

BAWMerkblatt

**Bewertung der Tragfähigkeit bestehender
Verschlüsse im Stahlwasserbau (TbVS)**

Ausgabe 2018

BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien Herausgeber

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Postfach 21 02 53
76152 Karlsruhe

Tel.: 0721 9726-0
Fax: 0721 9726-4540

info@baw.de
www.baw.de

Verfasser

Martin Deutscher, Bundesanstalt für Wasserbau

Übersetzung, Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des Herausgebers: © BAW 2018

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Vorbemerkung und Anwendungsbereich	1
2 Allgemeines	2
2.1 Definition	2
2.1.1 Fachausdrücke	2
2.1.2 Bezeichnungen und Formelzeichen	4
2.1.3 Abkürzungen	7
2.2 Besonderheiten von Stahlwasserbauverschlüssen	8
2.3 Vorgehen und Untersuchungsstufen	8
3 Grundlagen und Ausgangsbasis	9
3.1 Bestandsaufnahme	9
3.1.1 Bestandsunterlagen	9
3.1.2 Zustands- und Schadensfeststellung	10
3.1.3 Messungen	10
3.2 Einwirkungen	10
3.2.1 Ständige Einwirkungen	11
3.2.1.1 Eigengewicht	11
3.2.2 Veränderliche Einwirkungen	11
3.2.2.1 Hydrostatische und hydrodynamische Einwirkungen	11
3.2.2.2 Eisdruck	11
3.2.2.3 Verkehrslast	12
3.2.2.4 Änderung der Stützbedingung	12
3.2.2.5 Temperatur	12
3.2.2.6 Schiffsreibung	12
3.2.2.7 Windlast	12
3.2.2.8 Montage- und Instandhaltungszustände	13
3.2.2.9 Sonstige Einwirkungen	13
3.2.3 Außergewöhnliche Einwirkungen	13
3.2.3.1 Schiffsstoß	13
3.2.3.2 Einwirkung des Antriebs im Störfall	13
3.3 Werkstoffe	13
3.3.1 Allgemeines	13
3.3.2 Baustähle	14
3.3.2.1 Schweißseisen/Puddeleisen (bis 1900)	14
3.3.2.2 Flusseisen (bis 1924)	14
3.3.2.3 Flusstahl (1924 bis 1957)	14
3.3.2.4 Sonderstähle (bis 1957)	15
3.3.2.5 Baustähle ab 1957	15
3.3.2.6 Baustähle der ehemaligen DDR	15
3.3.3 Verbindungsmittel	15
3.3.3.1 Niete	15
3.3.3.2 Schrauben	16
3.3.3.3 Schweißverbindungen	17
3.3.4 Materialanalyse	17
3.3.4.1 Probenentnahme	17

3.3.4.2	Mechanische Kennwerte	17
3.3.4.3	Mindestduktilität	18
3.3.4.4	Chemische Zusammensetzung	18
4	Tragfähigkeitsbewertung	18
4.1	Sprödbbruchbewertung	19
4.1.1	Stufe I: Bewertung über die vorhandene Kerbschlagarbeit	19
4.1.2	Stufe II: Bruchmechanische Methode	19
4.1.3	Stufe III: Experimenteller Nachweis	20
4.2	Statische Bewertung	20
4.2.1	Bemessungssituationen	20
4.2.2	Teilsicherheitsbeiwerte (STR)	21
4.2.2.1	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen	21
4.2.2.2	Teilsicherheitsbeiwerte für die Beanspruchbarkeit	21
4.2.3	Modellbildung	22
4.2.4	Imperfektionen	22
4.2.5	Nachweis der Stabilität	22
4.2.5.1	Biegeknicken	22
4.2.5.2	Biegedrillknicken	23
4.2.5.3	Beulen	23
4.2.6	Anschlüsse und Verbindungsmittel	24
4.2.7	Stufe I (STR): Elastische Tragwerksberechnung (E-E)	24
4.2.8	Stufe II (STR) Elastisch-Plastische Tragwerksberechnung (E-P)	25
4.2.9	Stufe III (STR) Plastische Tragwerksberechnung (P-P)	25
4.3	Nachweis der Ermüdungsfestigkeit	26
4.3.1	Stufe I (FAT): Dauerfestigkeitsnachweis	26
4.3.2	Stufe II (FAT): Ermüdungsfestigkeitsnachweis	26
4.3.3	Stufe III (FAT): Bruchmechanik Konzept	29
4.4	Experimentelle Tragfähigkeitsermittlung	29
5	Robustheitsbewertung	30
6	Zusammenfassende Bewertung der Tragfähigkeit	30
7	Literaturverzeichnis	31

Bildverzeichnis		Seite
Bild 1:	Untersuchungsstufen für den Nachweis der Tragfähigkeit (Innere Versagenszustände)	9
Bild 2:	Eisdruckansatz	12
Bild 3:	Definition der Beulfeldbreiten für genietete Konstruktionen.	23
Bild 4:	Bi-lineare Spannungs-Dehnungs-Linie	25
Bild 5:	Empfohlene Wöhlerkurve zur Beurteilung genieteter Stahltragwerke in Anlehnung an Sedlacek et al. (2008) und Kühn et al. (2008)	28
Bild 6:	Geometrieannahme zur Lastausbreitung in die Quernähte (Kuhlmann und Günther, 2009)	29
Bild 7:	Anwendungsprinzipien des Merkblatts	38
Bild 8:	Robustheitsbewertung des Verschlusses	66
Bild 9:	(a) Bohrkern mit zwei Minizugproben (BAW-Standard) und zwei Kerbschlagbiegeproben (Charpy-V), (b) Bohrkern mit zwei Minizugproben (BAW-Standard) und zwei 0,5CT-Proben, ohne Zentrierbohrung, (c) Bohrkern mit zwei Minizugproben (BAW-Standard) und zwei 0,5CT-Proben, mit Zentrierbohrung	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zuordnung der Prüfmethode zu den zu detektierenden Schäden	10
Tabelle 2:	Mechanische Kennwerte für Niete aus der ehemaligen DDR	16
Tabelle 3:	Zugfestigkeit und Streckgrenze in N/mm ² für Schrauben nach alten Festigkeitsklassen	16
Tabelle 4:	Zugfestigkeit und Streckgrenze in N/mm ² für Schrauben nach neuen Festigkeitsklassen	16
Tabelle 5:	Fraktilenfaktor k_2	17
Tabelle 6:	Sprödbbruchbewertung über die vorh. Kerbschlagarbeit für Stahlwasserbauverschlüsse	19
Tabelle 7:	Teilsicherheitsbeiwerte γ_M, alt	21
Tabelle 8:	Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mf} für die Ermüdungsfestigkeit	27
Tabelle 9:	Abminderung der Kerbfallkategorien bei Korrosion	28
Tabelle 10:	Querschnittsklassifizierung und zulässige Bemessungsverfahren	59

Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Erläuterungen zu den Vorgaben und Regelungen des Merkblattes zu 1 Vorbemerkung und Anwendungsbereich	37
Anlage 2:	Werkstoffkennwerte für Altstähle bis 1957	68
Anlage 3:	Anordnungen von Probekörpern bei Bohrkernentnahmen (Beispiele)	69
Anlage 4:	Berechnungsgrundlagen für Stahl im Hochbau Auszug DIN 1050:1934	70
Anlage 5:	Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten Auszug 1957	72

Anlage 6:	Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten Auszug DIN 19704:1958	73
Anlage 7:	Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten Auszug DIN 19704:1963	74
Anlage 8:	Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten Auszug DIN 19704:1976	75
Anlage 9:	Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten Auszug DIN 19704-1:1998	76
Anlage 10:	Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten Auszug DIN 19704-1:2012 Entwurf	77
Anlage 11:	Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten Auszug DIN 19704-1:2014	78
Anlage 12:	Allgemeine Baustähle, Gütevorschriften Auszug DIN 17100:1957	79
Anlage 13:	Allgemeine Baustähle, Gütevorschriften Auszug DIN 17100:1966	80
Anlage 14:	Allgemeine Baustähle, Gütevorschriften Auszug DIN 17100:1980	81
Anlage 15:	Zeitstrahl, Prüfungen, Normen und Regelwerke	82
Anlage 16:	Maximale Kältesumme aus 1966 bis 2016	85

1 Vorbemerkung und Anwendungsbereich

- (1) Das Merkblatt dient der Untersuchung und Bewertung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit bestehender Stahlwasserbauverschlüsse im Bereich der Bundeswasserstraßen, die nicht nach dem aktuellen Normungsstand bemessen wurden.
- (2) Das vorliegende Merkblatt gilt in Verbindung mit DIN19704 und DIN EN 1993.¹
- (3) Das Merkblatt darf im Rahmen von Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen bestehender Stahlwasserbauverschlüsse angewendet werden.
- (4) Neue Konstruktionsteile, die im Rahmen von Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen erforderlich werden, sind bis zum Anschluss an die Altkonstruktion nach DIN 19704 und DIN EN 1993 nachzuweisen.
- (5) Das vorliegende Merkblatt darf nicht für die Bewertung der Tragfähigkeit von Gussbauteilen, nichtrostenden Stählen und neu zu bauenden Stahlwasserbauverschlüssen angewendet werden.
- (6) Eine Bewertung der Maschinenbauteile und der Antriebstechnik ist zur Sicherstellung der Betriebssicherheit gesondert vorzunehmen und nicht Gegenstand dieses Merkblatts.
- (7) Abweichungen von diesem Merkblatt sind zulässig, wenn sie ausreichend begründet werden können oder neuere Erkenntnisse diese erfordern. Eine Abstimmung mit dem BMVI ist erforderlich.
- (8) In Anlage 1 sind informative Erläuterungen und Hinweise zu den einzelnen Abschnitten zusammengestellt, die bei der Anwendung dieses Merkblatts hilfreich sind.
- (9) Die nach diesem Merkblatt erfolgte Bewertung der Tragfähigkeit von Stahlwasserbauverschlüssen ist nach dem „Vier-Augen-Prinzip“, in der Regel durch einen Prüfsachverständigen, statisch und konstruktiv zu prüfen.

¹ Bei der Normennennung ohne Datum gilt immer die aktuell eingeführte Ausgabe (bei Eurocodes inklusive der Nationalen Anhänge).

2 Allgemeines

2.1 Definition

2.1.1 Fachausdrücke

Alternativer Lastpfad

Unplanmäßiger Lastpfad, der sich nach Versagen eines Bauteils zur Lastabtragung im Gesamtsystem einstellt.

Altkonstruktion

Bestehender Stahlwasserbauverschluss, dessen Tragfähigkeit mit Anwendung dieses Merkblatts zu bewerten ist.

Altstahl

Sammelbegriff für Eisen- und Stahlwerkstoffe, die bis circa 1957 hergestellt wurden.

Blockversagen

Schub-/Zugversagen eines Bleches entlang einer Niet- oder Schraubenreihe.

Duktiler Bruch

Verformungsreicher Bruch, deutlich nach Erreichen der Fließspannung.

Globale Imperfektion

Schiefstellung des lastlosen Gesamttragwerks.

Haupttragelement

Bauelement, von dem die Gesamttragfähigkeit des Verschlusses abhängt und bei dessen Versagen der Verschluss in großen Bereichen zerstört wird oder es zu einem Gesamtversagen kommt.

Heftniete

Konstruktiv angeordnete Niete ohne Kraftübernahme für den Zusammenschluss einzelner Bauteile zu einem Gesamtbauteil und zur Reduzierung der Spaltmaße.

Kraftniete

Kraftübertragende Niete.

Kältesumme

Summe der Beträge der negativen Tagesmittelwerte der Lufttemperatur von November bis März.

Lebensdauer

Als Lebensdauer wird bei ermüdungsbeanspruchten Bauteilen der Zeitraum beschrieben, an dessen Ende rechnerisch unter Berücksichtigung der erforderlichen Sicherheiten ein Ermüdungsrisso erwartet wird.

Lokale Imperfektion

Schiefstellung und Krümmungen einzelner Stäbe.

Lokales Versagen

Ausfall eines Bauteils ohne Versagen großer Konstruktionsbereiche oder der Gesamtkonstruktion.

Mittragende Breite

Erfasst die Wirkung ungleichförmiger Spannungsverteilung infolge Schubverzerrung.

Nebenspannung

Spannungen an Fachwerkknoten, die sich durch einen biegesteifen Anschluss einstellen, jedoch aufgrund einer Gelenkannahme im Modell nicht ermittelt werden.

Nietteilung

Mittenabstand der Nietlöcher.

Nutzungsdauer (geplant)

Angenommene Zeitdauer, innerhalb der ein Tragwerk unter Berücksichtigung vorgesehener Instandhaltungsmaßnahmen für seinen vorgesehenen Zweck genutzt werden soll, ohne dass jedoch eine wesentliche Instandsetzung erforderlich ist (DIN EN 1990 (2010-12)). Für Stahlwasserbauverschlüsse bezieht sich diese Definition auf die Stahlkonstruktionen und nicht auf die Beschichtung oder Ausrüstungsgegenstände (z. B. Dichtungen), die innerhalb der Nutzungsdauer mehrfach auszubessern bzw. zu ersetzen sind.

Restlebensdauer

Verbleibender Zeitraum bei ermüdungsbeanspruchten Bauteilen, an dessen Ende rechnerisch unter Berücksichtigung der erforderlichen Sicherheiten ein Ermüdungsrisso erwartet wird.

Restnutzungsdauer

Nutzungsdauer eines bestehenden Verschlusses bis zum Ende seiner Nutzungsfähigkeit. Sofern keine Anzeichen oder Analysen (auch Neuberechnungen) für eine zeitliche Nutzungsgrenze vorliegen, ist die Restnutzungsdauer die Differenzzeit zwischen Betrachtungszeitpunkt und Ende der geplanten Nutzungsdauer.

Sekundäres Bauteil

Bauelement, dessen Versagen nur lokal begrenzte Bereiche beeinflusst und nicht zum Gesamtversagen der Tragkonstruktion führt.

Sprödbbruch

Verformungsarmer Bruch ohne plastische Verformung vor Erreichen der Fließspannung.

Wahre Spannungsdehnungslinie

Spannungsdehnungslinie, die unter Berücksichtigung der sich ändernden Querschnittsfläche (Einschnürung) ermittelt wird.

Zähigkeit

Werkstoff-, temperatur- und geometrieabhängige Widerstandsfähigkeit gegen Rissausbreitung und Rissinitiierung (Rissauffangvermögen).

2.1.2 Bezeichnungen und Formelzeichen

Lateinische Zeichen

a	Jahr
A_0	Querschnittsfläche des Nietlochs
A_{eff}	Wirksame Querschnittsfläche
A_{net}	Nettoquerschnittsfläche
A_{nt}	Zugbeanspruchte Nettoquerschnittsfläche
A_{nv}	Schubbeanspruchte Nettoquerschnittsfläche
$A_{5,65}$	Bruchdehnung am kurzen Prop.-Stab
C_F	Beulfeldbreite Flansch
C_S	Beulfeldhöhe Steg
d	Durchmesser des Verbindungsmittels/Rohniet
d_0	Geschlagener Niet- oder Lochdurchmesser
e	Verschiebung
E	Elastizitätsmodul
$f_{(R)}$	Erhöhungsfaktor der Kerbfallklasse
f_u	Zugfestigkeit
f_{ur}	Zugfestigkeit des Nietwerkstoffs
$F_{v,Rd}$	Bemessungswert der Abschertragfähigkeit des Nietes
$F_{v,Rd,max}$	Grenzwert der Abschertragfähigkeit des Nietes
$F_{b,Rd}$	Bemessungswert des Lochleibungswiderstandes
$f_y(t)$	Blehdickenabhängige charakteristische Werte der Streckgrenze
f_{yk}	Charakteristischer Wert der Streckgrenze
h_E	Eisdicke
k_1	Beiwert zu Berücksichtigung des Lochabstands senkrecht zur Krafrichtung
k_2	Fraktilenfaktor für die Ermittlung charakteristische Werte
K_{FI}	Beiwert für Einwirkungen zur Differenzierung der Zuverlässigkeit
m	Neigung der Ermüdungsfestigkeitskurve
N	Spannungsschwingspiele (Lastspielzahl)
$N_{pl,d}$	Bemessungswert der plastischen Normalkrafttragfähigkeit
n	Stichprobenumfang
p_E	Eisdruck
R_k	Charakteristischer Widerstandswert
R_{eH}	Streckgrenze

R_m	Zugfestigkeit
t	Blechdicke
t_f	Flanschdicke
T_L	Tagesmitteltemperatur
t_w	Stegdicke
V_x	Variationskoeffizient
\bar{X}	Mittelwert
X_k	Charakteristischer Wert

Griechische Zeichen

α	Stauwandneigung gemäß DIN 19704
α_b	Beiwert zu Berücksichtigung des Lochabstands in Krafrichtung
α_E	Faktor zur Berücksichtigung klimatischer und hydraulischer Bedingungen bei der Eisbildung
ε_{alt}	Stahlsortenparameter
ε	Dehnung
ε_{Grenz}	Grenzdehnung bei der Berücksichtigung plastischer Werkstoffeigenschaften
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen
$\gamma_{F,A}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen in der außergewöhnlichen Bemessungssituation
γ_{Ff}	Teilsicherheitsbeiwert für die schädigungsäquivalenten Spannungsschwingbreiten
γ_G	Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen Eigengewicht
γ_{Mf}	Teilsicherheitsbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit
$\gamma_{M,alt}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit alter Stähle
$\gamma_{M0,alt}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten alter Stähle
$\gamma_{M1,alt}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit bei Stabilitätsversagen von alten Stählen
$\gamma_{M2,alt}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit bei Bruchversagen von alten Stählen
$\Delta\sigma$	Spannungsschwingbreite (Längsspannungen)
$\Delta\sigma_C$	Kerbfall, Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit bei $2 \cdot 10^6$ Schwingspielen
$\Delta\sigma_D$	Dauerfestigkeit
$\Delta\sigma_L$	Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit
λ	Schlankheitsgrad
$\bar{\lambda}$	Bezogener Schlankheitsgrad
λ_1	Bezugsschlankheitsgrad
$\sigma_{l,zul}$	Zulässige Lochleibungsspannung (historisch)

$\sigma_{v,d}$	Bemessungswert der Vergleichsspannung
σ_{Ed}	Bemessungswert der Normalspannungen
τ_{Ed}	Bemessungswert der Schubspannungen
τ	Scherfestigkeit
$\tau_{R,k}$	Charakteristische Abscherspannung
ω	Knickzahl

2.1.3 Abkürzungen

BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DIN	DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
DMS	Dehnungsmessstreifen
DWD	Deutscher Wetterdienst
E.	Entwurf
EC	Eurocode
E-E	Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch
E-P	Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch
ELWIS	Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice
EQU	Verlust der Lagesicherheit des Tragwerks
FAT	Ermüdungsversagen des Tragwerks oder seiner Teile
FEM	Finite-Element-Methode
GMNIA	Geometrisch und materiell nichtlineare Beulanalyse mit Imperfektionen
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
KF	Kerbfall
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
P-P	Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch
QK	Querschnittsklasse
STR	Tragfähigkeitsversagen von Bauteilen
TBW	BAW-Merkblatt zur Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke
TGL	Technische Güte- und Lieferbedingungen der DDR
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WIG	Wolfram-Inertgas
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
ZfP	Zerstörungsfreie Prüfmethode

2.2 Besonderheiten von Stahlwasserbauverschlüssen

- (1) Stahlwasserbauverschlüsse werden in der Regel mit der vollen Belastung aus dem Wasserdruck beansprucht.
- (2) Der Wasserdruck ist die dominante Einwirkung für die Bemessung des Verschlusses.
- (3) Stahlwasserbauverschlüsse werden statisch und hydrodynamisch beansprucht.
- (4) Bei ungünstigen Konstruktions- und Dichtungsformen können erhebliche Schwingungen auftreten.
- (5) Stahlwasserbauverschlüsse sind bewegliche Konstruktionen, deren Funktionalität im Wesentlichen von dem Zusammenwirken der Führungs-, Antriebs- und Dichtungskomponenten abhängt.
- (6) Stahlwasserbauverschlüsse sind häufig ermüdungsbeansprucht.
- (7) Stahlwasserbauverschlüsse sind verstärkt einem Angriff durch Korrosion, Sandschliff sowie Eis-, Geschwemmsel- und Schiffsreibung ausgesetzt.
- (8) Stahlwasserbauverschlüsse müssen so verformungsarm konstruiert sein, dass die Anforderungen an die Dichtheit des Verschlusses erfüllt werden.
- (9) Stahlwasserbauverschlüsse in der WSV sind als Niet-, Schraub-, Schweiß- oder Mischkonstruktionen vorhanden.
- (10) Die Betriebssicherheit, insbesondere der Stahlwasserbauverschlüsse an Wehranlagen, muss zu jeder Zeit gegeben sein.
- (11) Stahlwasserbauverschlüsse sind nicht zu jeder Zeit umfänglich einsehbar und prüfbar.

2.3 Vorgehen und Untersuchungsstufen

- (1) Für die Bewertung bestehender Stahlwasserbauverschlüsse sind folgende Untersuchungsschritte erforderlich:
 - Sichtung der Bestandsunterlagen und der statischen Berechnungen zur Erfassung der vorhandenen Konstruktion und der damaligen Last- und Systemannahmen.
 - Zusammenstellung der Erfahrungen von Betreiber und Bauwerksprüfer sowie Sichtung der Prüf- und Zustandsberichte der Bauwerksinspektion.
 - Ermittlung des aktuell vorhandenen Tragwerkszustandes vor Ort mit geometrischer Überprüfung der vorhandenen Querschnitte.
 - Aktualisierung der zu berücksichtigenden Einwirkungen.
 - Bestimmung der vorhandenen Werkstoffeigenschaften.
 - Nachweis der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung von Kapitel 4.
 - Nachweis (wenn erforderlich) der Gebrauchstauglichkeit.
 - Nachweis (wenn erforderlich) der Robustheit nach Kapitel 5.
 - Ergebnisbewertung mit Empfehlungen für die weitere Nutzung.
- (2) Für den Nachweis der Tragfähigkeit nach Kapitel 4 ist ein schrittweises Vorgehen mit den in Bild 1 dargestellten Untersuchungsstufen vorgesehen. Nachweise zur Lagesicherheit sind, wenn erforderlich, ergänzend nach DIN 19704-1 (2014-11), Kapitel 7.4.3, zu führen.

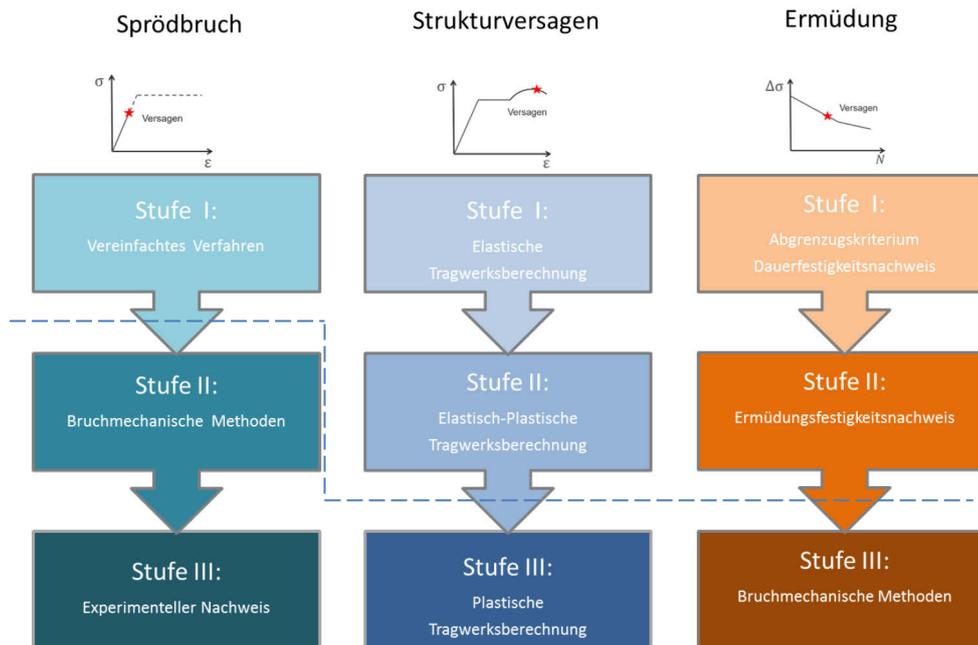


Bild 1: Untersuchungsstufen für den Nachweis der Tragfähigkeit (innere Versagenszustände)

- (3) Ist nicht die komplette Stahlkonstruktion des Verschlusses Gegenstand der Nachweisführung, ist der Bereich der statischen Untersuchung eindeutig zu benennen und eine Abgrenzung der nicht untersuchten Bereiche vorzunehmen.
- (4) Die oberhalb der gestrichelten Linie in Bild 1 dargestellten Untersuchungen und Nachrechnungen sind von einem im Stahlwasserbau erfahrenen Ingenieur durchzuführen. Die Durchführung der unterhalb der Linie dargestellten Untersuchungsstufen ist Experten mit einer entsprechenden Erfahrung vorbehalten.
- (5) Die unterhalb der gestrichelten Linie aufgeführten Untersuchungsstufen können sehr aufwendig sein. Daher ist vor Anwendung dieser Untersuchungsstufen zu prüfen, ob ein Austausch von Bauteilen oder ein Verschlussersatz zielführender ist.

3 Grundlagen und Ausgangsbasis

3.1 Bestandsaufnahme

3.1.1 Bestandsunterlagen

- (1) Die für die Tragfähigkeitsbewertung erforderlichen Unterlagen sind vor der Zustands- und Schadensfeststellung zu sichten, um das statische System, dessen Auslastungsgrade und neuralgische Stellen zu kennen und um den Verschluss gezielt untersuchen zu können.
- (2) Liegt keine Statik vor, ist eine statische Bewertung unter Beachtung des vorliegenden Merkblattes vorzunehmen. Liegen keine Planunterlagen vor, sind Pläne der für die Tragfähigkeit maßgebenden Konstruktionsteile nach Aufmaß vor Ort zu erstellen.
- (3) Die Angaben zur Konstruktion in den Bestandsunterlagen sind vor Ort zu überprüfen. Abweichende Befunde sind aufzunehmen, zu dokumentieren und bei der Bewertung zu berücksichtigen.

3.1.2 Zustands- und Schadensfeststellung

- (1) Die zu bewertenden Konstruktionen müssen frei von Verunreinigungen (Schmutz, Sedimente, Algen etc.), ausreichend beleuchtet und trocken sein.
- (2) Der aktuelle Bauwerkszustand ist die Grundlage der statischen Bewertung.
- (3) Der erste Bewertungsschritt ist immer eine Sichtprüfung. Dabei wird die zu beurteilende Konstruktion zu 100 % visuell geprüft. Werden keine Auffälligkeiten festgestellt, kann auf weiterführende zerstörungsfreie Prüfungen verzichtet werden.
- (4) Eine Restwanddickenmessung ist durchzuführen, wenn bei der Sichtprüfung deutliche Querschnittsschwächungen (z. B. durch Abrostung) an der Stahlkonstruktion festgestellt werden.
- (5) Für die Durchführung von Oberflächenrissprüfungen und volumetrischen Prüfungen gilt die DIN EN ISO 17635 (2010-08). Abweichungen in einzelnen Punkten können vom beauftragten Ingenieur zur Verfahrensanpassung an die örtliche Situation festgelegt werden. Die Bewertung der Prüfbefunde und die Festlegung von Zulässigkeitsgrenzen müssen im Einzelfall erfolgen.
- (6) In Tabelle 1 sind mögliche Schadensformen und die vorzugsweise zu verwendenden Prüfmethoden, ergänzend zur visuellen Prüfung, zusammengestellt:

Tabelle 1: Zuordnung der Prüfmethoden zu den zu detektierenden Schäden

Schaden	Prüfmethode
Verformung durch mechanische Einwirkung oder Überlastung	Visuelle Inspektion, Vermessung
Lose bzw. fehlende Verbindungsmittel	Visuelle Inspektion, leichtes Abklopfen
Querschnittsschwächungen durch Korrosion (Abrostungen)	Visuelle Inspektion, Restwanddickenmessung
Risse in der Stahlkonstruktion	Visuelle Inspektion, Oberflächenrissprüfungen, in Einzelfällen volumetrische Prüfungen

3.1.3 Messungen

- (1) Für die Überprüfung der modellierten Tragwerkssysteme bietet sich bei großen Verschlüssen und bei Verschlüssen mit einem nicht eindeutigen Lastabtrag aufgrund damaliger vereinfachter Systemannahmen eine Verformungsmessung vor Ort an.

3.2 Einwirkungen

- (1) Sofern im Folgenden nicht anders ausgewiesen, gelten für die Einwirkungen und deren Größe die Angaben der DIN 19704-1 (2014-11). Grundsätzlich sind nur die Einwirkungen zu berücksichtigen, die bei der weiteren Nutzung des Verschlusses erwartet werden müssen.

3.2.1 Ständige Einwirkungen

3.2.1.1 Eigengewicht

- (1) Für die Ermittlung der Lasten aus Eigengewicht ist DIN 19704-1 (2014-11) zugrunde zu legen.
- (2) Werden die Eigengewichtslasten direkt mithilfe des statischen Modells ermittelt, sind insbesondere bei Nietkonstruktionen Zuschläge für Nieten, Beibleche etc. vorzusehen.
- (3) Werden die geometrischen Größen der Verschlusskonstruktion vor Ort aufgenommen, ist eine Anpassung des Bemessungswertes für die Einwirkung aus Eigengewicht möglich (siehe Abschnitt 4.2.2).

3.2.2 Veränderliche Einwirkungen

3.2.2.1 Hydrostatische und hydrodynamische Einwirkungen

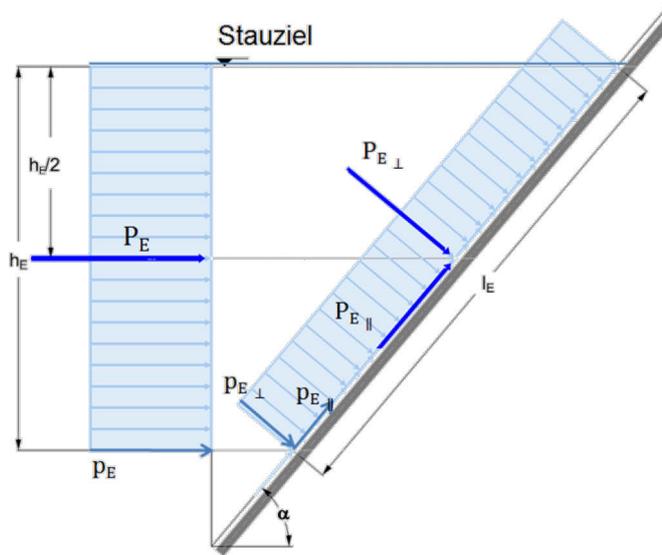
- (1) Der Verschlusskörper ist mit den maximalen charakteristischen Wasserständen (Oberwasser) und den minimalen charakteristischen Wasserständen (Unterwasser) nachzuweisen, die zusammen auftreten können und die die größte Gesamtbelastung darstellen.
- (2) Hydrodynamische Einwirkungen wie Schwall und Sunk, Druckstöße und Wellendruck können durch Änderung des hydrostatischen Wasserdrucks berücksichtigt werden.

