

Wetterfester Baustahl im Stahl- und Verbundbrückenbau – die neue DAST-Richtlinie 007

Prof. Dr.-Ing. Dieter Ungermann¹, Peter Hatke M.Sc.¹,
Dipl.-Ing. (FH), SFI Peter Lebelt², Dr.-Ing. Susanne Friedrich²

Kurzfassung

Wetterfester Baustahl zeichnet sich im Vergleich zu unlegiertem Baustahl durch einen höheren Widerstand gegen atmosphärische Korrosion aus. Bei gleichen mechanischen Werkstoffeigenschaften ermöglicht der unbeschichtete Einsatz des wetterfesten Baustahls aufgrund der korrosionshemmenden Deckschicht wesentliche ökologische und wirtschaftliche Vorteile gegenüber unlegiertem Baustahl mit einer zusätzlichen Korrosionsschutzbeschichtung. Gleichwohl sind für den dauerhaften Einsatz neben geeigneten Umgebungsbedingungen vor allem korrosionsschutzgerechte Konstruktionsregeln zu beachten, die auf Basis neuer Forschungserkenntnisse zu einer Aktualisierung der DAST-Richtlinie 007 [1] geführt haben.

1 Allgemeines

1.1 Zeitliche Entwicklung und Beispiele

Die Entwicklung der ersten wetterfesten Stähle begann Ende der 1920er Jahre in Deutschland und den USA zunächst für den Einsatz im Eisenbahnbau [2]. Im Bauwesen erfolgten die ersten Anwendungen wetterfester Baustähle ohne zusätzliche Korrosionsschutzbeschichtung ab den 1960er Jahren in den USA und kurz darauf auch in Deutschland [2]. Sie umfassten neben Fassaden, Masten, Behältern und Hochbauten vor allem Brückenbauwerke [2]. Allerdings traten in vielen Ländern schon nach wenigen Jahren Mängel und Schäden an einigen Brücken aus unbeschichtetem wetterfestem Baustahl auf [2]. Die Ursache dafür wurde zunächst fälschlicherweise dem Werkstoff selbst zugeschrieben, wodurch die Anwendung ab 1978 nur noch mit einer Zustimmung im Einzelfall zulässig war und 1979 die neue Richtlinie

007 [3] des Deutschen Ausschusses für Stahlbau (DAST) erschien [4]. Einige erfahrene Anwenderinnen und Anwender erkannten jedoch die wahren Gründe für die Schäden und bewahrten den wetterfesten Baustahl so vor der kompletten Verdrängung [4]. Nicht der Werkstoff selber führte zu den Schäden, es war vielmehr die Missachtung seiner speziellen Eigenschaften, die in schlechten Konstruktionen und unsachgemäßen Anwendungen resultierte [4]. Basierend auf diesen praktischen Erfahrungen und weiterführenden Forschungsvorhaben wurde 1993 in Deutschland die komplett überarbeitete Neuauflage der DAST-Richtlinie 007 [5] eingeführt [2]. Neu hinzu kamen vor allem einfach umzusetzende Konstruktionsdetails zur korrosionsschutzgerechten Gestaltung von Brücken aus wetterfestem Baustahl sowie eine optimierte Messung der Wanddicken mittels Ultraschall [2]. Eine Zustimmung im Einzelfall war von nun an nicht mehr erforderlich und der wetterfeste Baustahl konnte sicher angewendet werden [2].

Während die Anwendung wetterfester Baustähle in vielen anderen Ländern wieder zunahm und immer weiter steigt, blieb es in Deutschland bis heute bei nur vereinzelt Bauwerken. Dabei birgt der zulässige Verzicht auf ein aufwändiges Beschichtungssystem klare ökologische und wirtschaftliche Vorteile, während die zusätzlichen Konstruktionsanforderungen nicht wesentlich mehr Aufwand erfordern als jene beschichteter Bauwerke [6]. Selbst unter Berücksichtigung der geringfügig höheren Materialkosten durch die benötigten Legierungselemente und Dickenzuschläge liegen die Lebenszykluskosten von Brücken aus wetterfestem Baustahl in vielen Fällen immer noch klar unterhalb derer organisch beschichteter Konstruktionen [6], [7].

Bild 1 zeigt eine wartungsarme Verbundbrücke aus wetterfestem Baustahl über eine Bahn-

¹ Technische Universität Dortmund, Lehrstuhl Stahlbau

² Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH, Dresden



Bild 1 Verbundbrücke aus wetterfestem Baustahl über eine Bahntrasse und Straße in Dortmund, Baujahr 1990 (Foto 2022) © Peter Hatke

trasse und eine Straße in Dortmund, gebaut 1990. Durch die Verwendung des wetterfesten Baustahls entfallen die wirtschaftlichen und ökologischen Belastungen aus der mehrfachen Erneuerung einer alternativen Korrosionsschutzbeschichtung über die Lebensdauer des Bauwerks samt notwendiger Sperrpausen und

Beeinträchtigungen der darunter liegenden Infrastruktur. Insbesondere der Entfall von Verkehrseinschränkungen bei Kreuzungsbauwerken durch die Verwendung des wartungsfreien wetterfesten Baustahls ist ein entscheidender Aspekt zum Einsatz dieses Werkstoffes. Gleichzeitig fügt sich die natürliche Ästhetik der dunkelbraunen Deckschicht deutlich harmonischer in die Umgebung ein als die regelmäßig zu erneuernde, hellgrüne Beschichtung der Stahlbrücke im Hintergrund.



