt*
Prof. Dr.-Ing. *U. Drewes*
Dipl.-Ing. *R. Foitzik* (DIN/NAW)
Prof. Dr.-Ing. *E. Häusler*
Dipl.-Ing. *E. Herz*
Prof. Dr.-Ing. *H.-B. Horlacher*
Dipl.-Ing. *A. Jander*
Dipl.-Ing. *K.-D. Kämmerer* †
Dr.-Ing. *H. Nölke*
Prof. Dr.-Ing. *U. Peil*
Dipl.-Ing. *K.-H. Pohl*
Dipl.-Ing. *K. Rothfischer*
Dipl.-Ing. *G. Ruff*
Dipl.-Ing. *K.-D. Schubert*

Dipl.-Ing. *G. Standke*
 Dipl.-Ing. *E. Stöhr*
 Ltd. BD Dr.-Ing. *C. Straube*
 Dipl.-Ing. *J. Strohschneider*
 Prof. Dr.-Ing. *G. Valtinat*
 Dipl.-Chem. *G. Zeisler* (DIN/NAW)

Außerdem haben dankenswerterweise zahlreiche sachverständige Gäste, die zu speziellen Fragen hinzugezogen worden waren, die Normungsarbeit mit wertvollen Beiträgen unterstützt.

Es gelang, nach nur 10 Sitzungen des Arbeitsausschusses im Februar 1997 die Neufassung von DIN 19704 (zugleich auch als Ersatz von DIN 19705) zu verabschieden. Zu diesem Erfolg haben fünf Arbeitskreise beigetragen, die der Arbeitsausschuß gebildet hatte und die mehr als 50 mal getagt haben. Sie waren zuständig für:

1. Maschinenbau (Leitung: *H. Nölke*)
2. Stahlbau (Leitung: *U. Peil*)
3. Lasten (Leitung: *H.-B. Horlacher*)
4. Sicherheit (Leitung: *G. Valtinat*)
5. Bauliche Durchbildung und Herstellung (Leitung: *E. Herz*)

Hinsichtlich der elektrischen Ausrüstung konnte zu den Regelungen in DIN 19704-3 und der zugehörigen Kommentierung K3 auf Beratungsergebnisse des Arbeitskreises ZTV-W 216/2 unter der Federführung der Herren Dipl.-Ing. *G. Ruff* und Dipl.-Ing. *N. Sobiech* zurückgegriffen werden.

Frühere Ausgaben der DIN-Normen des Stahlwasserbaus waren:

DIN 19704 : 1958-06	Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten
DIN 19704 : 1963-12	Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten
DIN 19705 : 1963-12	Richtlinien für die bauliche Durchbildung von Stahlwasserbauten
DIN 19704 : 1976-09	Stahlwasserbauten, Berechnungsgrundlagen
DIN 19705 : 1976-09	Stahlwasserbauten, Bauliche Durchbildung

In der DDR galten folgende Standards:

TGL 13490 : 1964-02	Tragwerke im Stahlwasserbau, Berechnung, Bauliche Durchbildung
TGL 13490-1 : 1972-03	Stahlwasserbauten, Tragwerke
TGL 13490-2 : 1972-03	Stahlwasserbauten, Antriebe
TGL 13490-3 : 1972-03	Stahlwasserbauten, Elektrotechnische Ausrüstung
E TGL 13490-1 : 1989-12	Stahltragwerke für Stahlwasserbauten, Berechnung, Bauliche Durchbildung

Die früheren Ausgaben von DIN 19704 und DIN 19705 haben auch im nahen und fernen Ausland eine weite Verbreitung gefunden. Sie wurden in mehrere Fremdsprachen übersetzt und weltweit häufig bei Bauvorhaben des Stahlwasserbaus zugrunde gelegt.

Auch die Neuausgabe von DIN 19704 liegt in englischer Übersetzung vor (Bezugsquelle: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin).

Der Anwendungsbereich aller bisherigen Regelwerke des Stahlwasserbaus hat sowohl die Stahlkonstruktionen als auch die Maschinenkonstruktionen und die elektrische Ausrüstung erfaßt. Diese Festlegung, Stahlwasserbauanlagen als funktionelle Einheit zu betrachten, hat sich über Jahrzehnte bewährt und wurde auch für die Neuausgabe als sachlich notwendig bestätigt und daher beibehalten.

(Normen für andere bewegliche Stahlbauten, z. B. für Großgeräte in Braunkohlentagebauen und für Krane, sind bisher in dieser Hinsicht vergleichsweise weniger umfassend, vgl. Normen der Reihe DIN 22261 und der Reihe E DIN EN 13001).

Im folgenden **Kommentar** wird auf die Grundlagen der Neuausgabe von DIN 19704 näher eingegangen. Insbesondere die substantiellen Änderungen werden erläutert. Die Darlegungen sind übereinstimmend mit der Gliederung der Norm geordnet.

Ausgewählte **Berechnungsbeispiele** verdeutlichen die Anwendung der neuen Regelungen und können in der Praxis als Hilfe dienen. Die Berechnungsbeispiele führen u. a. in die Vorgehensweise ein beim Sicherheitskonzept, bei den Betriebsfestigkeitsnachweisen, bei Verschleißteilen und bei Kontaktproblemen (z. B. Laufrad und Laufschiene).

Ferner konnten Beiträge namhafter Autoren zu aktuellen Fragen des Stahlwasserbaus aufgenommen werden.

Die unterschiedlichen **Verbindlichkeiten** sind in der Norm eindeutig und einheitlich formuliert:

- mit „muß“ die Anforderungen
- mit „sollte“ die Empfehlungen
- mit „darf“ die Erlaubnisse
- mit „kann“ die Möglichkeiten

Ebenso wie bei allen anderen technischen Regelwerken darf die **technische Weiterentwicklung** nicht eingeengt oder verhindert werden. Grundsätzlich gelten die Anforderungen der Norm; Abweichungen sind jedoch möglich, wenn auf andere Weise dem Zweck der Norm entsprochen wird, also die Gleichwertigkeit anderer konstruktiver Lösungen nachgewiesen wird oder die Nachweise ausreichender Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit in anderer Weise erbracht werden und wenn der Auftraggeber zustimmt.