3.2.2.2 Eisdruck

- (1) Bei bewährten Einrichtungen und Maßnahmen zur Eisfreihaltung, darf der Eisdruck in der vorübergehenden Bemessungssituation gemäß DIN 19704-1 (2014-11) um 30 % reduziert werden. Für Revisionsverschlüsse gelten die Regelungen der vorgenannten Norm.
- (2) Für den Fall eines Ausfalls dieser Einrichtungen oder der Nichtdurchführbarkeit der Maßnahmen zur Eisfreihaltung ist das Haupttragwerk in der außergewöhnlichen Bemessungssituation mit dem vollen Eisdruck nachzuweisen.
- (3) Die Beanspruchung aus Eisdruck darf im Binnenbereich mit der für den Standort charakteristischen Eisdicke ermittelt werden. Die Eisdicke h_E kann mittels eines empirischen Ansatzes auf Basis lokal festgestellter Kältesummen (siehe Anlage 16) abgeschätzt werden. Der Eisdruck ist gemäß DIN 19704-1 (2014-11) mit $p_E = 150 \text{ kN/m}^2$ anzunehmen.

$$h_E = \alpha_E \cdot 3,5 \cdot \sqrt{\sum_{T_L < 0} |T_L|} \leq 30 \text{ [cm]} \quad (3.1)$$

- (4) Für die Nachweise des Haupttragwerks ist der Eisdruck als Linienlast im Schwerpunkt der angenommenen Eisfläche anzusetzen (siehe Bild 2). Alternativ und für lokale Nachweise der Stauwand und der Stauwandsteifen können adäquate Flächenlasten angesetzt werden.
- (5) Kann die Tragfähigkeit des Verschlusses mit den oben genannten Eisdruckansätzen nicht nachgewiesen werden, ist der maximal mögliche Eisdruck (Linienlast) zu ermitteln.



Linienlast	Flächenlast
$P_E = h_E \cdot p_E$	$p_{E\perp} = \frac{P_{E\perp}}{l_E}$
$P_{E\perp} = P_E \sin \alpha$	$p_{E\parallel} = \frac{P_{E\parallel}}{l_E}$
$P_{E\parallel} = P_E \cos \alpha$	

Bild 2: Eisdruckansatz

3.2.2.3 Verkehrslast

- (1) Wird der nachzuweisende Verschluss durch Verkehrslasten beansprucht, ist die anzunehmende Höhe der Verkehrslast den zukünftigen Nutzungsbedingungen anzupassen. Diese Einwirkung (Nutzlast) ist vor Ort kenntlich zu machen und im Bauwerksbuch festzuschreiben.

3.2.2.4 Änderung der Stützbedingung

- (1) Eine Änderung der Stützbedingung ist für den Nachweis bestehender Verschlüsse nur zu berücksichtigen, wenn diese Änderung durch die Bauwerksvermessung festgestellt wurde und/oder die Änderung der Stützbedingung der Grund für die statische Nachrechnung ist.

3.2.2.5 Temperatur

- (1) Temperaturansätze dürfen aktualisiert werden, wenn dokumentierte Messreihen vorhanden sind, aus denen charakteristische Werte abgeleitet werden können.
- (2) Bei der Festlegung der Temperaturansätze können die Einsatzbedingungen, wie z. B. Lage im Bauwerk oder saisonale Einsätze, berücksichtigt werden.

3.2.2.6 Schiffsreibung

- (1) Einwirkungen aus Schiffsreibung sind nur zu berücksichtigen, wenn Verschlusskonstruktionen durch Schiffsreibung geschädigt wurden und für diese Einwirkung verstärkt werden sollen. Die Lastgrößen können objektscharf in Abhängigkeit der Schiffsgröße (Wasserstraßenklasse) festgelegt werden.

3.2.2.7 Windlast

- (1) Für den Nachweis des Verschlusskörpers braucht eine Windeinwirkung nicht berücksichtigt zu werden (DIN 19704-1 (2014-11)).

3.2.2.8 Montage- und Instandhaltungszustände

- (1) Einwirkungen aus Montage und Instandhaltungszuständen sind objektspezifisch festzulegen.

3.2.2.9 Sonstige Einwirkungen

- (1) Die bei unterströmten Verschlüssen nach DIN 19704 am unteren Rand anzusetzende Linienlast von 30 kN/m ist nur anzusetzen, wenn dieser Bereich durch Umbau oder Verstärkungsmaßnahmen statisch nachzuweisen ist. Für die Berechnung des Haupttragwerks bleibt diese Einwirkung unberücksichtigt.
- (2) Die Aufnahme der maximal möglichen Antriebskräfte durch die Verschlusskonstruktion und die Lagerungen sind nachzuweisen.

3.2.3 Außergewöhnliche Einwirkungen

3.2.3.1 Schiffsstoß

- (1) Stahlwasserbauverschlüsse (Schleusentore) sind nur dann auf Einwirkungen aus einem Schiffsstoß zu untersuchen, wenn dies der Grund für die Tragfähigkeitsbewertung nach diesem Merkblatt ist oder die Stoßschutzeinrichtung direkt am Verschluss angebracht ist.
- (2) Für Kollisionsbetrachtung an Stahlwasserbaukonstruktionen ist die wahre Spannungsdehnungslinie anzunehmen.

3.2.3.2 Einwirkung des Antriebs im Störfall

- (1) Im Störfall sind die durch die Regelung der Antriebstechnik entstehenden Einwirkungen auf den Verschluss zu berücksichtigen. Vorhandene Einrichtungen zur Lastbegrenzung (Überlastschalter) können bei der Einwirkungsermittlung berücksichtigt werden.

3.3 Werkstoffe

3.3.1 Allgemeines

- (1) Die eingesetzten Stahlsorten und Güteklassen sind den Bestandsunterlagen zu entnehmen.
- (2) Die Materialkennwerte können für die wesentlichen Stähle, die bis 1957 im Stahlwasserbau Verwendung fanden, der Anlage 2 entnommen werden.
- (3) Die in Anlage 2 aufgeführten Materialkennwerte sind, mit Ausnahme der in Zeile 3 aufgeführten Werte, durch stichprobenartige Materialprüfungen zu bestätigen. Liegen bereits aussagekräftige Ergebnisse aus Materialuntersuchungen vor, können diese herangezogen werden. Auf eine erneute Probenentnahme und Materialprüfung kann dann verzichtet werden.
- (4) Wenn keine zweifelsfreie Zuordnung der verwendeten Stähle zu Stahlsorten möglich ist, sind die Materialkennwerte durch Versuche an Materialproben zu ermitteln (siehe Abschnitt 3.3.4).
- (5) Sollen höhere Festigkeitswerte als die gemäß Anlage 2 bei der Nachweisführung zugrunde gelegt werden, sind diese durch statistisch ausgewertete Materialuntersuchungen zu belegen.
- (6) Ist keine Probenentnahme für eine Bestimmung der Materialkennwerte möglich, sind für Tragwerke, die nach 1900 hergestellt wurden, die Werte nach Anlage 2, Zeile 3, anzunehmen. Eine Annahme von Materialkennwerten ist in der statischen Betrachtung eindeutig zu benennen und zu dokumentieren.

3.3.2 Baustähle

3.3.2.1 Schweißisen/Puddeleisen (bis 1900)

- (1) Die in Anlage 2, Zeile 1 angegebenen Werkstoffkennwerte dürfen als charakteristische Materialkennwerte in Berechnungen verwendet werden, wenn sie durch Zugversuche an entnommenen Materialproben stichprobenhaft bestätigt werden. Diese Werte gelten nur für die Materiallängsrichtung.
- (2) Allgemeingültige Angaben für Festigkeitswerte in Quer- und Dickenrichtung, für Verformungskennwerte sowie zur Bruchzähigkeit (Sprödbbruchneigung) variieren stark bzw. liegen nicht vor. Diese Parameter müssen, wenn für Berechnungen und Nachweise erforderlich, im Einzelfall experimentell über Zugversuche bestimmt werden.
- (3) Puddeleisen ist generell nicht zum Schmelzschweißen geeignet.

3.3.2.2 Flusseisen (bis 1924)

- (1) Flusseisen, hergestellt vor 1900:

Die in der Anlage 2, Zeile 2 angegebenen Werkstoffkennwerte dürfen als charakteristische Materialkennwerte verwendet werden, wenn sie durch Zugversuche an entnommenen Materialproben stichprobenhaft bestätigt werden.

- (2) Flusseisen, hergestellt 1900 bis 1924:

Die in Anlage 2, Zeile 3 angegebenen Werkstoffkennwerte dürfen als charakteristische Materialkennwerte verwendet werden.

- (3) Für die Bruchdehnung des Materials waren nach Lieferbedingungen zur Herstellungszeit Mindestwerte nachzuweisen. Für Berechnungen und Nachweise kann als Bruchdehnung $A_{5,65} = 15 \%$ verwendet werden, wenn durch Zugversuche an entnommenen Materialproben die Stahlsorte stichprobenhaft bestätigt wird.
- (4) Allgemeingültige Angaben zur Bruchzähigkeit (Sprödbbruchneigung) liegen nicht vor. Diese müssen, wenn sie für Berechnungen und Nachweise erforderlich sind, im Einzelfall experimentell bestimmt werden (siehe Abschnitt 4.1).
- (5) Allgemeingültige Angaben zur Eignung dieser Stähle zum Schmelzschweißen können nicht gemacht werden. Eine Beurteilung muss im Einzelfall auf Grundlage von chemischen Analysen erfolgen.

3.3.2.3 Flusstahl (1924 bis 1957)

- (1) Die in Anlage 2, Zeile 3 angegebenen Werkstoffkennwerte dürfen für Materialgüten bis einschließlich St 37.12 für Walzprofile und St 37.21 für Grobbleche als charakteristische Materialkennwerte in Berechnungen verwendet werden.
- (2) Für höherfeste Stahlsorten nach Anlage 2, Zeile 4 dürfen die dort genannten Werkstoffkennwerte angesetzt werden, wenn sie durch Zugversuche an entnommenen Materialproben stichprobenhaft bestätigt werden. Ansonsten sind die Werte nach Anlage 2, Zeile 3 zu verwenden.

- (3) Als Bruchdehnung darf für die in Anlage 2, Zeile 3 aufgeführten Flusstähle $A_{5,65} = 15 \%$ verwendet werden. Sollen höhere Werte berücksichtigt werden bzw. werden weitere Verformungskennwerte benötigt, müssen diese über Zugversuche ermittelt werden.
- (4) Allgemeingültige Angaben zur Bruchzähigkeit (Sprödbbruchneigung) liegen nicht vor. Entsprechende Parameter müssen, wenn für Berechnungen und Nachweise erforderlich, im Einzelfall experimentell bestimmt werden (siehe Abschnitt 4.1).
- (5) Allgemeingültige Angaben zur Eignung dieser Stähle zum Schmelzschweißen können nicht gemacht werden. Eine Beurteilung muss im Einzelfall erfolgen.

3.3.2.4 Sonderstähle (bis 1957)

- (1) Für den höherfesten Stahl St 48 dürfen die Werkstoffkennwerte nach Anlage 2, Zeile 5 und für den Stahl St 52 die Werkstoffkennwerte nach Anlage 2, Zeile 6 angesetzt werden, wenn sie durch Zugversuche an entnommenen Materialproben stichprobenhaft bestätigt werden. Ansonsten sind die Werte nach Anlage 2, Zeile 3 zu verwenden.
- (2) Für weitere höherfeste Stahlsorten, wie zum Beispiel einen St Si (Siliziumstahl), können keine allgemeingültigen Grenzen für die Werkstoffkennwerte angegeben werden. Die Werkstoffkennwerte sind, soweit möglich, den Bauwerksunterlagen zu entnehmen bzw. durch Versuche an entnommenen Materialproben zu ermitteln. Abschnitt 3.3.4 ist zu beachten.

3.3.2.5 Baustähle ab 1957

- (1) Für Stähle, die ab 1957 nach den Gütevorschriften DIN 17100 bzw. DIN EN 10025 hergestellt wurden, können die gewährleisteten mechanischen Eigenschaften als charakteristische Materialkennwerte angenommen werden.

3.3.2.6 Baustähle der ehemaligen DDR

- (1) Für den St 38 nach TGL 7960 dürfen die Werkstoffkennwerte der Anlage 2, Zeile 3 angesetzt werden.
- (2) Für den St 52 nach TGL 7960 dürfen die Werkstoffkennwerte der Anlage 2, Zeile 6 angesetzt werden.
- (3) Für die Baustähle St 38 und St 52 nach TGL 7960 kann von einer Mindestbruchdehnung von $A_{5,65} = 18 \%$ ausgegangen werden.
- (4) Für den ab den 1960er-Jahren zugelassenen höherfesten Sonderbaustahl (wechselnde Bezeichnungen: St 45/60; S60/45; 18MnSiTi5; 18MnSiV5 nach TGL 22426) kann eine Streckgrenze von $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$ angesetzt werden, wenn dieser Wert in Stichproben durch Materialprüfungen bestätigt wird. Weitere mechanische Kennwerte sind den zur Herstellungszeit gültigen TGL-Normen zu entnehmen.

3.3.3 Verbindungsmittel

3.3.3.1 Niete

- (1) Für Niete aus St 34 und St 36 können in Berechnungen für die Zugfestigkeit $R_m = 330 \text{ N/mm}^2$ und für die Streckgrenze $R_{eH} = 205 \text{ N/mm}^2$ als charakteristische Werte angesetzt werden.
- (2) Für Niete aus St 44 können in Berechnungen für die Zugfestigkeit $R_m = 440 \text{ N/mm}^2$ und für die Streckgrenze $R_{eH} = 250 \text{ N/mm}^2$ als charakteristische Werte angesetzt werden.

- (3) Für Niete aus der ehemaligen DDR können in Berechnungen folgende mechanische Kennwerte verwendet werden:

Tabelle 2: Mechanische Kennwerte für Niete aus der ehemaligen DDR

Stahlsorte	Zugfestigkeit R_m	Bruchdehnung	Scherfestigkeit τ
	[N/mm ²]	[%]	[N/mm ²]
Mu8 (D8)	310	30	--
Mu11 (D10)	330	30	245
Mb15 (C15)	400	30	270
MSt44 (St44-2)	440	22	350

3.3.3.2 Schrauben

- (1) Für Schrauben aus St 38.13 können in Berechnungen für die Zugfestigkeit $R_m = 370 \text{ N/mm}^2$ und für die Streckgrenze $R_{eH} = 225 \text{ N/mm}^2$ als charakteristische Werte angesetzt werden.
- (2) Ab Herstellungsjahr 1960 können Zugfestigkeit und Streckgrenze nach Tabelle 3 bzw. Tabelle 4 als charakteristische Werte in Berechnungen angesetzt werden.

Tabelle 3: Zugfestigkeit und Streckgrenze in N/mm² für Schrauben nach alten Festigkeitsklassen

Festigkeitsklasse alt	4A	4D	4P	4S	5D	5S	6D	6S	6G	8G	10K	12K
Zugfestigkeit $R_m (f_u)$	340	340	340	400	500	500	600	600	600	800	1000	1200
Streckgrenze $R_{eH} (f_y)$	200	210	210	320	280	400	360	480	540	640	900	1080

Tabelle 4: Zugfestigkeit und Streckgrenze in N/mm² für Schrauben nach neuen Festigkeitsklassen

Festigkeitsklasse neu	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9	14.9
Zugfestigkeit $R_m (f_u)$	340	400	400	500	500	600	600	600	800	1000	1200	1400
Streckgrenze $R_{eH} (f_y)$	200	240	320	300	400	360	480	540	640	900	1080	1260

- (3) Können Schrauben nicht eindeutig einer Festigkeitsklasse zugeordnet werden, dürfen für Berechnungen nur die mechanischen Kennwerte der Festigkeitsklassen 4D (alt) bzw. 4.6 (neu) angesetzt werden. Alternativ ist eine Bestimmung der charakteristischen Werkstoffkennwerte über mechanische Versuche möglich.

3.3.3.3 Schweißverbindungen

- (1) Ab den 1930er-Jahren wurden an Stahlwasserbaukonstruktionen Schweißverbindungen ausgeführt. Die dafür zugelassenen Schweißzusatzwerkstoffe entsprachen hinsichtlich ihrer Festigkeitseigenschaften mindestens dem Grundmaterial.

3.3.4 Materialanalyse

3.3.4.1 Probenentnahme

- (1) Die Probenentnahme hat minimalinvasiv zu erfolgen, ohne Bauteile nennenswert zu schwächen. Gering ausgelastete Bereiche sind zu bevorzugen.
- (2) Bei der Entnahme der Probestücke ist zwischen Blechen (z. B. Stauhaut) und Profilen (z. B. Stabfachwerk) zu unterscheiden, um jeweils Daten einer Grundgesamtheit zu erhalten.
- (3) Die Proben sind am Objekt so zu entnehmen, dass die Ergebnisse der Materialuntersuchung repräsentativ für das zu betrachtende Bauwerk bzw. Bauteil sind.
- (4) Vor der Probenentnahme ist die Orientierung bzw. Lage im Bauwerk auf der Probe zu kennzeichnen.
- (5) Die Probeentnahmestellen sind durch Fotos und/oder Skizzen mit Datumsangabe nachvollziehbar zu dokumentieren.
- (6) Die Proben sind unverwechselbar mit Zuordnung der Entnahmestellen zu kennzeichnen.

3.3.4.2 Mechanische Kennwerte

- (1) Festigkeitskennwerte sind durch zerstörende Prüfungen an Materialproben (Zugversuch) zu ermitteln. Eine Ableitung der Festigkeitswerte über Härtemessungen ist nicht zulässig.
- (2) Wenn für Altstahlkonstruktionen keine eindeutige Zuordnung zu den in der Anlage 2 aufgeführten Stahlsorten möglich ist, oder wenn in Berechnungen ggf. vorhandene höhere Festigkeiten angesetzt werden sollen, sind die entsprechenden Werkstoffkennwerte experimentell zu bestimmen. Werden die Werkstoffwerte experimentell an Materialproben bestimmt, sind die charakteristischen Kennwerte wie folgt zu ermitteln:

Mittelwert:
$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.2)$$

Charakteristischer Wert:
$$X_k = \bar{X} \cdot k_2 \quad (3.3)$$

- (3) Der Faktor k_2 kann in Abhängigkeit der Probekörperanzahl der Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 5: Fraktilenfaktor k_2

Stichproben- umfang n	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	100	∞
k_2	0,52	0,63	0,68	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82	0,84

- (4) Für die Bestimmung der charakteristischen Festigkeitswerte (5 %-Fraktile) sollten nicht weniger als acht Einzelproben je Grundgesamtheit der statistischen Auswertung zugrunde liegen.
- (5) Die Prüftemperatur für den Kerbschlagbiegeversuch sind vor Prüfbeginn in Abhängigkeit der vorhandenen Blechstärken, Spannungsausnutzungen und Bezugstemperaturen für das zu bewertende Konstruktionsdetail festzulegen (siehe Tabelle 2.1 der DIN EN 1993-1-10 (2010-12)). Die Mindestprobenanzahl für den Kerbschlagbiegeversuch ist jeweils ein Dreiersatz aus Baublech und Walzprofil.

3.3.4.3 Mindestduktilität

- (1) Die Einhaltung der Duktilitätsanforderungen gem. DIN EN 1993-1-1 (2010-12) ist nachzuweisen. Insbesondere für Altstähle ist die Duktilität zu überprüfen, um die heutigen Nachweisformate anwenden zu können.
- (2) Die Anforderungen an die Mindestduktilität sind unter Raumtemperatur einzuhalten.
- (3) Werden die Duktilitätsanforderungen gem. DIN EN 1993-1-1 (2010-12) nicht erfüllt, darf die Tragwerksberechnung ausschließlich nach der Elastizitätstheorie (Elastisch-Elastisch) mit den Materialkennwerten der Anlage 2, Zeile 3 durchgeführt werden.
- (4) Für Stähle, die in DIN EN 1993-1-1 (2010-12), Tabelle 3.1 geführt werden, kann eine ausreichende Duktilität unterstellt werden.

3.3.4.4 Chemische Zusammensetzung

- (1) Zur Beurteilung der Eigenschaften von Altstählen, die vor 1957 hergestellt wurden, ist die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung, aus der u. a. das Herstellungsverfahren und die Vergießungsart ableitbar sind, maßgeblich. Die chemische Zusammensetzung der Stähle sollte durch Materialanalysen ermittelt werden.
- (2) Für Stähle nach DIN 17100 (ab 1957) sind bei Kenntnis der genauen Stahlsorte die maßgeblichen Grenzwerte der chemischen Zusammensetzung sowie die Desoxydationsart bekannt, sodass nur für spezielle Problemstellungen Materialanalysen erforderlich werden können.
- (3) Zur Charakterisierung des Altstahls und zur Bestimmung der Schweißeignung ist eine chemische Analyse erforderlich. Diese kann zerstörungsfrei mittels eines Spektrometers oder durch einen Nassaufschluss an gewonnenen Spänen erfolgen.

4 Tragfähigkeitsbewertung

- (1) Der bestehende Verschlusskörper ist für folgende Grenzzustände der Tragfähigkeit (GZT) nachzuweisen:
 - Verlust der Lagesicherheit (EQU)
 - Sprödbbruchbewertung
 - Versagen des Tragwerks oder seiner Teile (STR)
 - Ermüdungsversagen des Tragwerks oder seiner Teile (FAT)
- (2) Ist die Funktion des Verschlusses eingeschränkt, z. B. durch zu große Verformungen (Undichtigkeit), oder werden Veränderungen in der Systemsteifigkeit oder der Lastgrößen vorgenommen, ist auch eine Bewertung für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) vorzunehmen.

- (3) Nachweise, die offensichtlich nicht maßgebend werden, dürfen entfallen.

4.1 Sprödbbruchbewertung

4.1.1 Stufe I: Bewertung über die vorhandene Kerbschlagarbeit

- (1) Erfüllt der Werkstoff die Anforderungen an die Duktilität nach DIN EN 1993-1-1 (2010-12), darf die Sprödbbruchbewertung für folgende Stähle

- Baustähle ab 1957 nach Abschnitt 3.3.2.5,
- Baustähle der ehemaligen DDR nach Abschnitt 3.3.2.6,
- Flusstähle ab 1924 nach Abschnitt 3.3.2.3,
- Höherfeste Flusstähle St 48/ St 52, ungeschweißt (Zeitraum vor 1957)

nach Tabelle 6 erfolgen. Für alle anderen Stahlsorten erfolgt die Sprödbbruchbewertung sofort nach Stufe II. Die gewonnenen Materialkennwerte sind der BAW zu übermitteln.

- (2) In Abhängigkeit von Stahlsorte, vorhandener Materialdicke, Auslastung (Spannungen σ_{Ed}) und niedrigster Bezugstemperatur kann über Tabelle 6 die Prüftemperatur für den Kerbschlagbiegeversuch ermittelt werden. Liegt die im Kerbschlagbiegeversuch nach DIN EN ISO 148-1 ermittelte Kerbschlagarbeit KV (\cong verbrauchter Schlagenergie) über dem Mindestwert J_{min} nach Tabelle 6, kann auf weitere Untersuchungen hinsichtlich Sprödbbruchgefährdung verzichtet werden. Andernfalls sind weiterführende Untersuchungen nach Stufe II angezeigt.

Tabelle 6: Sprödbbruchbewertung über die vorh. Kerbschlagarbeit für Stahlwasserbauverschlüsse

Stahlsorte		KV		Bezugstemperatur T_{Ed} [°C]																							
Stahl-sorte	Stahl-güte-gruppe	bei $T^{\circ}C$	J_{min}	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30			
				$\sigma_{Ed}=0,75 f_y(t)$						$\sigma_{Ed}=0,50 f_y(t)$						$\sigma_{Ed}=0,25 f_y(t)$											
S235/ St37	JR	20	27	50	45	40	35	30	30	75	70	65	60	55	50	45	115	100	100	90	85	80	75				
	J0	0	27	75	65	60	55	50	45	40	105	95	90	80	75	65	64	155	140	135	120	115	100	100			
	J2	-20	27	105	95	90	80	75	65	60	145	130	125	110	105	95	90	200	180	175	170	155	140	135			
S275/ St48	JR	20	27	45	40	35	30	25	25	20	60	55	50	50	45	40	110	100	95	85	80	75	70				
	J0	0	27	65	60	55	50	45	40	35	95	85	80	75	70	60	55	145	130	125	110	110	100	95			
	J2	-20	27	95	85	75	70	65	60	55	130	120	115	100	95	85	80	190	170	165	150	145	130	125			
S355/ St52	JR	20	27	35	30	25	20	20	15	15	55	50	45	40	40	35	30	95	85	80	75	70	65	60			
	J0	0	27	50	45	40	35	35	30	25	80	70	65	60	55	50	45	130	120	110	100	95	85	80			
	J2	-20	27	75	65	60	55	50	45	40	110	100	95	85	80	70	65	175	160	150	140	130	120	110			

- (3) Der Bemessungswert der Spannungen σ_{Ed} ist mit den Teilsicherheitsbeiwerten für die außergewöhnliche Bemessungssituation gemäß DIN 19704-1 (2014-11), Tabelle 5, zu ermitteln. Bei genauer Ermittlung des Eigengewichtes darf ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{G,A} = 1,1$ angenommen werden.
- (4) Die in DIN EN 1993-1-10/NA (2010-12), Tabelle N.A.A.1 informativ angegebenen niedrigsten Einsatz-temperaturen für Verschlusskörper des Stahlwasserbaus dürfen an die Randbedingung vor Ort angepasst werden.

4.1.2 Stufe II: Bruchmechanische Methode

- (1) Kann keine ausreichende Sprödbrechtsicherheit nach Abschnitt 4.1.1 nachgewiesen werden, sind bruchmechanische Untersuchungen für eine Sicherheitsbetrachtung der Bauteile durchzuführen. Bei der Anwendung bruchmechanischer Methoden ist die DIN EN 1993-1-10, Abschnitt 2.4 zu beachten.

- (2) I. d. R. erfordert eine Sprödbbruchbetrachtung unter Verwendung der Bruchmechanik das Hinzuziehen von Experten. Bei Anwendung bruchmechanischer Methoden ist grundsätzlich die BAW zu beteiligen.
- (3) Die bruchmechanischen Untersuchungen konzentrieren sich auf zugbeanspruchte Details der Haupttragelemente des Verschlussystems.
- (4) Für Nietkonstruktionen, deren Tragelemente aus zusammengesetzten Querschnitten erstellt wurden, ist durch eine Ausfallbetrachtung einzelner Lamellen die Querschnittsrobustheit festzustellen. Bleibt die Querschnittsspannung in der außergewöhnlichen Bemessungssituation nach Ausfall einer Lamelle unter $\sigma_{Ed} \leq \frac{f_{yk}}{1,1}$, kann von einem robusten Querschnitt ausgegangen werden, der bruchmechanisch nicht weiter untersucht werden muss.
- (5) Die aus der bruchmechanischen Analyse ermittelte kritische Risslänge und der sich daraus ergebene Eingreifzeitpunkt sind durch regelmäßige Kontrollen am Bauwerk zu überprüfen.
- (6) Kann ein möglicher Anriss bis zum Erreichen der kritischen Risslänge nicht rechtzeitig erkannt werden, ist der Eingreifzeitpunkt aufgrund des Risswachstums erreicht oder wird ein sprödes Versagen ermittelt, ist das Bauteil zu entlasten, zu verstärken oder auszutauschen.

4.1.3 Stufe III: Experimenteller Nachweis

- (1) Der Nachweis der Sprödbrechtsicherheit über experimentelle Versuche ist erst durchzuführen, wenn in Stufe I und Stufe II kein positives Ergebnis erreicht werden kann.
- (2) Bei experimentellen Nachweisverfahren ist die BAW zu beteiligen.

4.2 Statische Bewertung

4.2.1 Bemessungssituationen

- (1) Für den Nachweis bestehender Stahlwasserbauverschlüsse sind nur die Situationen nachzuweisen, die im Verlauf der weiteren Nutzung auftreten können.
- (2) Die maßgebenden Einwirkungskombinationen mit den zugehörigen Lastfallkombinationen (LK) sind objektspezifisch festzulegen. Für Schleusentore und Wehrverschlüsse sind mindestens die folgenden Situationen statisch zu untersuchen:
 - *ständige Bemessungssituation*
LK: Eigengewicht, hydrostatische Wasserdrücke aus dem Oberwasser- (Stauziel + Stauzieltoleranz) und dem zusammengehörigen minimalen Unterwasserstand.
 - *vorübergehende Bemessungssituation*
LK: Eigengewicht, hydrostatische Wasserdrücke aus dem Oberwasser- (Stauziel) und dem zugehörigen minimalen Unterwasserstand, Eisdruck.
 - *außergewöhnliche Bemessungssituation*
LK: Eigengewicht, hydrostatische Wasserdrücke aus dem Oberwasser- (Stauziel) und dem zugehörigen minimalen Unterwasserstand, Eisdruck, niedrigste Bauwerkstemperatur (Sprödbbruchbewertung).

4.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte (STR)

4.2.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen

- (1) Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen sind der DIN 19704-1 (2014-11) zu entnehmen (siehe Anlage 11).
- (2) Der Teilsicherheitsbeiwert für das Eigengewicht darf bei genauer Ermittlung in der ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation zu $\gamma_G = 1,2$ gesetzt werden. In der außergewöhnlichen Bemessungssituation darf bei genauer Gewichtsermittlung $\gamma_{G,A} = 1,1$ angenommen werden.
- (3) Für Verschlüsse, bei deren Versagen weder Menschen gefährdet sind noch die Schifffahrt eingeschränkt wird, darf für die Einwirkungen in der ständigen Bemessungssituation gemäß DIN EN 1990 (2010-12), Anhang B ein Beiwert von $K_{Fl} = 0,9$ berücksichtigt werden.