Bild 2 Fußgängerbrücke in Kuusijärvi, Vantaa, Finnland, Baujahr 2019 (Foto 2020) © Finnish Constructional Steelwork Association FCSA/Teräsrakenneyhdistys

Ein weiteres Beispiel für die zeitgemäße Anwendung des wetterfesten Baustahls ist die Fußgängerbrücke in Kuusijärvi, Vantaa, Finnland. Sie wurde 2019 erbaut und besteht, bis auf die Gründung, komplett aus wetterfestem Baustahl. Die Brücke mit einer Gesamtspannweite von 126 m fügt sich optimal in die natürliche Umgebung ein. Bild 2 zeigt die Brücke kurz nach deren Fertigstellung mit einer noch vergleichsweise hellen, da jungen, oxidischen Deckschicht, die mit zunehmendem Alter dunkler wird.

1.2 Neueste Forschungen und Publikationen

Mit dem Ziel, den Einsatz des wetterfesten Baustahls im Stahl- und Verbundbrückenbau weiter zu optimieren, wurde zwischen 2016 und 2020 das interdisziplinäre Forschungsprojekt FOSTA P1200 (IGF 18655 BG) „Innovationen zum optimalen Einsatz des wetterfesten Baustahls im Stahl- und Verbundbrückenbau“ [8]

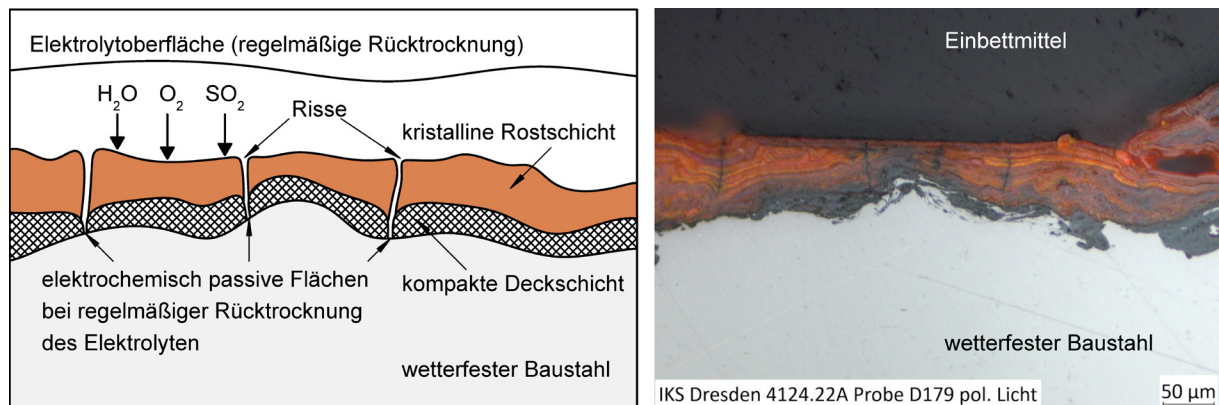


Bild 3 Aufbau der oxidischen Deckschicht schematisch (links) und im Querschliff nach fünf Jahren natürlicher Freibewitterung auf dem Wetterstand (rechts) © Peter Hatke und IKS Dresden GmbH

am Lehrstuhl Stahlbau und dem Fachgebiet Werkstoffprüftechnik der TU Dortmund sowie der Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH durchgeführt.

Der erste Forschungsschwerpunkt bestand in aktuellen Analysen zur Bildung der korrosionshemmenden Deckschicht in der heutigen Atmosphäre, deren Schadstoffbelastung sich im Vergleich zur Atmosphäre der 1990er Jahre deutlich verändert hat [8]. Um die Prüfung von Brücken aus wetterfestem Stahl zu erleichtern, erfolgte im zweiten Forschungsschwerpunkt die Qualifizierung und Verifizierung zweier geometrieunabhängiger und zerstörungsfreier Messtechniken zur Rissdetektion unterhalb der kompakten Deckschicht [8]. Der dritte Schwerpunkt zielte auf die Optimierung der Haftreibungszahlen gleitfest vorgespannter Verbindungen von wetterfestem Baustahl unter Verzicht auf die zusätzliche gleitfeste Beschichtung ab, die noch in der DAST-Richtlinie 007 von 1993 [5] gefordert wurde [8].

Im Anschluss an das Forschungsprojekt folgte neben mehreren nationalen Publikationen (u. a. [9]) 2021 auch die Veröffentlichung einer neuen europäischen Anwendungsbroschüre mit dem Titel „*European design guide for the use of weathering steel in bridge construction*“ [6] im Auftrag der *European Convention for Constructional Steelwork* (ECCS). Die vielfältigen neuen Erkenntnisse führten gemeinsam mit der Einführung neuer höherfester wetterfester Baustähle zu der Notwendigkeit, die inzwischen 30 Jahre alte DAST-Richtlinie 007 [5] zu aktualisieren und grundlegend zu überarbeiten. Dieser Artikel stellt die Grundsätze zur Anwendung wetterfester Baustähle im Stahl- und Verbundbrückenbau auf Basis der neuen DAST-Richtlinie 007 [1] sowie der aktuellsten Forschungsergebnisse vor.

2 Wetterfestigkeit und Abrostungsverhalten

2.1 Wetterfestigkeit (Deckschichtbildung)

Wetterfeste Baustähle besitzen aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung einen erhöhten Widerstand gegen atmosphärische Korrosion im Vergleich zu unlegierten Stählen. Auf der Oberfläche wetterfester Baustähle bildet sich unter dem Einfluss der natürlichen Bewitterung eine oxidische Deckschicht aus, die die Oberfläche schützt und den üblichen Korrosionsvorgang verlangsamt, siehe Bild 3. Aus diesem Grund ist der Einsatz von wetterfestem Baustahl ohne einen zusätzlichen Korrosionsschutz in den allermeisten Umgebungsbedingungen zulässig. Die Bildung und Schutzwirkung der Deckschicht hängen, neben den witterungs- und umgebungsbedingten Korrosionsbelastungen, primär von der konstruktiven Gestaltung der Bauteile ab, siehe Abschnitt 5. Oberste Prämisse dabei ist die Vermeidung von Dauerfeuchte auf der Oberfläche des wetterfesten Baustahls anhand entsprechender konstruktiver Maßnahmen. Der Elektrolyt – in der Regel Regen- oder Kondenswasser – muss regelmäßig abtrocknen können, damit die unvermeidlichen Risse in der oxidischen Deckschicht elektrochemisch passiv bleiben und die Deckschicht ihre korrosionshemmende Eigenschaft behält.