Die Neuausgabe von DIN 19704 wurde mit Rundschreiben vom 24.7.1998 vom *BMV* für den Geschäftsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung als **Technische Baubestimmung** eingeführt.

Übergeordnete **Rechtsvorschriften, Verordnungen und Richtlinien**, z. B. über die Maschinensicherheit, den Betrieb von Druckbehältern, den Umweltschutz und über die Frage der Konformität mit dem Bauproduktengesetz, werden in der Norm nicht berührt.

Der aktuelle Stand und die Verbindlichkeit der vorgenannten Vorschriften und dgl. bei Anlagen des Stahlwasserbaus muß im Einzelfall von den am Bau Beteiligten geprüft und ggf. beachtet werden.

Die Verfasser danken der Bundesanstalt für Wasserbau, Herrn Ltd. BD *R. Wagner*, und der Mannesmann Rexroth AG, Projektteilung Stahlwasserbau, Herrn Dipl.-Ing. *E. Wirzberger*, für die Hilfe ihrer Mitarbeiter bei der Anfertigung von Zeichnungen.

Die Verfasser würden projektbezogene Erfahrungsberichte und Verbesserungsvorschläge aus der Praxis des Stahlwasserbaus sehr begrüßen, die Anlaß geben, Änderungen oder Ergänzungen zur Neuauflage von DIN 19704 oder zu diesem Kommentar für erforderlich zu halten. Desgleichen sind Berichte über die Erprobung der Berechnungsbeispiele und über Weiterentwicklungen, experimentelle Untersuchungen, Messungen der Einwirkungen und des Verschleißes erwünscht.

Mai 2000

Gerhard Schmauß
Heinz Nölke
Ernst Herz

Inhalt

Kommentare

Kommentar K1 zu DIN 19704-1: 1998-05 Stahlwasserbauten, Teil 1: Berechnungsgrundlagen	1
Kommentar K2 zu DIN 19704-2: 1998-05 Stahlwasserbauten, Teil 2: Bauliche Durchbildung und Herstellung	35
Kommentar K3 zu DIN 19704-3: 1998-05 Stahlwasserbauten, Teil 3: Elektrische Ausrüstung	63

Berechnungsbeispiele	73
-----------------------------------	----

Anhang 1: Informative Verweisungen	227
---	-----

Anhang 2: Vorgaben des Auftraggebers nach DIN 19704	237
--	-----

Anhang 3: Beiwerte k zur Ermittlung der Biegespannungen querbelasteter, isotroper Rechteckplatten	239
---	-----

Sonderbeiträge

Hydrodynamische Belastung von Seitenschilden für überströmte Stauklappen	241
<i>Andreas Richter</i>	

Abminderung des hydrostatischen Drucks auf eine ebene vertikale Stauwand zufolge Überströmung	253
<i>Andreas Richter</i>	

Untersuchung des Drehmoments an Schleusenstemmtoren	257
<i>Andreas Richter</i>	

Eislasten auf Verschlusskörper im Stahlwasserbau	263
<i>Hans-Burkhard Horlacher</i>	

Zur Frage der Sicherheit im Stahlwasserbau	273
<i>Günther Valtinat</i>	

Zur Gesamtstabilität eines Stemmtores	281
<i>Ingbert Mangering, Rolf Klinger</i>	

Stahlwasserbau – Mitwirkende Gurtfläche	289
<i>Udo Peil, Michael Siems</i>	

Betonpressungen unter stählernen T-förmigen Schienenträgern mit aufgeschweißter Blockschiene	299
<i>Günther Valtinat, Ulrike Eberwien, Christian Hagen</i>	

Betriebsfestigkeitsprobleme an Stahlwasserbauten	313
<i>Reiner Wagner</i>	

Ermüdungsnachweise für Stahlwasserbauten im Normenvergleich „DIN 19704-1/EUROCODE 3 – frühere Regelwerke“	319
<i>Wilfried Meinhold</i>	
Horizontales Falwerk als innovative Verschlusskörper-Konstruktion	327
<i>Kurt Funder, Frithjof Mächer</i>	
Zur Berechnung schlanker Hydrozylinder	335
<i>Klaus-Jürgen Pittner</i>	
Sachverzeichnis	345
Druckfehlerberichtigung zu DIN 19704: 1998-05	349

Kommentar K3 zu DIN 19704-3: 1998-05

Stahlwasserbauten – Teil 3:

Elektrische Ausrüstung

G. Schmaußer, H. Nölke, E. Herz

K3-1 Anwendungsbereich

Die Anwendung der Norm bezieht sich auf die elektrische Ausrüstung der Antriebe von Stahlwasserbauten. Im weiteren wird ausgeführt, daß hierzu alle elektrischen Betriebsmittel gehören, die mit den Maschinen- und Stahlkonstruktionen in unmittelbarem Zusammenhang stehen.

Die darüber hinaus erforderlichen Anlagenteile der elektrischen Ausrüstung des Gesamtbauwerks, wie z. B. Anlagen für die Stromversorgung und für die Verteilung werden nicht behandelt. Die Planung und Ausführung dieser Anlagenteile erfolgt auf der Grundlage der entsprechenden technischen Regelwerke, z. B. DIN VDE Normen/Bestimmungen, sowie der vertraglichen Vorgaben des Auftraggebers, z. B. ZTV-W 216/2.