4.2.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte für die Beanspruchbarkeit

- (1) Für die Ermittlung des Tragwiderstandes älterer Stahlkonstruktionen sind die Teilsicherheitsbeiwerte in Abhängigkeit der Festigkeitsstreuung festzulegen.
- (2) In der ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation darf kein kleinerer Teilsicherheitsbeiwert als $\gamma_{M0,alt} = 1,05$ angenommen werden.
- (3) Liegen keine Erkenntnisse über die Festigkeitsstreuung vor, können für den Nachweis von Querschnitten, Bauteilen und Anschlüssen die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß der Tabelle 7 angenommen werden.

Tabelle 7: Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{M,alt}$

Stahlgüte	Ständige und vorübergehende Bemessungssituation		Außergewöhnliche Bemessungssituation	
	$\gamma_{M0,alt} ; \gamma_{M1,alt}$	$\gamma_{M2,alt}$	$\gamma_{M0,alt} ; \gamma_{M1,alt}$	$\gamma_{M2,alt}$
Schweißseisen und Flusseisen vor 1900	1,20	1,40	1,0	1,30
Flusseisen und Flussstahl nach 1900	1,15	1,35	1,0	1,25
Baustähle vor 1957 St 37, St 42, St 44, St 48, St 52	1,15	1,35	1,0	1,25
Baustähle nach 1957 St 37, St 42, St 44, St 48, St 52	1,10	1,25	1,0	1,15

- (4) Für Baustähle, die nach der Gütevorschrift DIN 17100 (1957-10) und folgende hergestellt wurden, können die Teilsicherheitsbeiwerte für die Beanspruchbarkeit der DIN 19704-1 (2014-11) und dem Nationalen Anhang zu DIN EN 1993-1-1 (2010-12) entnommen werden (siehe letzte Zeile, Tabelle 7).
- (5) Für die Beanspruchbarkeit von Schrauben, Nieten, Lochleibung und Schweißnähten ist bei Anwendung des Bruchkriteriums der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M2,alt}$ gemäß Tabelle 7 anzunehmen.

4.2.3 Modellbildung

- (1) Das statische Modell ist so zu wählen, dass das Tragwerksverhalten im betrachteten Grenzzustand realitätsnah wiedergegeben wird. Weitere Regelungen sind der DIN EN 1993-1-7 (2010-12) zu entnehmen.
- (2) Vorhandene statisch relevante Querschnittsschwächungen sind inklusive der sich gegebenenfalls einstellenden Exzentrizität im statischen Modell zu berücksichtigen.
- (3) Fachwerkstrukturen, deren Stäbe ohne Ausmitten in den Knotenpunkten angeordnet sind, können als Gelenkfachwerk berechnet werden.
- (4) Für die Ermittlung ermüdungsrelevanter Spannungsschwingbreiten ist ein linear elastisches Modell mit wirklichkeitsnaher Steifigkeitsverteilung inklusive der Knotensteifigkeiten anzuwenden.
- (5) Die statischen Modelle von komplexen Tragstrukturen sollten mithilfe von Belastungs- und Entlastungsversuchen vor Ort kalibriert werden.

4.2.4 Imperfektionen

- (1) Wird das System mit den Ersatzstabverfahren nach DIN EN 1993-1-1 (2010-12), Abs. 6.3 unter Berücksichtigung der entsprechenden Systemknicklängen geführt und ist der geometrische Imperfektionsanteil $\leq l/1000$, ist kein Ansatz von weiteren Ersatzimperfektionen erforderlich.
- (2) Erfolgt die Schnittgrößenermittlung nach Theorie II. Ordnung, sind globale und lokale Imperfektionen am Tragsystem zu berücksichtigen.
- (3) Die Größen der angenommenen Ersatzimperfektionen dürfen die vor Ort vorhandenen Imperfektionen und die grundlegenden Toleranzen nach DIN EN 1090-2 (2011-10), Anhang D nicht unterschreiten.
- (4) Die Richtung der Imperfektionen ist so anzusetzen, dass die geringste Tragfähigkeit erreicht wird.

4.2.5 Nachweis der Stabilität

4.2.5.1 Biegeknicken

- (1) Der Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ ist ohne Abzug von Niet- und Schraubenlöchern mit dem Bruttoquerschnitt zu ermitteln.
- (2) Der Bezugsschlankheitsgrad λ_1 kann für Werkstoffe der Anlage 2, Zeile 1 und 2 mit den dort aufgeführten Materialkennwerten ermittelt werden.
- (3) Werden Streckgrenzen $> 235 \text{ N/mm}^2$ für die Bauteilbemessung in Ansatz gebracht, ist die Bezugsschlankheit λ_1 mit dem Wert der angesetzten Streckgrenze zu ermitteln.

- (4) Die Auswahl der Knicklinie erfolgt in Anlehnung an DIN EN 1993-1-1 (2010-12), Tabelle 6.2. Für nicht aufgeführte Stabquerschnitte ist die vorgenannte Tabelle sinngemäß anzuwenden.
- (5) Werden die in DIN EN 1090-2 (2011-10), Anhang D, aufgeführten grundlegenden Toleranzen überschritten, sind die daraus entstandenen Zusatzbeanspruchungen zu berücksichtigen.
- (6) Bei Anwendung der Ersatzstabverfahren sind die Knicklängen aus der Knickfigur des Gesamtsystems abzuleiten.
- (7) Erfolgt der Nachweis der Stabilität über Querschnittsnachweise mit Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung, ist der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M1,alt}$ zu verwenden.

4.2.5.2 Biegedrillknicken

- (1) Werden Druckgurte von Biegeträgern kontinuierlich durch einen Schweißanschluss oder durch mechanische Verbindungsmittel mit der Stauwand verbunden, kann der Druckgurt in der Stauwandebene als unverschieblich angenommen werden.

4.2.5.3 Beulen

- (1) Die Querschnittsklassifizierung erfolgt in Anlehnung an DIN EN 1993-1-1 (2010-12), Tabelle 5.2.
- (2) Für genietete Bauteile können die Beulfeldgrößen sinngemäß nach Bild 3 angenommen werden.

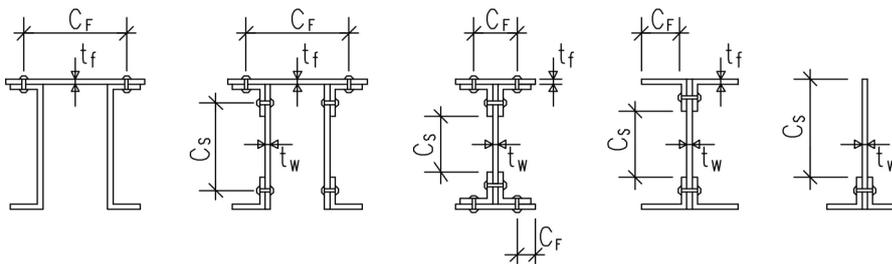


Bild 3: Definition der Beulfeldbreiten für genietete Konstruktionen.

- (3) Für die Bestimmung der Querschnittsklasse nach dem c/t -Verhältnis ist der Stahlsortenparameter mit dem Verhältnis von E-Modul zur Streckgrenze zu ermitteln.

$$\varepsilon_{alt} = \sqrt{\frac{235 \cdot E_k}{f_{yk} \cdot 210000}} \quad (4.1)$$

- (4) Werden die c/t -Grenzwerte für Querschnittsklasse 3 nicht erreicht, sind Beulnachweise nach DIN EN 1993 zu führen.
- (5) Für Werkstoffe der Anlage 2, Zeile 1 (Schweißisen) darf kein überkritisches Tragverhalten berücksichtigt werden.
- (6) Kann mit den Verfahren nach (4) keine ausreichende Beultragfähigkeit ermittelt werden, können bei isotropem Materialverhalten numerische Nachweisverfahren (GMNIA) unter Berücksichtigung von Nichtlinearitäten (Struktur und Material) und Imperfektionen angewendet werden. In diesem Fall ist die BAW zu beteiligen.

4.2.6 Anschlüsse und Verbindungsmittel

- (1) Die Regelungen dieses Merkblatts gelten für Verbindungen zwischen bestehenden Konstruktionsteilen und für die bestehenden Konstruktionselemente bei Verbindungen zwischen bestehenden und neuen Konstruktionsteilen.
- (2) Nietverbindungen im Stahlwasserbau sind als Scher-Lochleibungsverbindungen ohne Berücksichtigung von Vorspannkräften durch die Niete nachzuweisen.
- (3) Der Nachweis der Verbindungsmittel erfolgt mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M2,alt}$ gemäß Tabelle 7.

Bemessungswert der Abschertragfähigkeit der Niete:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2,alt}} \quad (4.2)$$

- (4) Kann der Anschluss mit dem Bemessungswert der Abschertragfähigkeit nicht nachgewiesen werden, ist die Abschertragfähigkeit der Niete mit dem unten aufgeführten Grenzwert zu bewerten. Für Niete aus St 34 kann eine charakteristische Abscherspannung $\tau_{R,k} = 260 N/mm^2$ angenommen werden.
- (5) Grenzwert der Abschertragfähigkeit der Niete:

$$F_{v,Rd,max} = \frac{\tau_{R,k} \cdot A_0}{\gamma_{M2,alt}} \quad (4.3)$$

- (6) Der Bemessungswert des Lochleibungswiderstandes ist mit dem charakteristischen Wert der Zugfestigkeit des Grundmaterials (Anlage 2) und dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M2,alt}$ gemäß Tabelle 7 in Abhängigkeit der Lochabstände nachzuweisen. Bei Nietkonstruktionen ist der Durchmesser d_0 des geschlagenen Niets einzusetzen.

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2,alt}} \quad (4.4)$$

- (7) Die Zugbeanspruchbarkeit der Anschlusskonstruktion ist mit dem Nettoquerschnitt der maßgebenden Risslinie zu führen.

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_{net}}{\gamma_{M2,alt}} \quad (4.5)$$

- (8) Unter einer kombinierten Schub-/Zugbeanspruchung ist ein Blockversagen eines Anschlussbleches entlang der außen liegenden Schrauben oder Nietreihe zu bewerten. Der Widerstand gegen Blockversagen wird in Abhängigkeit der Belastungsart wie folgt ermittelt:

$$\text{Zentrische Belastung} \quad V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2,alt}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0,alt}} \quad (4.6)$$

$$\text{Exzentrische Belastung} \quad V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2,alt}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0,alt}} \quad (4.7)$$

4.2.7 Stufe I (STR): Elastische Tragwerksberechnung (E-E)

- (1) Bei einem gleichmäßigen Materialverlust von < 3 % der Nenndicke darf in Stufe I mit dem Nennwert der Querschnittsdicke gerechnet werden.

- (2) Bei einem größeren Materialverlust sind die vorhandenen Querschnittswerte zu berücksichtigen.
- (3) Die Vergleichsspannungsnachweise sind nach dem folgenden Nachweisformat zu führen:

$$\sigma_{v,d} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3\tau_{Ed}^2} \quad (4.8)$$

$$\frac{\sigma_{v,d}}{f_y/\gamma_{M0,alt}} \leq 1,0 \quad (4.9)$$

- (4) Die Annahmen zu den Materialeigenschaften sind in Untersuchungsstufe I den Bestandsunterlagen bzw. Abschnitt 3.3 mit Anlage 2 zu entnehmen.

4.2.8 Stufe II (STR) Elastisch-Plastische Tragwerksberechnung (E-P)

- (1) Werden die Anforderungen an die Duktilität gemäß DIN EN 1993-1-1 (2010-12), Abschnitt 3.2.2 erfüllt, dürfen für die Querschnittsklasse 1 und Querschnittsklasse 2 die Beanspruchbarkeiten unter Ausnutzung plastischer Querschnittstragfähigkeiten ermittelt werden.
- (2) Unter charakteristischen Einwirkungen dürfen keine Plastizierungen auftreten.

4.2.9 Stufe III (STR) Plastische Tragwerksberechnung (P-P)

- (1) Werden die Anforderungen an die Querschnittsklasse und die Duktilität gemäß DIN EN 1993-1-1 (2010-12), Abschnitt 3.2.2 erfüllt, darf bei der Ermittlung der Beanspruchungen und der Beanspruchbarkeiten ein plastisches Materialverhalten (Fließzonen, Fließgelenke) angenommen werden.
- (2) Für den Nachweis der Verschlusskonstruktionen ist eine linearelastische-idealplastische Spannungs-Dehnungs-Linie ohne Verfestigung anzunehmen (siehe Bild 4).

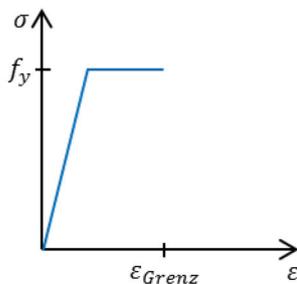


Bild 4: Bi-lineare Spannungs-Dehnungs-Linie

- (3) Die Stahldehnung ist für Stähle, die bis 1957 hergestellt wurden, auf maximal $\epsilon_{Grenz} = 3\%$ und für Stähle, die ab 1957 hergestellt wurden, auf $\epsilon_{Grenz} = 5\%$ begrenzt (Grenzkriterium).
- (4) Sind die Werkstoffeigenschaften durch Materialprüfungen ermittelt worden, kann als Grenzkriterium maximal 20 % der Bruchdehnung angenommen werden.
- (5) Die Nutzung von plastischen Querschnittsreserven ist dem Grenzzustand STR vorbehalten. Für die Ermittlung von ermüdungswirksamen Spannungsschwingbreiten für den Grenzzustand FAT ist ein linear-elastisches Materialverhalten zugrunde zu legen.

4.3 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

4.3.1 Stufe I (FAT): Dauerfestigkeitsnachweis

- (1) Verschlussorgane im Stahlwasserbau gelten als nicht vorwiegend ruhend beansprucht, sodass für die Stahlbauteile der Verschlüsse ein Ermüdungsnachweis zu führen ist.
- (2) Auf einen Ermüdungsfestigkeitsnachweis kann verzichtet werden, wenn mit den größten Nennspannungsschwingbreiten $\Delta\sigma$ und $\Delta\tau$ die folgenden Bedingungen eingehalten werden:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma \leq 26/\gamma_{Mf} \text{ N/mm}^2 \quad (\text{geschweißte Bauteile}) \quad (4.10)$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma \leq 52/\gamma_{Mf} \text{ N/mm}^2 \quad (\text{genietete Bauteile}) \quad (4.11)$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau \leq 36/\gamma_{Mf} \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Schubspannungen}) \quad (4.12)$$

- (3) Auf einen Ermüdungsfestigkeitsnachweis des Konstruktionsdetails kann verzichtet werden, wenn mit den größten Nennspannungsschwingbreiten $\Delta\sigma$ und $\Delta\tau$ im Detailbereich die folgenden Bedingungen eingehalten werden:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma \leq \Delta\sigma_D/\gamma_{Mf} \quad (4.13)$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau \leq \Delta\tau_L/\gamma_{Mf} \quad (4.14)$$

$\Delta\sigma_D$: Dauerfestigkeit des Kerbdetails bei $5 \cdot 10^6$ Lastspielen

$\Delta\tau_L$: Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit des Kerbdetails bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen

- (4) Auf einen Ermüdungsfestigkeitsnachweis kann bei Schadens- und Korrosionsfreiheit der Konstruktion verzichtet werden, wenn die Spannungsschwingspiele N (Lastspielzahl) den folgenden Wert nicht überschreiten:

$$N < 2 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{36/\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma \cdot \gamma_{Ff}}\right)^3 \quad (\text{geschweißte Bauteile}) \quad (4.15)$$

$$N < 2 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{71/\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma \cdot \gamma_{Ff}}\right)^3 \quad (\text{genietete Bauteile}) \quad (4.16)$$

- (5) Die Zeit der Weiternutzung des Verschlusses mit der Angabe der zu berücksichtigenden Lastspiele ist vom Auftraggeber (WSA, WNA,...) vorzugeben.
- (6) Sind bereits Ermüdungsrisse aufgetreten, sind umgehend Sicherungsmaßnahmen einzuleiten, um Instandsetzungsmaßnahmen und/oder bruchmechanische Untersuchungen durchführen zu können.

4.3.2 Stufe II (FAT): Ermüdungsfestigkeitsnachweis

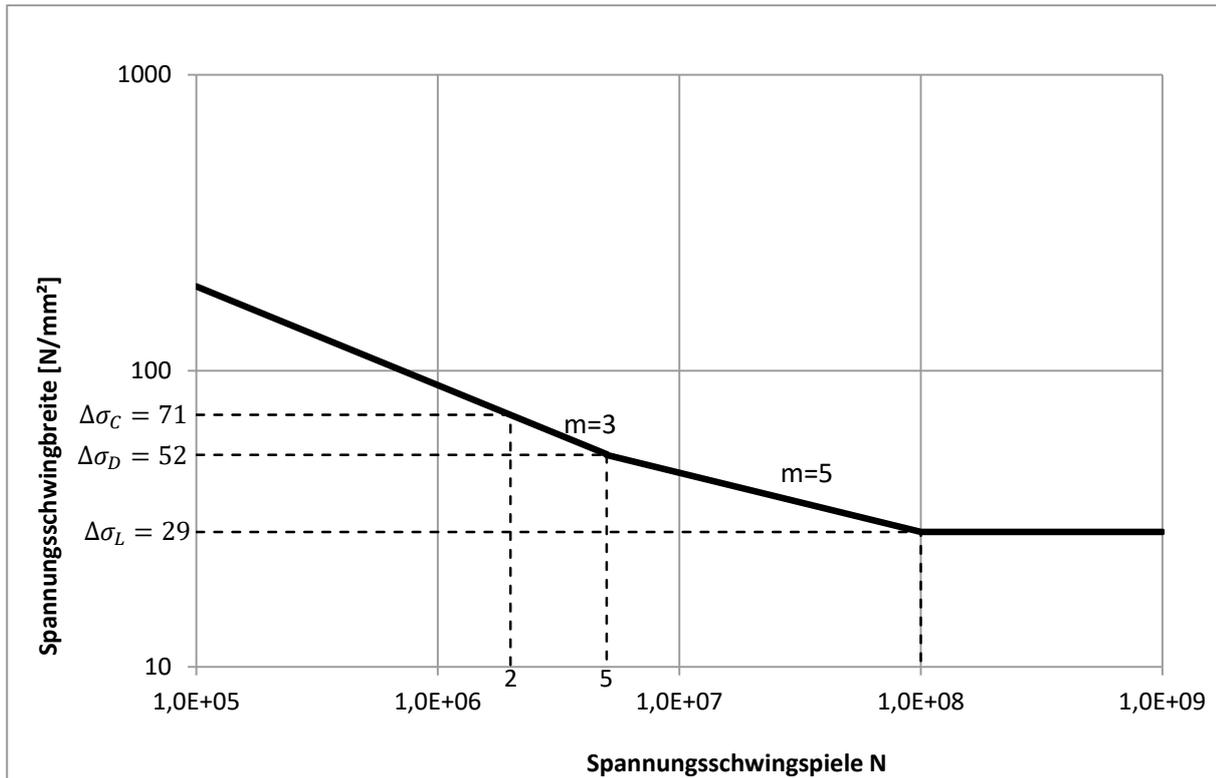
- (1) Der Teilsicherheitsbeiwert für die schädigungsäquivalenten Spannungsschwingbreiten ist gemäß DIN 19704-1 (2014-11) mit $\gamma_{Ff} = 1,0$ anzunehmen.
- (2) Die Größe des Teilsicherheitsbeiwerts γ_{Mf} für die Ermüdungsfestigkeit kann in Abhängigkeit der Schadensfolge nach Tabelle 8 festgelegt werden.

Tabelle 8: Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mf} für die Ermüdungsfestigkeit

Schadensfolge	
niedrig (sekundäres Bauteil)	hoch (Haupttragelemente)
1,15	1,35

- (3) Sind die maßgebenden Bereiche der Haupttragelemente für eine besondere Überwachung zugänglich² und werden die Zähigkeitsanforderungen nach DIN EN 1993-1-10 (2010-12) erfüllt, kann $\gamma_{Mf} = 1,25$ angenommen werden.
- (4) Die als sekundär eingestuft Bauteile sowie die Haupttragelemente mit besonderer Überwachung sind in der statischen Betrachtung eindeutig zu benennen.
- (5) Für geschweißte Bauteile sind die Kerbfälle gem. DIN EN 1993-1-9 (2010-12) anzuwenden. Liegen die Bauteile im Druck-Schwell-Bereich, kann in Anlehnung an Hobbacher (2016) die Kerbfallklasse mit einem Erhöhungsfaktor bis maximal $f(R) = 1,3$ faktorisiert werden.
- (6) Für genietete Bauteile (Scher-Lochleibungsverbindungen) kann vereinfachend der Kerbfall 71 gemäß Bild 5 angenommen werden. Die Spannungsschwingbreiten sind bei genieteten Querschnitten am Nettoquerschnitt zu bestimmen.

² Anmerkung: Voraussetzung ist eine eindeutige Risserkennung, die insbesondere bei dicken Altbeschichtungen in der Regel nicht gegeben ist.



Kerbfallklasse: 71 N/mm², Dauerfestigkeit: 52 N/mm², Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit: 29 N/mm²

Bild 5: Empfohlene Wöhlerkurve zur Beurteilung genieteter Stahltragwerke in Anlehnung an Sedlacek et al. (2008) und Kühn et al. (2008)

Für Kerbdetails, an denen der Korrosionsschutz versagt hat und deutliche Korrosionserscheinungen vorhanden sind, ist die Kerbfallkategorie abzumindern (siehe Tabelle 9). Die Wöhlerlinie ist vom Zeitfestigkeitsbereich linear in den Dauerfestigkeitsbereich hinein zu verlängern.

Tabelle 9: Abminderung der Kerbfallkategorien bei Korrosion

Kerbfallkategorie (nicht korrodiert)	Abminderung (bei Korrosion)
KF160 – KF125	2 Kategoriestufen
KF112 – KF63	1 Kategoriestufe
KF56 – KF36	-

- (7) Für die Nachweise der Kehlnähte an den Lagerböcken von Stemmknaggen darf der Kerbfall 71 angenommen werden. Die Lastausbreitung unter der Knagge zur Bestimmung der Schweißnahtspannungen, ist nach Bild 6 unter $\alpha = 45^\circ$ anzunehmen.

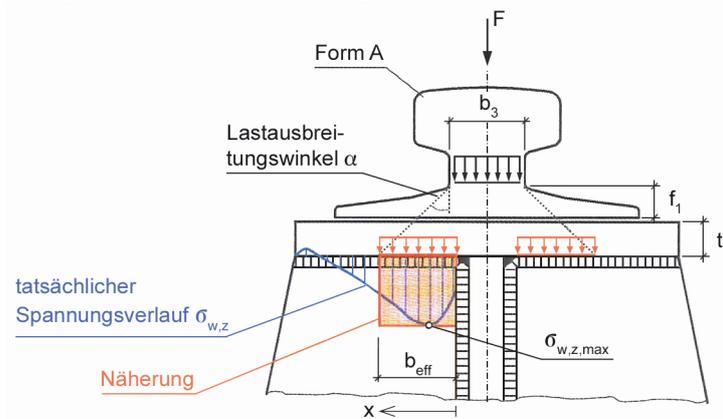


Bild 6: Geometrieannahme zur Lastausbreitung in die Quernähte (Kuhlmann und Günther, 2009)

- (8) Der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit ist bei einem mehrstufigen Beanspruchungskollektiv über die Schadenssumme oder mit einer zu ermittelnden schadensäquivalenten Spannungsschwingbreite zu führen.
- (9) Kann mit den am statischen Modell ermittelten Spannungsschwingbreiten keine ausreichende Ermüdungsfestigkeit nachgewiesen werden, können Spannungsmessungen an maßgebenden Konstruktionsteilen des Verschlusses die Annahmen zur Ermüdungsbeanspruchung präzisieren.

4.3.3 Stufe III (FAT): Bruchmechanik Konzept

- (1) Kann keine ausreichende Ermüdungsfestigkeit nach Abschnitt 4.3.2 nachgewiesen werden, sind bruchmechanische Untersuchungen für eine Sicherheitsbetrachtung der Bauteile durchzuführen.
- (2) Abschnitt 4.1.2, (2) – (6) gilt sinngemäß.

4.4 Experimentelle Tragfähigkeitsermittlung

- (1) Für die Durchführung von experimentellen Tragfähigkeitsversuchen sind die Vorgaben gemäß BAW (2016), Abs. 4.2.3 sinngemäß anzuwenden.
- (2) Eine experimentelle Tragfähigkeitsermittlung mittels Probelastung bedarf der Zustimmung der obersten Bauaufsicht (BMVI).

5 Robustheitsbewertung

- (1) Können Bauteile der Verschlusskonstruktion nicht nach Abschnitt 4 dieses Merkblattes nachgewiesen werden, ist im Bedarfsfall eine Robustheitsbewertung abzugeben, ob bei Ausfall des betrachteten Bauteils (lokales Versagen) ein Umlagerungsvermögen besteht und alternative Lastpfade vorhanden sind. Der Nachweis der Tragfähigkeit ist in einer außergewöhnlichen Bemessungssituation zu führen.
- (2) Über eine Traglastanalyse ist nachzuweisen, dass die Gesamttragfähigkeit des Verschlusses erhalten bleibt. Dabei dürfen irreversible Bauteilverformungen und Materialfließen eintreten. Diese Untersuchung ersetzt nicht den Tragfähigkeitsnachweis für eine dauerhafte Weiternutzung des Verschlusses, sondern bewertet die vorhandene Gefährdungslage.
- (3) Gelingt der Nachweis der Tragfähigkeit des Gesamttragsystems bei Einzelbauteilversagen, sind in Abhängigkeit der Gefährdungslage Maßnahmen einzuleiten, die eine erhöhte Überwachung des Tragwerks oder eine Anpassung der Betriebsbedingungen beinhalten können.
- (4) Gelingt kein Nachweis der Tragfähigkeit des Gesamttragsystems bei Einzelbauteilversagen, sind umgehend in Abhängigkeit der Gefährdungslage Maßnahmen einzuleiten, die eine Verstärkung bzw. Ersatz des Tragwerks oder den Schutz von Personen beinhalten können.

6 Zusammenfassende Bewertung der Tragfähigkeit

- (1) Die Ergebnisse der rechnerischen Überprüfung sind in Form von Auslastungsgraden, getrennt nach STR und FAT (mit Angabe der Restlebensdauer), in einem Bericht darzustellen.
- (2) Die Einhaltung/Nichteinhaltung der Duktilitätsanforderungen sowie der Sprödbruchgefährdung ist bei der Bewertung der Verschlusstragfähigkeit explizit zu benennen.
- (3) Die bei Ermüdungsnachweisen als sekundär eingestuften Bauteile sowie die Haupttragelemente mit besonderer Überwachung sind in der statischen Betrachtung eindeutig zu benennen und grafisch darzustellen.
- (4) Das Ergebnis der Bauwerksbegutachtung ist im Rahmen der Dokumentation der Tragfähigkeitsuntersuchungen im Bericht darzustellen.
- (5) Die Bauwerksinspektion ist, wenn erforderlich, über den „normalen“ Inspektionszyklus und Inspektionsaufwand (ZfP) hinaus zu erweitern. Verkürzte Inspektionsintervalle, die aufgrund von Rissfortschrittsuntersuchungen oder nicht ausreichender rechnerischer Tragwerkssicherheit erforderlich werden, sind explizit auszuweisen.

7 Literaturverzeichnis

- Barjenbruch, U. (2002): Eisbildung und Eisstärkenvorhersage in Schifffahrtskanälen. Bundesanstalt für Gewässerkunde. Koblenz (BFG-JAP-Nr.:2528, 2510).
- BAW (2016): BAW-Merkblatt: Bewertung der Tragfähigkeit bestehender massiver Wasserbauwerke (TbW). Hg. v. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). Karlsruhe.
- BAW-Brief Nr. 1 (2001-11): Einige Erläuterungen und Anmerkungen zum Ermüdungsnachweis von Stahlwasserbauten bei nichtperiodischer Beanspruchung anhand eines Berechnungsbeispiels. Unter Mitarbeit von Meinhold, W. Hg. v. Bundesanstalt für Wasserbau. Karlsruhe.
- BMVI (2017): Leitfaden für die Entschichtung von mit schadstoffhaltigen Altanstrichen beschichteten Stahl(wasser)bauten und sonstigen Bauwerken der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. (Asbest-/PAK-/PCB-/Blei-Leitfaden).
- Bohny, F. (1938): Etwas vom Nieten im Stahlbau. In: Der Stahlbau 16 (36), S. 471–473.
- Brühwiler, E.; Hirt, M. A. (1987): Das Ermüdungsverhalten genieteteter Brückenbauteile. In: Stahlbau 56 (1), S. 1–8.
- Brühwiler, E.; Hirt, M. A. (2010): Umgang mit genieteteten Bahnbrücken von hohem kulturellem Wert. In: Stahlbau 79 (3), S. 209–219. DOI: 10.1002/stab.201001311.
- BW (1957): Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten (BW). Hg. v. Fachnormenausschuß Wasserwesen. Deutscher Normenausschuß.
- Carstensen, D. (2008): Eis im Wasserbau. Theorie, Erscheinungen, Bemessungsgrößen. Dresden: Selbstverl. der TU Dresden (Dresdner wasserbauliche Mitteilungen, 37).
- DAST-Richtlinie 009 (2008): Stahlsortenauswahl für geschweißte Stahlbauten. Düsseldorf.
- DIBt (2018): Erzeugnisse, Bauteile und Verbindungsmittel aus nichtrostenden Stählen. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6. Hg. v. Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (Sonderdruck 862).
- DIN 17100 (1957-10): Allgemeine Baustähle. Gütevorschriften. Fachnormenausschuß Eisen und Stahl im Deutschen Normenausschuß (DNA). Berlin W 15 und Köln.
- DIN 19704-1 (2014-11): DIN 19704-1 Stahlwasserbauten-Teil 1: Berechnungsgrundlagen. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin.
- DIN 19704 (1958-06): DIN 19704 Berechnungsgrundlagen für den Stahlwasserbau. Deutscher Normenausschuß. Berlin W 15 und Köln.
- DIN 19704 (1976-09): DIN 19704 Stahlwasserbauten. Berechnungsgrundlagen. Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin 30 und Köln 1.
- DIN EN 1090-2 (2011-10): Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008 + A1:2011. Normenausschuss Bauwesen (NABau). Berlin.