2.2 Abrostungsverhalten und Abrostungszuschläge

Der Begriff Abrostung beschreibt den Dickenverlust des Grundmaterials infolge der Deckschichtbildung sowie der dadurch verlangsamtten Korrosion. Die Abrostungsge-

Tabelle 1 Abrostungszuschläge in mm je bewitterter Seite [1]

Nutzungsdauer 100 Jahre	Korrosivitätskategorie ¹⁾				
	C1 unbedeutend	C2 gering	C3 mäßig	C4 stark	ab C5 sehr stark
Abrostungszuschlag in mm je bewitterter Seite	0	0,8	1,0	1,5	Verwendung nicht zulässig
¹⁾ Beispiele für typische Umgebungen der jeweiligen Korrosivitätskategorien: C2 gering: Im Freien z. B. ländliche Gebiete, kleine Städte; Innen z. B. Lager, Sporthallen C3 mäßig: Im Freien z. B. Stadtgebiete, Küstenbereiche mit geringen Ablagerungen von Chloriden; Innen z. B. Anlagen zur Lebensmittelherstellung, Wäschereien, Brauereien, Molkereien C4 stark: Im Freien z. B. Stadtgebiete mit Luftverunreinigungen, Industriegebiete, Küstenbereiche; Innen z. B. Industrieanlagen, Schwimmbäder (siehe auch DIN EN ISO 9223 [10] und DIN EN ISO 12944-2 [11])					

schwindigkeit nimmt mit zunehmender Auslagerungszeit ab, ein vollständiger Stillstand des Korrosionsvorganges tritt aber auch nach Abschluss der Deckschichtbildung nicht ein. Jedoch bietet die ausgebildete Deckschicht in der Regel ausreichend Schutz gegen atmosphärische Korrosion bei Bewitterung in Industrie-, Stadt- und Landatmosphäre. Die sonst erforderliche Korrosionsschutzbeschichtung kann entfallen.

Da die kontrollierte Abrostung zu einem kalkulierbaren Dickenverlust des Grundmaterials führt, ist für jede bewitterte Oberfläche in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer und der Korrosivitätskategorie eine Dickenminderung bzw. ein Abrostungszuschlag entsprechend Tabelle 1 zu berücksichtigen. Die Korrosivitätskategorie am Einsatzort kann gemäß DIN EN ISO 9223 [10] über den Abgleich mit den darin angegebenen Beispielen oder durch Auslagerung von Standardproben bestimmt werden.

Die Korrosionsbelastung von Stahlkonstruktionen hängt in natürlicher Atmosphäre primär von der Anwesenheit eines Elektrolyten (z. B. Kondenswasser, Niederschlag, Spritzwasser), dem Angebot an Sauerstoff und der Temperatur ab. Des Weiteren wirken Salze, Schwefeldioxid und Staub zusätzlich korrosionsbeschleunigend.

In Deutschland und Europa wurde die Umweltbelastung in den vergangenen Jahr-

zehnten durch strengere gesetzliche Regulierung mit der Festlegung geringerer Emissionsgrenzwerte systematisch reduziert. Für Schwefeldioxid stellte das Umweltbundesamt in Deutschland bis zum Jahr 2020 eine deutliche Abnahme um 95,7 % der Emission in der Atmosphäre bezogen auf das Jahr 1990 fest [12]. Dadurch verringert sich die Korrosionsaktivität und damit auch die Korrosionsgeschwindigkeit.

Zur Untersuchung der aktuellen Korrosivität der Atmosphäre wurden im Mai 2011 Auslagerungstests mit standardisierten Korrosionsprobekörpern nach ISO 9226:1992 [13] an ausgewählten Straßenbrücken in Deutschland begonnen, vgl. [8], [14]. Die bisher ausgewertete, 5-jährige atmosphärische Korrosionsbelastung ergab an sechs untersuchten Brückenbauwerken in den inzwischen schwefeldioxidarmen Atmosphären eine deutliche Abnahme der Korrosionsgeschwindigkeit im Vergleich zum Jahr 1983. Die Verbesserung der Luftqualität führt zur Verringerung der Korrosionsbelastung. Dadurch wird bei der Korrosivitätskategorie heutzutage überwiegend C2 und C3 in Bereichen festgestellt, wo bisher Korrosivitätskategorien von C3 bis C4 dokumentiert worden sind. Die Korrosivitätskategorien C4 und C5 sind ebenfalls deutlich seltener geworden. Sie treten nur noch begrenzt im Einflussbereich von Chloriden auf, der in natürlicher Atmosphäre primär auf Küstengebiete oder eine signifikante Belastung mit Tausalzen und deren Sprühnebel beschränkt ist.

3 Produkte aus wetterfestem Baustahl

Wetterfeste Baustähle gibt es in allen im Brückenbau üblichen Erzeugnisformen. Flach- und Langerzeugnisse werden aus wetterfesten Baustählen entsprechend DIN EN 10025-5:2019 [15] in Stahlsorten zwischen S235J0W und S460J5W geliefert. Warmgefertigte und kaltgeformte geschweißte Hohlprofile sind aus wetterfesten Baustählen gemäß DIN EN 10210-3:2020 [16] bzw. DIN EN 10219-3:2020 [17] erhältlich.