Besondere Anforderungsmerkmale für diese Teile der elektrischen Ausrüstung von stahlwasserbaulichen Anlagen, wie Schleusen, Wehre und Sicherheitstore, sind fallweise festzulegen. Bei hohen Anforderungen an die Verfügbarkeit eines Antriebs können Netzersatzanlagen eingebaut werden, z. B. Ausrüstungen zum Anschluß eines Notstromaggregats. Falls bei einer Störung der Stromversorgung ein Zeitverzug in den MSR-Einrichtungen nicht tolerierbar ist, kann eine (batteriegestützte) unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV-Anlage) notwendig werden.

In der Praxis sind häufig elektrische Betriebsmittel der elektrischen Ausrüstung von Antrieben und von elektrischen Anlagenteilen, die nicht im Anwendungsbereich dieser Norm liegen, z. B. Verteiler und Kabel für die Stromversorgung, in unmittelbarer räumlicher Nähe (gleiche Umgebungsbedingungen und Beanspruchungen) angeordnet. Für diese Anlagenteile sollten daher die gleichen Anforderungen berücksichtigt werden, z. B. Abschnitt 4 von DIN 19704-3 für die elektrischen Betriebsmittel, Abschnitt 6 von DIN 19704-3 für die Gehäuse und Abschnitt 7 von DIN 19704-3 für das Befestigungsmaterial.

K3-3 Allgemeines

K3-3.1 Bemessung

Für das Errichten und den Betrieb von elektrischen Anlagen gelten u. a. die DIN VDE Normen/Bestimmungen.

Die Antriebe für Stahlwasserbauten werden als Maschinen eingestuft, weil es für Antriebe und Antriebsgruppen keine speziellen VDE-Bestimmungen gibt, siehe auch Definitionen nach DIN VDE 0100-200.

Damit gelten, soweit zutreffend, für die elektrische Ausrüstung der Antriebe die Anforderungen nach DIN EN 60204-1 (VDE 0113 Teil 1).

Ergänzend wird außerdem auf IEC 204-1 hingewiesen.

K3-3.2 Sicherheitsanforderungen

Die Risikobewertung zur Ermittlung der sicherheitstechnischen Anforderungen an die MSR-Einrichtungen führt zu einer Systematisierung und Dokumentation der Sicherheitsbetrachtungen, siehe auch DIN V 19250.

Ergänzend wird auf DIN EN 954-1, DIN EN 1037 und DIN EN 1050 hingewiesen.

Diese Gefährdungsanalyse sollte auch das Zusammenwirken der Antriebe innerhalb einer Gesamtanlage, z. B. Schleuse, Wehr, berücksichtigen. Gegebenenfalls sind auch betriebstechnische Aspekte und deren Gefährdungspotential zu bedenken, z. B. maximal zulässige Wasserstands Differenzen beim Öffnen von Schleusentoren, unzulässige Strömungen bei Füll- und Entleerungsverschlüssen von Schleusen, unzulässige Abflußmengen bzw. Verletzung von Grenzwerten für die Stauhaltung bei der Verstellung von Wehrverschlüssen. Die hierfür ggf. erforderlichen MSR-Schutzeinrichtungen, z. B. Wasserstandsüberwachungen, gehören nur bedingt zu der elektrischen Ausrüstung der Antriebe. Sie müssen jedoch als Schutzeinrichtung auf die Steuerung der Antriebe wirken.

Weitere Gefährdungen können durch Bedienungsfehler (unzulässige Stellbefehle) und Versagen von elektrischen Verriegelungen sowie bei Fehlern in der Steuerung und Sensorik, z. B. Positionsschalter, entstehen und sind entsprechend mitzubetrachten.

Entsprechend der Risikobeurteilung und -bewertung sind die erforderlichen MSR-Schutzeinrichtungen zur Verhinderung von Schäden an Personen, Anlagen und Geräten zu ermitteln und entsprechend ihrer Wertigkeit (Kategorie bzw. Anforderungsklasse) auszuführen.

Neben den im Abschnitt 3.2 im einzelnen angeführten und nachfolgend kommentierten Schutzeinrichtungen können als Folge der Risikobewertung weitere Maßnahmen erforderlich sein.

Die geforderten elektrischen Verriegelungen von

- alternativ wirkenden Antrieben, wie z. B. Haupt- und Hilfsantrieb, Notantrieb, Handantrieb,
- Blockierungs- und Feststelleinrichtungen, z. B. Schaltgestänge zum Umschalten bzw. Einkuppeln der verschiedenen Antriebe, Gestänge für die Handbetätigung von Bremsen

sind zur Verhinderung von unzulässigen und gefährlichen Antriebsbetätigungen entsprechend der ermittelten sicherheitstechnischen Wertigkeit auszuführen.

Das geforderte Bedienelement für eine NOT-AUS-Einrichtung im Bereich des Antriebs gewährleistet bei Auftreten von Gefahrensituationen die Möglichkeit des raschen Stillsetzens des Antriebes und ggf. eine Schadensverringerung bzw. -vermeidung, z. B. bei Probeläufen.

Die Kategorie der Stop-Funktionen für das Stillsetzen im Notfall ist auf den Antrieb abzustimmen und nach DIN EN 60204-1 (VDE 0113 Teil1), neueste Ausgabe vom November 1998, festzulegen.

Sind an Verschlußkörpern bzw. deren Antrieben mechanische Verriegelungen (handbetätigt oder kraftbetätigt) vorgesehen, z. B. in der Revisionsstellung oder in den betrieblichen Endlagen, ist die Lage der Verriegelungselemente (Bolzen und dgl.) mit Positionsschaltern zu überwachen.

Die Stellungsüberwachung dient sowohl als Schutzeinrichtung gegen unzulässige Antriebsbewegungen als auch zur eindeutigen Signalisierung der Lage und Funktion (Betriebszustand)

des Verriegelungselementes an den Bedienstellen. Die zuverlässige Verhinderung von Bedienungsfehlern hat besondere Bedeutung bei Fernbedienungen bzw. Visualisierungssystemen.