- DIN EN 1990/NA (2010-12): Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung. Normenausschuss Bauwesen (NABau). Berlin.
- DIN EN 1990 (2010-12): Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010. Normenausschuss Bauwesen (NABau). Berlin.
- DIN EN 1993-1-1/NA (2015-8): Nationaler Anhang - Nationalfestgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau). Berlin.
- DIN EN 1993-1-1/NA (2017-9): Nationaler Anhang - Nationalfestgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau). Berlin.
- DIN EN 1993-1-10/NA (2010-12): Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten- Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung. Normenausschuss Bauwesen (NABau). Berlin.
- DIN EN 1993-1-10 (2010-12): Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten- Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung; Deutsche Fassung EN 1993-1-10:2005+AC:2009. Normenausschuss Bauwesen (NABau). Berlin.
- DIN EN 1993-1-1 (2010-12): Eurocode: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009. Normenausschuss Bauwesen (NABau). Berlin.
- DIN EN 1993-1-4 (2015-10): Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln - Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen; Deutsche Fassung EN 1993-1-4:2006 + A1:2015. Normenausschuss Bauwesen (NABau). Berlin.
- DIN EN 1993-1-5 (2010-12): Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009. Normenausschuss Bauwesen (NABau). Berlin.
- DIN EN 1993-1-7 (2010-12): Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-7: Plattenförmige Bauteile mit Querbelastung; Deutsche Fassung EN 1993-1-7:2007 + AC:2009. Berlin.
- DIN EN 1993-1-8 (2010-12): Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009. Normenausschuss Bauwesen (NABau). Berlin.
- DIN EN 1993-1-9 (2010-12): Eurocode: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009. Normenausschuss Bauwesen (NABau). Berlin.
- DIN EN ISO 17635 (2010-08): Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe (ISO 17635:2010); Deutsche Fassung EN ISO 17635:2010. Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin.

- Drude, O. (2005): Elasto-plastisches Tragverhalten von Stahlwasserbaukonstruktionen unter Kollisionsbeanspruchung. Als Ms. gedruckt. Düsseldorf: VDI-Verl. (Fortschrittberichte VDI : Reihe 4, Bauingenieurwesen, Nr. 201).
- Eichler, B.; Feldmann, M. (2016): Ein hochlagenorientiertes und duktilitätsgesteuertes Stahlgütewahlkonzept. In: Stahlbau 85 (1), S. 25–36. DOI: 10.1002/stab.201610349.
- Fischer, L. (2006): Europäische Baunormen im Test – Charakteristische Werte nach DIN EN 1990, DIN EN 1926 und DIN EN 13162. In: Bautechnik 83 (5), S. 351–364. DOI: 10.1002/bate.200610030.
- Graf, O. (1935): Versuche im Stahlbau. Dauerversuche mit Nietverbindungen. Berlin: Julius Springer (Ausgabe B, Heft 5).
- Greiner, R.; Taras, A.; Brunner, H. (2007): Statistisch begründete Festigkeitskennwerte genieteteter Bauteile – statische Festigkeit und Wöhlerlinienkatalog. In: Stahlbau 76 (8), S. 537–552. DOI: 10.1002/stab.200710056.
- Greiner, R.; Taras, A.; Kaim, P. (2011): Stabilitätsnachweis von Stäben mit einfachsymmetrischen Querschnitten - Eurocode-konforme Regelungen im österreichischen Nationalen Anhang zur EN 1993-1-1. In: Stahlbau 80 (5), S. 356–363. DOI: 10.1002/stab.201101431.
- Hirt, M. A.; Bez, R.; Nussbaumer, A. (2007): Stahlbau. Grundbegriffe und Bemessungsverfahren. Überarb. und den neuen Konstruktionsnormen angepasste Aufl. [Lausanne]: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Hobbacher, A. F. (2016): Recommendations for fatigue design of welded joints and components. IIW document IIW-2259-I5 ex XIII-2460-13/XV-1440-13. Second edition. Cham: Springer (IIW collection).
- Klüsendorf-Mediger, J. (1998): Prognose von Eiserscheinungen auf Ostdeutschen Wasserstraßen. Hg. v. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (Mitteilungsblatt, 79).
- Köhler, F. (1956): Konstruktive Grundzüge und praktische Erfahrungen beim Bau und Betrieb von Stahlwasserbauten. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer.
- Kuhlmann, U.; Feldmann, M.; Lindner, J.; Müller, C.; Stroetmann, R. (2014): Eurocode 3. Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Band 1: Allgemeine Regeln und Hochbau, DIN EN 1993-1-1 mit Nationalem Anhang, Kommentar und Beispiele. Unter Mitarbeit von Adrian Just. 1. Aufl. Berlin: Beuth; Wilhelm Ernst & Sohn.
- Kuhlmann, U.; Froschmeier, B.; Euler, M. (2010): Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau - Erläuterungen zur Struktur und Anwendung von DIN EN 1993-1-1. In: Stahlbau 79 (11), S. 779–792. DOI: 10.1002/stab.201001378.
- Kuhlmann, U.; Günther, H.-P. (2009): Schwingversuche zur Untersuchung des Mittelspannungseinflusses an druckbeanspruchten Stemmknaggenverbindung von Schleusentoren. Universität Stuttgart, Stuttgart. Institut für Konstruktion und Entwurf.

- Kühn, B.; Lukic, M.; Günther, H.-P.; Helmerich, R.; Herion, S.; Kolstein, M. H. et al. (2008): Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life. Background documents in support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes (JRC Scientific and Technical Reports).
- Kühn, B. (2005): Beitrag zur Vereinheitlichung der europäischen Regelungen zur Vermeidung von Sprödbrech. Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2004. Aachen: Shaker (Schriftenreihe Stahlbau, 54).
- Kulka, H. (1928): Der Eisenwasserbau. Band I: Theorie und Konstruktion der beweglichen Wehre. Berlin: Ernst & Sohn.
- Lutz, W. (1927): Zur Frage der Eisabführung an Wehren (4). In: Die Bautechnik (37), S. 516–517.
- Mensingher, M.; Hacker, A.; Radlbeck, C.; Langen, T. (2014): Bestimmung der Restnutzungsdauer historischer Stahlbrücken. Conference Paper.
- ONR 24008 (2006-12): Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken. Hg. v. Österreichisches Normungsinstitut.
- Peilert, F. W. (1955): Die konstruktive Durchbildung von Wehranlagen mit mechanischem Antrieb. Berlin: VEB Verlag Technik Berlin.
- Pertermann, I.; Puthli, R.; Ummenhofer, T.; Vrouwenvelder, A.C.W.M Ton (2012): Risikoorientierte Bemessung von Tragstrukturen. In: Stahlbau 81 (3), S. 212–218. DOI: 10.1002/stab.201201534.
- Plagemann, W. (1988): Vorschlag zum Ansatz von Eisbelastungen auf Bauwerke. In: Bauingenieur 63, S. 543–549.
- Rudeloff (1912): Versuche mit Nietverbindungen und Brückenteilen für den Verein deutscher Brücken- und Eisenbaufabriken ausgeführt im Königlich Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde. Berlin: Leonhard Simion Nf.
- Schneider, S.; Ungermann, D. (2010): Geschraubte Anschlüsse und Verbindungen nach DIN EN 1993-1-8. In: Stahlbau 79 (11), S. 809–826. DOI: 10.1002/stab.201001363.
- Schreyer; Ramm; Walter (1960): Praktische Baustatik - Teil 2. Stuttgart: Teubner Verlagsgesellschaft (2).
- Schuh, A. (2011): Eishochwasser an Oder und Elbe aus historischen und meteorologischen Gesichtspunkten und im Hinblick auf mögliche Gefährdungen. Dissertation. Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Cottbus.
- Sedlacek, G.; Feldmann, M.; Kühn, B.; Tschickardt, D.; Höhler, S.; Müller, C. et al. (2008): Commentary and worked examples to EN 1993-1-10 "Material toughness and through thickness properties" and other toughness oriented rules in EN 1993. JRC (Scientific and Technical Reports). Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/jrc/en/search/site/1993-1-10>.
- Sedlacek, G. (2003): Leitfaden zum DIN-Fachbericht 103 Stahlbrücken. Ausg. März 2003. Berlin: Ernst.
- SIA 269/3 (2011): Erhaltung von Tragwerken - Stahlbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. Zürich.

Straub, D.; Faber, M. H. (2006): Risikobasierte Inspektionsstrategien für den optimalen Unterhalt von Tragwerken. In: Stahlbau 75 (5), S. 389–396. DOI: 10.1002/stab.200610040.

Stroetmann, R.; Lindner, J. (2010): Knicknachweise nach DIN EN 1993-1-1. In: Stahlbau 79 (11), S. 793–808. DOI: 10.1002/stab.201001379.

Ummenhofer, T.; Gkatzogiannis, S.; Weidner, P. (2017): Einfluss der Korrosion auf die Ermüdungsfestigkeit von Konstruktionen des Stahlwasserbaus. Forschungsbericht unveröffentlicht. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe. KIT Stahl- und Leichtbau.

Verein deutscher Eisenhüttenleute (1949): Stahl im Hochbau. Taschenbuch für Entwurf, Berechnung und Ausführung von Stahlbauten. Elfte Auflage. Düsseldorf: Stahleisen M. B. H.

Wickert, G.; Schmaußer, G. (1971): Stahlwasserbau;. Theorie, konstruktive Lösungen, spezielle Probleme. Berlin, New York: Springer-Verlag.

Anlage 1: Erläuterungen zu den Vorgaben und Regelungen des Merkblattes zu 1 Vorbemerkung und Anwendungsbereich

zu (1)

Das Merkblatt gilt für die Bewertung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Stahlwasserbauverschlüssen an Bundeswasserstraßen und bezieht sich ausschließlich auf die Stahlkonstruktion des Verschlusses ohne die Elemente des Maschinenbaus wie beispielsweise Lager, Antriebsmittel (Ketten etc.) und Antriebe. Es ist für die Bewertung von Verschlüssen anzuwenden, die sowohl für den normalen Betrieb als auch für Revisionszustände genutzt werden. Die wirklichkeitsnahe Bewertung der Verschlüsse erfolgt auf Basis aktualisierter Bestandsdaten wie Einwirkungen und Tragwerkszustände, die vor Ort am Bauwerk gewonnen werden. Unterschiedlichste Gründe können eine Begutachtung und eine Nachrechnung von Stahlwasserbauverschlüssen erforderlich machen. Auslöser können zum Beispiel sein:

- Änderung der Einwirkungen
- Änderung des statischen Systems
- Veränderte Betriebsbedingungen
- Neue Erkenntnisse von Schädigungsmechanismen oder Versagensformen
- Veränderung der Materialeigenschaften
- Veränderung des geforderten Sicherheitsniveaus
- Aufgetretene Schäden
- Nichtvorhandensein einer Statik

zu (2)

Die Nachweisführung erfolgt grundsätzlich auf Basis der aktuellen Normen und Regelwerke mit den Hinweisen aus diesem Merkblatt. Normenbasis ist die geltende DIN 19704 und die Teile der DIN EN 1993 mit den dort genannten Bezugsnormen. Bei den in diesem Merkblatt genannten Regelungen handelt es sich oftmals um Nachweise und Bewertungskriterien, die im allgemeinen Stahlbau und Stahlbrückenbau bereits Anwendung finden und für die Bewertung von vorhandenen Stahlwasserbauverschlüssen zugänglich gemacht werden sollen.

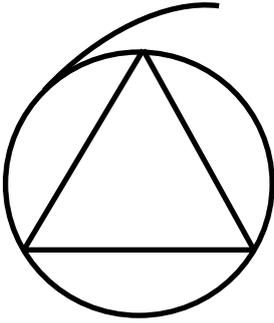
zu (3)

Werden bestehende Konstruktionsteile mit direkter Anbindung von Konstruktionselementen durch Niete, Schweißen oder Schrauben verstärkt, ist das vorliegende Merkblatt zugrunde zu legen. Das Merkblatt ist auch anzuwenden, wenn nachträglich statische Berechnungen für bestehende Konstruktionen aufzustellen sind.

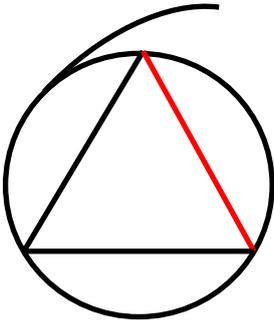
zu (4)

Verstärkungsstrukturen, die ausschließlich aus neuen Konstruktionsteilen bestehen, sind nach DIN 19704 und DIN EN 1993 nachzuweisen. Beschädigte Stahlbauteile können im 1:1-Austausch ohne Anwendung des Merkblatts ersetzt werden, sofern eine gültige Statik für den Verschluss und den geschädigten Konstruktionsbereich vorliegt und der Schaden nicht auf ein Tragfähigkeitsdefizit zurückzuführen ist. Die prinzipielle Anwendung des Merkblatts ist exemplarisch in Bild 7 dargestellt. Neue Bauteile sind in Bild 7 rot und bestehende Bauteile schwarz dargestellt.

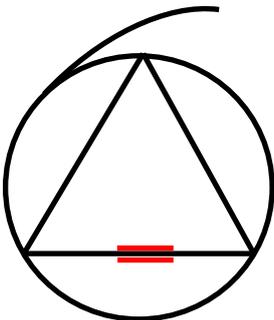
a) Keine Statik vorhanden → Merkblatt



b) 1:1-Austausch → Kein Nachweis³



c) Verstärkung → Merkblatt



d) Neue Bauteile → DIN 19704 + EC
Altkonstruktion → Merkblatt

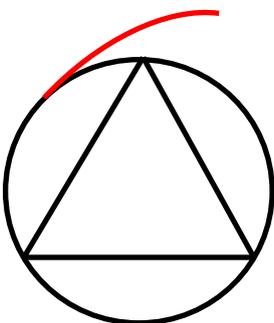


Bild 7: Anwendungsprinzipien des Merkblatts

³ Voraussetzung ist eine vorhandene Statik.

zu (5)

Für die Tragfähigkeitsbewertung von Konstruktionen aus nichtrostenden Stählen ist DIN EN 1993-1-1/NA (2017-9) und DIN EN 1993-1-4 (2015-10) in Verbindung mit DIBt (2018) zu berücksichtigen. Die vorgenannte bauaufsichtliche Zulassung gilt nur für statisch und quasi-statisch beanspruchte Bauteile und Verbindungen unter atmosphärischen Bedingungen.

zu (6)

Der Anwendungsbereich dieses Merkblatts umfasst den Verschlusskörper aus Stahl oder Eisen und endet am Anschlagpunkt der Antriebsmittel sowie am Übergangsbereich zu den Maschinenkonstruktionen (z. B. Lager). Der gesamte Anwendungsbereich der DIN 19704-1 wird somit nicht abgedeckt.

zu (7)

Aufgrund der großen Vielfalt an Stahlwasserbauverschlüssen müssen Regelungen aus diesem Merkblatt gegebenenfalls objektspezifisch angepasst werden.

zu (9)

Die statische Bewertung von vorhandenen Stahlwasserbaukonstruktionen nach diesem Merkblatt ist in Umfang und Tiefe so auszuführen, dass sie einer prüfbaren Bestandsstatik für den betrachteten Bereich entspricht.

zu 2 Allgemeines

zu 2.2 Besonderheiten von Stahlwasserbauverschlüssen

Eine ausführliche Darstellung inklusive der Besonderheiten von Stahlwasserbauverschlüssen und deren Konstruktionsprinzipien kann beispielsweise Kulka (1928), Peilert (1955), Köhler (1956) sowie Wickert und Schmaußer (1971) entnommen werden. Zu bemerken ist, dass die historischen statischen Unterlagen nach dem heutigen Verständnis sehr knapp ausfallen. Dies liegt zum einen an der vergleichsweise geringen Vielfalt an Lastansätzen, Bemessungssituationen und Nachweisformaten sowie zum anderen an der Nutzung „typisierter“ Konstruktionselemente (Anschlüsse, Träger- und Stabquerschnitte usw.). Diese wurden in Abhängigkeit der Beanspruchung vom Konstrukteur gewählt und nicht explizit zum Gegenstand der statischen Berechnung gemacht.

zu 2.3 Vorgehen, Untersuchungsstufen

zu (1)

Die Bestandsunterlagen schließen Ausführungsunterlagen zu baulichen Veränderungen, Verstärkungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen mit ein.

Der für die Nachrechnung des Tragwerks beauftragte Ingenieur hat eine Bewertung des Bauwerkszustands vor Ort vorzunehmen. Vor der Berechnung ist zu prüfen, ob die Bestands- und Ausführungsunterlagen mit dem vorhandenen Tragwerk übereinstimmen. Werden bei der Bestandsaufnahme bereits kritische Bauteilzustände ausgemacht, sind Sofortmaßnahmen einzuleiten.

Nur die für die verbleibende Restnutzungsdauer zu berücksichtigenden Einwirkungen sind für die Bewertung der Tragfähigkeit des Verschlusses zugrunde zu legen. Werden Nachweise zur Ermüdungsfestigkeit der Konstruktion erforderlich, sind ebenfalls die Einwirkungen aus der Vergangenheit zu berücksichtigen. Ob-

jektspezifische Betriebsanweisungen können bei der Ermittlung der Einwirkungen berücksichtigt werden (z. B. Eisfreihaltung), wenn diese in der Bauwerksakte vermerkt und dem Betreiber vor Ort nachprüfbar bekannt gegeben wurden.

Die mechanischen und technologischen Eigenschaften der vorhandenen Stähle sind Grundlage für die Tragsicherheitsnachweise und sind gegebenenfalls durch Materialanalysen (siehe Kapitel 3.3.4) zu bestimmen.

zu (2)

Die statische Überprüfung des Tragwerks erfolgt wenn möglich in Untersuchungsstufen mit zunehmendem Vertiefungsgrad. Für die Nachweise zur Beurteilung der Stahlwasserbauverschlüsse wird differenziert zwischen dem Werkstoffverhalten bei tiefen Temperaturen (Spröbruch), der Tragfähigkeit bei Raumtemperatur (duktile Versagensformen) und der Tragfähigkeit unter Ermüdungsbeanspruchungen (Materialermüdung).

Die Wahl der Stufentiefe ist objektspezifisch vorzunehmen. Die Nachweise der drei aufgeführten Versagensformen müssen nicht zwingend in der gleichen Stufentiefe beginnen bzw. enden. Die Aussagegenauigkeit, der Aufwand und die Komplexität nehmen von Stufe I nach Stufe III zu. Daher kann es zweckmäßig sein, vor Durchführung der jeweils nächsten Untersuchungsstufe den Verschluss auszutauschen bzw. instand zu setzen.

Die Untersuchungsstufen für die **Sprödbuchbewertung** sind in Anlehnung an die in DIN EN 1993-1-10 aufgeführten Methoden gewählt worden. Die Sprödbuchbewertung über bruchmechanische Betrachtungen (Stufe II) oder über experimentelle Nachweise (Stufe III) sind Experten mit einer entsprechenden Erfahrung vorbehalten.

Die Untersuchungsstufen für die Nachweise gegen **Strukturversagen** unter duktilen Versagensformen erfolgen in Anlehnung an die in DIN EN 1993-1-1 aufgeführten Methoden nach dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept (Teilsicherheitskonzept). Die Nutzung plastischer Materialeigenschaften darf nur angewendet werden, wenn die dafür erforderlichen Materialeigenschaften und die erforderlichen Querschnittsklassen nachweislich vorhanden sind.

In Stufe I wird mit der Anwendung des Abgrenzkriteriums und der Dauerfestigkeitsnachweise eine grobe Abschätzung vorgenommen, ob Ermüdungsfestigkeitsnachweise erforderlich werden und welche Bauteile genauer auf **Ermüdungsfestigkeit** untersucht werden müssen. Kann der Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach dem Wöhlerlinienkonzept (Stufe II) nicht positiv geführt werden oder sind bereits Risse vorhanden, sind für die entsprechenden Details bruchmechanische Bewertungen (Stufe III) vorzunehmen. Dazu sind gegebenenfalls Materialuntersuchungen und Spannungsmessungen am Bauwerk durchzuführen.

Von den Ergebnissen der Untersuchungsstufen ist abhängig, ob eine **Robustheitsbewertung** erforderlich wird.

zu 3 Grundlagen und Ausgangsbasis

zu 3.1 Bestandsaufnahme

zu 3.1.1 Bestandsunterlagen

zu (1)

Die Bewertung bestehender Verschlusskonstruktionen setzt die Kenntnis über das vorhandene Material und die damals angenommenen System- und Lastannahmen voraus. Durch die Sichtung der Bestandsunterlagen wird der damalige Sollzustand erfasst. Zeitliche Veränderungen, beispielsweise der Einwirkungen und Werkstoffeigenschaften (Versprödung), werden nicht erkannt und bedürfen gegebenenfalls einer gesonderten Untersuchung. Die Erkenntnisse werden durch die Ergebnisse der Bauwerksinspektion ergänzt. Weiter muss der bewertende Ingenieur im Vorfeld der Prüfung die Bereiche identifizieren, die eine besondere Beachtung verdienen, da

- sie aufgrund der Konstruktion/Bauart besonders schadensanfällig sind,
- dort in der Vergangenheit bereits Schäden aufgetreten sind,
- sie statisch hoch ausgelastet sind.

zu (3)

Für eine statische Beurteilung ist die Kenntnis der vorhandenen Bauteildicken an den maßgebenden Stellen erforderlich. Die Geometrie des Bauteils ist in der Regel den (aktuellen!) Bestandsplänen zu entnehmen. Stichprobenartige Kontrollmessungen der Querschnitte sind vor Ort durchzuführen, um einen Soll-Ist-Vergleich vornehmen zu können. Ist der Korrosionsschutz schon einmal erneuert worden bzw. abgängig, sind Restwanddickenmessungen (Ultraschallmessgerät) an der Stauwand und an den Profilen vorzunehmen. Bauteilbereiche mit hoher Korrosionsbeanspruchung (z. B. Wasserwechselzone, UW-Stand im Wehrverschluss, Anschlussbereiche mit nichtrostenden Stählen etc.) sind vertieft zu untersuchen. Sind keine Planunterlagen vorhanden, ist die vorhandene Verschlusskonstruktion geometrisch neu zu erfassen.

zu 3.1.2 Zustands- und Schadensfeststellung

zu (1)

Der Verschluss ist im Rahmen der Tragfähigkeitsbewertung von dem beauftragten Ingenieur vor Ort zu untersuchen. Diese Untersuchung ist ergänzend zur Bauwerksinspektion, die durch den Betreiber durchzuführen ist. Eine zeitliche Nähe kann z. B. durch eine Trockenlegung gegeben sein. Die zerstörungsfreien Prüfungen müssen im Regelfall an den eingebauten Stahlwasserbauverschlüssen vor Ort durchgeführt werden. Der Ausbau von ganzen Verschlüssen oder von Teilstrukturen zur Durchführung der Prüfungen bleibt auf Sonderfälle beschränkt. Die zerstörungsfreien Prüfungen dienen zur Feststellung, ob Schädigungen am Tragwerk (Stahlstruktur inklusive Verbindungsmittel) vorliegen, die die Standsicherheit des Verschlusses negativ beeinflussen.

zu (2)

Für die Ermittlung des aktuellen Zustands sind tragfähigkeitsrelevante Schäden zu kartieren (z. B. Aufnahme von Restquerschnitten, Imperfektionen), auf deren Grundlage eine Nachrechnung für den Istzustand erfolgen kann. Bei der Schadensaufnahme ist zu beachten, dass durch die Degradation von Stahlbauteilen Versagensmechanismen relevant werden können, die bei der ursprünglichen statischen Nachweisführung nicht zu berücksichtigen waren. Hier sind insbesondere Versagensmechanismen zur Stabilität zu nennen, die beispielsweise durch Veränderung von Ausmitten oder Systemschlankeiten zu berücksichtigen sind.

zu (3)

Es wird, wenn immer möglich, eine direkte Sichtprüfung durchgeführt. Die direkte Sichtprüfung erfolgt handnah, das heißt, es erfolgt eine Betrachtung aus ca. 60 – 80 cm Entfernung bei guten Lichtverhältnissen. Entsprechende Zugänglichkeiten und ggf. Beleuchtungen müssen sichergestellt sein. Die indirekte Sichtprüfung mit Spiegeln oder Endoskopen kommt nur in seltenen Fällen zur Anwendung, wenn eine direkte Sichtprüfung nicht möglich ist. Ein fester Sitz des Nietes kann durch leichtes Abklopfen (Klangprobe) überprüft werden, ohne dabei die Beschichtung zu zerstören.

zu (4)

Neben konventionellen, mechanischen Messmitteln können auch Ultraschall-Wanddickenmessgeräte eingesetzt werden. Mit modernen Ultraschallmessgeräten kann durch organische Korrosionsschutzschichten hindurch gemessen werden, sodass eine ggf. vorhandene, unbeschädigte Beschichtung auf dem Bauteil verbleiben kann. Vorab ist ein Messprogramm mit Festlegung des Untersuchungsrasters aufzustellen. Lose Korrosionsprodukte (Blattroste) und lose bzw. unterrostete Beschichtungen müssen vor der Restwanddickenmessung entfernt werden.

zu (5)

Oberflächenrissprüfungen und volumetrische Prüfungen dienen bei der Begutachtung von bestehenden Konstruktionen hauptsächlich der Detektion von (An-)Rissen. Diese Untersuchungsmethoden werden schwerpunktmäßig im Bereich von Schweißnähten, Schraub- und Nietanschlüssen sowie im Bereich von Materialverformungen eingesetzt. Es können neben Rissen auch Poren, Lunken, Einschlüsse etc. detektiert werden.

Oberflächenrissprüfungen und volumetrische Prüfungen bzw. die damit verbundenen Oberflächenvorbereitungen sind bei fachgerechter Ausführung aufwendig. Sie müssen jeweils speziell an die örtliche Situation und das zu prüfende Konstruktionsdetail angepasst werden. Der Einsatz dieser Verfahren erfolgt daher nicht flächendeckend und pauschal, sondern bleibt auf einzelne, exponierte Teilbereiche beschränkt, die als rissgefährdet oder entsprechend vorgeschädigt eingestuft werden.

Für die Oberflächenrissprüfung stehen prinzipiell die zwei Verfahren Magnetpulverprüfung (MT) und Farbindringprüfung (PT) zur Verfügung. Für beide Verfahren gilt: Die Detektion von sehr kleinen Anrissen funktioniert nur zuverlässig und sicher, wenn metallisch blanke und möglichst glatte Oberflächen vorhanden sind. Bei schlechterer Oberflächenqualität sind die Verfahren zwar auch anwendbar, die Aussagefähigkeit bzw. die Auffindbarkeit der Fehler nimmt aber entsprechend ab. Bei schadstoffhaltiger Beschichtung (Asbest, PAK, PCB, Blei) ist bei der Entschichtung ein emissionsarmes Verfahren gemäß Leitfaden (BMVI 2017) anzuwenden.

Dieser kann unter https://izw.baw.de/publikationen/tr-w/0/Leitfaden_final_clean_15_11_2017_2.pdf eingesehen werden.

Der Einsatz der Ultraschallprüfung (Impuls-Echo-Technik) ist prinzipiell möglich, wird aber an alten Stahlwasserbauverschlüssen nur in wenigen Anwendungsfällen bei einfachen Bauteilgeometrien zu auswertbaren Ergebnissen führen.

Mit einer Durchstrahlungsprüfung (RT-F) lassen sich von außen nicht sichtbare Schäden (z. B. gerissene Innenlaschen in Blechpaketen) detektieren.

zu 3.1.3 Messungen

zu (1)

Für eine Verformungsmessung an Stahlwasserbauverschlüssen bietet sich die Trockenlegungsphase für die Zustands- und Schadensaufnahme an. Bevor der Verschluss trockengelegt wird, ist an mindestens drei Punkten auf der Unterwasserseite des Verschlusses die Lage durch eine Vermessung festzustellen. Diese Messung ist nach der Trockenlegung des Verschlusses und nach der Herstellung des Normalstaus zu wiederholen. Bei diesen Messungen sollten vergleichbare Temperaturverhältnisse vorliegen. Durch die Messung wird das tatsächliche Tragverhalten erfasst und mithilfe der aufgenommenen Messwerte kann das statische System für eine Nachrechnung unter Gebrauchslasten kalibriert werden. Ergänzend können, wenn die Randbedingungen (Feuchtigkeit) es zulassen, Dehnungsmessungen an Stellen vorgenommen werden, die einen eindeutigen Spannungsverlauf erwarten lassen. Überhöhungen der Verschlusskonstruktion sind insbesondere bei Schützen mit großen Stützweiten und Klappen mit einseitigem Antrieb nicht unüblich.

zu 3.2 Einwirkungen

zu 3.2.1 Ständige Einwirkungen

zu 3.2.1.1 Eigengewicht

zu (1)

Einwirkungen aus Eigengewicht spielen aufgrund der häufig dominierenden Einflüsse aus dem Wasserdruck für die Stahlwasserbaukonstruktionen häufig eine untergeordnete Rolle. Dies gilt nicht für die Auslegung der Antriebe.

zu (2)

Die Grundlage zur Bestimmung des Eigengewichts bilden die Bestandspläne, deren Gültigkeit vor Ort zu überprüfen ist. Der Zuschlag von 10 % auf das Eigengewicht gem. DIN 19704-1 (2014-11) für Anstrich etc. ist zusätzlich zu berücksichtigen.

zu 3.2.2 Veränderliche Einwirkungen

zu 3.2.2.1 Hydrostatische und hydrodynamische Einwirkungen

zu (1)

Bei versenkbaren Verschlüssen können für einzelne Konstruktionsteile Zwischenstellungen maßgebend werden.

zu (2)

Den Schwingungen, die u. a. bei Füll- und Entleerungsvorgängen auftreten, ist durch eine Anpassung der Konstruktion bzw. der Dichtungselemente zu begegnen. In Einzelfällen können durch eine Anpassung der Verschlusssteuerung Schwingungen vermieden werden. Ein Ermüdungsnachweis der Konstruktion ist aufgrund der hohen Frequenz und der in der Regel unbekanntenen Spannungsschwingbreite nicht zielführend und aufgrund der Geräuschentwicklung nicht ausreichend.

zu 3.2.2.2 Eisdruck

zu (1)

Neben den fest installierten Einrichtungen zur Eisfreihaltung schließt die unter (1) genannte Regelung betriebliche Maßnahmen mit ein, wenn diese in den Betriebsvorschriften verankert und zielsicher angewendet werden (z. B. Eisbrechen). Für Revisionsverschlüsse ist eine 30 % Abminderung des Eisdrucks nicht anzusetzen, da gemäß DIN 19704-1 durch Vorgabe des Auftraggebers bereits eine Abminderung um 50 % möglich ist.

zu (2)

Der Nachweis in der außergewöhnlichen Bemessungssituation (Ausfall der Einrichtung oder der Maßnahmen) stellt eine Mindestanforderung an den Verschluss dar und ist bei der zusammenfassenden Bewertung der Tragfähigkeit (siehe Abschnitt 6) explizit zu benennen.

zu (3)

Die Eisdicke h_E darf mittels eines empirischen Ansatzes (siehe Formel 3.1) auf Basis lokal festgestellter Kältesummen abgeschätzt werden (Plagemann 1988). Die Kältesumme wird als dimensionsloser Betrag der Summe der negativen Tagesmitteltemperaturen ($T_L < 0^\circ\text{C}$) für die Winterperiode (November–März) ermittelt. Als Bemessungswert ist der im Beobachtungszeitraum (50 a) festgestellte Maximalwert anzusetzen. Der dimensionslose Proportionalitätsfaktor α_E berücksichtigt nach Barjenbruch (2002) die lokalen klimatischen und hydraulischen Bedingungen (Fließgeschwindigkeit). Ein typischer Wertebereich für α_E wird in Schuh (2011) mit 0,6–0,8 angegeben. Beobachtungsdaten zur Eisdicke an ostdeutschen Wasserstraßen (Klüsendorf-Mediger 1998; Carstensen 2008) und vom Neckar (Lutz 1927) sowie den in ELWIS (www.elwis.de) dokumentierten Eislagen führen zu einer Konstante α_E , die zwischen 0,4 - 0,6 liegt.

Es wird daher empfohlen, die für den Verschluss spezifische Konstante α_E über Beobachtungsdaten zu ermitteln und die Eisdicke mit der maximalen Kältesumme der letzten fünfzig Jahre zu bestimmen. In Anlage 16 sind die maßgebenden Kältesummen (1966–2016) für relevante deutsche Wasserstraßen aufgeführt. Die in Anlage 16 dargestellte Kältesummenverteilung wurde aus öffentlich zugänglichen Daten des DWD (www.dwd.de/WESTE) generiert. Örtliche Besonderheiten können beispielsweise durch Kraftwerksabschaltungen oder in Scheitelhaltungen auftreten.

zu (4)

Horizontaler Eisdruck auf die Verschlusskonstruktion kann durch Eisbewegungen oder durch Eisausdehnungen (thermischer Eisdruck) verursacht werden. Die Eisbildung und ein daraus folgender Eisdruck ist neben dem Temperaturverlauf von vielen weiteren Parametern (Wind, Fließgeschwindigkeit, Eisfestigkeit, Bauwerksform, Oberflächenbeschaffenheit, Elastizität des Verschlusses etc.) abhängig. Daher stellt die Einwirkung Eisdruck eine Art „Ersatzlast“ dar, um die Tragfähigkeit zu erhöhen und Schäden an der Konstruktion durch Eiseinwirkungen zu minimieren. Für den Nachweis der Gesamtkonstruktion kann der Eisdruckansatz vereinfacht als Linienlast angenommen werden. Da mit diesem Ansatz nicht die Stauwand und deren Steifen nachgewiesen werden soll, ist der Ansatz von äquivalenten Einzellasten, beispielsweise im Bereich von Querschotten oder Aussteifungsrahmen, möglich. Für den Nachweis der Stauwand und der unmittelbar anschließenden Stauwandsteifen ist der Eisdruck über die angenommene Eisdicke zu verteilen. „Bei der Berechnung des Stauwandbleches und der Stauwandsteifen darf die Flächenlast des Eisdrucks auf die Hälfte ermäßigt werden, wenn mit der zweifachen Eisdicke gerechnet wird“ (DIN 19704-1 2014-11).

Vor der Herausgabe der Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten (BW 1957) und der späteren Einführung der ersten DIN 19704 (1958-06) bestanden keine einheitlichen Regelungen für einen Eisdruckansatz.

Bis zu diesem Zeitpunkt sind daher selten Beanspruchungen bei der Bemessung von Stahlwasserbauverschlüssen berücksichtigt worden. Gelegentlich wurde der Wasserdruck erhöht, um eine Zusatzbelastung aus dem Eisdruck zu erfassen. Mit den folgenden Ausgaben der DIN 19704 erfuhr der Eisdruckansatz bis heute eine permanente Änderung.

zu 3.2.2.3 Verkehrslast

zu 3.2.2.4 Änderungen der Stützbedingungen

zu (1)

Geänderte Stützbedingungen beispielsweise durch abgenutzte oder unterschiedlich gesetzte Stemmnaggen sind durch Instandsetzungsmaßnahmen zu korrigieren.

zu 3.2.2.5 Temperatur

zu (1)

Informationen zu Temperaturmessreihen für verschiedene Standorte können dem *Climate Date Center* des Deutschen Wetterdienstes (<http://www.dwd.de>) entnommen werden.

zu (2)

Werden Temperaturerhöhungen aufgrund saisonaler Einsätze berücksichtigt, sind die bei der Bemessung zugrunde gelegten Grenzwerte in der Betriebsanweisung eindeutig darzustellen.

3.2.2.6 Schiffsreibung

zu (1)

Eine Angabe von Lastgrößen wurde erstmals in DIN 19704 (1976-09) vorgenommen und bis heute (DIN 19704-1 (2014-11)) beibehalten. Eine Anpassung der Lastgrößen in Abhängigkeit der verkehrenden Schiffseinheiten kann vorgenommen werden. Einwirkungen durch Schiffsreibung auf Schleusentore sind an Binnenwasserstraßen weniger für die Torkonstruktion als vielmehr für die Lagerausbildung und Lastweiterleitung in den Massivbau anzunehmen.

zu 3.2.2.7 Windlast

zu (1)

Die Nichtberücksichtigung von Windeinwirkungen gilt nicht für die Nachweise der zugehörigen Maschinenbauteile und der Antriebstechnik.

zu 3.2.2.8 Montage- und Instandhaltungszustände

zu 3.2.2.9 Sonstige Einwirkungen

zu (1)

Die am unteren Rand des Verschlusses anzusetzende Linienlast soll bei Neubauten für eine örtliche Robustheit des Verschlusses sorgen, um Schäden durch Abführung von z. B. Eis bei gehobenem Verschluss zu minimieren. Für die Berechnung des Haupttragwerks bleibt diese Einwirkung daher unberücksichtigt.

zu 3.2.3 Außergewöhnliche Einwirkungen

zu 3.2.3.1 Schiffsstoß

zu (1)

Stahlwasserbauverschlüsse (hier Schleusentore) sind in der Regel durch getrennte Stoßschutzeinrichtungen geschützt. Die Bemessungsvorgaben für Stoßschutzeinrichtungen sind in DIN 19703 aufgeführt. Für am Verschluss angebrachte Stoßschutzeinrichtungen kann die Beanspruchung in Abhängigkeit der Schiffstonnage und der möglichen Einfahrtsgeschwindigkeit festgelegt werden.

zu (2)

Unter Kollisionsvorgängen stellen sich in der Regel hohe Dehnungen in den Stahlkonstruktionen ein. Der Verlauf des Werkstoffgesetzes weicht bei hohen Dehnungen von der technischen Spannungs-Dehnungslinie ab. Neben weiteren Kollisionsparametern werden in Drude (2005) Stützstellen der Spannungsdehnungslinie angegeben, mit denen für einen S235 und einen S355 das wahre Werkstoffgesetz kreiert werden kann. Um den Einfluss der Materialfestigkeiten auf den Kollisionsvorgang abzuschätzen, wird empfohlen, eine Parametervariation mit den 5 %-, 50 %-, 95 %-Fraktilen der Festigkeitswerte vorzunehmen.

zu 3.2.3.2 Einwirkungen des Antriebs im Störfall

zu (1)

Bei Bewegungsvorgängen kann es durch Geschwemmsel oder Eis zum Verklemmen kommen. Dann können die Antriebskräfte deutlich größere Einwirkungen auf den Verschluss erzeugen als im Normalbetrieb.

zu 3.3. Werkstoffe

zu 3.3.1 Allgemeines

zu (2)

Die Festigkeitswerte sind bei Schweißseisen (Puddelstahl) quer zur Walzrichtung um 20 % abzumindern. Die in Anlage 2 aufgeführten Werte dürfen als 5 %-Fraktile (charakteristischer Wert) der mechanischen Eigenschaften angenommen werden.

zu (3)

Bei Altstählen können die mechanischen Eigenschaften und die chemischen Zusammensetzungen stark variieren. Die zur Bauzeit ermittelten mechanisch-technologischen Kennwerte müssen durch Alterungsvorgänge nicht für die gesamte Lebensdauer des Stahlteils zutreffen. Mit Ausgabe der DIN 17100 (1957-10) wird angenommen, dass die Streuung der mechanischen Eigenschaften mit denen der heutigen Stähle vergleichbar ist. Probenanzahl und Lage der Entnahmestellen sind vom zuständigen Ingenieur im Einzelfall festzulegen. Eine Übertragung der Versuchsergebnisse zwischen Blechen und Walzprofilen sollte nicht erfolgen, da diese mit hoher Wahrscheinlichkeit aus unterschiedlichen Stahlchargen bzw. auch aus unterschiedlichen Werken stammen.

zu (4)

Um die alten Stähle zu identifizieren und deren tatsächliche Materialeigenschaften aufzunehmen, sind zerstörende Prüfungen erforderlich, wenn aus den Bestandsunterlagen (Angaben in Plänen oder Berechnungen, Materialprüfzeugnisse) keine eindeutige Charakterisierung erfolgen kann. Die Materialkennwerte müssen

über die Probenanzahl statistisch abgesichert sein (siehe Abschnitt 3.3.4 und DIN EN 1990 (2010-12), Anhang D). Unterschiedliche Stahlsorten innerhalb eines Tragwerks sind nicht ausgeschlossen.

zu (5)

Vor der Entnahme von Materialproben sollte durch geeignete Vorbetrachtungen die statische Auslastung ermittelt werden. Gegebenenfalls können bei niedriger Auslastung die erforderlichen Nachweise bereits mit auf der sicheren Seite liegenden Materialkennwerten (z. B. Literaturdaten/Tabellenwerte) erbracht werden.

Die Ermittlung bauteilscharfer Bemessungswerte ist nur auf die Konstruktionsdetails zu beschränken, an denen die Nachweisführung mit höheren Festigkeitswerten erforderlich und zielführend erscheint. Eine Erhöhung der charakteristischen Werte für das ganze Bauwerk erfordert in der Regel einen zu großen Probenumfang. Die Teilsicherheitsbeiwerte sind in Abhängigkeit der Streuung anzupassen.

Dem Sicherheitskonzept des Eurocode 3 ist hinterlegt, dass die in der Regel höheren vorhandenen Streckgrenzen „in gewissem Maße die Unterschreitungen der nominellen Querschnittswerte durch die geometrische Toleranzabweichung“ ausgleichen (Kuhlmann et al. 2014). Daher sind bei Ansatz höherer Festigkeitswerte im Vergleich zu denen in Anlage 2 zwingend die realen Querschnittswerte zu berücksichtigen.

zu (6)

In Einzelfällen kann eine Probenentnahme zur Bestimmung von Materialkennwerten nicht durchgeführt werden. Dies kann beispielsweise bei zu kleinen Bauteilen oder einer zu hohen Bauteilbelastung der Fall sein.

zu 3.3.2 Baustähle

zu 3.3.2.1 Schweißisen/Puddeleisen (bis 1900)

zu (1)

Puddeleisen wurde ab 1850 bis etwa 1900 im Stahlbau verwendet. Puddeleisen (auch Schweißisen genannt) war in seiner Herstellungszeit keiner einheitlichen Normung unterworfen. Die chemische Zusammensetzung kann dementsprechend stark variieren. Mindestanforderungen an die Streckgrenze wurden nicht formuliert. In den Lieferbedingungen/Normalbedingungen wurden Mindestwerte für die Zugfestigkeit und Bruchdehnung angegeben. Ein deutlicher Unterschied zu den heutigen Baustählen liegt in der geringen Bruchdehnung aufgrund der Schlackeneinschlüsse.

zu (2)

Dem Herstellungsverfahren geschuldet, sind die mechanischen Eigenschaften starken Streuungen unterworfen. Puddeleisen weist eine ausgeprägte Textur auf, das heißt, die Eigenschaften in Längs-, Quer- und Dickenrichtung weichen zum Teil deutlich voneinander ab. Die Anisotropie bezieht sich auf die Festigkeit und Verformbarkeit.

Verformungskennwerte sind z. B. die im Zugversuch ermittelte Bruch- und Gleichmaßdehnung. Zugversuche an Minizugproben führen aufgrund der Inhomogenität des Materials und des kleinen Versuchsquerschnittes zu großen Schwankungen bei den Ergebnissen. Es sollten daher möglichst große, genormte (Flach-) Zugproben verwendet werden.

zu (3)

Puddeleisen ist nicht zum Schmelzschweißen geeignet, da es in hohem Maße durch im Material enthaltene Schlacke verunreinigt ist.

zu 3.3.2.2 Flusseisen (bis 1924)

zu (3)

Erfahrungen zeigen, dass die Dehnwerte im Zugversuch meist unproblematisch sind und dass bei Flusseisen Bruchdehnungen von $A_{5,65} \geq 15\%$ im Normalfall sicher erreicht werden. Eine stichprobenartige Überprüfung der Bruchdehnung wird trotzdem vorgesehen, da ggf. die Duktilität des Altstahls, z. B. durch Alterung oder unplanmäßige Vorverformung während der Nutzungsdauer, zu weit verringert wurde.

zu (4)

Die experimentelle Ermittlung der für bruchmechanische Betrachtungen zur Spröbruchneigung benötigten Materialkennwerte ist aufwendig. Erfahrene Fachleute können ggf. auf Grundlage von Untersuchungen an vergleichbaren Altstählen für erste Berechnungen eine konservative Abschätzung der benötigten Materialkennwerte (ohne experimentelle Ermittlung) vornehmen.

zu (5)

Die Schweißeignung kann anhand von chemischen Analysen der Stähle und metallurgischen Schliffen beurteilt werden. Dabei ist zu beachten, dass die für gewöhnlich unberuhigt vergossenen Stähle Seigerungen aufweisen und daher die chemische Zusammensetzung über den Querschnitt stark variieren kann. Lage und Größe der Seigerungszone sowie der Reinheitsgrad der Stähle können über Abdrücke (z. B. Baumannabdrücke) und metallurgische Schliffe geprüft werden.

zu 3.3.2.3 Flusstahl (1924 bis 1957)

zu (1)

Es handelt sich um Flussstähle nach DIN 1612 für Formstahl, Flachstahl, Breitflachstahl (Walzprofile) sowie nach DIN 1620 bzw. DIN 1621 für Stahlbleche.

Für Flusstahl der niedrigsten Güte St00.12 (Handels Güte) bzw. St00.21 waren nach den entsprechenden Gütenormen der Herstellungszeit keine mechanischen Kennwerte nachzuweisen. Stähle, die die Abnahmekriterien für einen St 37 nicht erfüllten, konnten z. B. als Handels Güte in den Verkehr gebracht werden. Diese Stähle wurden im Regelfall im Stahlwasserbau nicht eingesetzt. Werden sie im Einzelfall dennoch vorgefunden, ist keine allgemeingültige Aussage zu den Materialkennwerten möglich. Diese müssen für den Einzelfall experimentell bestimmt werden.

zu (5)

In den ab dem Jahr 1924 erschienenen Gütenormen werden für Flussstähle ab Güte St 37 die Anforderungen über die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung definiert. Anforderungen an die chemische Zusammensetzung sind als Abnahmekriterium nicht enthalten. Daher muss die Beurteilung der Schweißeignung nach der tatsächlichen Zusammensetzung im Einzelfall beurteilt werden.

Maschinenbaustähle (Flusstahl, geschmiedet oder gewalzt) sind in DIN 1611 genormt. Bis zur Güte St 42.11 kann Anlage 2 angewendet werden. Für die höherfesten Güten St 50.11 bis St 70.11 sollten die Werkstoffkennwerte über Zugversuche bestimmt bzw. abgesichert werden. Ist das z. B. aufgrund der Bauteilgröße

nicht möglich, muss eine Abschätzung durch erfahrene Experten erfolgen. Für die Sollzugfestigkeiten werden in der DIN 1611 Bandbreiten angegeben. Für die Streckgrenze sind in der Norm keine Vorgaben enthalten. Hier ist man auf Erfahrungswerte von anderen Bauwerken angewiesen. Erschwerend kommt hinzu, dass bei diesen vergütbaren Stählen die Materialkennwerte maßgeblich vom Vergütungszustand abhängen.

zu 3.3.2.4 Sonderstähle

zu (1)

Im Abschnitt Sonderstähle werden Stahlsorten aufgeführt, die ab Ende der 1920er-Jahre eingesetzt wurden, aber zur Herstellungszeit nicht in den gültigen Stahlgütenormen enthalten waren. Im Stahlwasserbau sind das insbesondere die Stähle St 48 und St 52. Eine stichprobenartige Überprüfung der Materialkennwerte über Zug- und Kerbschlagbiegeversuche sollte erfolgen.

zu 3.3.2.5 Baustähle ab 1957

zu (1)

Für die Bestimmung des charakteristischen Wertes über am Bauwerk gewonnene Materialproben siehe Abschnitt 3.3.4.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Sprödbrechunempfindlichkeit ist für höherwertige Stahlsorten nach DIN 17100 bzw. DIN EN 10025 ein Mindestwert für die Kerbschlagarbeit nachzuweisen. Für diese Stahlsorten kann ohne weiteren Nachweis davon ausgegangen werden, dass auch nach heutigen Maßstäben eine ausreichende Sprödbrechtsicherheit vorhanden ist. Für alle anderen Stahlsorten können keine allgemeingültigen Angaben zur Bruchzähigkeit gemacht werden. Entsprechende Parameter müssen, wenn für Berechnungen und Nachweise erforderlich, im Einzelfall experimentell bestimmt werden.

zu 3.3.2.6 Baustähle der ehemaligen DDR

Welche Stähle im Stahlbau eingesetzt werden durften, war in der TGL 13500 festgelegt. Die Baustähle nach TGL 7960 waren in drei Gütegruppen eingeteilt, für die unterschiedliche Anforderungen an die Vergießungsart und die Reinheit (S- und P-Gehalte) gestellt wurden. Sind an diesen Stählen Schweißungen geplant und liegen keine verlässlichen Angaben über die eingesetzte Gütegruppe vor, muss die Schweißseignung überprüft werden. Für genietete und geschraubte Konstruktionen wurde häufig die Gütegruppe 1 eingesetzt. Dieses Material weist meistens keine ausreichende Schweißseignung auf.

Weitere Hinweise zur eingesetzten Gütegruppe kann die mit der ehemaligen DAST-Richtlinie 009 (2008) vergleichbare TGL 12910 „Werkstoffwahl für Konstruktionen aus Baustahl“ liefern.

zu 3.3.3 Verbindungsmittel

zu 3.3.3.1 Niete

zu (1)

Für Bauteile aus St 37 wurde der Nietwerkstoff St 34 bzw. St 36 und für Bauteile aus St 52 der Nietwerkstoff St 44 eingesetzt (Bohny 1938). Nieteisen ist bis 1954 in der DIN 1613 genormt. Diese wird 1954 durch die DIN 17110 ersetzt. Mit Einführung der DIN 17111 (Ersatz für DIN 17110) im Jahr 1968 entfällt der Nietstahl St 34 und wird durch einen St 36 ersetzt.

zu (3)

Der DDR-Nietstahl war in der TGL 6545 genormt.

zu 3.3.3.2 Schrauben

zu (1)

Schraubeneisen ist seit den 1920er-Jahren in der DIN 1613 als St 38.13 genormt. Dort sind Anforderungen an die Zugfestigkeit, die Bruchdehnung und den Kaltversuch festgelegt. Bezüglich der Streckgrenze gibt es in der DIN 1613 keine Mindestanforderungen. Die für den St 38.13 angegebenen Festigkeitswerte wurden von einem vergleichbaren Nietstahl aus DIN 17111(1980-09) übernommen.

zu (2)

Schrauben und Muttern sind ab 1960 in der DIN 267 (später in der DIN ISO 898) genormt. Die in Tabelle 3 enthaltenen Festigkeitswerte wurden aus DIN 267 (1960-12) und die in Tabelle 4 enthaltenen Werte aus DIN 267 (1967-11) entnommen.

In DIN 267 sind weiterhin Angaben zur Bruchdehnung, zur Härte und zur Kerbschlagzähigkeit enthalten.

In den Tabellen 3 und 4 sind alle Festigkeitsklassen aus den Produktnormen aufgeführt. Es ist zu beachten, dass die im Stahlbau einsetzbaren Festigkeitsklassen durch die jeweils gültigen Anwendungsnormen eingeschränkt werden (z. B. einsetzbar nach DIN 18800-1 (1981-03), Festigkeitsklassen 4.6, 5.6 und 10.9).

zu 3.3.3.3 Schweißverbindungen

zu (1)

Bereits seit den 1930er-Jahren bestand nach DIN 4100 und DIN 4101 die Forderung, dass Schweißarbeiten nur durch geprüfte Schweißer ausgeführt werden dürfen. Im Rahmen der Schweißerprüfung wurde u. a. über Zugversuche an Stumpfnaht-Prüfstücken nachgewiesen, dass die Schweißverbindung an einem St 37 analog dem Grundmaterial mindestens eine Zugfestigkeit von 370 N/mm² und bei einem St 52 von 520 N/mm² aufweist. Die verwendeten Schweißzusätze mussten dabei den Gütevorschriften nach DIN 1913 entsprechen. Die Übereinstimmung mit der DIN 1913 war durch Prüfzeugnisse einer amtlich anerkannten Prüfstelle zu belegen.

Ab den 1960er-Jahren wurden weitere Gütevorschriften für Schweißzusatzwerkstoffe und Schutzgase eingeführt. Das waren im Wesentlichen die DIN 8557, DIN 8559 sowie das Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 880 mit Erstausgabe 1959.

Für ggf. anzutreffende Schweißungen, die vor 1930 ausgeführt wurden, können keine allgemein gültigen Aussagen getroffen werden. Diese Schweißungen müssen vom planenden Ingenieur im Einzelfall bewertet werden. Wenn immer möglich, wird eine Probenentnahme für Zugversuche (z. B. Minizugproben) empfohlen.

zu 3.3.4.1 Probenentnahme

zu (1)

Probenanzahl und Lage der Entnahmestellen sind vom zuständigen Ingenieur im Einzelfall festzulegen. Eine Entnahme der Probe mithilfe eines Brennschneiders ist aufgrund der Wärmeeinbringung und der dadurch resultierenden Aufhärtung sowie der deutlichen Zunahme der Kerbschärfe durch die Brennkanten abzu-

lehnen. Vorab ist zu prüfen, ob die Probekörper unter den vorhandenen Beanspruchungen entnommen werden können oder ob eine Entlastung stattfinden muss. Spannungsarme Bereiche sind zu bevorzugen. Die Entnahmestellen sind nach der Probenentnahme gegen Korrosion zu schützen bzw. zu verschließen. Wenn aufgrund von Vorschädigungen Profile ausgetauscht werden müssen, bieten sich diese für die Gewinnung der Probestücke an.

Bei der Materialentnahme und Versuchsplanung ist darauf zu achten, dass nach den Kerbschlagbiegeversuchen für die Sprödbruchbewertung nach Stufe I (vgl. Abschnitt 4.1.1) genügend Restmaterial verbleibt, um bei Bedarf Probekörper für die Bestimmung der Bruchzähigkeit nach Stufe II fertigen zu können.

Steht am Bauwerk nur wenig Material für eine Entnahme zur Verfügung, z. B. wenn nur Bohrkernentnahmen möglich sind, ist es ggf. sinnvoll, auf die Stufe I (Abschnitt 4.1.1) zu verzichten und das Material für die Herstellung von Probekörpern für die bruchmechanischen Versuche nach Stufe II (Abschnitt 4.1.2) zu nutzen.

In Anlage 3 sind mögliche Anordnungen von Probekörpern bei Bohrkernentnahmen dargestellt.

Bei der Versuchsplanung von Bohrkernentnahmen ist zu definieren, ob die Kerne mit oder ohne Zentrierbohrung erbohrt werden sollen/können, da das auf die Probenanordnung bzw. die erforderliche Bohrkerngröße Einfluss hat.

zu (2)

Eine Übertragung der Versuchsergebnisse zwischen Blechen und Walzprofilen sollte nicht erfolgen, da diese mit hoher Wahrscheinlichkeit aus unterschiedlichen Stahlchargen bzw. auch aus unterschiedlichen Werken stammen. Die Ergebnisse der Materialanalyse sollten jeweils getrennt nach vorhandenen Grundgesamtheiten (Blech, Walzprofil etc.) dargestellt werden. Die Materialeigenschaften zwischen Steg und Flansch können sich deutlich unterscheiden. Die Streckgrenze und Zugfestigkeit kann im Steg deutlich höher sein als im Flanschbereich. Daher wird bei Walzprofilen eine Probenentnahme aus einem Flansch empfohlen. Seigerungszonen sind im Stegbereich ausgeprägter, sodass für die Bestimmung der Schweißseignung eine Probenentnahme aus dem Steg, kombiniert mit einem Baumannabdruck aus dem Schweißbereich, zielführend ist.

zu (3)

Stahlwasserbauverschlüsse sind unter Umständen mit unterschiedlichen Stahlsorten hergestellt worden. Weiter muss berücksichtigt werden, dass durch Kriegs- und Korrosionsschäden bereits einzelne Profile ausgetauscht sein können und nicht der Grundgesamtheit der Altstähle entsprechen müssen.

zu 3.3.4.2 Mechanische Kennwerte

zu (1)

Die Zugversuche sind nach DIN EN ISO 6892-1 durchzuführen. Mit den stichprobenhaft ermittelten mechanischen Kennwerten kann der Stahl klassifiziert werden und erlaubt dann die Verwendung der Werte nach Anlage 2 als charakteristische Materialkennwerte. Für inhomogene Altstähle ist die Ermittlung der mechanischen Kennwerte mit Hilfe von Minizugproben nicht geeignet. Es wird empfohlen, die Verwendung von Minizugproben mit einem Durchmesser < 6 mm auf beruhigt vergossene Stähle zu beschränken.

zu (2)

Für die Bestimmung der charakteristischen Streckgrenze und der Zugfestigkeit ist eine logarithmisch normalverteilte Stichprobe anzunehmen. Aufgrund der besonderen Randbedingungen (kleine Probenanzahl,

geringer Variationskoeffizient) wird für die Bestimmung der charakteristischen Streckgrenze durch Materialuntersuchung an bestehenden Stahlwasserbauverschlüssen ein Vertrauensniveau von 90 % zugrunde gelegt.

zu (3)

Der Faktor k_2 kann nach Fischer (2006) in Abhängigkeit der Probekörperanzahl für ein Vertrauensniveau von 90 % und einen Variationskoeffizienten von $V_x = 0,10$ der Tabelle 5 entnommen werden. Weicht der Variationskoeffizient deutlich von dem vorgenannten Wert nach unten ab (moderne Stähle), ist k_2 in Fischer (2006) für weitere Variationskoeffizienten ausgewertet.

zu (5)

Wird keine Differenzierung der Anforderungen vorgenommen, kann dies für eine Reihe von Konstruktionsdetails innerhalb eines Verschlusses überhöhte Anforderungen darstellen, die nicht eingehalten werden können. Eine Beurteilung der Zähigkeit über den Kerbschlagbiegeversuch ist bei Puddelstahl ungeeignet.

zu 3.3.4.3 Mindestduktilität

zu (1)

Werden die Duktilitätsanforderungen nicht erfüllt, sind die Beanspruchungen und die Beanspruchbarkeiten nach der Elastizitätstheorie zu ermitteln. Nach DIN 18800 wurde dieses Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* genannt.

zu (3)

Das geforderte Verhältnis von f_u/f_y wird für den Nachweis einer ausreichenden Rotationskapazität bei plastischen Tragwerksberechnungen und zur Sicherstellung, dass Nettoquerschnittsfließen vor Bruchversagen eintritt (siehe auch Abschnitt 4.2.7), genutzt.

zu 3.3.4.4 Chemische Zusammensetzung

zu (1)

Altstähle wurden häufig unberuhigt vergossen und weisen ausgeprägte Seigerungszone auf. Bei den Materialanalysen ist zu berücksichtigen, dass daraus z. T. erhebliche Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der Stähle zwischen Profiloberflächen und Kernbereich resultieren. Das betrifft insbesondere die Elemente Schwefel, Phosphor und Kohlenstoff.

Bei spektrometrischen Vor-Ort-Analysen an der Stahlkonstruktion können meist nur die Zusammensetzungen an den Profiloberflächen bestimmt werden. Diese Informationen liefern einen ersten Überblick und können z. B. für die Festlegung der Positionen der Materialprobenentnahmen oder zur Zuordnung der einzelnen Bauteile zu Materialchargen genutzt werden.

zu (2)

Zur Beurteilung der Schweißbarkeit von höherfesten Stahlsorten wird empfohlen, Materialanalysen durchzuführen.

zu (3)

Für unberuhigt vergossene Stähle ist eine Vermischung der Späne aus Speckschicht und Seigerungszone zu vermeiden. Bei der Verwendung eines Spektrometers bietet sich bei einer chemischen Analyse unberuhigter Stähle die Erstellung eines Tiefenprofils an. Die Funkenemissionsspektroskopie liefert bei Puddelstählen

verfälschte Ergebnisse, da bei diesem Verfahren neben dem Stahl die Schlackenzeilen übermäßig stark angeschmolzen werden und die Analysewerte deren Gehalt an Begleitelementen ebenfalls beinhalten.

Zu 4 Tragfähigkeitsbewertung

zu (1)

Für den Nachweis der Tragfähigkeit bestehender Stahlwasserbauverschlüsse gilt DIN EN 1993 mit den ergänzenden und abweichenden Regelungen der DIN 19704 und des vorliegenden Merkblattes. Vor Beginn der statischen Bewertung sind die erforderlichen Nachweise der Grenzzustände festzulegen. Die Lagesicherheit von Verschlüssen wird beispielsweise für unbeabsichtigtes Aufschwimmen, selbstständiges Öffnen oder eine ausreichende Schwimmstabilität nachgewiesen. Für den Nachweis der Auftriebssicherheit sind die Teilsicherheitsbeiwerte der DIN EN 1990/NA (2010-12), Tabelle NA.A.1.2(A) anzuwenden. Für die Nachweise der Auftriebssicherheit von Schiebetoren im Hochwasserfall gilt DIN 19704.

zu 4.1 Sprödbbruchbewertung

zu 4.1.1 Stufe I: Bewertung über die vorhandene Kerbschlagarbeit

zu (1) und (2)

Für die Bewertung nach Stufe I wurde die Tabelle 6 in Anlehnung an DIN EN 1993-1-10 (2010-12), Tabelle 2.1, erstellt. Die dort aufgeführten Zahlenwerte wurden übernommen und ergänzt.

(Anmerkung: In DIN EN 1993-1-10 (2010-12) ist das Verfahren zur Auswahl der Stahlsorten im Hinblick auf die Bruchzähigkeit für geschweißte Neukonstruktionen aus modernen Stählen geregelt. Ergänzende Detailinformationen enthalten die Hintergrundberichte zum Eurocode 3. Diese sind unter der Internetadresse <https://ec.europa.eu/jrc/en/search/site/eurocode> einsehbar.)

Die zur Ermittlung der Tabellenwerte der DIN EN 1993-1-10 (2010-12), Tabelle 2.1 für moderne Stähle verwendete Korrelation zwischen Zähigkeit und Kerbschlagarbeit kann eigentlich nicht direkt auf Altstähle übertragen werden. Die Übertragung der Tabellenwerte von modernen Stählen auf Altstähle, die sich in ihren Eigenschaften von modernen Stählen mehr oder wenig deutlich unterscheiden, wurde trotzdem vorgenommen, um eine einfache erste Bewertungsstufe zu entwickeln. Diese soll eine „Vorsortierung“ alter Stahlwasserbauverschlüsse hinsichtlich Sprödbbruchgefährdung ermöglichen.

Es steht derzeit keine ausreichenden Untersuchungs- bzw. Datenbasis zur Verfügung, um für Altstähle eine ähnlich aufgebaute und unabhängige Bewertungstabelle zu schaffen, der eine altstahlspezifische Korrelation zwischen Zähigkeit und Kerbschlagarbeit zugrunde liegt.

zu (3)

Die Sprödbbruchbetrachtung ist mit den Spannungen durchzuführen, die gleichzeitig mit der niedrigsten Bauteiltemperatur zu erwarten sind.

zu (4)

Die Bewertung erfolgt für die niedrigste Bauteiltemperatur, die bei Nutzung des Verschlusses auftreten kann. Bei der Festlegung der niedrigsten Bauteiltemperatur können die Einsatzbedingungen, wie z. B. Lage im Bauwerk oder saisonale Einsätze, berücksichtigt werden. Werden Temperaturerhöhungen aufgrund saisonaler Einsätze berücksichtigt, sind die Grenzwerte in der Betriebsanweisung eindeutig darzustellen.

zu 4.1.2 Stufe II: Bruchmechanische Methode

zu (1)

Für die Begutachtung und Bewertung von Stahlkonstruktionen stellt die bruchmechanische Bewertung eine hilfreiche und bei Altstählen erforderliche Methode zur Abschätzung der Sprödbbruchneigung und Rissentwicklung dar. Im ersten Schritt der Stufe II sollten die für die Sprödbbruchbeurteilung kritischen Konstruktionsdetails sowie die dafür anzusetzenden Fehlermodelle und Anfangsriszlängen ermittelt werden. Unter Verwendung eines angenommenen konservativen Werkstoffkennwertes ($J_c = 10 \text{ N/mm}$) kann ein erster Berechnungsgang für verschiedene Laststufen durchgeführt werden. Bei diesen Berechnungen wird erkennbar, welche Details für die Nachweise maßgeblich werden und von welchen Bauteilen bzw. Positionen Materialproben entnommen werden sollten, um die tatsächlichen Materialkennwerte über bruchmechanische Versuche zu bestimmen.

Nach der Entnahme von Materialproben und der experimentellen Ermittlung der bruchmechanischen Werkstoffkennwerte können die bauteilscharfen Berechnungen durchgeführt werden. Als Prüftemperatur für bruchmechanische Versuche ist die erwartete niedrigste Bauteiltemperatur zu verwenden.

zu (4)

Stabquerschnitte alter Nietkonstruktionen wurden für die zu erwartende Beanspruchung aus einzelnen Lamellen zusammengesetzt, bis eine ausreichende Gesamttragfähigkeit des Querschnitts erreicht wurde (z. B. bei Wehrverschlüssen und Hochwassersperrtoren in Fachwerkbauweise). Somit wurden der Querschnitt und die Anzahl der Lamellen dem Kraftverlauf individuell angepasst. Querschnitte mit einer hohen Lamellenanzahl verhalten sich im Vergleich zu Querschnitten, die aus wenigen Lamellen zusammengesetzt wurden, robuster. Die Spannungserhöhung im Querschnitt fällt bei Rissbildung einer einzelnen Lamelle prozentual geringer aus. Bleibt die Spannung im Querschnitt auch nach Ausfall einer Lamelle unter der angegebenen Größe, wird von einer ausreichenden Querschnittsrobustheit ausgegangen.

zu (5)

Bei Anwendung der Bruchmechanik muss das Bauteil zugänglich und überprüfbar sein. Bei dicken und auch weichen Beschichtungen kann eine Rissfindung deutlich erschwert bis unmöglich werden.

zu (6)

Eine Verminderung der Beanspruchung hat einen deutlichen Einfluss auf die Risswachstumsgeschwindigkeit. Diese Möglichkeit ist jedoch bei Stahlwasserbauverschlüssen (z. B. durch die erforderliche Stauhaltung) in der Regel nicht gegeben.

zu 4.1.3 Stufe III: Experimenteller Nachweis

zu (1)

Allgemeine Hinweise zum Entwurf und zur Herstellung der Probekörper sowie zur Einbringung des Fehlers und zur Durchführung der Versuche können Kühn (2005) entnommen werden.

zu 4.2 Statische Bewertung

zu 4.2.1 Bemessungssituationen

zu (2)

Einwirkungen aus der Temperatur sind zu berücksichtigen, wenn dadurch für stabilitätsgefährdete Bauteile Zwangsspannungen entstehen können.

zu 4.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte (STR)

zu 4.2.2.1 Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen

zu (1)

Für den Nachweis der Lagesicherheit gelten die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIN EN 1990 (2010-12).

zu (2)

Bei der Ermittlung des Eigengewichts durch die genaue Auswertung der Stücklisten bzw. der Bestandspläne inklusive der Verbindungsmittel, Aussteifungs- und Beibleche und einer Verifizierung der Profil- und Querschnittsabmessung vor Ort darf $\gamma_G = 1,2$ in der ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation und $\gamma_{G,A} = 1,1$ in der außergewöhnlichen Bemessungssituation angenommen werden.

Wenn keine kontinuierliche Säuberung und Eisfreihaltung gesichert werden kann, wird eine Reduzierung des Teilsicherheitsbeiwertes nicht empfohlen. Dies gilt insbesondere bei offenen Verschlüssen wie Riegel und Fachwerkkonstruktionen, in denen eine Erhöhung des Gewichtes durch Geschwemmsel, Eis, Schlick etc. sehr wahrscheinlich ist.

Bei sehr genauer Ermittlung des Eigengewichts durch Wägung oder durch Messung der Antriebskräfte, die einen eindeutigen Rückschluss auf das Eigengewicht der Konstruktion erlauben, kann der Teilsicherheitsbeiwert auf minimal $\gamma_G = 1,1$ reduziert werden. Der oben genannte Zuschlag von 10 % ist in diesem Fall nicht zu berücksichtigen.

zu (3)

Die Nutzung des Beiwertes für die Einwirkungen in den ständigen Bemessungssituationen $K_{FI} = 0,9$ ist an die Merkmale der Zuverlässigkeitsklasse RC1 gebunden und bietet somit eine Differenzierung der Zuverlässigkeit. Der Faktor K_{FI} ist „nur auf Einwirkungen mit ungünstigen Auswirkungen anzuwenden“ (Pertermann et al. 2012).

zu 4.2.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte für die Beanspruchbarkeit

zu (1)

Für die Festlegung des Teilsicherheitsbeiwertes $\gamma_{M0,alt}$ ist die Streuung der Streckgrenze und für $\gamma_{M2,alt}$ die Streuung der Zugfestigkeit maßgebend, die über den Variationskoeffizienten abgebildet werden kann.

zu (3)

Für Querschnittsnachweise ($\gamma_{M0,alt}$), Stabilitätsnachweise ($\gamma_{M1,alt}$) und Bruchversagen ($\gamma_{M2,alt}$) werden unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte definiert. Durch den im Vergleich zum Stahlhochbau höheren Teilsicherheitsbeiwert für Querschnittsnachweise werden im Stahlwasserbau die gleichen Teilsicherheitsbeiwerte

für Stabilitätsnachweise angenommen. Querschnittsnachweise, die mit Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung geführt werden, gelten als Stabilitätsnachweise und sind mit $(\gamma_{M1,alt})$ zu führen.

zu (4)

Die Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte der letzten Zeile der Tabelle 7 erfolgt in Anlehnung an Tabelle 6 der DIN 19704-1 (2014-11) und für die außergewöhnliche Bemessungssituation in Anlehnung an DIN EN 1993-1-1/NA (2017-9).

zu 4.2.3 Modellbildung

zu (1)

Durch eine möglichst realitätsnahe Tragwerksmodellierung (Berücksichtigung der realen Bauteilsteifigkeiten) können Tragfähigkeitsreserven und Tragfähigkeitsdefizite nachgewiesen und beurteilt werden. Das ursprünglich der statischen Berechnung zugrunde gelegte Modell ist zu plausibilisieren und wenn erforderlich neu zu modellieren. Insbesondere bei Fachwerkstrukturen von Wehrverschlüssen können sich durch Berücksichtigung der angeschlossenen Stauwand und des anschließenden Fachwerks deutlich andere Beanspruchungen der Hauptträger im Vergleich zur Ursprungsstatik einstellen. Häufig ist die Stauwand für die örtliche Wasserdruckaufnahme und nicht für eine Beteiligung am Gesamlastabtrag dimensioniert worden. In diesem Fall bietet es sich an, das Haupttragssystem als Trägerrost (gegebenenfalls mit mitragenden Breiten der Stauwand) nachzuweisen.

zu (4)

Die aufgebrachten Spannungsschwingbreiten haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit. Eine Untersuchung, die sich nur auf die Fachwerkstäbe beschränkt, ist insbesondere für die Ermüdungsbetrachtung nicht ausreichend, da die höchsten Beanspruchungen häufig im Anschlussbereich (Knotenbleche) auftreten. Daher sind für die Ermittlung der Ermüdungsbeanspruchungen und Bauteilverformungen räumliche Tragwerksmodelle ohne Vereinfachung von beispielsweise gelenkigen Anschlüssen zur Erfassung der Nebenspannungen zu modellieren. Eine Berechnung des statischen Systems erfolgt in der Regel an einem FE-Modell.

zu (5)

Eine Durchführung von Tragwerksmessungen unter Gebrauchslasten zur Kalibrierung der Systemannahmen ist häufig im Rahmen einer Trockenlegung möglich. Statische Modelle können nach Mensinger et al. (2014) nur sinnvoll an Stellen geringer Diskontinuitäten kalibriert werden (z. B. außerhalb von Knotenblechen).

zu 4.2.4 Imperfektionen

zu (1)

Die Knickspannungslinien, die bei der Anwendung des Ersatzstabverfahrens zur Anwendung kommen, enthalten Ansätze für geometrische Ersatzimperfektionen (Sedlacek 2003). Die reine geometrische Imperfektion wird nur bis zu einem Stich von $l/1000$ über die Knickspannungslinien berücksichtigt.

zu (2)

Werden die Bauteile nicht mit dem Ersatzstabverfahren nachgewiesen, sind Bauteilimperfektionen zu berücksichtigen (Stroetmann und Lindner 2010). Als **globale Imperfektion** kann die „Anfangsschiefstellung“ des unbelasteten Gesamtsystems angesehen werden. Die Ansätze zur globalen Anfangsschiefstellung der DIN EN 1993-1-1 (2010-12), Abs. 5.3.2 sind von der Größe und den Systemannahmen auf Stützenkonstruktionen

des Hochbaus ausgerichtet und selten auf die Randbedingungen des Stahlwasserbaus übertragbar. Imperfektionen sind möglichst wirklichkeitsnah anzunehmen. Durch eine Bauwerksvermessung vor Ort kann die tatsächlich vorhandene Verformung aufgenommen und der Ansatz globaler Vorverformungen am unbelasteten Verschluss verifiziert werden.

Als **lokale Imperfektion** kann die Vorkrümmung von Bauteilen angesehen werden. Bei einer elastischen Querschnittsausnutzung können die Bemessungswerte der Vorkrümmung DIN EN 1993-1-1/NA (2017-9) entnommen werden. Die Werte beinhalten einen rein geometrischen Anteil von $l/1000$ sowie einen wesentlich größeren Anteil für strukturelle Imperfektionen. Für die Anwendung des allgemeinen Verfahrens für Knick- und Biegeknicknachweise nach DIN EN 1993-1-1 (2010-12), 6.3.4 sind Effekte aus Imperfektionen und Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen, die in der Regel an einem FE-Modell zu ermitteln sind. Globale und lokale Ersatzimperfektionen, die bei einer Berechnung mit der Finite-Element-Methode angesetzt werden dürfen, sind in im Anhang C der DIN EN 1993-1-5 (2010-12) angegeben.

zu (3)

Ersatzimperfektionen sollen sowohl strukturelle Imperfektionen (Eigenspannung, Festigkeitsverteilung) als auch geometrische Imperfektionen (Schiefstellungen, Vorkrümmungen) abdecken. Es ist deshalb nicht ausreichend, allein die am Bauwerk gemessenen Abweichungen als Ersatzimperfektionen anzusetzen, da sonst die strukturellen Imperfektionen nicht berücksichtigt würden. Daher sind die eingepprägten Vorkrümmungen (lokale Imperfektionen) gemäß DIN EN 1993 anzusetzen, auch wenn die Vorkrümmungen der Einzelstäbe vor Ort geringer sind.

Imperfektionen, die aus einer Anfahrung, Kriegseinwirkung usw. entstanden sind, müssen, wenn die Bauteile nicht ausgetauscht werden, bei der Bewertung Berücksichtigung finden. Wehrverschlüsse mit großen Stützweiten wurden gelegentlich mit einer Vorverformung in Richtung Oberwasser ausgebildet, um unter vollem Wasserdruck die Durchbiegung zu reduzieren und die Dichtheit des Verschlusses zu gewährleisten.

zu (4)

Der Ansatz von Ersatzimperfektionen darf die Auslastung des Tragwerks aus äußeren Lasten nicht reduzieren. Die größten Druckkräfte treten in der Regel unter vollem Wasserdruckansatz auf. Die damit einhergehende Verformungsfigur kann Hinweise auf die maßgebende Richtung für den Ansatz der Imperfektion liefern. Ist die maßgebende Richtung vorab nicht eindeutig erkennbar, ist die Richtung der Ersatzlast zu variieren.

zu 4.2.5. Nachweis der Stabilität

zu 4.2.5.1 Biegeknicken

zu (1)

Je größer die Querschnittsfläche, desto größer ist der Schlankheitsgrad und somit die Knickabminderung. Daher ist nach DIN EN 1993-1-1 (2010-12) der Trägheitsradius unter Verwendung des Bruttoquerschnitts zu ermitteln. Für die Ermittlung von $N_{pl,d}$ ist bei Querschnitten der Klasse 4 die wirksame Querschnittsfläche A_{eff} zu berücksichtigen.

zu (2)

Mit der in Anlage 2 angegebenen Streckgrenze und dem dort angegebenen E-Modul ergibt sich:

$$\lambda_{1,\text{alt}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{200000}{220}} \approx 95$$

zu (3)

Die Bezugsschlankheit ist die Schlankheit, bei der unter Annahme der Euler-Hyperbel die Knickspannung die Streckgrenze erreicht. Daher ist die Bezugsschlankheit auf die vorhandene Streckgrenze anzupassen. Mit den in Anlage 2 angegebenen Streckgrenzen und dem dort angegebenen E-Modul ergibt sich:

$$\lambda_{1,\text{St37}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \approx 94 \quad (\text{St 37, S235, Flusstahl, Flusseisen ab 1900})$$

$$\lambda_{1,\text{St42}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \approx 88$$

$$\lambda_{1,\text{St48}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \approx 83$$

$$\lambda_{1,\text{St52}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \approx 76$$

zu (4)

Neben der Querschnittsform soll mit der Wahl der Knickspannungslinie die Verteilung der Eigenspannungen im Querschnitt berücksichtigt werden (Hirt et al. 2007). Querschnitte ohne Eigenspannungen oder mit Zugeigenspannungen werden der Knicklinie a zugeordnet. Für genietete Bauwerksteile mit geringen Eigenspannungen und symmetrischem Querschnitt wird in Brühwiler und Hirt (2010) die Verwendung der höchsten Knickspannungskurve angegeben. Querschnitte mit Druckeigenspannungen in der maßgebenden Randfaser sowie Querschnitte mit Flanschdicken > 40mm werden der Knicklinie c bzw. Knicklinie d zugeordnet.

Für druckbeanspruchte Stäbe, die vor der Einführung des ω -Verfahrens (1925) bemessen wurden, kann bei Schlankheiten $\lambda < 100$ keine ausreichende Knicksicherheit vorliegen.

zu (5)

Die Einhaltung der grundlegenden geometrischen Toleranzen ist die Basis der nach DIN EN 1993-1-1 (2010-12) ermittelten Tragfähigkeiten. Bei der Tragwerksbemessung wird die Einhaltung der grundlegenden geometrischen Toleranzen vorausgesetzt. Für druckbeanspruchte Bauteile wird in DIN EN 1090-2 (2011-10), Anhang D als zulässige Abweichung von der Gradheit L/750 genannt.

Sind aufgrund von vorhandenen Ausmitten Biegebeanspruchungen zu berücksichtigen, ist die Tragfähigkeit über einen Interaktionsnachweis für Druck und Biegung nachzuweisen. Unter Beachtung der Anwendungsgrenzen können nach Greiner et al. (2011) auch einfach symmetrische Querschnitte mit dem Ersatzstabverfahren nach DIN EN 1993-1-1 (2010-12), 6.3.3 nachgewiesen werden.

zu (6)

Knicklängen können in Abhängigkeit des Tragsystems und der Knotenverschiebung die Systemlänge deutlich übertreffen. Weiter kann die Knicklänge in Abhängigkeit der Anschlusssteifigkeit geringer als die Systemlänge ausfallen. Daher sind bei Anwendung der Ersatzstabnachweise die Knicklängen aus der Knickfigur des Gesamttragwerks zu ermitteln.

zu (7)

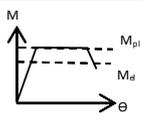
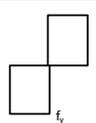
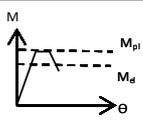
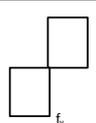
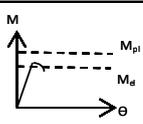
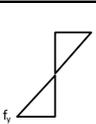
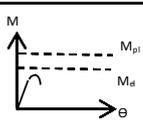
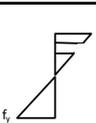
Unter Ansatz von Imperfektionen können die Stabilitätsnachweise ohne Nutzung der Ersatzstabverfahren direkt mit einem Nachweis nach Theorie II. Ordnung geführt werden.

zu 4.2.5.3 Beulen

zu (1)

Der Nachweis über die Querschnittsklassifizierung nach DIN EN 1993-1-1 (2010-12), Tabelle 5.2 stellt einen vereinfachten Beulnachweis unter Normalspannungen dar. Die Einstufung zeigt an, ob die Beanspruchbarkeiten elastisch oder plastisch ermittelt werden dürfen (siehe Tabelle 10) und ob detaillierte Beulnachweise (QK 4) erforderlich werden.

Tabelle 10: Querschnittsklassifizierung und zulässige Bemessungsverfahren

Querschnittsklasse	Momenten-Rotations-Verlauf	Spannungsverlauf über den Querschnitt	Rotationsfähigkeit	Ermittlung der Beanspruchung	Ermittlung der Beanspruchbarkeit	Anmerkungen
1			+	plastisch	plastisch	Erreicht das volle plastische Moment und kann durch hohe Rotationsfähigkeit Fließgelenke ausbilden (P-P)
2			o	elastisch	plastisch	Erreicht das volle plastische Moment und kann durch die geringe Rotationsfähigkeit keine Fließgelenke ausbilden (E-P)
3			-	elastisch	elastisch	Erreicht das elastische Moment ohne Beulen von Querschnittsteilen, das plastische Moment kann nicht erreicht werden (E-E)
4			-	elastisch	elastisch, mit effektivem Querschnitt	Erreicht nicht das elastische Moment durch vorheriges lokales Beulen von Querschnittsteilen

Die Einhaltung der c/t -Grenzwerte für Querschnittsklasse 1 und 2 sind nur für die Tragwerksbereiche einzuhalten, in denen plastische Querschnittsreserven ausgenutzt werden sollen. Die Grenzwerte zur Querschnittsklassifizierung nach DIN EN 1993-1-1 (2010-12), Tabelle 5.2 sollen bei der Überarbeitung des EC angepasst werden. Die angepassten Grenzwerte sind in Kuhlmann et al. (2014) dargestellt.

zu (2)

Für das Stegblech darf bei zweiseitig angebrachten Winkeln die Beulfeldbreite c zwischen den oberen und unteren Winkeln angenommen werden. Bei einseitig angebrachten Winkeln ist die Beulfeldbreite c zwischen den Nieten anzunehmen. Bei genieteten Konstruktionen sind gelenkig gelagerte Beulfeldränder anzunehmen. Hinweise für die Bewertung des lokalen Beulens zwischen den Verbindungsmitteln kann den Anmerkungen zu Tabelle 3.3 der DIN EN 1993-1-8 (2010-12) entnommen werden.

zu (3)

Der Streckgrenzenbeiwert berücksichtigt den Einfluss der Streckgrenze auf die Beultragfähigkeit. Sind Stähle mit Streckgrenzen $> 235 \text{ N/mm}^2$ verwendet worden oder sollen über Materialanalysen höhere Streckgrenzen als 235 N/mm^2 für die Bemessung in Ansatz gebracht werden, ist der Streckgrenzenbeiwert anzupassen.

zu (4)

Insbesondere dann, wenn höhere Spannungen im Vergleich zu den zulässigen Spannungen der Ursprungsstatik in Ansatz gebracht werden sollen oder die Bauteile nicht mehr die planmäßigen Querschnittswerte aufweisen, ist eine Bewertung der Beultragfähigkeit vorzunehmen.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit dürfte die elastisch-plastische Wirkung von Schubverzerrungen bei plattenförmigen Bauteilen angenommen werden (DIN EN 1993-1-5 (2010-12), Abschnitt 3.3.). Um den Berechnungsaufwand in Grenzen zu halten, sollten die Berechnungen mit elastischen Schubverzerrungen geführt werden, da beispielsweise für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit die mittragenden Breiten unter Ansatz elastischer Schubverzerrungen zu ermitteln sind (DIN EN 1993-1-5 (2010-12), Abschnitt 3.2.1) und somit keine unterschiedlichen Systemannahmen getroffen werden müssen.

zu (6)

Diese Nachweismethode geht über die konventionellen Bemessungsmethoden hinaus und ist für die gutachterliche Arbeit vorgesehen. Mit diesem Nachweisverfahren können durch Lastumlagerungen plastische Systemreserven genutzt werden. Die geometrisch und materiell nichtlineare Analyse mit Imperfektionen (GMNIA) bildet die elastisch-plastische Beullast der imperfekten Struktur ab. Als Grenzzustandskriterium wird für den Maximalwert der Hauptmembrandehnung in DIN EN 1993-1-5 (2010-12), Anhang C ein Wert von 5 % empfohlen. Für Stähle mit geringer Duktilität sollte der Maximalwert der Hauptmembrandehnung auf 20 % der vorhandenen Bruchdehnung beschränkt werden.

zu 4.2.6 Anschlüsse und Verbindungsmittel

zu (1)

DIN EN 1993-1-8 (2010-12) gilt für die Bemessung von Anschlüssen unter vorwiegend ruhender Belastung. Die Nachweise erfolgen auf dem Niveau der Zugfestigkeit (f_u -Niveau). Für ermüdungsbeanspruchte Bauteile sind ergänzende Nachweise nach DIN EN 1993-1-9 (2010-12) unter Beachtung des folgenden Abschnitts 4.3 zu führen.

zu (2)

Neben der großen Streuung der Nietvorspannung haben die Oberflächenbeschichtung und eine mögliche Unterrostung Einfluss auf das Tragverhalten von Nietverbindungen an Stahlwasserbauverschlüssen. Konservativ wird deshalb bei der Nachweisführung auf den Ansatz der Vorspannkkräfte mit einer Kraftübertragung über einen Reibungsansatz verzichtet.

zu (3)

Es wird davon ausgegangen, dass nach dem Setzen des Niets der volle Lochdurchmesser A_0 mit Nietmaterial ausgefüllt ist. Daher wird für den Nachweis der Abschertragfähigkeit die Nietlochfläche A_0 berücksichtigt. Die geometrischen Abmessungen sind in DIN 124 festgelegt. Die Nietdurchmesser haben sich zum Teil im Laufe der Zeit geändert (Verein deutscher Eisenhüttenleute 1949). Die Nietdurchmesser mit den dazugehörigen Sinnbildern können der DIN 407 (1928), der DIN 407 (1948), der TGL 0-407 und der TGL-13454 entnommen werden. Festgestellt werden muss, dass Sinnbilder, die auf Planunterlagen dargestellt wurden, nicht immer zu den Sinnbildern der Norm passen, wenn eine projektspezifische Darstellungsform gewählt wurde. In diesem Fall sind die Angaben auf den Planunterlagen maßgebend, die vor Ort stichprobenhaft zu kontrollieren sind.

Die Abschertragfähigkeit der Niete (ST 34) liegt nach DIN EN 1993-1-8 etwa 16 % niedriger als nach DIN 1050 bzw. DIN 19704 (1958 ff). Bei einer Nachrechnung alter Anschlüsse nach DIN EN 1993-1-8 können daher rechnerisch Defizite auftreten. Die geringeren zulässigen Beanspruchungen bestehen auch im Vergleich zur DIN 18800. Für Schrauben der Festigkeitsklasse 4.8 bis 8.8 werden in Schneider und Ungermann (2010) 14 % niedrigere Abschertragfähigkeiten ausgewiesen.

zu (4)

In Greiner et al. (2007) werden charakteristische Abscherspannungen aufgeführt, die statistisch aus historischen Nietversuchen (Rudeloff 1912 und Graf 1935) abgeleitet wurden. Mit der charakteristischen Abscherspannung $\tau_{R,k} = 260N/mm^2$ und einem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M2,alt} = 1,35$ (Flussstahl) ergibt sich ein Grenzwert für die Abschertragfähigkeit, der bei Schadensfreiheit der Konstruktion angenommen werden kann. Die so ermittelte Abschertragfähigkeit liegt in der Größenordnung der historisch angenommenen Niettragfähigkeit. Für Konstruktionen aus Schweiß- und Flusseisen, die vor 1900 hergestellt wurden, wird in ONR 24008 (2006-12) für die charakteristische Nietfestigkeit $\tau_{R,k} = 220N/mm^2$ aufgeführt.

zu (5)

Die historischen Nachweise der Lochleibungstragfähigkeit erfolgten über die Einhaltung der zulässigen Lochleibungsspannung $\sigma_{l,zul}$ und der minimal zulässigen Rand- und Lochabstände. Die Herleitung der Mindestabstände kann Schreyer et al. (1960) entnommen werden. Nach DIN EN 1993-1-8 (2010-12) werden die Rand- und Lochabstände direkt bei der Beanspruchbarkeitsermittlung berücksichtigt und vergleichsweise geringere zulässige Abstände zugelassen. Sind die historischen Abstände eingehalten, werden nach DIN EN 1993-1-8 (2010-12) keine geringeren Tragfähigkeiten im Vergleich zu den historischen Lochleibungstragfähigkeiten erwartet. Weiter wird in DIN EN 1993-1-8 (2010-12) für einschnittige, ungestützte Verbindungen mit einer Schraubenreihe eine Begrenzung der Lochleibungstragfähigkeit auf

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

gefordert. Nach historischen Regelwerken (z. B. DIN 1050) sind Anschlüsse und Stöße mit mindestens zwei Niete oder Schrauben je Querschnittsteil auszubilden, sodass die Anwendung dieses Grenzkriteriums für bestehende Stahlwasserbauverschlüsse nicht erwartet wird.

zu (6)

Nach der Sicherheitsphilosophie des EC 3 muss vor dem Bruchversagen der Nettoquerschnitt fließen. Mit Einhaltung des Duktilitätskriteriums $f_u/f_y \geq 1,1$ ist diese Anforderung erfüllt (Eichler und Feldmann 2016).

zu (7)

Ein Blockversagen ist insbesondere bei Anschlüssen mit dünnen oder angerosteten Knotenblechen nach DIN EN 1993-1-8 (2010-12), Abs. 3.10 zu bewerten. Der explizite Tragfähigkeitsnachweis von Knotenblechen war häufig nicht Gegenstand der damaligen Nachweisführung.

zu 4.2.7 Stufe I (STR): Elastische Tragwerksberechnung (E-E)

Die Beanspruchungen und die Beanspruchbarkeiten werden nach der Elastizitätstheorie ermittelt und wurden nach DIN 18800 dem Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* zugeordnet.

zu (2)

Bei einem einseitigen Korrosionsangriff sind neben dem Querschnittsverlust maßgebende Exzentrizitäten zu berücksichtigen. Eine mögliche Veränderung der Versagensform durch Querschnittsreduzierungen ist ebenfalls zu beachten.

zu (3)

Die Nachweisgleichung 6.1 der DIN EN 1993-1-1 (2010-12) lässt keine direkte Bewertung der Bauteilnutzung zu, die für die Bewertung vorhandener Stahlwasserbauverschlüsse wesentlich ist. Daher ist der Spannungsnachweis für den ebenen Spannungszustand in der vorgegebenen Form zu führen, mit der eine direkte Ausnutzung dargestellt werden kann.

zu 4.2.8 Stufe II (STR) Elastisch-Plastische Tragwerksberechnung (E-P)

Beanspruchungen werden nach der Elastizitätstheorie und die Beanspruchbarkeiten nach der Plastizitätstheorie ermittelt und wurden nach DIN 18800 dem Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* zugeordnet.

zu (1)

Um plastische Querschnittswiderstände in den Interaktionsnachweisen annehmen zu können, muss sichergestellt sein, dass der Querschnitt sich nicht durch vorheriges Beulen (örtliche Instabilitäten) der Beanspruchung entzieht. Daher ist die Anwendung des Nachweisverfahrens E-P auf die oben genannten Querschnittsklassen beschränkt (siehe Tabelle 10). Bei Nietkonstruktionen und insbesondere bei zusammengesetzten Querschnitten wird eine höhere Spannungsausnutzung durch die Anschlüsse selbst und durch die erforderliche „Verankerungslänge“ für den voll nutzbaren angeschlossenen Teilquerschnitt beschränkt. Daher ist vor Ausnutzung von plastischen Werkstoffeigenschaften eine Überprüfung der vorhandenen konstruktiven Randbedingungen erforderlich.

zu 4.2.9 Stufe III (STR) Plastische Tragwerksberechnung (P-P)

Die Beanspruchungen und die Beanspruchbarkeiten werden nach der Plastizitätstheorie ermittelt und wurden nach DIN 18800 dem Nachweisverfahren *Plastisch-Plastisch* zugeordnet.

zu (1)

Die Kennwerte (E, f_{yk}) für die Spannungsdehnungslinie sind der Anlage 2 zu entnehmen. Die Einführung eines oberen Wertes für die Streckgrenze ist vorzunehmen, wenn sich dadurch unsicherere Tragwerkszustände einstellen können. Die Anforderungen an die Querschnittsklasse am Ort der Fließgelenkbildung (QK 1) und außerhalb der Fließgelenkbereiche sind DIN EN 1993-1-1 (2010-12), Abschnitt 5.6 zu entnehmen.

zu (3)

Die maximale Grenzdehnung von $\varepsilon = 5 \%$ für moderne Stähle wurde in Anlehnung an die Empfehlungen der DIN EN 1993-1-5 (2010-12), Anhang C: Berechnung mit der Finite-Element-Methode (FEM) für maximale Hauptmembrandehnungen festgelegt. Dichtheitskriterien können im Grenzzustand (Tragwerksverformung) maßgebend sein, sodass die oben genannten Grenzdehnungen gegebenenfalls nicht erreicht werden dürfen.

zu (4)

Materialkennwerte, die aus Versuchen ermittelt wurden, dürfen als Grundlage für die Spannungsdehnungsline angenommen werden, wenn diese repräsentativ für das Bauteil oder den Verschluss sind. Das heißt, dass die ermittelten mechanischen Eigenschaften den vorhandenen Stahl ausreichend genau charakterisieren müssen.

zu (5)

Eine Berücksichtigung eines linearelastischen-idealplastischen Materialverhaltens ist insbesondere für die Bewertung von Verschlusskonstruktionen hilfreich, bei denen unter Annahme eines linearelastischen Materialverhaltens Spannungsspitzen (Hotspots) auftreten, die deutlich über die Streckgrenze hinausgehen. Durch die Berücksichtigung des plastischen Materialverhaltens können Spannungsumlagerungen stattfinden. Die sich einstellenden Fließbereiche können lokalisiert und über die sich einstellenden Stahldehnungen bewertet werden.