Seit 2019 besitzen einige neu eingeführte Sorten wetterfester Baustähle gemäß DIN EN 10025-5:2019 [15] allerdings kein Pendant mehr bei den Feinkornbaustählen aus den Teilen -3 und -4. Um weiterhin eine Bemessung gemäß der gültigen Eurocodes sicherzustellen, gibt es aktuell deshalb teilweise zusätzliche Anforderungen an bestimmte wetterfeste Baustähle im Hinblick auf die Gütegruppen und Zähigkeit.

4 Bemessungsgrundlagen

4.1 Allgemeines

Wetterfeste Baustähle besitzen vergleichbare mechanische Eigenschaften wie unlegierte Baustähle. Die Bemessung und Konstruktion erfolgt uneingeschränkt mit den Regelwerken der DIN EN 1993 [18] bzw. DIN EN 1994 [19], für die Ausführung und Montage ist DIN EN 1090-2 [20] maßgebend. Die zulässige Abrostung bei der Verwendung in ungeschütztem Zustand ist bei den statischen Nachweisen zu berücksichtigen und kann der DAST-Richtlinie 007 [1] entnommen werden.

4.2 Ermüdung

Nicht vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile aus wetterfesten Baustählen dürfen vollumfänglich mit den geltenden Regelwerken für Baustähle (z. B. DIN EN 1993-1-9 [21]) bemessen werden. Infolge einer gering erhöhten Kerbwirkung der korrodierten Oberfläche sind lediglich die ungeschweißten, gewalzten und gepressten Erzeugnisse mit Kerbfällen ≥ 125 gemäß DIN EN 1993-1-9 [21]

(Tabelle 8.1) um einen Kerbfall abzumindern. Alle weiteren Kerbfälle für Normal- und Schubspannungen können ohne Abminderung verwendet werden.

4.3 Umgebungsbedingte Anwendungsgrenzen

Wie für andere Stahlwerkstoffe gibt es auch für unbeschichtete wetterfeste Baustähle unzulässige korrosive Umgebungsbedingungen, die die Bildung der schützenden Deckschicht be- oder verhindern können.

Ungeeignete Umgebungsbedingungen liegen vor, wenn Bauteile dauerhaft nass bzw. feucht sind oder eine sehr starke Korrosivität der Kategorie C5 gemäß DIN EN ISO 9223 [10] vorhanden ist oder überschritten wird. Dies tritt etwa bei sehr starker Luftverunreinigung oder signifikantem Einfluss von künstlichen oder natürlichen Chloriden auf. Deshalb schreibt die neue DAST-Richtlinie 007 [1] einen Mindestabstand von 1 km zu salzhaltigen Meeren vor. Außerdem gibt es Mindestanforderungen für den lichten Abstand zum Erdboden und zu Gewässern mit Süßwasser.

5 Korrosionsschutzgerechte Gestaltung

5.1 Hinweise zur Deckschichtbildung

Witterungs- und umgebungsbedingte Belastungen wirken sich unterschiedlich auf die Deckschichtbildung und Korrosion aus und hängen von der Klimazone, dem Makroklima und Mikroklima am Bauwerk ab. Sie beeinflussen auch die Farbe und Form der Deckschicht.

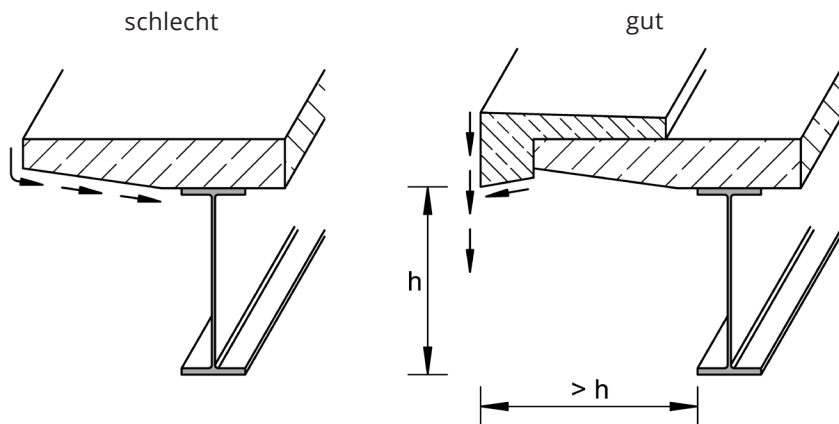


Bild 4 Tropfkanten und Überstände an den Kappen bzw. der Fahrbahnplatte © Peter Hatke, [1]

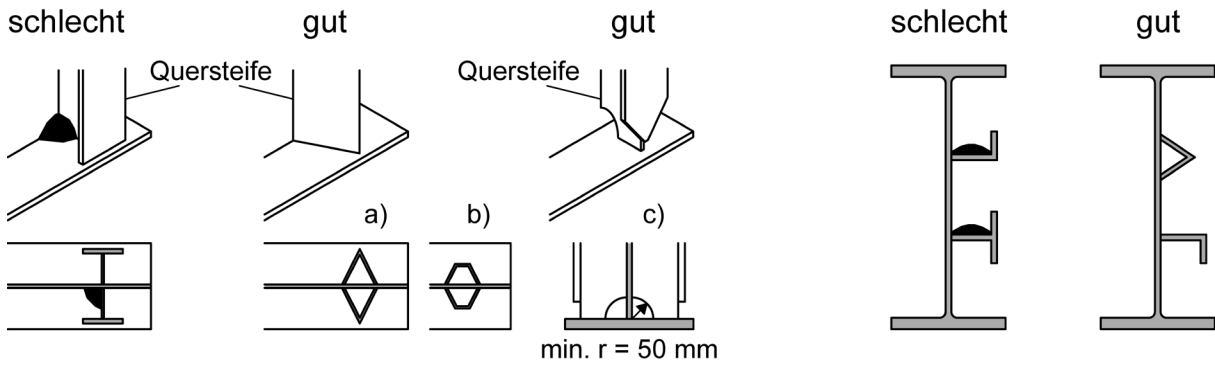


Bild 5 Ausbildung von Quer- und Längssteifen

© Peter Hatke, [1]

Für eine möglichst gleichmäßige natürliche Deckschichtbildung und Farbtonung sollten alle sichtbaren Oberflächen vor der Montage nach DIN EN 1090-2 [20] entzundert und gereinigt werden. Hierbei empfiehlt sich ein Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2 ½.