Die im Abschnitt 3.2 von DIN 19704-3 angeführten Vorgaben für die technische Ausführung von Schutzverriegelungen bzw. Schutzeinrichtungen, wie

- Selbstüberwachung, Ruhestromprinzip,
- Wirkung auf Schaltgeräte im Hauptstromkreis,

sind als Mindestforderung anzusehen. Weitere Anforderungsmerkmale an die Konzeption und Konstruktion der Schutzeinrichtungen können sich aus der Risikobeurteilung und Ermittlung der Wertigkeit (Kategorie bzw. Anforderungsklasse) ergeben.

Wenn vorübergehend, z. B. zwecks Wartung oder Reparatur oder bei einem Störfall, eine Aufhebung von MSR-Schutzeinrichtungen (elektrische Verriegelungen) erforderlich ist, muß dieses unter Beachtung der möglichen Gefährdungen und der Erhaltung der Anlagensicherheit erfolgen. Möglichkeiten, mit denen das erforderliche Schutzniveau erreicht werden kann, sind z. B.

- Überbrückungsfunktionen, die gegen unbefugtes Betätigen gesichert sind (durch Schlüsselschalter oder dgl.),
- Bedienung nur durch Fachpersonal nach entsprechender Betriebsanweisung.

Die gesicherte Wiederherstellung der Schutzfunktion nach Rückstellung der Aufhebung der MSR-Schutzeinrichtung ist zu beachten und bei der Konzeption zu berücksichtigen.

Die Bedienhandlungen für das Aufheben von Schutzeinrichtungen sollten protokolliert werden, siehe K3-3.4.

K3-3.3 Schutzmaßnahmen

Zur Erhöhung des Personenschutzes sind bei elektrischen Hilfseinrichtungen und Geräten, z. B. Elektroheizungen mit einer Betriebsspannung > AC 50 V in feuchten und nassen Betriebsräumen, im unmittelbaren Bereich von Stahlwasserbauten sowie im Wasser, Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (residual current device RCD) vorzusehen.

Hierdurch wird die Gefährdung bei Isolationsschäden an elektrischen Betriebsmitteln und gleichzeitiger Einwirkung von Feuchtigkeit bzw. Wasser berücksichtigt. Isolationsschäden werden frühzeitig erkannt.

Die Anwendung wird, soweit nicht in den Normen gefordert, vom Auftraggeber festgelegt.

Müssen elektrische Betriebsmittel von Steuerungen, z. B. Endschalter (Positionsschalter) ständig oder zeitweise im Wasser betrieben werden, ist bei Wahl der Schutzmaßnahmen die Anforderung an Steuerungen hinsichtlich einer hohen Verfügbarkeit mitzubearbeiten. Es kann sich hierfür der Einsatz von Kleinspannung (safety extra low voltage SELV, protective extra low voltage PELV) eignen.

Einzelne elektrische Betriebsmittel im Wasser können auch durch geeignete Trenngeräte (Trennschaltverstärker, Auswertegeräte und dgl.) von den Steuerstromkreisen mit höherer Spannung entkoppelt werden.

Die Anwendung einer Schutzmaßnahme mit automatischer Abschaltung durch Überstrom-Schutzeinrichtungen sollte bei derartigen Umgebungsbedingungen vermieden werden.

Bei ortsfesten elektrischen Betriebsmitteln, z.B. Antrieben und Steuerungen, außerhalb des Wassers können, soweit nicht in den Normen gefordert, aus technischen oder betrieblichen Gründen, z.B. Leistung, Verfügbarkeit, auch andere Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag angewendet werden.

Potentialausgleichsmaßnahmen sind in Antriebs- und vergleichbaren Betriebsräumen zum Personen- und Anlagenschutz erforderlich.

K3-3.4 Speicherung des Steuerungsprozesses

Die Speicherung von wesentlichen Schritten des Prozeßablaufes ist Voraussetzung für eine schnelle Auffindung von Fehlern bei Störungen, für Ferndiagnose, zur nachträglichen Fehleranalyse sowie für Wartungsarbeiten.

Die Speicherung ist auch für das frühzeitige Erkennen von Fehlern und Schwachstellen unumgänglich, was letztlich eine wesentliche Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit bewirkt.

Die Speicher-Kriterien, z.B. Umfang und Art der Speicherung, sowie die Zugriffsbedingungen sind anlagenspezifisch und werden fallweise vom Auftraggeber festgelegt.

Für eine weitere Bearbeitung der gespeicherten Daten sollten Datenschnittstellen gewählt werden, die eine Auswertung mit Standardprogrammen ermöglichen.

K3-4 Elektrische Betriebsmittel

K3 4.1 Allgemeines

Die Nutzungsdauer für elektrische Anlagen, ausgenommen Verschleißteile, wurde in Anlehnung an die Nutzungsdauer der maschinellen Ausrüstung auf 35 Jahre festgelegt.

Für verschiedene elektrische Betriebsmittel, z.B. Automatisierungssysteme, MSR-Geräte und -Anlagen, muß wegen der raschen technischen Weiterentwicklung und der damit verbundenen zeitlich begrenzten Ersatzteilversorgung von einer geringeren Nutzungsdauer ausgegangen werden.

Auf Grund der äußerst ungünstigen Umgebungs- und Betriebsbedingungen ist zur Gewährleistung einer hohen Betriebssicherheit und Verfügbarkeit die Verwendung von elektrischen Betriebsmitteln mindestens nach Verschmutzungsgrad 3 und Überspannungskategorie III (siehe DIN VDE 0110-1 (VDE 0110 Teil1)) erforderlich. Außerdem ist entsprechend den Verhältnissen am jeweiligen Einbauort zu ermitteln und festzulegen, welche zusätzlichen Schutzmaßnahmen gegen die dort herrschenden äußeren Einwirkungen notwendig sind.