Zu 4.3 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

zu 4.3.1 Stufe I (FAT): Dauerfestigkeitsnachweis

zu (1)

Verschlüsse, die Ermüdungsbeanspruchungen (z. B. durch Wasserstandsänderungen beim Schleusungsvorgang) ausgesetzt sind, können bei häufigen Spannungswechseln ermüden, auch wenn der Tragfähigkeitsnachweis (STR) positiv geführt werden kann. Hinweise zu Verschlussorganen, die nicht ermüdungsbeansprucht sind, können DIN 19704-1 (2014-11), Anhang A entnommen werden.

zu (2)

Die Abgrenzkriterien nach (2) bis (4) sind hilfreich, um sich auf die maßgebenden Stellen bei der Nachweisführung beschränken zu können. Die vorgenannten Bedingungen orientierten sich am Ermüdungsfestigkeitsnachweis für den ungünstigsten vorgesehenen Kerbfall und am vollen Kollektiv. Die unter (2) genannten Spannungsschwingbreiten entsprechen dem Dauerfestigkeitswert bei $5 \cdot 10^6$ Lastspielen für einen Kerbfall 36 für geschweißte bzw. für einen Kerbfall 71 für genietete Bauteile.

zu (3)

Ist die Spannungsschwingbreite kleiner/gleich der mit einem Teilsicherheitsbeiwert reduzierten Dauerfestigkeit, wird davon ausgegangen, dass über die gesamte Lebensdauer kein Ermüdungsschaden akkumuliert wird. Wird dieses Kriterium für die Dauerfestigkeit nicht erfüllt, ist der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit auf Grundlage des Wöhlerlinienkonzeptes zu führen.

zu (5)

Für die Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit sind sowohl die bereits ertragenen Lastwechsel als auch die zukünftigen Lastwechsel zu berücksichtigen, die über eine Verkehrsprognose vom Auftraggeber vorzugeben

sind. Zur Abschätzung der vergangenen Ermüdungsbeanspruchungen können z. B. die Schleusentagebücher ausgewertet werden.

zu 4.3.2 Stufe II (FAT): Ermüdungsfestigkeitsnachweis

zu (1)

Bei einer Berechnung der verbleibenden Restlebensdauer handelt es sich um eine Abschätzung. Es ist daher zu berücksichtigen, dass der tatsächliche Risszeitpunkt später eintreten kann als der berechnete. Der Risszeitpunkt ist u. a. abhängig von der vorliegenden metallurgischen und geometrischen Kerbschärfe, der Höhe der Eigenspannungen und der Höhe der Spannungsschwingbreite sowie der Anzahl der Lastwechsel während der Nutzung des Verschlusses. Eine punktgenaue Vorhersage zum Eintritt eines Ermüdungsrisse ist daher nicht möglich. Die zur Verwendung stehenden Wöhlerlinien sind für eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 95 % ausgewiesen (Straub und Faber 2006) und die ertragbaren Spannungsschwingbreiten werden mit Teilsicherheitsbeiwerten abgemindert. Durch die mit Sicherheiten belegten Nachweisformate kann der tatsächliche Risszeitpunkt später eintreten als der berechnete. Die am statischen Modell errechneten maximalen Spannungsschwingbreiten (kritische Stellen) können durch Messungen vor Ort (Dehnungsmessungen mit DMS) präzisiert und angepasst werden.

zu (2)

Für sekundäre Bauteile eines Tragwerks, deren Ermüdungsrisse nicht zum gesamten Tragwerksversagen führen und deren Teilversagen keine Personengefährdung darstellt, darf der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Mf} = 1,15$ für niedrige Schadensfolge angenommen werden. Die Wahl der Teilsicherheitsbeiwerte in Abhängigkeit der Schadensfolge erfolgt in Anlehnung an DIN EN 1993-1-9 (2010-12), Tabelle 3.1. Die Schadensfolge „hoch“ in Tabelle 8 bezieht sich auf die Schadensfolge innerhalb der Schadensfolgeklasse CC 2, da Stahlwasserbauverschlüsse in der Regel für die Schadensfolgeklasse CC 2 gemäß DIN EN 1990 (2010-12) zu klassifizieren sind.

zu (5)

Kerbfälle, die nicht in DIN EN 1993-1-9 aufgeführt werden, können weiteren Regelwerken und der Fachliteratur entnommen werden. Eine Bestimmung der Ermüdungsfestigkeit von Konstruktionsdetails durch experimentelle Untersuchungen mit Zuordnung zu einem entsprechenden Kerbfall ist möglich. Bei der Verwendung von Kerbdetails ist eine alleinige geometrische Zuordnung nicht ausreichend. Ebenfalls muss die Beanspruchungsrichtung der Richtung entsprechen, die auch dem Versuch zur Bestimmung der Wöhlerlinie des Kerbdetails zugrunde lag.

Den Kerbfallzuordnungen der DIN EN 1993-1-9 liegen Spannungsverhältnisse aus dem Zug-Schwell-Bereich zugrunde. Der Mittelspannungseinfluss für Schweißkonstruktionen bleibt nach DIN EN 1993-1-9 unberücksichtigt. Um günstig wirkende Druckspannungen berücksichtigen zu können, kann unter der Annahme mittlerer Eigenspannungen für den Nachweis von Bauteilen im Druck-Schwell-Bereich der Faktor $f(R) = 1,3$ zur Erhöhung der Kerbfallklasse nach (Hobbacher 2016) angewendet werden. Die Abknickpunkte und Neigungen der Wöhlerlinien bleiben erhalten. Eine Erhöhung der Kerbfallklasse und eine Abminderung des Teilsicherheitsbeiwertes γ_{Mf} für Stauwände im Druckschwellbereich gemäß DIN 19704-1 (2014-11) ist nur zulässig, wenn das Stauwandblech als sekundäres Bauteil eingestuft werden kann.

zu (6)

Für genietete Konstruktionen gibt DIN EN 1993-1-9 keine Kerbfälle an. Der Kerbfall 71 stellt für schadensfreie Nietkonstruktionen und ohne Differenzierung der Konstruktionsdetails eine konservative Annahme dar.

Genietete Konstruktionsdetails können beispielsweise der SIA 269/3 (2011), Tabelle 13 oder (Greiner et al. (2007), Tabelle 6 entnommen werden. In den vorgenannten Literaturstellen wird für genietete Konstruktionsdetails eine Wöhlerlinienneigung von $m = 5$ angegeben. In Brühwiler und Hirt (1987) wird erwähnt, dass die Zeitfestigkeit genieteter Träger aus Flusstahl oder aus Schweißseisen vergleichbar ist. Die Spannungsdifferenzen sind am Nettoquerschnitt und bei vorhandener Abrostung am Restquerschnitt zu bestimmen. Auf eine mögliche Reduzierung der Spannungsschwingbreite gemäß DIN EN 1993-1-9 (2010-12), Abs. 7.2 bei nicht geschweißten, druckbeanspruchten Konstruktionsteilen wird hingewiesen.

zu (7)

Unter Korrosionseinfluss ist von einer reduzierten Ermüdungsfestigkeit und einem nicht vorhandenen Dauerfestigkeitsbereich auszugehen. Bei Konstruktionsdetails mit einer geringen Kerbschärfe (hoher Kerbfall) wird der Einfluss der Korrosion auf die Ermüdungsfestigkeit höher eingeschätzt als bei Details, die aufgrund der Konstruktionsart schon eine hohe Kerbschärfe (niedriger Kerbfall) mitbringen. Daher wird die Abminderung differenziert – in Abhängigkeit von der vorhandenen Kerbfallkategorie des nicht korrodierten Details – vorgenommen. Die Abminderung für hohe Kerbfälle wurde aus Ummenhofer et al. (2017) abgeleitet.

zu (8)

Die Kehlnähte an Lagerböcken von Stemmknaggen müssten nach DIN EN 1993-1-9 mit dem sehr ungünstigen Kerbfall 36* nachgewiesen werden. Die Einschätzung dieser Kerbschärfe wurde aus zugbeanspruchten Kehlnähten abgeleitet. Durch die im Auftrag der BAW durchgeführten Versuche (Kuhlmann und Günther 2009) wurde gezeigt, dass die Ermüdungsfestigkeit der Lagerböcke unter Druckschwellbelastung deutlich höher liegt als unter einer Zugschwellbelastung. Daher wird die Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses zugelassen, sodass für den Nachweis bestehender Konstruktionen unter Druckschwellbelastungen mit KF 71 ein günstigerer Kerbfall angenommen werden darf. Eine zusätzliche Erhöhung der Wöhlerlinie gemäß (5) ist nicht zulässig, da der günstige Mittelspannungseinfluss in der durch Versuche abgeleiteten Kerbfallklasse bereits berücksichtigt ist.

zu (9)

Hinweise zur Bewertung von nicht periodischen Ermüdungsbeanspruchungen können dem BAW-Brief Nr.1 (2001-11) entnommen werden.

zu 4.3.3 Stufe III (FAT): Bruchmechanik Konzept

zu (1)

Bei Konstruktionen, die bereits gerissen sind, ist die bruchmechanische Bewertung ergänzend zu den Festigkeitsnachweisen vorzunehmen (Ermittlung der kritischen Risslänge und des Bruchverhaltens). Der bruchmechanische Nachweis ersetzt somit nicht die Festigkeitsnachweise der unbeschädigten Konstruktionsteile. Selbst nach Ablauf der theoretischen Ermüdungsfestigkeit und einem Anriss kann es möglich sein, die Weiternutzung des Bauteils über bestimmte Zeiträume nachzuweisen. Die bruchmechanische Bewertungsmethode geht über die konventionellen Bemessungsmethoden hinaus und ist für die gutachterliche Arbeit vorgesehen. Für eine bruchmechanische Untersuchung ist die Risszähigkeit des Materials für die erwartete niedrigste Bauteiltemperatur zu ermitteln. Das bruchmechanische Verfahren eignet sich insbesondere dann, wenn die ertragenen Lastspielzahlen nicht mehr eindeutig rekonstruiert werden können, da der Ansatz von einem bereits angerissenen Bauteil ausgeht.

Siehe auch Erläuterungen zu 4.1.2

Zu 5 Robustheitsbewertung

zu (1)

Kann kein ausreichendes Sicherheitsniveau in allen Bauteilen nach Abschnitt 4 erreicht werden, ist der Einfluss des lokal versagten Bauteils auf die gesamte Verschlusskonstruktion zu untersuchen. Die üblichen Nachweisformate für den Nachweis von Verschlusskonstruktionen zeigen nicht, ob nach einem Bauteilausfall eine Lastumlagerung und „alternative Lastpfade“ für einen Lastabtrag zur Verfügung stehen. Daher ist eine ergänzende Robustheitsbewertung vorzunehmen, bei der die Tragfähigkeit der Konstruktion nach Ausfall der Konstruktionselemente untersucht wird. Die Annahme eines gleichzeitigen Ausfalls von mehreren kritischen Konstruktionsteilen ist in der Untersuchung nicht anzunehmen. Die Folgen lokalen Versagens werden nach DIN EN 1990 (2010-12) als außergewöhnliche Situation eingestuft (siehe Bild 8).

zu (2)

Die Ermittlung einer effektiven Tragfähigkeit des Verschlusses kann mit einer nichtlinearen Traglastanalyse erfolgen, bei der Tragwerksreserven durch Plastizierungsvorgänge mobilisiert werden.

zu (3)

Die Anpassung der Betriebsbedingung (Nutzungsaufgaben) kann die Reduzierung des Betriebs, die Einstellung des Betriebs oder die Reduzierung der Wasser-/Eisdruckbelastung bedeuten (z. B. Reduzierung der Ermüdungsbeanspruchung durch Anpassung der Klappensteuerung oder Schleusungsanzahl, Stauabsenkung, Eisfreihaltung durch Eis brechen etc.).

zu (4)

Der Schutz von Personen kann eine Absperrung des Gefahrenbereichs oder die Evakuierung des Gefahrenbereichs bedeuten.

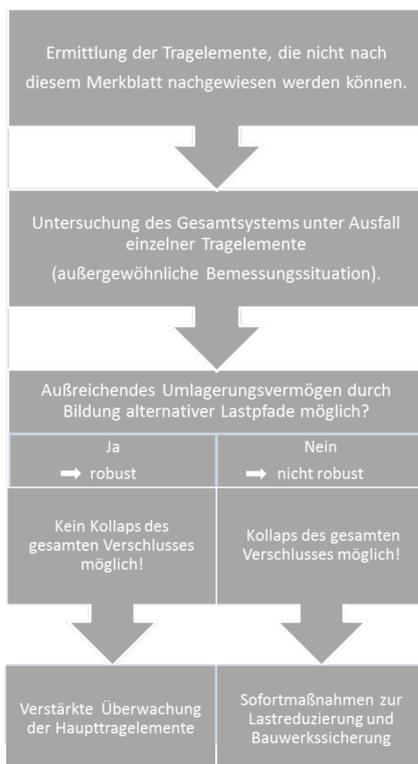


Bild 8: Robustheitsbewertung des Verschlusses

zu 6 Zusammenfassende Bewertung der Tragfähigkeit

zu (1)

Hinweise auf neuralgische Stellen der Tragkonstruktion (Detektionsbereiche) mit hohen Auslastungsgraden und erhöhtem Ermüdungsrisiko sind grafisch zu beschreiben und dem Objektverantwortlichen sowie dem Bauwerksprüfer zur Verfügung zu stellen. Die neuralgischen Stellen der Verschlusskonstruktion bezüglich der Tragfähigkeit sind nicht immer ohne Hintergrundinformation am Bauwerk zu erkennen. Daher sollten die Stellen nach Möglichkeit auch am Verschluss gekennzeichnet werden. Die Darstellung erfolgt bei ermüdungsbeanspruchten Bauteilen getrennt nach Auslastungsgraden der Querschnittstragfähigkeit und der Ermüdungsfestigkeit.

zu (2)

Neben der Benennung von Einhaltung/Nichteinhaltung der Duktilitätsanforderungen ist in Abhängigkeit der Ergebnisse der Tragfähigkeitsuntersuchung zu bewerten, ob mit einem duktilen oder spröden Tragwerksversagen gerechnet werden muss.

zu (5)

Kann keine ausreichende Ermüdungsfestigkeit nachgewiesen werden, sind in Abhängigkeit der Berechnungsergebnisse gegebenenfalls die Intervalle der Bauwerksinspektion zu verringern (< 6 Jahre), bis die Ergebnisse der bruchmechanischen Untersuchung vorliegen.

Anlage 2: Werkstoffkennwerte für Altstähle bis 1957

Zeile	Stahlgüte	Materialdicke max. t [mm]	Streckgrenze f_{yk} [N/mm ²]	Zugfestigkeit f_{uk} [N/mm ²]	Elastizitätsmodul E [N/mm ²]	Schubmodul G [N/mm ²]	Bemerkungen
1	Schweiß- / Puddelleisen bis 1900		220	320	200.000	77.000	Bestätigung der Werte an Stichproben
2	Flusseisen bis 1900		220	320	200.000	77.000	Bestätigung der Werte an Stichproben
3	Flusseisen 1900–1924 Flussstahl 1924 -1957 - Baubleche I St37.21 - Walzprofile St37.12	t ≤ 30 t > 30	235 215	335	210.000	81.000	
4	- Baubleche II St42.21 - Walzprofile St42.12 - Walzprofile St44.12	t ≤ 30 t > 30	270 250	400	210.000	81.000	Bestätigung an Stich- proben, ansonsten Werte gem. Zeile 3
5	Baustahl St48 ab1923	t ≤ 30	300	480	210.000	81.000	Bestätigung an Stich- proben, ansonsten Werte gem. Zeile 3
6	Baustahl St52 ab 1929	t ≤ 30 30 < t ≤ 60	355 335	490	210.000	81.000	Bestätigung an Stich- proben, ansonsten Werte gem. Zeile 3

Anlage 3: Anordnungen von Probekörpern bei Bohrkernentnahmen (Beispiele)

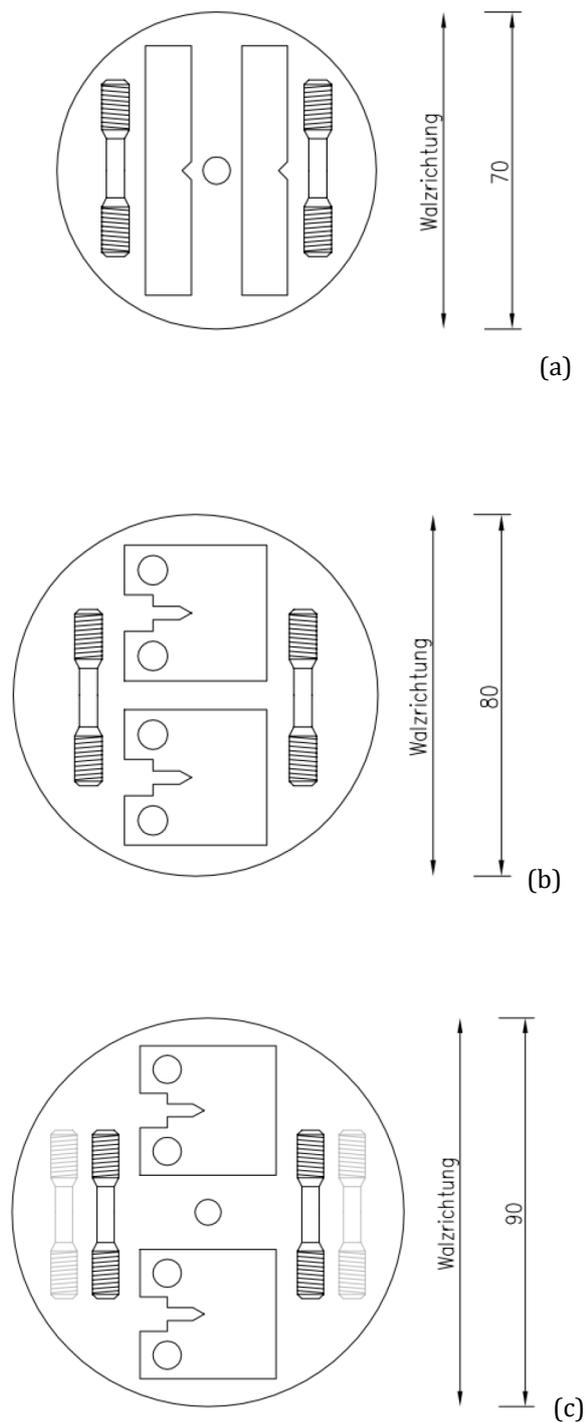


Bild 9: (a) Bohrkern mit zwei Minizugproben (BAW-Standard) und zwei Kerbschlagbiegeproben (Charpy-V),
(b) Bohrkern mit zwei Minizugproben (BAW-Standard) und zwei 0,5CT-Proben, ohne Zentrierbohrung,
(c) Bohrkern mit zwei Minizugproben (BAW-Standard) und zwei 0,5CT-Proben, mit Zentrierbohrung

**Anlage 4: Berechnungsgrundlagen für Stahl im Hochbau
Auszug DIN 1050:1934**

Zulässige Spannungen für Bauteile und Verbindungsmittel in kg/cm ²										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Verwendungsform im Bauwerk	bei Beanspruchung auf	σ/σ_{zul} bzw. τ/τ_{zul}	Bei vollwandigen Trägern, Fachwerken und Stützen aus						Werkstoff	Maßgebender Querschnitt
			St00.12 ¹⁾	Handelsbaustahl ²⁾	St37.12 ³⁾		St 52 ⁴⁾			
			und Belastungsfall							
			1 und 2	1 und 2	1	2	1	2		
a) Bauteile	Zug und Biegung σ_{zul}	1	1200	1400	1400	1600	2100	2400		
	Schub τ_{zul}	0,8	960	1120	1120	1280	1680	1920		
	Druck s. §11									
b) Nietverbindungen	Abscheren $\tau_{a,zul}$	1	1200	1400	1400	1600	-	-	Niete aus St34.13 ⁵⁾	Lochquerschnitt
			-	-	-	-	2100	2400	Niete aus St44 ⁴⁾	
	Lochleibungsdruck $\sigma_{l,zul}$	2	2400	2800	2800	3200	-	-	Niete aus St34.13 ⁵⁾	
c) Schraubenverbindungen (eingepresste Schrauben)	Abscheren $\tau_{a,zul}$	0,8	960	1120	1120	1280	-	-	Schrauben aus St 38.13 ⁶⁾	Lochquerschnitt
			-	-	-	-	1680	1920	Schrauben aus St52 ⁴⁾	
	Lochleibungsdruck $\sigma_{l,zul}$	2	2400	2800	2800	3200	-	-	Schrauben aus St 38.13 ⁶⁾	Kernquerschnitt
			-	-	-	-	4200	4800	Schrauben aus St52 ⁴⁾	
	Zug $\sigma_{z,zul}$		850	1000	1000	1100	-	-	Schrauben aus St 38.13 ⁶⁾	
			-	-	-	-	1500	1700	Schrauben aus St52 ⁴⁾	
Belastungsfall										
Ferner				1		2				
d) Schraubenverbindungen (rohe Schrauben)	Abscheren $\tau_{a,zul}$			1000		1100			Schrauben aus St 38.13 ⁶⁾	Schaftquerschnitt
	Lochleibungsdruck $\sigma_{l,zul}$			1600		1800			Schrauben aus St 38.13 ⁶⁾	
	Zug $\sigma_{z,zul}$			1000		1100			Schrauben aus St 38.13 ⁶⁾	
e) Ankerschrauben u. Ankerbolzen	Zug $\sigma_{z,zul}$			850		850			Anker aus ST00.12 ¹⁾	Kernquerschnitt
				1000		1100			Anker aus Handelsbaustahl ²⁾ u. St37.12 ³⁾	
				1500		1700			Anker aus St52 ⁴⁾	

¹⁾ St00.12 ist ein Flussstahl mit einer Höchstzugfestigkeit von 50kg/mm² und muss mit dem Fallversuch mit einem Dorndurchmesser D=4a, Biegezugwinkel 90°, genügen (DIN1612)

²⁾ Handelsbaustahl ist ein Flussstahl mit einer Mindestzugfestigkeit von 34kg/mm², einer Höchstzugfestigkeit von 50kg/mm², einer Mindestbruchdehnung von 18% am langen Normalstab und muss dem Fallversuch mit einem Dorndurchmesser D=2a, Biegezugwinkel 180°, genügen.

³⁾ St37.12 ist ein Flussstahl mit einer Mindestzugfestigkeit von 37kg/mm², einer Höchstzugfestigkeit von 45kg/mm², einer Mindestbruchdehnung von 20% am langen Normalstab und muss dem Fallversuch mit einem Dorndurchmesser D=2a, Biegezugwinkel 180°, genügen.

Bei Tragteilen aus besonders hohen Blechen ist die Festigkeit des Blechwerkstoffes nachzuweisen.

⁴⁾ St52 und St44 müssen den "Technischen Lieferbedingungen für Baustahl St52 und Nietstahl St44" der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft entsprechen und nach diesen Bedingungen abgenommen und gekennzeichnet werden. Diese Vorschriften kann vom Reichsbahn-Zentralamt für Rechnungswesen, Gruppe Drucksachen, bezogen werden.

⁵⁾ St34.13 ist ein Flussstahl mit einer Mindestzugfestigkeit von 34kg/mm², einer Höchstzugfestigkeit von 42kg/mm² und einer Mindestbruchdehnung von 25% am langen Normalstab. Der Stahl muss sich, ohne Anrisse auf der Zugseite zu zeigen, kalt zusammenschlagen lassen, bis die Schenkel flach aneinander anliegen (DIN 1613)

⁶⁾ St38.13 ist ein Flussstahl mit einer Mindestzugfestigkeit von 38kg/mm², einer Höchstzugfestigkeit von 45kg/mm², einer Mindestbruchdehnung von 20% am langen Normalstab und muss dem Fallversuch mit einem Dorndurchmesser D=0,5a, Biegezugwinkel 180°, genügen (DIN 1613).

Zulässige Spannungen für Lagerteile und Gelenke in kg/cm ²								
1	2	3	4	5	6	7	8	
bei Beanspruchung auf		Gusseisen		Stahlguss		Vergütungsstahl		
		Ge14.91 ⁷⁾		Stg52.81 S ⁸⁾		StC35.61 ⁹⁾		
		Belastungsfall		Belastungsfall		Belastungsfall		
		1	2	1	2	1	2	
Biegung	Zug	σ_{zul}	450	520				
	Druck		900	1000	1800	2000	2000	2200
Druck		σ_{zul}	1000	1100	1800	2000	2000	2200
Berührungsdruck nach den Formeln von Hertz		σ_{zul}	5000	6000	8500	10000	9500	12000
			Bei beweglichen Lagern, die mehr als zwei Walzen haben, sind diese Werte für die Walzen um 1000kg/mm ² zu ermäßigen					
Bei Gelenkbolzen darf der Lochleibungsdruck gleich der 1,3fachen zulässigen Zug- und Biegespannung der zu verbindenden Teile sein.								
⁷⁾ Ge14.91 ist ein Gusseisen mit einer Mindestzugfestigkeit von 14kg/mm ² , eine Mindestbiegefestigkeit von 28kg/mm ² und einer Mindestdurchbiegung von 7mm, gemessen am Biegestab von 600mm Stützweite (DIN1691)								
⁸⁾ Stg52.81 S ist ein Stahlguss mit einer Mindestzugfestigkeit von 52kg/mm ² , einer Mindeststreckgrenze von 25kg/mm ² und einer Mindestbruchdehnung $\delta_G=16\%$ (DIN1681)								
⁹⁾ Vergütungsstahl StC35.61 ist ein ausgeglühter Flussstahl mit einer Mindestzugfestigkeit von 50kg/mm ² , einer Höchstzugfestigkeit von 60kg/mm ² , einer Mindestdehnung von 19% am langen Normalstab, einer Mindeststreckgrenze von 28kg/mm ² , einem Kohlenstoffgehalt von $\approx 0,35\%$, einem Höchstmangengehalt von 0,8% und einem Höchstsiliziumgehalt von 0,35% (DIN 1661).								

Anlage 5: Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten
Auszug 1957

Zulässige Spannungen in kg/cm^2 für Bauteile (außer Verbindungsmittel) beim allgemeinen Spannungsnachweis und beim Stabilitätsnachweis wie in DIN 19704:1958.

Anlage 6: Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten Auszug DIN 19704:1958

Zulässige Spannungen in kg/cm² für Bauteile (außer Verbindungsmittel) beim allgemeinen Spannungsnachweis und beim Stabilitätsnachweis

Baustahl	Spannungsart	Normaler Betriebsfall	Besonderer Betriebsfall	Außergewöhnlicher Betriebsfall
St 37 ($\sigma_s=2400$)	Zug und Druck (auch bei Biegung) $\sigma_{zul}^{4)}$	1400	1600 ⁵⁾	1850
	Schub τ_{zul}	810	930	1070
St 42 ($\sigma_s=2600$)	Zug und Druck (auch bei Biegung) $\sigma_{zul}^{4)}$	1510	1730 ⁵⁾	2000
	Schub τ_{zul}	870	1000	1160
St 52 ($\sigma_s=3600$)	Zug und Druck (auch bei Biegung) $\sigma_{zul}^{4)}$	2100	2400 ⁵⁾	2800
	Schub τ_{zul}	1210	1390	1620

4) Zug- und Druckstäbe werden hinsichtlich der zulässigen Spannungen gleichgestellt, weil im Stahlwasserbau mit einer ständigen Vollbeanspruchung zu rechnen ist und die Zugglieder in der Regel unkontrollierbaren Nebeneinflüssen mit zusätzlicher Biegebeanspruchung ausgesetzt sind.

5) Bei Berücksichtigung von Schiffsstößen darf diese Spannung bis zur σ_s - Grenze überschritten werden.