5.2 Korrosionsschutzgerechte Konstruktion

Bei der konstruktiven Gestaltung von Bauwerken aus wetterfestem Baustahl sind die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass sich die schützende Deckschicht auf dessen Oberfläche ungehindert bilden und bei Beschädigung erneuern kann.

Über allem steht die Vermeidung von Dauerfeuchte, die etwa in Form von Wassersäcken und Feuchtigkeitsnestern (Taschen, in denen sich Schmutz und Feuchtigkeit ansammeln können) sowie durch Kondenswasser oder infolge Kapillarwirkung auftreten kann. Zunächst sollte durch eine entsprechende Ausbildung von Fugen, ausreichende Randüberstände und Tropfkanten möglichst kein ablaufendes Wasser an die Stahlkonstruktion gelangen, siehe z. B. Bild 4. Weder Wasser noch anderweitige

Verschmutzungen dürfen sich irgendwo in der Konstruktion ansammeln. Daher ist neben ausreichendem Gefälle die Ausbildung von Kreuzungspunkten sowie Längs- und Quersteifen gemäß Bild 5 von entscheidender Bedeutung.

Die Stahlkonstruktion muss ausreichend belüftet sein, damit sowohl direkt auftretendes Wasser als auch indirekte Feuchtigkeit durch Kondensation möglichst schnell abtrocknen kann. Dazu sind ausreichende Abstände zwischen den Stahlbauteilen sowie zu Wänden, etwa am Widerlager gemäß Bild 6, vorzusehen.

Kontaktkorrosion bei leitenden Verbindungen mit elektrochemisch edleren oder unedleren Metallen ist entweder durch ein günstiges Flächenverhältnis oder eine dauerhafte Isolationschicht zu vermeiden.

Die Verschmutzung angrenzender Bauteile durch ablaufendes Wasser, das Rostpartikel von der Oberfläche der Deckschicht mitführt, ist unbedingt zu verhindern, da Rostfahnen mindestens einen deutlichen optischen Mangel darstellen. Am Widerlager kann dies durch geneigte Flächen und ein geeignetes Entwässerungssystem sichergestellt werden, siehe Bild 7. Auch Tropfkanten gemäß Bild 8 schützen Widerlager oder Stützen vor ablaufendem Wasser, sofern diese z. B. am Untergurt der Längsträger in einem ausreichenden Abstand vor den zu schützenden Bauteilen angebracht sind.

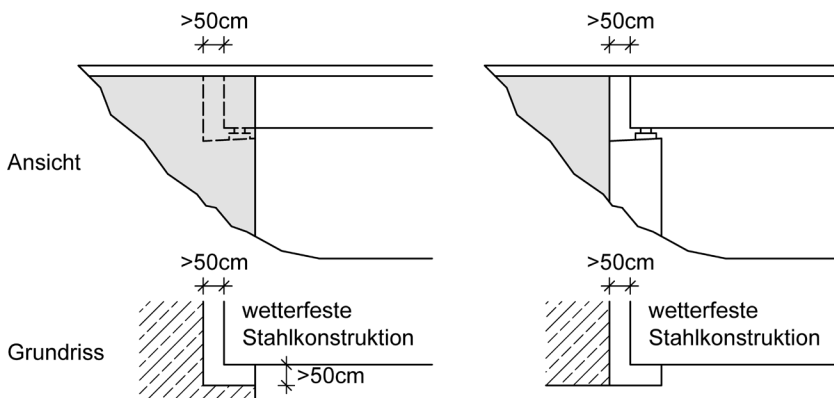


Bild 6 Empfohlene Abstände am Widerlager zur ausreichenden Belüftung

© Peter Hatke, [1]

Diese und weitere Vorgaben zur korrosionsschutzgerechten Gestaltung, z. B. auch zur Konstruktion von Hohlkästen und Entwässerungseinrichtungen, enthält Anhang 2 der DAST-Richtlinie 007 [1].

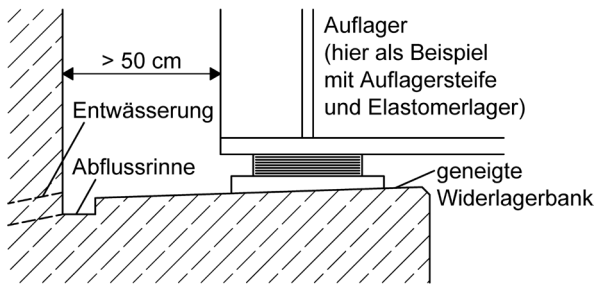


Bild 7 Geneigte Widerlagerbank samt Entwässerungssystem © Peter Hatke, [1]

Ein Verschweißen der verschiedenen wetterfesten Stahlsorten untereinander sowie als Kombination mit schweißgeeigneten nicht wetterfesten Baustählen ist möglich und zulässig.

6.2 Geschraubte Verbindungen

Das Material der Schraubengarnituren muss so gewählt sein, dass galvanische Korrosion vermieden wird. Die Verbindungsmittel müssen dazu entweder aus einem wetterfesten Werkstoff bestehen (vgl. DIN EN 1090-2 [20]) oder anderweitig zuverlässig geschützt sein. Alternativ ist auch die Verwendung von nichtrostenden Schraubengarnituren möglich.