K3-4.2 Motoren und Bremsen

Die zusätzliche Imprägnierung, die Stillstandsheizung und die Schutzart IP 54 sind zur Gewährleistung einer hohen Verfügbarkeit unter Berücksichtigung der besonderen Betriebsverhältnisse, wie niedrige Betriebsstundenzahl, Kurzzeitbetrieb, meist sehr ungünstige Einbauorte (Einwirkung von Staub und Feuchtigkeit sowie Tauwasserbildung) zweckmäßig, siehe auch K3-4.6.

Lager in geschlossener Ausführung und mit Lebensdauerschmierung gewährleisten bei Elektromotoren eine hohe Lebensdauer und erfordern einen äußerst geringen Wartungsaufwand.

Die Überwachung und Auswertung der Motor-Wicklungstemperaturen läßt Mängel und Fehler rechtzeitig erkennen und verhindert plötzlich auftretende Störungen und Ausfälle, z.B. können allmählich entstehende Motor-Isolationsschäden, länger andauernde Schwergängigkeiten und Überhitzung durch erhöhte Umgebungstemperaturen frühzeitig und besser erkannt werden als nur mit Motorschutzschaltern bzw. Überlastrelais.

Anmerkung: Bei der Einteilung der Schutzarten nach dem IP-Code kennzeichnet die erste Kennziffer den Schutz der elektrischen Ausrüstung gegen Eindringen von festen Fremdkörpern einschließlich Staub und den Schutz von Personen gegen Berühren von gefährlichen Teilen. Die zweite Kennziffer kennzeichnet den Schutz der elektrischen Ausrüstung gegen Eindringen von Wasser.

K3-4.3 Kabel und Leitungen

Um Störquellen durch Muffen- und Klemmkastenverbindungen auszuschließen, sind Kabel und Leitungen in einer Länge zu verlegen.

Kabel- und Leitungsschirme bewirken eine Reduzierung der von außen wirkenden elektrischen Störeinflüsse, z.B. Abschirmung von Störimpulsen infolge von elektromagnetischen Feldern. Kabel- und Leitungsschirme sind daher bei elektronischen Anlagen und Geräten erforderlich.

Die Erstellung eines Schirmungskonzepts ist notwendig, um zu verhindern, daß Potentialausgleichsströme über die Schirmleiter fließen.

Die Verlegung von flexiblen Leitungen ermöglicht eine bessere und leichtere Montage insbesondere beim Austausch von elektrischen Betriebsmitteln und anderen Bauteilen mit elektrischen Anschlüssen. Außerdem sind flexible Leitungen wesentlich unempfindlicher gegen mechanische Schwingungen als Kabel und Leitungen mit ein- oder mehrdrähtigen Adern.

Der zusätzliche mechanische Kabel- und Leitungsschutz, z.B. durch Schutzrohre oder geschlossene Kabelrinnen, ist wegen der teilweisen Begehrbarkeit der Antriebe und wegen anderer mechanischer Einwirkungen, z.B. durch Werkzeuge und Bauteile bei Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten, erforderlich.

K3-4.4 Anschlüsse

Die zentrale Klemmstelle am Antrieb dient als Schnittstelle zwischen der Antriebseinheit und den peripheren elektrischen Betriebsmitteln sowie den Kabel- und Leitungsanschlüssen zu den Schalt- und Steuerschränken.

Außerdem erleichtert diese Klemmstelle die Montage- und Prüfarbeiten auf der Baustelle, z.B. ist mit dieser Schnittstelle auch eine fabrikfertige Verkabelung eines Antriebs möglich.

Sie ist außerdem eine eindeutige Schnittstelle bei verschiedenen Auftragnehmern.

Bei der Verwendung von Kompaktantrieben ohne zentrales Klemmgehäuse ist besonders darauf zu achten, daß die Anschlußklemmen bzw. Steckverbinder leicht zugänglich und übersichtlich angeordnet sind.

Die Abdeckung (fingersichere Ausführung) von spannungsführenden Bauteilen sowie deren Abschottung dient dem Personenschutz bei Meß-, Prüf- und Wartungsarbeiten vor allem dann,

wenn Anlagen bei der Durchführung derartiger Arbeiten nur teilweise spannungsfrei geschaltet werden können.

Die potentialfrei aufgelegten Anschlüsse aller elektrischen Anschlußpunkte, z. B. Schaltkontakte, ermöglichen eine flexible Nutzung aller Kontakte und Meßanschlüsse der einzelnen Betriebsmittel. Sie gewährleisten eine Vereinfachung und Erleichterung bei Instandsetzungs- und Änderungsarbeiten sowie eine gute Übersichtlichkeit. Sie dienen damit der Fehlervermeidung und der Arbeitssicherheit.

Die isoliert aufgebaute Schirmschiene ermöglicht ein eindeutiges und übersichtliches Schirmungskonzept, siehe auch K3-4.3.

Die gruppenweise Anordnung und Trennung von Anschlußklemmen für verschiedene Antriebe ergibt eine klare Übersicht und Zuordnung und dient der Arbeitssicherheit sowie der Erleichterung von Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten.

K3-4.5 Hilfseinrichtungen

Elektrische Heizungsanlagen und beheizte Anlagenteile müssen durch den Einbau von Regel- und Schutzgeräten zuverlässig vor Überhitzung geschützt und außerdem so wirtschaftlich wie möglich betrieben werden.

Für „Trockenlauf“ geeignete Heizelemente schließen Defekte durch Überhitzung weitestgehend aus und erfordern einen wesentlich geringeren Wartungs- und Unterhaltungsaufwand, z. B. keine besondere Füllstandsüberwachung der Wärmeträgerflüssigkeit.

Die Funktionsüberwachung der Hilfseinrichtungen dient dem Anlagenschutz, z. B. der Verhinderung von Vereisungen bei Ausfall der Dichtungsheizung und der Früherkennung von Mängeln und Fehlern, d. h. sie erhöht die Anlagenverfügbarkeit.