Anlage 7: Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten Auszug DIN 19704:1963

Zulässige Spannungen in kp/cm^2 für Bauteile

Spannungsart	Zulässige Spannungen in kp/cm^2 für Werkstoff ⁵⁾								
	St 37			St 42			St 52		
	im Lastfall								
	NB	BB	AL ⁶⁾	NB	BB	AL ⁶⁾	NB	BB	AL ⁶⁾
Druck und Biegedruck, wenn Nachweis auf Knicken und Kippen nach DIN 4114 erforderlich ist	1400	1600	1850	1510	1730	2000	2100	2400	2800
Zug und Biegezug, Biegedruck, wenn kein Stabilitätsfall vorliegt	1600	1800	2100	1730	1950	2280	2400	2700	3150
Schub	920	1040	1210	1000	1130	1310	1390	1560	1820
Vergleichsspannung	$0,75 \cdot \sigma_s$	$0,80 \cdot \sigma_s$	$0,90 \cdot \sigma_s$	$0,75 \cdot \sigma_s$	$0,80 \cdot \sigma_s$	$0,90 \cdot \sigma_s$	$0,75 \cdot \sigma_s$	$0,80 \cdot \sigma_s$	$0,90 \cdot \sigma_s$

Es bedeuten: NB normaler Betriebsfall, BB besonderer Betriebsfall, AL außergewöhnlicher Lastfall

Anlage 8: Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten Auszug DIN 19704:1976

Zulässige Spannung in N/mm² für Bauteile

Spannungsart	Bauteile aus ⁷⁾								
	St 37			St 42			St 52		
	N/mm ²			N/mm ²			N/mm ²		
	im Lastfall								
	NB	BB	AL	NB	BB	AL	NB	BB	AL
Druck und Biegedruck, wenn ein Stabilitätsnachweis nach Abschnitt 6.4.2 erforderlich ist	140	160	185	151	173	200	210	240	280
Zug und Biegezug, Biegedruck, wenn kein Stabilitätsnachweis nach Abschnitt 6.4.2 erforderlich ist	160	180	210	173	195	228	240	270	315
Schub	92	104	121	100	113	131	139	156	182
Vergleichsspannung	180	192	216	195	209	235	270	288	324
Vergleichsspannung in der Stauwand	204	204	216	222	222	235	306	306	324

⁷⁾ Für andere Stähle und Stahlguß können die zulässigen Spannungen im Verhältnis der Streckgrenzen abgeändert werden.

**Anlage 9: Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten
Auszug DIN 19704-1:1998**

Teilsicherheitsbeiwerte γ_F und Kombinationswerte ψ für Tragsicherheitsnachweise (ausgenommen Betriebsfestigkeitsnachweise) der Stahlkonstruktionen

Nr	Einwirkungsart	Einwirkungen	Nach	Grundkombinationen		Außergewöhnliche Kombinationen Fall 3 ^{1) 2) 3)}
				Fall 1 ^{1) 3)}	Fall 2 ^{1) 3)}	
1	ständig	Ständige Einwirkungen	5.1	$\gamma_F = 1,35 \quad \psi = 1,0$		
2	veränderlich	Hydrostatische Einwirkungen	5.2.1	$\gamma_F = 1,35$ $\psi = 1,0$	$\gamma_F = 1,35$ $\psi = 0,9$	$\gamma_F = 1,35$ $\psi = 0,8$
3		Hydrodynamische Einwirkungen	5.2.2			
4		Wasserlast	5.2.3			
5		Eisauflast	5.2.4			
6		Verkehrslast	5.2.6			
7		Massenkräfte	5.2.7			
8		Änderungen der Stützbedingungen	5.2.8			
9		Eisdruck, Eisstoß	5.2.5			
10		Temperatureinflüsse	5.2.9			
11		Schiffsreibung	5.2.10			
12	außergewöhnlich	Leckwerden von Luftkammern	5.3.1			
13		Einwirkungen bei Transport-, Montage- und Reperaturzuständen	5.3.2			
14		Einwirkungen des Antriebs im Störfall	5.5			γ_F siehe Tabelle 6, $\psi = 1,0$

¹⁾ Veränderliche Einwirkungen sind als gleichzeitig auftretend nach Vorgabe des Auftraggebers nur zu berücksichtigen, wenn ihr Zusammentreffen möglich ist.

²⁾ Von den außergewöhnlichen Einwirkungen Nr 12 bis 14 braucht immer nur eine berücksichtigt zu werden.

³⁾ Gegebenenfalls vom Auftraggeber vorzugebende weitere Einwirkungen siehe 5.4

Anlage 10: Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten Auszug DIN 19704-1:2012 Entwurf

Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für die Einwirkungen auf Stahlkonstruktionen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ohne Ermüdung)

Nr	Einwirkungen	Lasten	siehe Abschnitt	Bemessungssituation		
				Ständig ^a	Vorübergehend ^a	außergewöhnlich ^{a b c}
1	ständig	Eigenlasten	5.1	$\gamma_F = 1,35$		
2	veränderlich	Hydrostatische Einwirkungen	5.2.1	$\gamma_F = 1,35$	$\gamma_F = 1,25$	$\gamma_F = 1,10$
3		Hydrodynamische Einwirkungen	5.2.2			
4		Wasserlast	5.2.3			
5		Änderungen der Stützbedingungen	5.2.8	$\gamma_F = 1,50$	$\gamma_F = 1,35$	
6		Eisauflast	5.2.4			
7		Verkehrslast	5.2.6			
8		Massenkräfte	5.2.7			
9		Eisdruck, Eisstoß	5.2.5			
10		Temperatureinflüsse	5.2.9			
11		Schiffsreibung	5.2.10			
12		Einwirkungen bei Transport-, Montage- und Instandhaltungszuständen	5.2.14			
13	außergewöhnlich	Leckwerden von Luftkammern	5.3.1		γ_F siehe Tabelle 6	
14		Lastweiterleitung von Stoßschutzeinrichtungen	5.3.2			
15		Einwirkungen des Antriebs im Störfall	5.5			

^a Veränderliche Einwirkungen sind als gleichzeitig auftretend nach Vorgabe des Auftraggebers nur zu berücksichtigen, wenn ihr Zusammentreffen möglich ist.

^b Von den außergewöhnlichen Einwirkungen Nr 13 bis 15 braucht immer nur eine berücksichtigt zu werden.

^c Gegebenenfalls vom Auftraggeber vorzugebende weitere Einwirkungen siehe 5.4

Hinweis: In Zeile 15 muss auf Tabelle 7 der DIN 19704-1:2012 Entwurf verwiesen werden.

Anlage 11: Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten Auszug DIN 19704-1:2014

Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für die Einwirkungen auf Stahlkonstruktionen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ohne Ermüdung)

Nr	Einwirkungen	Lasten	siehe Abschnitt	Bemessungssituation				
				Ständig ^a		Vorübergehend ^a		Außergewöhnlich ^{a b c}
				$\gamma_{F,sup}$	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,A}$
1	ständig	Eigenlasten	5.1	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
2	veränderlich	Hydrostatische Einwirkungen	5.2.1	1,35	1,35	1,25	1,25	1,10
3		Hydrodynamische Einwirkungen	5.2.2					
4		Wasserlast	5.2.3					
5		Änderungen der Stützbedingungen	5.2.8					
6		Eisaufflast	5.2.4	1,50	1,50	1,35	1,35	
7		Verkehrslast	5.2.6					
8		Massenkräfte	5.2.7					
9		Eisdruck, Eisstoß	5.2.5					
10		Temperatureinflüsse	5.2.9					
11		Schiffsreibung	5.2.10					
12	Einwirkungen bei Transport-, Montage- und Instandhaltungszuständen	5.2.14						
13	außergewöhnlich	Verlust des Auftriebes infolge Leckage der Luftkammer	5.3.1					$\gamma_{F,A}$ siehe Tabelle 7
14		Einwirkungen von Erdbebenkräften	5.3.3					
15		Einwirkungen des Antriebs im Störfall	5.3.2					

^a Veränderliche Einwirkungen sind als gleichzeitig auftretend nach Vorgabe des Auftraggebers nur zu berücksichtigen, wenn ihr Zusammentreffen möglich ist.
^b Von den außergewöhnlichen Einwirkungen Nr 13 bis 15 braucht immer nur eine berücksichtigt zu werden.
^c Gegebenenfalls vom Auftraggeber vorzugebende weitere Einwirkungen siehe 5.4

Teilsicherheitsbeiwerte für Querschnitte, Bauteile und Anschlüsse

a) Beanspruchbarkeit von Querschnitten und Bauteilen		
bei Zug- oder Druckbeanspruchung, falls lokales oder globales Stabilitätsversagen ausgeschlossen werden kann	γ_{M0}	1,10
bei lokalem oder globalem Stabilitätsversagen	γ_{M1}	1,10
bei Zugbeanspruchung gegenüber Bruchversagen	γ_{M2}	1,25
b) Beanspruchbarkeit von Anschlüssen		
Bruch von Schrauben, Nieten, Bolzen und Schweißnähten, Lochleibung von Blechen	γ_{M2}	1,25
Bruch geschweißter Hohlprofilfachwerkknoten	γ_{M5}	1,10
Bolzen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$\gamma_{M6,ser}$	1,00
Vorspannung hochfester Schrauben	γ_{M7}	1,10

Anlage 12: Allgemeine Baustähle, Gütevorschriften Auszug DIN 17100:1957

Gewährleistete mechanische Eigenschaften im Lieferzustand bei Raumtemperatur

Stahlsorte der Gütegruppe			Zugfestigkeit in kg/mm ² für Dicken in mm		Streckgrenze in kg/mm ² für Dicken				Bruchdehnung (L ₀ =5d ₀) in % für Dicken bis 100 mm ²⁾			Biege- winkel von 180° im Faltversuch mit Dorndurch- messer von ³⁾
1	2	3			bis 16	über 16 bis 40	über 40 bis 100	über 100	für Bleche und Breitflachstah normal geglüht, für alle anderen Erzeugnisse w armgewalzt	für Bleche und Breitflachstah w armgewalzt	über 100mm	
			bis 100	über 100	mm	mm	mm	mm				
1)	1)	1)		mind.	mindestens				mindestens			
St 33			33 bis 50	-	-	-	-	-	18 ⁴⁾	18 ⁴⁾	-	3a
St 34			34 bis 42	34	21	21	20	nach Vereinbarung	27	25	nach Vereinbarung	1a
	ST 34-2								28	26		0,5a
		St 34-3										
St 37			37 bis 45	37	24 ⁵⁾	23 ⁵⁾	22 ⁵⁾		25	23		1a
	St 37-2											
		St 37-3										
St 42			42 bis 50	42	26 ⁵⁾	25 ⁵⁾	24 ⁵⁾		22	20		2a
	St 42-2											
		St 42-3										
St 50			50 bis 60	50	30	29	28		20	18		-
	St 50-2											
		St 52-3	52 bis 62	-	36	35 ⁷⁾	34 ⁸⁾	22 ⁹⁾	22 ⁹⁾	2a		
St 60			60 bis 72	60	34	33	32	15	-	-		
	St 60-2											
	St 70-2		70 bis 85	70	37	36	35	10	-	-		

1) Zur Kennzeichnung der Erschmelzungs- und Vergießungsart müssen die Kurznamen der Stahlsorten nach Abschnitt 1.4 ergänzt werden, siehe Tabelle 2.

2) Die Werte gelten für Längsproben, bei Querproben dürfen sie um zwei Einheiten unterschritten werden.

3) a = Probendicke

4) Für Dicken bis 40mm

5) Bei Grob- und Mittelblech sowie bei Breitflachstahl dürfen die Werte für die untere Streckgrenze um 2kg/mm² niedriger, als in der Tafel angeführt, sein.

6) Eine untere Grenze von 50kg/mm² und eine obere Grenze von 64kg/mm² werden nicht beanstandet.

7) Für Dicken über 16 bis 30mm

8) Für Dicken über 30 bis 50mm; für Dicken über 50mm nach Vereinbarung

9) Für Dicken bis 50mm; für Dicken über 50mm nach Vereinbarung

Anlage 13: Allgemeine Baustähle, Gütevorschriften Auszug DIN 17100:1966

Sorteneinteilung und gewährleistete Werte für die mechanischen Eigenschaften

Stahlsorte					Mechanische Eigenschaften											
Kurzname	Werkstoffnummer	Desoxydationsart ¹⁾	Behandlungszustand ²⁾	Ähnliche Stahlsorten nach Euronorm 25 ³⁾	Zugfestigkeit ⁴⁾ kg/mm ²	Streckgrenze ⁶⁾ kg/mm ²	Bruchdehnung ^{7) 8)} (L ₀ =5d ₀) %	Kerbschlagzähigkeit						Dorndurchmesser beim Falterversuch ¹¹⁾		
								ISO-Spitzkerbproben		Gealterte DVMF-Proben bei +20°C ¹⁰⁾		DVM-Proben ¹⁰⁾ bei 0 °C				
								Mittelwert aus 3 Proben ⁹⁾ kg/cm ²	bei °C	Mittelwert aus 3 Proben	Einzelwert	Mittelwert aus 3 Proben	Einzelwert			
					mindestens	mindestens	mindestens									
St 33-1	1.0033	-	-	Fe33-0	33 bis 50	19 ¹⁴⁾	18 ¹⁴⁾ (14)	-	-	-	-	-	-	3a		
St 33-2	1.0035	-	-	-				-	-	-	-	-	-		-	-
Ust 34-1	1.0100	U	U, N	Fe34-A	34 bis 42	21	28 (20)	-	-	-	-	-	-	0,5a		
Rst 34-1	1.0150	R	U, N	Fe34-A				-	-	-	-	-	-		-	-
Ust 34-2	1.0102	U	U, N	Fe34-B3FU				3,5	+20	8	5	-	-		-	-
Rst 34-2	1.0108	R	U, N	Fe34-B3FN				3,5	+15 ¹⁵⁾	10	6	-	-		-	-
Ust 37-1	1.0110	U	U, N	Fe37-A(Fe42-A)	37 bis 45	24	25 (18)	-	-	-	-	-	-	1a		
Rst 37-1	1.0111	R	U, N	Fe37-A(Fe42-A)				-	-	-	-	-	-		-	-
Ust 37-2	1.0112	U	U, N	Fe37(Fe42)-B3FU				3,5	+20	8	5	-	-		-	-
Rst 37-2	1.0114	R	U, N	Fe37(Fe42)-B3FN				3,5	+10 ¹⁵⁾	10	6	-	-		-	-
St 37-3	1.0116	RR	U	Fe37-C3				3,5	±0	-	-	7	3,5		-	-
			N	Fe37-D3				3,5	-20	-	-	9	4,5		-	-
Ust 42-1	1.0130	U	U, N	Fe42-A(Fe4-A)	42 bis 50	26	22 (16)	-	-	-	-	-	-	2a		
Rst 42-1	1.0131	R	U, N	Fe42-A(Fe4-A)				-	-	-	-	-	-		-	-
Ust 42-2	1.0132	U	U, N	Fe42-B3FU				3,5	+20	8	5	-	-		-	-
Rst 42-2	1.0134	R	U, N	Fe42(Fe45)-B3FN				3,5	+20	8	5	-	-		-	-
St 42-3	1.0136	RR	U	Fe42-C3				3,5	+0	-	-	7	3,5		-	-
			N	Fe42-D3				3,5	-20	-	-	9	4,5		-	-
RSt 46-2 ¹⁷⁾	1.0477	R	U, N	-	44 bis 54	29	22 (16)	3,5	+20	8	5	-	-	2a		
St 46-3 ¹⁸⁾	1.0483	RR	U	-	52 bis 62	36 ²⁰⁾	22 (16)	3,5	±0	-	-	7	3,5	2a ²¹⁾		
			N	-	3,5	-20	-	-	9	4,5	-	-				
St 52-3 ¹⁹⁾	1.0841	RR	U	Fe52-C3	50 bis 60	30	20 (14)	3,5	±0	-	-	7	3,5	-		
			N	Fe52-D3	3,5	-20	-	-	9	4,5	-	-				
St 50-1	1.0530	R	U, N	Fe50-1	60 bis 72	34	15 (10)	-	-	-	-	-	-	-		
St 50-2	1.0532	R	U, N	Fe50-2	70 bis 80	37	10 (6)	-	-	-	-	-	-	-		
St 60-1	1.0540	R	U, N	Fe60-1												
St 60-2	1.0542	R	U, N	Fe60-2												
St 70-2	1.0632	R	U, N	Fe70-2												

¹⁾ U unberührt, R beruhigt, (einschließlich halbberührt), RR besonders beruhigt

²⁾ U w armgeformt, unbehandelt, N normalgeglüht (siehe dazu Abschnitt 7.3.1 und übliche Lieferzustände nach Abschnitt 7.2).

³⁾ Der Vergleich brüht auf den gewährleisteten Mindestwerten für die Streckgrenze. Die in Klammern angegebenen Sorten kommen für Band, Blech und Breitflachstahl in Betracht.

⁴⁾ Die Werte gelten für Erzeugnisse bis 100mm Dicke einschließlich. Für größere Dicken wird nur der Mindestwert gewährleistet. Die Grenzwerte dürfen um 2kg/mm² unter- oder überschritten werden; bei den Stählen St 33-1 und St 33-2 muss jedoch eine obere Grenze der Zugfestigkeit von 50kg/mm² eingehalten werden.

⁵⁾ Bei Band unter 3mm Dicke darf die obere Grenze für die Zugfestigkeit um Werte bis zu 10% des für die jeweilige Stahlsorte angegebenen Mindestwertes der Zugfestigkeit überschritten werden.

⁶⁾ Die Werte gelten für die Erzeugnisse bis 16 mm Dicke; für Dicken >16 ≤ 40mm erniedrigen sie sich um 1kg/mm², für Dicken >40 ≤ 100mm um 2kg/mm². Für Dicken über 100mm sind die Werte zu vereinbaren.

⁷⁾ Die Werte gelten für Längsproben an Erzeugnissen bis 100mm Dicke, beim St 52-3 bis 50mm Dicke. Bei Blech, Breitflachstahl und Band über 3mm Dicke dürfen sie für Querproben im normalgeglühten Zustand um 2 Punkte, im w armgeglühten Zustand um 4 Punkte unterschritten werden. Für Dicken >100mm, beim St 52-3 >50mm, sind die Werte zu vereinbaren.

⁸⁾ Die in Klammern angegebenen Werte gelten für w armgewalztes Band von 3mm Dicke. Für geringere Dicken vermindern sich diese Werte um 2 Punkte je mm Dicke (siehe Abschnitt 8.4.2.2).

⁹⁾ Siehe Abschnitt 7.4.2.2. Kein Einzelwert darf unter 2,0kg m/cm² liegen. Bei den unberührten Stählen werden die Werte nur bis zu einer Dicke von höchstens 16mm gewährleistet.

¹⁰⁾ Siehe Abschnitt 7.4.2.3.

¹¹⁾ a Probendicke, Biegewinkel je eis 180°.

¹²⁾ Für Stücke bis 100mm Dicke einschließlich oder von entsprechendem Querschnitt; für dickere Erzeugnisse muss der höchstzulässige Kohlenstoffgehalt vereinbart werden.

¹³⁾ Bei Elektro Stahl ist ein Sickerhalt bis 0,012% in der Schmelzanalyse zulässig.

¹⁴⁾ Dieser Wert wird nur für Erzeugnisse bis 25mm Dicke einschließlich gewährleistet.

¹⁵⁾ Gültig für Erzeugnisdicken bis 30mm. Bei Dicken über 30mm beträgt die Prüftemperatur +20°C.

¹⁶⁾ Bei Dicken über 16mm ist ein Kohlenstoffgehalt von höchstens 0,20% in der Schmelzanalyse und von höchstens 0,25% in der Stückanalyse zulässig.

¹⁷⁾ RSt 46-2 wird nur in Dicken bis 20 mm beliefert. Die angegebenen mechanischen Eigenschaften gelten bis zu dieser Grenzdicke.

¹⁸⁾ Der Stahl St 46-3 kommt nur für Erzeugnisdicken über 20 bis 30mm in Betracht. Die angegebenen mechanischen Eigenschaften gelten für diesen Dickenbereich.

¹⁹⁾ Der Siliziumgehalt darf 0,55%, der Mangangehalt 1m50% in der Schmelzanalyse nicht übersteigen.

²⁰⁾ Dieser Wert gilt für Erzeugnisdicken bis 16mm Dicke. Für Dicken >16 ≤ 30mm erniedrigt er sich um 1kg/mm², für Dicken >30 ≤ 50mm um 2kg/mm²; für Dicken über 50mm sind die Werte zu vereinbaren.

²¹⁾ Dieser Wert gilt für Erzeugnisdicken bis 16mm Dicke. Für Dicken >16 ≤ 50mm beträgt der Dorndurchmesser 3a; für größere Dicken ist er zu vereinbaren.

²²⁾ Bei Blech über 16mm Dicke sowie bei Band und Breitflachstahl aller Dicken darf ein Kohlenstoffgehalt von 0,22% in der Schmelzanalyse und von 0,24% in der Stückanalyse nicht beanstandet werden.

²³⁾ Ungefährer Mittelwert.

Anlage 14: Allgemeine Baustähle, Gütevorschriften Auszug DIN 17100:1980

Mechanische und technologische Eigenschaften der Stähle in den Liefer- bzw. Behandlungszuständen

Stahlsorte nach Tabelle 1		Mechanische und technologische Eigenschaften ¹⁾								
Kurzname	Werkstoffnummer	Zugfestigkeit R _m			Obere Streckgrenze R _{eH}					
		für Erzeugnisdicken in mm			für Erzeugnisdicken in mm					
		< 3	≥ 3 ≤ 100	> 100	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100
N/mm ²			N/mm ²						mindestens	
St 33	1.0035	310 bis 540	290	-	185	175 ⁵⁾	-	-	-	-
St 37-2	1.0037	360 bis 510	340 bis 470	nach Vereinbarung	235	225	215	205	195	nach Vereinbarung
USt 37-2	1.0036				235	225	215	215	215	
RSt 37-2	1.0038									
St 37-3	1.0116									
St 44-2	1.0044	430 bis 580	410 bis 540		275	265	255	245	235	
St 44-3	1.0144	510 bis 680	490 bis 630		355	345	335	325	315	
St 52-3	1.0570				490 bis 660	470 bis 610	295	285	275	
St 50-2	1.0050	590 bis 770	570 bis 710		335	325	315	305	295	
St 60-2	1.0060	690 bis 900	670 bis 830		365	355	345	335	325	
St 70-2	1.0070									

¹⁾ Die Werte des Zugversuchs und des Fallversuchs gelten für Längsproben außer bei Flachzeug ≥ 600mm Breite, aus dem Querproben zu entnehmen sind.
²⁾ U w armgeformt, unbehandelt, N normalgeglüht. Zusätzlich gilt Abschnitt 8.4.1.2
³⁾ Für Kerbschlagproben mit einer Breite unter 10mm gelten die Festlegungen nach Abschnitt 8.4.1.4 und Bild 1
⁴⁾ Als Prüfergebnis gilt der Mittelwert aus drei Versuchen. Der Mindestmittelwert von 23 oder 27J darf dabei nicht von einem Einzelwert, und zwar höchstens um 30%, unterschritten werden.
⁵⁾ Dieser Wert gilt nur für Dicken bis 25mm

Stahlsorte		Mechanische und technologische Eigenschaften ¹⁾																			
		Bruchdehnung								Obere Streckgrenze R _{eH}											
		(Messlänge L ₀ = 80mm)								Fallversuch (180°)				Kerbschlagarbeit ⁴⁾							
		für Erzeugnisdicken in mm								(a Probendicke)				ISO-Spitzkerbproben (längs)							
Probenlage	≥ 0,5	≥ 1	≥ 1,5	≥ 2	≥ 2,5	≥ 3	> 40	> 63	Probenlage	für Erzeugnisdicken in mm			Behandlungszustand ²⁾	Prüf-temperatur °C	für Erzeugnisdicken in mm						
	< 1	< 1,5	< 2	< 2,5	< 3	≤ 40	≤ 63	≤ 100		> 100	< 3	≥ 3			> 63	≥ 10	> 16	> 63	> 100		
Kurzname	%								Dorndurchmesser				min.	°C	J						
	min.														min.						
St 33	längs	10	11	12	13	14	18	-	-	-	längs	2,5a	3a	-	-	U,N	-	-	-	-	-
	quer	8	9	10	11	12	16	-	-	-	quer	3a	3,5a	-	-	U,N	-	-	-	-	-
St 37-2											längs	0,5a	1a	1,5a		U,N	+20	27	-	-	-
USt 37-2											quer	1,5a	2a	2,5a		U,N	+20	27	-	-	-
RSt 37-2	längs	17	18	19	20	21	26	25	24							U,N	+20	27	27	-	-
St 37-3	quer	15	16	17	18	19	24	23	22							U	±0	27	27	23	nach Vereinbarung
											längs	0,5a	1a	1,5a		N	-20	27	27	23	nach Vereinbarung
St 44-2											quer	1a	1,5a	2a		U,N	+20	27	27	-	-
																U	±0	27	27	23	nach Vereinbarung
St 44-3	längs	14	15	16	17	18	22	21	20		quer	2a	2,5a	3a		N	-20	27	27	23	nach Vereinbarung
	quer	12	13	14	15	16	20	19	18		längs	2a	2,5a	3a		U	±0	27	27	23	nach Vereinbarung
St 52-3	quer	12	13	14	15	16	20	19	18		quer	2,5a	3a	3,5a		N	-20	27	27	23	nach Vereinbarung
St 50-2	längs	12	13	14	15	16	20	19	18							U,N	-	-	-	-	-
	quer	10	11	12	13	14	18	17	16												
St 60-2	längs	8	9	10	11	12	16	15	14							U,N	-	-	-	-	-
	quer	6	7	8	9	10	14	13	12												
St 70-2	längs	4	5	6	7	8	11	10	9							U,N	-	-	-	-	-
	quer	3	4	5	6	7	10	9	8												

^{1), 2), 3)} und ⁴⁾ siehe Seite.

Anlage 15: Zeitstrahl, Prüfungen, Normen und Regelwerke

- 1858 Erste Untersuchungen an dynamisch beanspruchten Wagenachsen
- 1870 Erstes Institut für Materialprüfung in Deutschland an der Hochschule München gegründet
- 1881 Erstes „Deutsches Normalprofil-Buch für Walzeisen“ herausgegeben
- 1880 Einsatz von Flusseisen zu Bauzwecken in Deutschland
- 1886 „Normalbedingungen für die Lieferung von Eisen-Constructions“
- 1889 „Vorschriften für Lieferungen von Eisen und Stahl“
- 1892 Die Streckgrenze ist noch nicht definiert.
- 1893 „Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenkonstruktionen für Brücken und Hochbau“ (1910)
- 1904 Gründung des Königlichen Materialprüfungsamtes
- 1906 Erste Schleusenanlage mit Hubtoren (Schleuse Klein-Machnow)
- 1909 Erlass: „Flusseisen als Nietstoff zuzulassen“
- 1910 Preußisches Ministerium: „Bestimmungen über die bei Hochbauten anzunehmenden Belastungen und die Beanspruchungen der Baustoffe“ (1919)
- 1912 Erlass: „Berechnung und Ausbildung solcher Bauglieder, die der Gefahr des Knickens ausgesetzt sind.“
- 1912 Erlass: „Besondere Vertragsbedingungen für die Anfertigung, Anlieferung und Aufstellung von Eisenbauwerken“
- 1921 DIN 1000 „Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenbauwerken“
- 1922 „Vorschriften für Eisenbauwerke. Grundlagen für das Entwerfen und Berechnen eiserner Eisenbahnbrücken (Vorläufige Fassung)“
- 1923 Einführung des Stahls St 48
- 1925 Bestimmungen des preußischen Ministers für Volkswohlfahrt für den Eisenhochbau
- 1925 DIN 1972 „Lastannahmen für Straßen- und Wegebrücken“
- 1925 „Vorschriften für Eisenbauwerke – Berechnungsgrundlage für eiserne Eisenbahnbrücken. BE“

- 1925 DIN 1612
- 1926 Erlass: Einführung der „Prüfingenieure für Baustatik“
- 1928 DIN 407 Zeichnungen, Sinnbilder für Nieten und Schrauben
- 1929 Einführung des Stahls St 52
- 1929 Vorläufige Vorschriften für die Lieferung von Stahlbauwerken aus Baustahl St 52
- 1929 DIN 1000 Normalbedingungen für die Lieferung von Stahlbauwerken
- 1930 Richtlinien für die Ausführung geschweißter Stahlbauten, VDI
- 1930 Vorschriften für die Ausführung geschweißter Stahlhochbauten (Minister für Volkswohlfahrt)
- 1931 DIN 1073 Berechnungsgrundlagen für Straßenbrücken
- 1931 DIN 4100 Vorschriften für geschweißte Eisenkonstruktionen
- 1933 DIN 4100 Vorschriften für geschweißte Stahlbauten
- 1933 DIN 4100 – Ergänzungsblatt
- 1934 DIN 4100 Vorschriften für geschweißte Stahlhochbauten
- 1934 DIN 1050 Berechnungsgrundlagen für den Stahl im Hochbau
- 1934 DIN 1055 Lastannahmen für Bauten
- 1936 Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken (3. Auflage)
- 1937 Die Verwendung des Stahls St.00.12 ist für tragende Bauteile nicht mehr gestattet.
- 1937 Die Deutsche Reichsbahn beschränkt für St 52 die Höhe der Legierungsbestandteile.
- 1938 Der Runderlass des Reichsarbeitsministers vom 10.11.1938 verbietet an größeren Stahlbauwerken aus St 52 zu schweißen.
- 1938 Neue Versuchsanstalt der MAN für Wehrkonstruktionen
- 1947 DIN 1050, Blatt 2 Altstahl im Hochbau, Richtlinie für Aufarbeitung und Verwendung
- 1952 DIN 4114 Knickung, Kippung, Beulung

- 1954 Die Anforderungen an Stahl als Baustoff für Wehrverschlüsse (Press 1954)
- 1956 Entwurf DIN 19704 Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten
- 1957 DIN 17100 Allgemeine Baustähle, Gütevorschriften
- 1957 Vorläufige Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppe für geschweißte Stahlbauten
- 1957 Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten
- 1958 DIN 19704 Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten
- 1963 DIN 19705 Stahlwasserbauten, Bauliche Durchbildung
- 1962 TGL 13500 Stahlbau Stahltragwerke Berechnung/Bauliche Durchbildung
- 1962 TGL 13510 Ausführung von Stahltragwerken
- 1962 TGL 13450 Stahltragwerke im Hochbau
- 1964 TGL 13490 Stahlwasserbauten, Tragwerke Berechnung, Bauliche Durchbildung
- 1973 DASt-Richtlinie 009 Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten
- 1975 TGL 13450/01 Stahltragwerke im Hochbau, Berechnung nach zulässigen Spannungen, Bauliche Durchbildung
- 1975 TGL 13450/02 Stahltragwerke im Hochbau, Berechnung nach dem Traglastverfahren.
- 1981 DIN 18800 Stahlbauten
- 1995 Anpassungsrichtlinie Stahlbau
- 2013 DIN EN 1993 (Eurocode 3)

Anlage 16: Maximale Kältesumme aus 1966 bis 2016