6 Verbindungen

6.1 Schweißen

Beim Schweißen wetterfester Baustähle gelten die gültigen normativen Grundlagen des Stahlbaus (DIN EN 1090-2 [20], DIN EN 1993-1-8 [22] etc.). Nahezu alle wetterfesten Baustähle sind uneingeschränkt schweißbar, lediglich zwei Sorten von Flacherzeugnissen (bis $t \leq 12$ mm) mit erhöhtem Phosphorgehalt erfordern besondere Vorkehrungen, sind allerdings ohnehin nicht in der DASt-Richtlinie 007 [1] enthalten.

Bei geschraubten Verbindungen kann Kapillarwirkung zu verstärkter Spaltkorrosion infolge Dauerfeuchtigkeit führen. Um dies zu verhindern, sollten alle Schraubverbindungen mit vorgespannten Schrauben ausgeführt werden, auch rein konstruktive Verbindungen. Des Weiteren gibt die DIN EN 1993-1-8 [22] für den ungeschützten Einsatz wetterfester Baustähle in Schraubverbindungen eigene Grenzwerte für Rand- und Lochabstände vor, siehe Bild 10.

Für ungeschützte Bauteile sind in der Regel legierungsmäßig auf den Grundwerkstoff abgestimmte wetterfeste Schweißzusätze (gemäß DIN EN 1090-2 [20] Tabelle 6) zu verwenden. Beim Mehrlagenschweißen müssen alle der Atmosphäre ausgesetzten Lagen (z. B. Decklagen oder Kapplagen) mit wetterfesten Schweißzusätzen geschweißt werden. Für die inneren Lagen, die nicht der Atmosphäre ausgesetzt sind, sind auch nicht legierte (d. h. nicht wetterfeste), auf den Grundwerkstoff festigkeitsmäßig abgestimmte Schweißzusätze zulässig. Dies gilt auch für einlagige Schweißnähte, da diese die benötigten Legierungselemente zur Sicherstellung der Wetterfestigkeit beim Schweißvorgang aus dem wetterfesten Grundmaterial aufnehmen.

Die Reibflächen gleitfest vorgespannter Verbindungen (GV- und GVP-Verbindungen) sind entweder mit einer ASI-Beschichtung der Klasse B ($\mu = 0,40$) zu versehen oder rein gestrahlt gemäß Klasse A der DIN EN 1090-2 [20] ohne weitere Beschichtung auszuführen ($\mu = 0,50$). Letzteres war in der bisherigen Version der DASt-Richtlinie von 1993 [5] zur Vermeidung der Spaltkorrosion noch nicht zulässig. Nähere Erkenntnisse aus verschie-

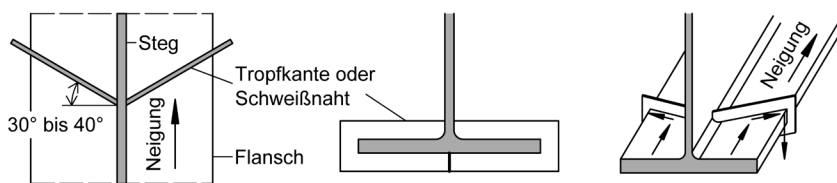


Bild 8 Tropfkanten am unteren Flansch in Richtung der Flanschneigung © Peter Hatke, [1]

Wird eine Schweißverbindung direkt benetzt, sind die Bauteile vollständig miteinander zu verschweißen. Beispielhafte Ausführungen sind in Bild 9 dargestellt.

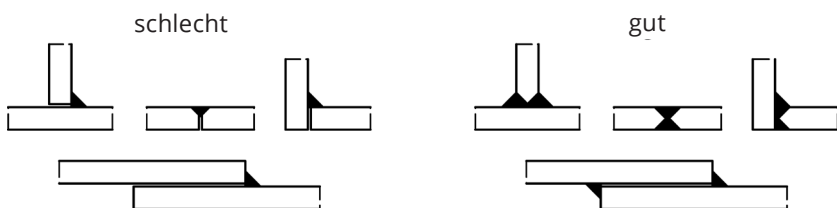


Bild 9 Ausführung von Schweißnähten um Spaltkorrosion zu verhindern © Peter Hatke, [1]

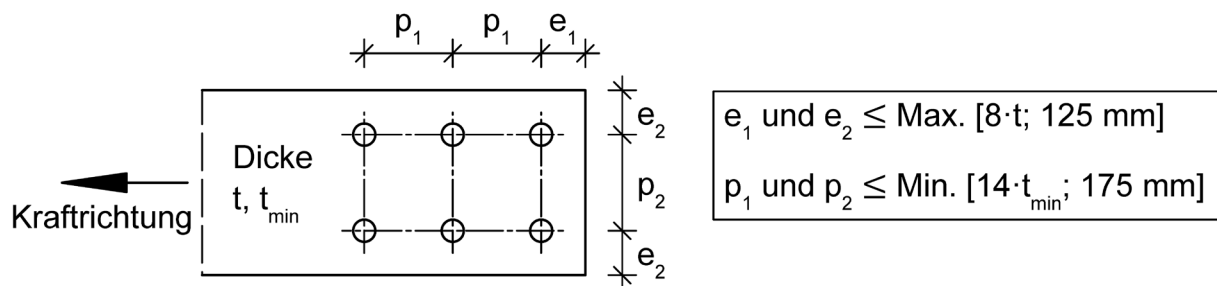


Bild 10 Grenzwerte für Rand- und Lochabstände gemäß DIN EN 1993-1-8 [22]

© Peter Hatke, [22]

denen Forschungsprojekten (u. a. [23]), diverse positive Ausführungsbeispiele und die übliche Praxis in vielen anderen Ländern geben jedoch keinen Anlass, weiterhin zwangsläufig eine Beschichtung der Reibflächen zu fordern [6]. Darüber hinaus zeigte das Forschungsprojekt FOSTA P1200 [8], dass eine begrenzte Bewitterungsdauer der gestrahlten Reibflächen von wenigen Monaten vor dem Zusammenbau in geeigneten Umgebungsbedingungen, etwa auf einem Lagerplatz, zulässig ist. Vier Monate Bewitterung vor dem Zusammenbau in einer heutzutage sehr weit verbreiteten Atmosphäre der Korrosivitätskategorie C2 (gering) verringerte die anzusetzende Haftreibungszahl von $\mu = 0,50$ nicht [8].