Beispiele für Funktionsüberwachungen:

- Stromüberwachung bei Motoren (Rührwerke), Heizungen (nicht geeignet bei selbstlimitierender Heizleistung, z. B. Heizbändern),
- Minimum-Temperaturüberwachung bei Heizungen,
- Drucküberwachung bei Luftsprudelanlagen.

K3-4.6 Endschalter und Druckschalter

Die Schutzart IP 65 (Schutz gegen schädliche Staubablagerungen und Spritzwasser) ist wegen der rauen Betriebsbedingungen und auch aus Gründen der Einheitlichkeit erforderlich.

Die Kontaktbestückung (mindestens 1 Schließer und 1 Öffner je Schaltebene) ermöglicht eine universelle Anwendung sowie eine zusätzliche Überwachung, z. B. Sicherheitsstromkreis, Plausibilitätsprüfung.

Bei der Bemessung von Näherungsschaltern darf der Abstand zwischen der aktiven Fläche des Näherungsschalters und des Betätigungselementes (Schaltfahne) nur 80 % des gesicherten Schaltabstandes s_a betragen. Bezogen auf den in den Herstellerlisten bevorzugt genannten Bemessungsschaltabstand s_n sind das ca. 65 %, d. h. bei $s_n = 40$ mm darf der Abstand zwischen Näherungsschalter und Betätigungselement maximal ca. 26 mm betragen. (Definition der Schaltabstände siehe DIN EN 60947-5-2 (VDE 0660 Teil 208)).

Damit werden Montageungenauigkeiten und nicht absehbare betriebliche Abstandsänderungen und -schwankungen ausgeglichen und die Betriebs- und Funktionssicherheit wesentlich erhöht.

Weiterhin sind ggf. Reduzierungen des Schaltabstandes durch die Materialart des Betätigungselements entsprechend den Herstellerangaben zu berücksichtigen.

Sprungkontakte gewährleisten einen präzisen Schaltvorgang, d.h. exaktes Schalten auch bei kurzen Fahrwegen. Die damit verbundene Schalthysterese muß akzeptiert werden.

Die Anzeige der Schaltstellung an End- und Druckschaltern erleichtert die Wartungsarbeiten und vereinfacht die Fehlersuche im Störfall erheblich.

K3-4.7 Überlast-Schutzeinrichtungen

Eine mechanisch wirkende Schutzeinrichtung zur Verhinderung einer Einwirkung von unzulässig hohen Momenten auf den Antrieb, z.B. eine Überlastkupplung, muß zur elektrischen Abschaltung des Antriebes in der jeweiligen Bewegungsrichtung mit einer geeigneten Steuerungssensorik (Positionsschalter, Näherungsschalter) ausgerüstet sein. Die Schaltglieder müssen direkt auf den Steuerstromkreis des Hauptstromschaltgerätes wirken und eine Störmeldung erzeugen. Hierdurch wird bei einer Abschaltung des Antriebs durch eine Auslösung der Überlast-Schutzeinrichtung ein Hinweis auf die Abschaltursache gegeben und die Voraussetzung für eine gezielte Störungsbeseitigung geschaffen. Ist eine weitergehende Betriebsdatenverarbeitung vorgesehen, z.B. Störmeldeprotokollierung, kann die Störmeldung entsprechend verarbeitet werden.

Bei der Bemessung der Sensorik ist auf eine ausreichende Kontaktbestückung (1 Schließer und 1 Öffner) sowie auf die Erfüllung der Anforderungen aus einer Risikobetrachtung für diese Schutzeinrichtung zu achten.

Meß-Trennklemmen erleichtern wesentlich die Wartungs- und Prüfarbeiten, verbessern die Arbeitssicherheit und vermeiden Folgefehler durch häufiges Ab- und Anklemmen.

Einstellbare Grenzmarken bei Schutz- und Überwachungseinrichtungen ermöglichen eine flexible Anwendung, z.B. nachträgliche Anpassung der Geräte an die Auslösekraft bzw. Änderung des Auslösebereichs.

Die Einstelleinrichtungen für die Grenzmarken sind nach der Einstellung zu sichern, z.B. durch Siegelack oder Plombierung, und die Einstellwerte sind zu dokumentieren.

Bei einer elektrisch einstellbaren Drehmomentbegrenzung, z.B. Drehmomentenregelung eines Umrichters, ist ein unabhängiger, zusätzlicher Anlagenschutz, z.B. mittels einer Kraftmeßeinrichtung mit Sicherheitsstromkreis für die Abschaltung des Antriebes, erforderlich, da bei Fehlfunktion der elektrischen Drehmoment-Begrenzungseinrichtung ggf. unzulässig hohe Drehmomente auf den Antrieb einwirken und zu Schäden an der Anlage führen können.

Dieser Sachverhalt ist bei der Anwendung des Abschnitts 8.4 von DIN 19704-1 zu berücksichtigen. Das „eingestellte Drehmoment“ kann bei Umrichtern, je nach Dimensionierung, auch das Kippmoment des angeschlossenen Motors sein.

Bei Ansatz des „eingestellten Drehmoments“ in den Tragsicherheitsnachweisen ist eine elektrische Drehmomentbegrenzung allein nicht ausreichend.

Beispiel Z29 Pressungsvergleich zwischen Laufrad (ballig/zylindrisch) und Laufschiene (eben/gewölbt)

Gegeben:

Tiefschütz im Füllkanal einer Kammerschleuse.

Charakteristischer Wert der Raddrucks:

$$F_k = 242,6 \text{ kN}$$

berechnet mit dem Teilsicherheits- bzw. Kombinationsbeiwert

$$\gamma_F = 1; \quad \psi = 1$$

Raddurchmesser: $D = 480 \text{ mm}$

Elastizitätsmodul: $E = 2,05 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

Querdehnungszahl: $\nu = 0,3$

Kombination 1:

Balliges Rad/ebene Schiene („Punktberührung“)

Balligkeitsradius: $R_b = 3600 \text{ mm}$

Balligkeit: $R_b / R = 3600 / 240 = 15$

Kombination 2:

Zylindrisches Rad/gewölbte Schiene („Punktberührung“)

Gewölbte (Kran-)Schiene A 120-690 nach DIN 536-1

Balligkeitsradius: $r_2 = R_b = 600 \text{ mm}$

Balligkeit: $R_b / R = 600 / 240 = 2,5$

Kombination 3:

Zylindrisches Rad/ebene Schiene (siehe DIN 19704-2, 10.17)

Effektive (d. h. nach Abzug der Fasen/Abrundungen) Rad- bzw. Schienenbreite B :

$$B_{\text{Rad}} = 95 \text{ mm} < B_{\text{Schiene}}$$

oder

$$B_{\text{Schiene}} = 95 \text{ mm} < B_{\text{Rad}}$$

Kombination 3a:

Keine Verkantung („Linienberührung“)

Kombination 3b:

Verkantung, d.h. Schiefstellung des zylindrischen Rades und/oder der ebenen Schiene nach Bild Z29-1 („quasi Punktberührung“). Dieser – planmäßig in DIN 19704-2, 10.17 nicht zugelassene – Fall wird hier der Vollständigkeit halber in Form einer Näherung nach *Matthias* [54] aufgeführt.

Endtangente­neigung der fest eingebauten Achse:

$$\alpha_1 = 4,86 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

Schienenquer­neigung nach DIN 19704-2, Tab. 3:

$$\alpha_2 = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

Verkantungswinkel nach Bild Z29-1:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = (4,86 + 2,0) \cdot 10^{-3} = 6,86 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

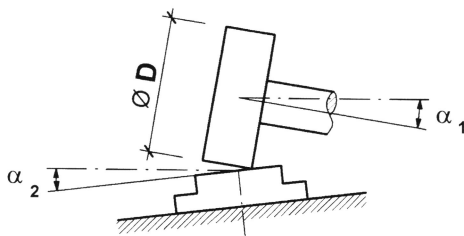


Bild Z29-1
Ver­kantung von Rad und Schiene

Gesucht:

Maximale *Hertz*sche Pressungen, maximale Kanten­pressungen und Abmessungen der Kon­takt­flächen.

Lösung:**Kombinationen 1 und 2:**

Berechnung nach DIN 19704-1, 10.22, analog Beispiel Z28, deshalb nachstehend nur Mit­tei­lung der Ergebnisse:

Halbachsen­längen der Berührungsellipse unter dem charakteristischen Wert des Raddrucks:

Kombination 1:

$$a = 25,3 \text{ mm}; \quad b = 4,4 \text{ mm}$$

Kombination 2:

$$a = 5,7 \text{ mm}; \quad b = 3,1 \text{ mm}$$

Charakteristische Werte der maximalen *Hertz*schen Pressungen:

Kombination 1: $\max p_k = 1050 \text{ N/mm}^2$

Kombination 2: $\max p_k = 1642 \text{ N/mm}^2$

Faktor zur Berechnung der Bemessungswerte:

$$\sqrt[3]{\gamma_F \cdot \psi} = \sqrt[3]{1,35 \cdot 1} = 1,1052$$

Halbachsenlängen der Berührungsellipse unter dem Bemessungswert des Raddrucks:

Kombination 1:

$$a = 28,0 \text{ mm}; \quad b = 4,8 \text{ mm}$$

Kombination 2:

$$a = 6,3 \text{ mm}; \quad b = 3,4 \text{ mm}$$

Bemessungswerte der maximalen *Hertz*schen Pressungen:

Kombination 1: $\max p_d = 1160 \text{ N/mm}^2$

Kombination 2: $\max p_d = 1815 \text{ N/mm}^2$

Kombination 3a:

Mit

F	Raddruck [N]
B	effektive Breite [mm] der Schiene bzw. des Rads
R	Radhalbmesser [mm]
$D = 2 R$	Raddurchmesser [mm]

ist die maximale *Hertz*sche Pressung p_0 bei Berührung „Kreiszyylinder auf Ebene“ (Index 0: keine Verkantung):

$$\begin{aligned} p_0 &= \sqrt{F \cdot E / [2 \pi \cdot B \cdot R (1 - \nu^2)]} \\ &= 0,4182 \cdot \sqrt{(F \cdot E / (B \cdot R))} \\ &= 267,8 \cdot \sqrt{F / (B \cdot D)} \end{aligned}$$

Charakteristischer Wert der maximalen *Hertz*schen Pressung:

$$p_{0,k} = 267,8 \cdot \sqrt{242,6 \cdot 10^3 / (95 \cdot 480)} = 618 \text{ N/mm}^2$$

Faktor zur Berechnung der Bemessungswerte:

$$\sqrt{\gamma_F \cdot \psi} = \sqrt{1,35 \cdot 1} = 1,1619$$

Bemessungswert der maximalen *Hertz*schen Pressung:

$$p_{0,d} = 1,1619 \cdot 618 = 718 \text{ N/mm}^2$$

Abmessungen der rechteckigen *Hertz*schen Berührungsfläche (siehe Anmerkung 1):

Lange Seite $B = 95 \text{ mm}$, Abplattungsbreite $2 b$:

$$\begin{aligned} b &= \sqrt{8 F \cdot R \cdot (1 - \nu^2) / (\pi \cdot E \cdot B)} \\ &= 1,522 \cdot \sqrt{F \cdot R / (E \cdot B)} \\ &= 3,362 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{F \cdot R / B} \end{aligned}$$

Halbe Abplattungsbreite unter dem charakteristischen Wert des Raddrucks:

$$b_k = 3,362 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{242,6 \cdot 10^3 \cdot 240 / 95} = 2,63 \text{ mm}$$

Halbe Abplattungsbreite unter dem Bemessungswert des Raddrucks:

$$b_d = 1,1619 \cdot 2,63 = 3,06 \text{ mm}$$

Kombination 3b: (Index K steht für „Kante“)

Zu unterscheiden sind 2 Fälle nach Bild Z29-2 (siehe *Matthias* [54]):

Fall 1: teilweise Nutzung der Schienen- bzw. Radbreite B , Berührbreite $B_K < B$.

Fall 2: völlige Nutzung der Schienen- bzw. Radbreite B , Berührbreite $B_K = B$.

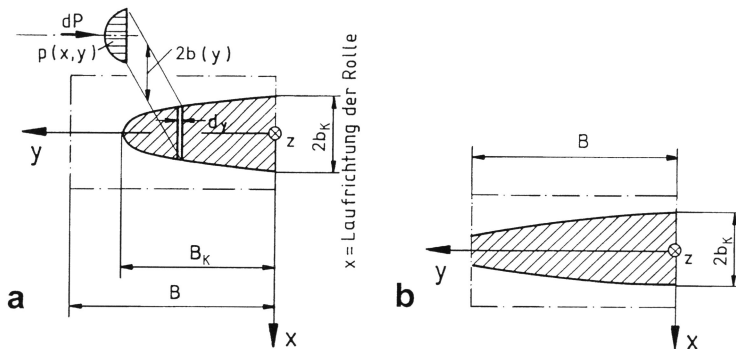


Bild Z29-2

Berührungsflächen bei Kantenpressung

a) Berührbreite B_K kleiner als Schienenbreite B

b) Berührbreite B_K gleich Schienenbreite B

Gekürzt wiedergegebener Algorithmus nach [54], s. a. *Kliesch* [55], wobei

α = Verkantungswinkel,

$c = 2,5 \cdot 10^{-5}$ Faktor (linearisierter Näherungswert) für die gegenseitige Annäherung von Rad und Schiene im höchstbelasteten Berührpunkt ($x = 0, y = 0$ nach Bild Z29-2).

Kriterium für Fall 1:

Gültig für $\sqrt{2 c \cdot F \cdot \alpha} \leq \alpha \cdot B$

Mit der sich einstellenden Berührbreite

$$B_K = \sqrt{2 c \cdot F \cdot \alpha} / \alpha$$

und dem Verhältnis von Berührbreite zur Schienen- bzw. Radbreite

$$k_K = B_K / B$$

ist die maximale Kantenpressung

$$p_K = p_0 \cdot \sqrt{2 / k_K}$$

Kriterium für Fall 2:

 Gültig für $\sqrt{2 c \cdot F \cdot \alpha} > \alpha \cdot B$

Mit

$$k_1 = \alpha \cdot B^2 / (2 c \cdot F)$$

ist die maximale Kantenpressung

$$p_K = p_0 \cdot \sqrt{1 + k_1}$$

Charakteristische Zahlenwerte eingesetzt:

$$\begin{aligned} \sqrt{2 c \cdot F_k \cdot \alpha} &= \sqrt{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 242,6 \cdot 10^3 \cdot 6,86 \cdot 10^{-3}} = 0,2885 \\ < \alpha \cdot B &= 6,86 \cdot 10^{-3} \cdot 95 = 0,6517 \end{aligned}$$

Daher gilt Kriterium 1.

Berührbreite unter dem charakteristischen Wert des Raddrucks:

$$\begin{aligned} B_{K,k} &= \sqrt{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 242,6 \cdot 10^3 \cdot 6,86 \cdot 10^{-3}} / (6,86 \cdot 10^{-3}) = 42,1 \text{ mm} \\ k_{K,k} &= 42,1 / 95 = 0,4432 \end{aligned}$$

Charakteristischer Wert der Kantenpressung:

$$p_{K,k} = 618 \cdot \sqrt{2 / 0,4432} = 1313 \text{ N/mm}^2$$

Faktor zur Berechnung der Bemessungswerte:

$$\sqrt{\gamma_F \cdot \psi} = \sqrt{1,35 \cdot 1} = 1,162$$

Berührbreite unter dem Bemessungswert des Raddrucks:

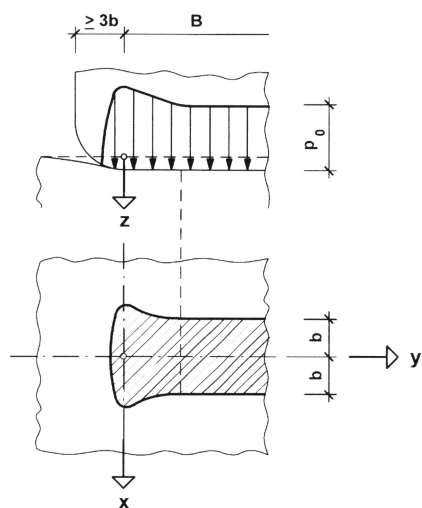
$$\begin{aligned} B_{K,d} &= 1,162 \cdot 42,1 = 48,9 \text{ mm} \\ k_{K,d} &= 1,162 \cdot 0,4432 = 0,5150 \end{aligned}$$

Bemessungswert der Kantenpressung:

$$p_{K,d} = 718 \cdot \sqrt{2 / 0,5150} = 1415 \text{ N/mm}^2$$

Anmerkungen:

1. Kombination 3 a (Linienberührung): Die konstante Abplattungsbreite $2b$ der Berührungsfläche und der konstante Maximalwert der *Hertz*schen Pressung gelten bekanntlich nur für den unendlich breiten Zylinder (Rad). An den Enden eines endlich breiten Zylinders tritt – falls die Schienenbreite größer als die Radbreite ist – eine „hundeknochenartige“ Verbreiterung der Berührungsfläche und ein Anwachsen der Pressungen auf (siehe Bild Z29-3).
2. Kombination 3b: Die Näherungsberechnung nach *Matthias* [54] erfaßt nicht die Plastizierungen an der Kante.

**Bild Z29-3**

Wirklicher Verlauf der maximalen Pressungen
bei Linienberührung (Kombination 3a)
nach *Johnson* [56]

G. Schmauß