7 Prüfen des Korrosionsverhaltens am Bauwerk

Das tatsächliche Korrosionsverhalten des wetterfesten Baustahls muss an mehreren repräsentativen Stellen im Tragwerk in regelmäßigen Zeitabständen (höchstens sechs Jahre bzw. bei jeder Hauptprüfung) mittels Ultraschall überprüft werden. Dazu stellt die DAST-Richtlinie 007 eine Messschablone mit neun Messpunkten je Messstelle sowie eine Protokollvorlage zur Verfügung [1].

8 Bauwerksprüfung nach DIN 1076 [24]

Bei der Überwachung und Prüfung von Konstruktionen aus wetterfestem Baustahl gemäß DIN 1076 [24] ist besonders die gleichmäßige Deckschichtbildung zu prüfen. Die schützende Deckschicht sollte von der Beschaffenheit her fest haften und in der Lage sein, Hämmern oder kräftigem Drahtbürsten standzuhalten.

Nur wenn der Zustand nicht zuverlässig festgestellt werden kann, ist es erforderlich, einen Teil der Deckschicht abzutragen, um die

Dickenminderung zu messen. Wurde die korrosionsschutzgerechte Gestaltung nach der DAST-Richtlinie 007 [1] beachtet, liegen keine besonderen Bereiche zur Prüfung vor.

Während der routinemäßigen Sichtprüfung sind insbesondere die Stellen zu identifizieren, an denen sich Schmutzansammlungen und Feuchtigkeitsnester gebildet haben oder Änderungen der schützenden Deckschicht beispielsweise auf ein undichtes Entwässerungssystem oder eine andere Ursache für Dauerfeuchtigkeit schließen lassen. Auch Rostfahnen sind besonders zu beachten.

Bei der detaillierten, handnahen Inspektion sollten zusätzlich zu den zuvor genannten Punkten besonders die geschraubten Verbindungen in Bezug auf Spaltkorrosion und geschweißte Verbindungen auf oberflächennahe Ermüdungsrisse geprüft werden.

Über die optische Sichtprüfung hinaus können in ausgewählten Teilbereichen zerstörungsfreie Detektionsverfahren, die kein Abtragen der schützenden Deckschicht erfordern, als Indikator für Ermüdungsrisse genutzt werden. Als Ergebnis aus dem Forschungsprojekt FOSTA P1200 eignet sich dafür der elektromagnetisch akustische Schallwandler EMAT [8]. Damit können Risse und Kratzer auf flachen Oberflächen ab einer Tiefe von 0,3 mm auch unter einer oxidischen Deckschicht erkannt werden [8]. Bild 11 zeigt die Prüfung eines Bestandsbauwerks, bei der auch die mobile Messtechnik im Rahmen des Forschungsprojektes zum Einsatz kam. Zum anderen kann die Detektion von Ermüdungsrissen auch durch das magnetische Metallspeicherverfahren (MMM-Methode) erfolgen [6].

9 Instandhaltung

Bauwerke, die entsprechend der DAST-Richtlinie 007 [1] entworfen, detailliert und gebaut werden, erfordern aufgrund der intakten



Bild 11 Prüfung einer Brücke aus wetterfestem Baustahl in Herne (Baujahr 1975, Foto 2019) © Peter Hatke

Der Einsatz von wetterfestem Baustahl im Brückenbau konnte durch die neusten Forschungsergebnisse [8] in verschiedenen Punkten optimiert werden. Neben neusten Erkenntnissen zum Abrostungsverhalten in der heutigen Atmosphäre ergaben sich wirtschaftlichere Schraubverbindungen sowie neue Möglichkeiten zur zerstörungsfreien Rissdetektion auch unter der kompakten Deckschicht [8]. Diese und weitere Innovationen aus internationalen Forschungen und Richtlinien flossen

in die neue DASt-Richtlinie 007 [1] ein und ergänzen die etablierten Regelungen aus der Version von 1993 [5]. Die DASt-Richtlinie 007 ermöglicht eine zeitgemäße wirtschaftliche und nachhaltige Anwendung von wetterfestem Baustahl im gesamten Stahlbausektor.

Deckschicht (Patina) keine Instandsetzung im Lebenszyklus. Gelegentlich kann es notwendig sein, nur begrenzte kritische Bereich eines Bauwerkes instand zu setzen. Bei Brücken sind dies typischerweise Bereiche unterhalb von undichten Fahrbahnübergängen oder Entwässerungsleitungen. Die Instandsetzung besteht in der Regel aus dem Druckluftstrahlen bis zum Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2 ½ und dem Applizieren eines organischen Korrosionsschutzsystems in Bereichen mit übermäßig starker Korrosion.

in die neue DASt-Richtlinie 007 [1] ein und ergänzen die etablierten Regelungen aus der Version von 1993 [5]. Die DASt-Richtlinie 007 ermöglicht eine zeitgemäße wirtschaftliche und nachhaltige Anwendung von wetterfestem Baustahl im gesamten Stahlbausektor.

Danksagung

Das IGF-Forschungsvorhaben Nr. 18655 BG (FOSTA P1200) „Innovationen zum optimalen Einsatz des wetterfesten Baustahls im Stahl- und Verbundbrückenbau“ [8] der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (FOSTA) wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren bedanken sich besonders bei den am Projekt beteiligten Industrievertretern für die fachliche Begleitung und die umfangreiche Unterstützung durch Materialspenden.

10 Zusammenfassung

Der wetterfeste Baustahl stellt eine ökologisch sinnvolle, dauerhafte und wirtschaftliche Alternative zu organisch beschichtetem Baustahl dar. Neben den vielseitigen Vorteilen bietet der wetterfeste Baustahl mit seiner rostbraunen Deckschicht auch eine einzigartig natürliche Ästhetik. Gleichzeitig gelten sowohl für die Lieferung als auch die Ausführung und Bemessung uneingeschränkt die gültigen normativen Regelungen des Stahlbaus (DIN EN 10025-5 [15], DIN EN 1090-2 [20], DIN EN 1993 [21] etc.). Die wenigen besonderen Anforderungen an Bauwerke aus wetterfestem Baustahl fasst die neue DASt-Richtlinie 007 [1] gleichwohl kompakt wie vollständig zusammen und ermöglicht damit den dauerhaften Einsatz von wetterfestem Baustahl, nicht nur im Brückenbau. Sie enthält neben den Angaben zum Material, den verfügbaren Produkten, Bemessungsgrundlagen, Konstruktionsvorgaben zur korrosionsschutzgerechten Gestaltung und Verbindungen auch praktische Hinweise zur Prüfung und Instandhaltung von Bauwerken aus wetterfestem Baustahl [1].

Literatur

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DASt, Hrsg.): DASt-Richtlinie 007: Lieferung, Verarbeitung und Anwendung wetterfester Baustähle. Köln: Stahlbau Verlags- und Service GmbH, 2023.
- [2] Fischer, M.: Merkblatt 434 „Wetterfester Baustahl“. Düsseldorf: Stahl-Informations-Zentrum, 2004.
- [3] Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DASt, Hrsg.): DASt-Richtlinie 007: Lieferung, Ver-

- arbeitung und Anwendung wetterfester Baustähle. Köln: Stahlbau-Verlags-GmbH, 1979.
- [4] Fischer, M.; Wien, B.: Erfahrungen mit Brücken aus wetterfestem Baustahl. Forschungsbericht, Dortmund: Universität Dortmund, Fachgebiet Stahlbau, 1988.
- [5] Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DASt, Hrsg.): DASt-Richtlinie 007: Lieferung, Verarbeitung und Anwendung wetterfester Baustähle. Köln: Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, 1993.
- [6] Ungermann, D.; Hatke, P.; ECCS AC3 Bridge Committee: European design guide for the use of weathering steel in bridge construction. 2nd Ed., ECCS Publication No. 143, Brüssel: ECCS – European Convention for Constructional Steelwork, 2021.
- [7] Kuhlmann, U.; Maier, P.; Zinke, T.; Ummenhofer, T.; Pfaffinger, M.; Mensinger, M.; Beck, T.; Lenz, K.; Schneider, S.; Fischer, M.; Friedrich, H.; Kascher, R.; Krieger, J.: Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit (FOSTA P 843). Forschungsbericht, Düsseldorf: Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., 2016.
- [8] Ungermann, D.; Hatke, P.; Walther, F.; Knyazeva, M.; Friedrich, S.; Lebelt, P.: Innovationen zum optimalen Einsatz des wetterfesten Baustahls im Stahl- und Verbundbrückenbau. Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben FOSTA P 1200/IGF-Nr. 18655 BG, Düsseldorf: Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., 2021.
- [9] Ungermann, D.; Hatke, P.; Knyazeva, M.; Walther, F.; Lebelt, P.; Gehrke, J.: Innovationen zum optimalen Einsatz des wetterfesten Baustahls im Stahl- und Verbundbrückenbau. Stahlbau 90 (2021) 2, S. 106–115 – DOI: 10.1002/stab.202000090
- [10] DIN EN ISO 9223:2012-05: Korrosion von Metallen und Legierungen – Korrosivität von Atmosphären – Klassifizierung, Bestimmung und Abschätzung (ISO 9223:2012); Deutsche Fassung EN ISO 9223:2012.
- [11] DIN EN ISO 12944-2:2018-04: Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen (ISO 12944-2:2017); Deutsche Fassung EN ISO 12944-2:2017.
- [12] Homepage des Umweltbundesamtes, Tabelle zu Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe nach Quellkategorien: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland#entwicklung-der-luftschadstoffbelastung-> (geprüft am 14.03.2023).
- [13] ISO 9226:1992-02: Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
- [14] Lebelt, P.; Gehrke J.: Korrosionsverhalten von Zink in natürlicher Atmosphäre. Bericht Nr. 167, Düsseldorf: GAV – Gemeinschaftsausschuss Verzinken e.V., 2018, <https://www.gav-verzinken.de/forschung/wissenspool>.
- [15] DIN EN 10025-5:2019-10: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 5: Technische Lieferbedingungen für wetterfeste Baustähle; Deutsche Fassung EN 10025-5:2019.
- [16] DIN EN 10210-3:2020-11: Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau – Teil 3: Technische Lieferbedingungen für höher- und wetterfeste Stähle; Deutsche Fassung EN 10210-3:2020.
- [17] DIN EN 10219-3:2020-11: Kaltgeformte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau – Teil 3: Technische Lieferbedingungen für höher- und wetterfeste Stähle; Deutsche Fassung EN 10219-3:2020.
- [18] EN 1993: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten.
- [19] EN 1994: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton.
- [20] DIN EN 1090-2:2018-09: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2018.
- [21] DIN EN 1993-1-9:2010-12: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009.
- [22] 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.
- [23] Yura, J. A.; Frank, K. H.; Cayes, L.: Bolted Friction Connections with Weathering Steel. Journal of the Structural Division 107 (1981) 11, S. 2071–2087.
- [24] DIN 1076:1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung.