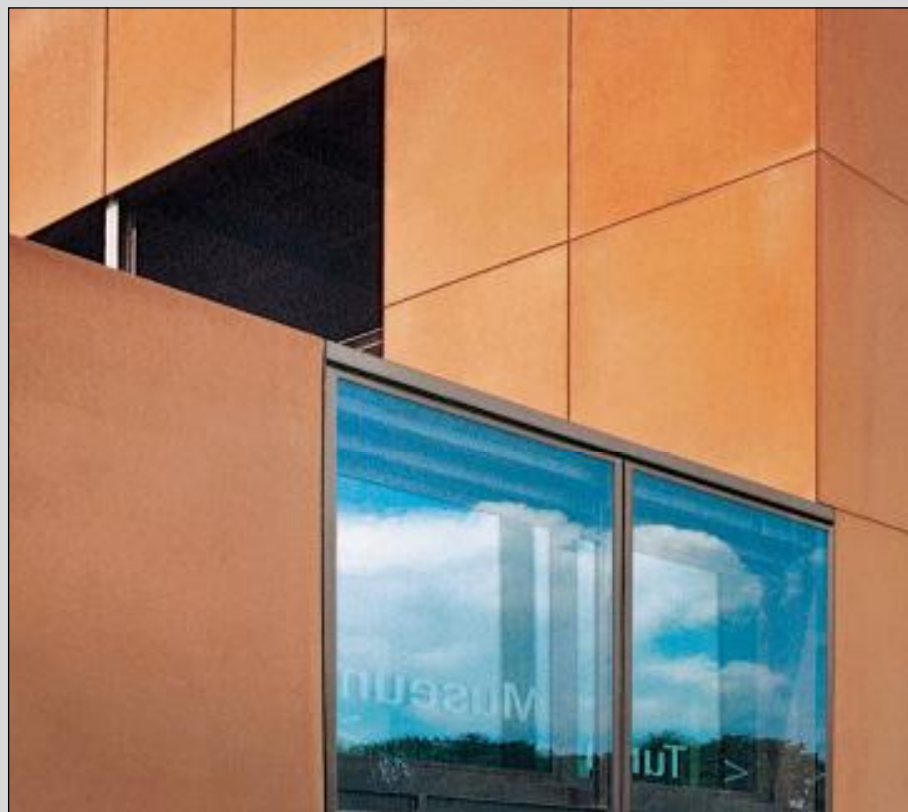




Merkblatt 434

Wetterfester Baustahl



Stahl-Informations-Zentrum

Das Stahl-Informations-Zentrum ist eine Gemeinschaftsorganisation Stahl erzeugender und verarbeitender Unternehmen. Markt- und anwendungsorientiert werden firmenneutrale Informationen über Verarbeitung und Einsatz des Werkstoffs Stahl bereitgestellt.

Verschiedene **Schriftenreihen** bieten ein breites Spektrum praxisnaher Hinweise für Konstrukteure, Entwickler, Planer und Verarbeiter von Stahl. Sie finden auch Anwendung in Ausbildung und Lehre.

Vortragsveranstaltungen schaffen ein Forum für Erfahrungsberichte aus der Praxis.

Messebeteiligungen und Ausstellungen dienen der Präsentation neuer Werkstoffentwicklungen sowie innovativer, zukunftsweisender Stahlanwendungen.

Als **individueller Service** werden auch Kontakte zu Instituten, Fachverbänden und Spezialisten aus Forschung und Industrie vermittelt.

Die **Pressearbeit** richtet sich an Fach-, Tages- und Wirtschaftsmedien und informiert kontinuierlich über neue Werkstoffentwicklungen und -anwendungen.

Das Stahl-Informations-Zentrum zeichnet besonders innovative Anwendungen mit dem **Stahl-Innovationspreis** aus (www.stahlinnovationspreis.de). Er ist einer der bedeutendsten Wettbewerbe seiner Art und wird alle drei Jahre ausgelobt.

Für die Aus- und Weiterbildung von Bauingenieuren steht das **Stahlbau-Lehrprogramm** mit Fachbeiträgen und Berechnungsbeispielen auf CD-ROM zur Verfügung.

Die **Internet-Präsentation** (www.stahl-info.de) informiert u.a. über aktuelle Themen und Veranstaltungen und bietet einen Überblick über die Veröffentlichungen des Stahl-Informations-Zentrums. Schriftenbestellungen sowie Kontaktaufnahme sind online möglich.

Impressum

Merkblatt 434
„Wetterfester Baustahl“
1. Auflage 2004
ISSN 0175-2006

Herausgeber
Stahl-Informations-Zentrum
Postfach 10 48 42,
40039 Düsseldorf

Autor
Em. Prof. Dr.-Ing. Manfred Fischer,
Stuttgart

Layout
circa drei, München

Fotos
Martin Jung, Hamburg: Titel
Manfred Fischer, Stuttgart:
Abb. 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 16,
17, 25, 31, 35, 38, 40, 43, 44, 45,
46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54
Stahl-Informations-Zentrum,
Düsseldorf, Merkblatt 434,
3. Auflage 1974: Abb. 1, 2
Jörg Hempel, Aachen: Abb. 18, 19
Klaus Frahm, Hamburg: Abb. 20
Bernd-Michael Maurer, Köln-
Dellbrück: Abb. 23
Lamott Architekten, Stuttgart:
Abb. 27, 28, 30
Eduard Hueber, New York:
Abb. 21
Dietrich • Fritzen • Löf, Köln:
Abb. 32, 33
Zwahlen & Mayr S. A., Aigle
(Schweiz): Abb. 36
Kunst- und Ausstellungshalle
der Bundesrepublik Deutschland
GmbH Bonn/Peter Oszvald:
Abb. 51

Ein Nachdruck dieser Veröffentlichung ist – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers und bei Quellenangabe gestattet. Die zugrunde liegenden Informationen wurden mit größter Sorgfalt recherchiert und redaktionell bearbeitet. Eine Haftung ist jedoch ausgeschlossen.

Mitglieder des Stahl-Informations-Zentrums:

- AG der Dillinger Hüttenwerke
- Agozal Oberflächenveredelung GmbH
- Arcelor RPS Sàrl, Luxemburg
- Benteler Stahl/Rohr GmbH
- EKO Stahl GmbH, Gruppe Arcelor
- Gebr. Meiser GmbH
- Georgsmarienhütte GmbH
- Mittal Steel Germany GmbH
- Rasselstein GmbH
- Remscheider Walz- und Hammerwerke Böllinghaus GmbH & Co. KG
- Saarstahl AG
- Salzgitter AG Stahl und Technologie
- Stahlwerke Bremen GmbH, Gruppe Arcelor
- ThyssenKrupp Electrical Steel GmbH
- ThyssenKrupp GfT Bautechnik GmbH
- ThyssenKrupp Steel AG
- ThyssenKrupp VDM GmbH
- Wickedder Westfalenstahl GmbH

| Inhalt | Seite | | Seite |
|--------|-------|------------------------------|-------|
| 1 | 4 | 5 | 30 |
| 2 | 6 | 5.1 | 30 |
| 2.1 | 6 | 5.2 | 30 |
| | 6 | 6 | 31 |
| 2.1.1 | 6 | 6.1 | 31 |
| 2.1.2 | 7 | 6.2 | 32 |
| 2.2 | 7 | | 32 |
| 2.2.1 | 7 | Anhang: | |
| | 7 | Check-Liste für den Anwender | 35 |
| 2.2.2 | 7 | Literatur | 38 |
| | 7 | Architekten | 38 |
| 2.2.3 | 8 | | |
| 2.2.4 | 8 | | |
| 2.3 | 9 | | |
| 2.4 | 9 | | |
| 2.4.1 | 9 | | |
| 2.4.2 | 9 | | |
| 2.4.3 | 11 | | |
| 2.5 | 12 | | |
| 2.6 | 12 | | |
| 3 | 12 | | |
| 3.1 | 12 | | |
| 3.2 | 12 | | |
| 3.2.1 | 12 | | |
| 3.2.2 | 12 | | |
| 3.2.3 | 13 | | |
| 3.2.4 | 13 | | |
| 3.2.5 | 14 | | |
| 3.2.6 | 14 | | |
| 4 | 15 | | |
| 4.1 | 15 | | |
| 4.1.1 | 15 | | |
| 4.1.2 | 22 | | |
| 4.1.3 | 26 | | |
| 4.2 | 27 | | |

1 Überblick

Der Inhalt dieser Schrift ist für Personen gedacht, die Bauwerke oder Konstruktionen aus Wetterfestem Baustahl planen, entwerfen, konstruieren oder ausführen. Sie wendet sich somit an die Anwender und damit hauptsächlich an Architekten, Ingenieure, Bauherren und Personen in Stahlbaubetrieben. Da der Wetterfeste Stahl auch für Stahlskulpturen verwendet wird, kann diese Schrift auch für bildende Künstler interessant sein.

Der augenfälligste Unterschied zwischen Wetterfestem Baustahl und normalem Baustahl besteht darin, dass Wetterfester Baustahl vorwiegend ungeschützt eingesetzt wird, d. h. z. B. ohne Beschichtungen (Farbanstriche) oder metallische Überzüge. Er fällt somit dem Betrachter durch die natürliche Rostfärbung auf. Unter Wetterfestigkeit ist ein im Vergleich zu normalem Baustahl wesentlich erhöhter Widerstand gegen atmosphärische Korrosion zu verstehen. Der Rostprozess kommt zwar auch bei werkstoffgerechten Bedingungen nicht zum Stillstand, ist aber schon nach wenigen Jahren so gering, dass der ungeschützte Einsatz dieses Stahles zugelassen und von Vorteil ist. Seine Wetterfestigkeit erhält er durch sehr geringe Legierungsanteile. Die maßgebenden Elemente sind vor allem Kupfer und Chrom. Außerdem gibt es Stähle, bei denen zusätzlich Phosphor zur Steigerung der Wetterfestigkeit verwendet wird. Weil die einzelnen Legierungsanteile so gering sind – sie liegen unter 1 % –, unterscheidet sich der Wetterfeste Stahl außer in der Wetterfestigkeit nur sehr wenig von den üblichen Baustählen.

Für die Anwendung des Wetterfesten Stahles sprechen trotz geringfügig höherer Materialpreise unter anderem wirtschaftliche Gründe. Bei seinem Einsatz ohne Beschichtung entfallen die Kosten

für den Korrosionsschutz und die Kosten, die damit im Zusammenhang stehen, wie z. B. Kosten für Einhausungen. Bei beschichtetem Einsatz ist die Unterrostungsneigung von Beschichtungen geringer als bei den üblichen Baustählen, was praktisch zu längeren Standzeiten der Beschichtungen führt. Aber auch wegen seiner besonderen ästhetischen Qualität, der natürlichen Rostfärbung der Bauten, Konstruktionen und Skulpturen, wird der Wetterfeste Stahl gerne eingesetzt. Ein weite-

war, kam zuerst auf den Markt und wurde weltweit z. B. bei Brücken eingesetzt ([1] und [2]). Während und direkt nach dem Zweiten Weltkrieg konnte dieser Stahl wegen der Einsparung der oben genannten Legierungselemente nicht mehr zum Einsatz gelangen [3].

Der Einsatz des unbeschichteten Wetterfesten Stahles bei üblicherweise beschichteten Konstruktionen wie z. B. Maste, Brücken und Hochbauten wurde zuerst in den USA empfohlen und



Abb. 1: Verwaltungsgebäude der John Deere Company in Moline, Illinois, USA

rer Grund für seine Anwendung ist seine spezielle Umweltfreundlichkeit. Es entfallen Belastungen von Luft und Wasser, die der Einsatz von Beschichtungen beim Aufbringen, beim Entfernen, beim Entsorgen von Strahlgut und beim Recyceln des Stahles mit sich bringen kann.

Wetterfeste Stähle wurden zuerst in Deutschland ab 1926 entwickelt und produziert. Sie wurden damals besonders bei Konstruktionen eingesetzt, die üblicherweise beschichtet werden. Der Union-Baustahl, ein Chrom-Kupfer-Stahl, der 1928 von der Vereinigten Stahlwerke AG, Dortmund, patentiert worden

erprobt. Ein wesentlicher Impuls ging dabei von dem Verwaltungsgebäude eines Landmaschinenherstellers, der John Deere Company in Moline, Illinois, aus (Abb. 1). Es war der bekannte amerikanisch-finnische Architekt Eero Saarinen, der um das Jahr 1960 für die Fassadenelemente und außen liegenden Konstruktionsteile dieses Gebäudes ungeschützten Wetterfesten Stahl gewählt hat. Er sah im erdartigen Farbton des Wetterfesten Stahles einen Bezug zu dem von der Firma hergestellten Produkt der Landmaschinen und benützte somit den Wetterfesten Stahl als Mittel zur „Corporate Identity“.



Abb. 2: Civic-Center, Hochhaus in Chicago, USA



Abb. 3: New-River-Gorge Brücke in West Virginia, USA,
Spannweite 518 m

Wenig später wurde dieser Stahl erstmals für die Brücken einer langen Hochstraße in Detroit verwendet. Auch der Architekt Mies van der Rohe setzte den ungeschützten Wetterfesten Stahl schon bald in den USA ein. Er wandte ihn als Außenverkleidung beim Civic-Center-Hochhaus in Chicago, das 1966 fertig gestellt wurde (Abb. 2). Die größte Brücke aus Wetterfestem Stahl steht ebenfalls in den USA. Es ist die 1977 erbaute New-River-Gorge-Brücke in West Virginia, eine Fachwerkbogenbrücke mit 518 m Spannweite (Abb. 3).

Die Kunde von der Möglichkeit, den Wetterfesten Stahl bei Bauten und Konstruktionen ungeschützt einsetzen zu können, drang etwa um 1965 insbesondere mit der Werbung für den Cor-Ten-Stahl von den USA aus in viele andere Länder und somit auch nach Deutschland (Cor-Ten wird vielfach auch Corten oder CORTEN geschrieben). Der Cor-Ten-Stahl ist der spezielle Wetterfeste Stahl eines amerikanischen Stahlproduzenten und damit nur einer von vielen. Es ist deshalb nicht korrekt, den Wetterfesten Stahl einfach Cor-Ten-Stahl zu nennen.

Der ungeschützte Wetterfeste Stahl kam dann etwa ab 1970 in Deutschland vor allem bei Fassa-

den und Konstruktionen im Hochbau, im Hallenbau, im Straßenbrückenbau, im Kranbau, im Behälterbau, im Mastbau, bei Kaminen und bei Stahlskulpturen zum Einsatz. Während die Bauingenieure im Wetterfesten Stahl insbesondere einen wirtschaftlichen Baustoff sehen, schätzen viele Architekten und Künstler seine besondere ästhetische Qualität, die sich auf die selbstgebildete und somit natürliche Rostfärbung gründet.

Nach mehreren Jahren des Einsatzes von Wetterfesten Stählen traten z. B. in den USA, in der Schweiz und auch in Deutschland teilweise Schäden und Mängel an einzelnen Konstruktionen auf. Sie wurden voreilig dem Werkstoff oder dem Klima angelastet. Bei der Suche nach den genauen Ursachen stellte sich aber heraus, dass in einigen ersten Veröffentlichungen das Werkstoffverhalten teilweise ungenau beschrieben worden war. So wurde dort behauptet, dass der Rostprozess nach wenigen Jahren völlig zum Stillstand kommen würde. Des Weiteren war die Konstruktionsausbildung durch die Anwender nicht immer werkstoffgerecht erfolgt. Sie hatten offensichtlich bei der Planung nicht erkannt, dass in einigen Konstruktionsdetails zwangsläufig Dauerfeuchtigkeit

entstehen musste. Beispiele dafür sind ungünstige Spalten und Fugen in Fassaden oder Überlappungen bei Trapezblechverkleidungen.

In der Zwischenzeit wurden entsprechende Forschungen in mehreren Ländern (z. B. Schweden, Tschechien, Großbritannien, Japan, Schweiz, USA und Deutschland) durchgeführt. Sie haben die wichtigen Fragen geklärt. Dazu gehörten besonders die eindeutige Beschreibung des Werkstoffverhaltens und die werkstoffgerechte Ausbildung der Konstruktion. In die neue DAST-Richtlinie 007 „Lieferung, Verarbeitung und Anwendung Wetterfester Baustähle“, Ausgabe 1993 [4], wurden deshalb im Anhang 4 auch Beispiele aufgenommen (aus dem Brückenbau), an denen abgelesen werden kann, wie Konstruktionen auszuführen sind, damit sich in ihnen keine Dauerfeuchtigkeit hält.

Heute kann der Wetterfeste Stahl sicher angewandt und mit Vorteil genutzt werden. Dies bestätigen viele Bauten und Konstruktionen weltweit. Die dazu notwendigen Informationen für den Anwender sind vorhanden und werden in diesem Merkblatt mitgeteilt.

2 Wetterfeste Stähle

2.1 Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften

2.1.1 Europäische Norm

Nach DIN EN 10020, 1989, „Begriffsbestimmung für die Einteilung der Stähle“ [5], zählen die Wetterfesten Stähle zu den Edeltählen. Von den üblichen Edeltählen unterscheiden sie sich wesentlich dadurch, dass die Legierungsbestandteile prozentual nur sehr geringe Massenanteile aufweisen. Dies macht sie entsprechend preiswert.

Weltweit gibt es sehr viele Sorten von Wetterfesten Baustählen. In dieser Schrift ist eine Beschränkung bezüglich der Informationen über Stahlsorten nötig. Deshalb wird hier nur auf die Stähle der europäischen Norm DIN EN 10155, „Wetterfeste Baustähle, Technische Lieferbedingungen“ [6] bzw. auf die des

Entwurfes der demnächst gültigen Nachfolgenorm EN 10025-5 eingegangen. Die Überschrift des vorliegenden weißen Entwurfes dieser Norm lautet: „Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 5, Technische Lieferbedingungen für Wetterfeste Baustähle“ [7]. Diese Norm ist zusammen mit der Norm EN 10025-1, Allgemeine technische Lieferbedingungen, die ebenfalls im weißen Entwurf vorliegt, eine Revision der derzeit gültigen Norm [6]. In **Tabelle 1** sind nur die wichtigsten Angaben aus [6] zusammengestellt.

Wie aus **Tabelle 1** zu ersehen ist, handelt es sich bei diesen Stählen bezüglich der Legierungsbestandteile im Wesentlichen um zwei Sorten, nämlich einmal um Stähle, die die Wetterfestigkeit hauptsächlich mit den Legierungselementen Chrom und Kupfer erreichen. Sie führen in der Bezeichnung als letzten Buchstaben nur das W (Klasse W). Daneben gibt es noch die Stähle, die zusätzlich einen höheren Phosphoranteil haben (0,06–0,15 % P). Sie führen

in der Bezeichnung am Ende zwei Buchstaben, nämlich WP (Klasse WP). Sie sind zwar auch schweißbar, die europäische Norm [6] macht jedoch im Anhang C darauf aufmerksam, dass dabei besondere Vorsichtsmaßnahmen zu treffen sind.

Die Angaben in der DASt-Richtlinie 007 [4] gelten nur für die folgenden Stähle aus **Tabelle 1**: S235J2W, S355J2G1W, S355J2G2W, S355K2G1W und S355K2G2W. Diese Stähle sind auch nach der Bauregelliste A zugelassen. Die Stähle der Klasse WP gehören also nicht dazu. Will man sich nicht außerhalb der DASt-Richtlinie 007 bewegen, sind nur die in ihr angegebenen Stähle zu benutzen. Die von unterschiedlichen Stahlproduzenten im In- und Ausland angegebenen Markennamen werden in der Norm nicht genannt. Die so benannten Stähle lassen sich aber in der Regel über die Werkstoffnummern den Stählen der Normen zuordnen.

In den mechanischen Eigen-

| Stahlsorte Bezeichnung | | Massenanteile in % | | | | | | | | | Mindeststreckgrenze N/mm ² |
|--|--------------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|------------|--|
| Nach EN 10027-1 und ECISS-IC 10 | Nach EN 10027-2 | C max. | Si max. | Mn | P | S max. | N max. | Cr | Cu | Ni max. | t < 16 |
| S235J0W | 1.8958 | 0,13 | 0,40 | 0,20 | max. 0,040 | 0,040 | 0,009 | 0,40 | 0,25 | 0,65 | 235 |
| S235J2W | 1.8961 | | | bis 0,60 | | 0,035 | – | 0,80 | 0,55 | | |
| S355J0WP | 1.8945 | 0,12 | 0,75 | max. | 0,06 bis 0,15 | 0,040 | 0,009 | 0,30 | 0,25 | 0,65 | 355 |
| S355J2WP | 1.8946 | | | 1,0 | | – | 1,25 | 0,55 | | | |
| S355J0W | 1.8959 | 0,16 | 0,50 | 0,50 bis 1,50 | max. 0,040 | 0,040 | 0,009 | 0,40 bis 0,80 | 0,25 bis 0,55 | 0,65 | 355 |
| S355J2G1W | 1.8963 | | | | max. 0,035 | 0,035 | – | | | | |
| S355J2G2W | 1.8965 | | | | max. 0,035 | 0,035 | – | | | | |
| S355K2G1W | 1.8966 | | | | max. 0,035 | 0,035 | – | | | | |
| S355K2G2W | 1.8967 | | | | max. 0,035 | 0,035 | – | | | | |

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung der Wetterfesten Stähle nach der Schmelzanalyse und Mindeststreckgrenze für Dicken t < 16 mm (siehe [6]). Die von der Dicke abhängige Änderung der Streckgrenze und der Bruchdehnung ist vergleichbar mit derjenigen bei den unlegierten Baustählen.

schaften (Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Kerbschlagzähigkeit) unterscheiden sich die Wetterfesten Baustähle kaum von den entsprechenden unlegierten Baustählen. In Deutschland wird nach DIN 18800-1 für Blech und Breitflachstahl in geschweißten Bauteilen mit Dicken über 30 mm, die im Bereich der Schweißnähte auf Zug beansprucht werden, der Aufschweißbiegeversuch gefordert. Stahlhersteller können entsprechendes Material beim Wetterfesten Stahl bis zu Dicken von 100 mm auf Wunsch liefern.

2.1.2 Hochfeste Qualitäten

Wetterfeste Baustähle mit hochfesten Qualitäten, d. h. mit Streckgrenzenwerten über 355 N/mm², werden von Stahlunternehmen schon angeboten. In den USA und Japan sind sie bereits genormt und werden in der Praxis eingesetzt.

2.2 Deckschichtbildung

2.2.1 Direkt benetzte und indirekt benetzte Flächen

Bei der Korrosionsbeanspruchung ist es sinnvoll, zwischen

direkt benetzten Flächen und indirekt benetzten Flächen zu unterscheiden (siehe [4], Anhang 4).

- Direkt benetzte Flächen sind Stahloberflächen, zu denen die Außenluft Zugang hat und die direkt mit Wasser beaufschlagt sind.
- Indirekt benetzte Flächen sind Stahloberflächen, zu denen die Außenluft Zugang hat und die nur durch Kondensation benetzt oder einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 60 % ausgesetzt sind.

Indirekt benetzt sind z. B. insbesondere Konstruktionsglieder, die „unter Dach“ liegen. Bei direkter Benetzung entsteht eine relativ dunkle Braunfärbung. Bei indirekter Benetzung ist sie meist etwas heller und sehr gleichmäßig gefärbt (Abb. 4). Abweichungen davon sind gegeben, wenn die indirekt benetzten Flächen relativ lange feucht bleiben, wie dies beispielsweise der Fall ist, wenn sie nicht gut belüftet sind.

Direkt und indirekt benetzte Flächen gelten als bewittert. Dagegen gelten Flächen, zu denen die Außenluft keinen Zugang hat (z. B. im Inneren von dicht geschlossenen Hohlkästen oder in Innenräumen), als unbewittert.



Abb. 4: Die Flächen, die direkt unter den beiden hervorstehenden Fassadenelementen liegen, weisen eine hellere Braunfärbung auf. Sie sind weitgehend nur indirekt benetzt.

2.2.2 Deckschichtbildung bei direkt benetzten Flächen

Ist die Konstruktion werkstoffgerechten Bedingungen ausgesetzt, bildet der Wetterfeste Stahl unter der natürlichen Bewitterung (Feucht-trocken-Wechsel) in ein bis zwei Jahren eine relativ dichte und relativ fest haftende Rostdeckschicht aus. Der Rostvorgang wird dadurch in den folgenden



Abb. 5: Ausschnitte von zwei Industrieschornsteinen. Der linke wurde vor längerer Zeit errichtet. Er hat seine endgültige Färbung. Der rechte Schornstein steht erst wenige Monate und weist daher noch helle Rostprodukte auf.



Abb. 6: Dunkelbraune, genarbte Oberfläche des direkt benetzten Wetterfesten Stahles

Jahren wesentlich verlangsamt. Während zu Beginn der Rostschichtbildung die Rostoberfläche der direkt benetzten Flächen nach wenigen Wochen ein relativ helles Braun zeigt, verändert sich dieses im Verlauf der Zeit zu einem dunklen Braun (Abb. 5). Durch einen muldenförmigen Korrosionsabtrag (Narben) wird die Oberfläche rauer als bei indirekt benetzten Flächen (Abb. 6). Zu einem völligen Stillstand des Rostvorganges kommt es nicht.

In [8] wurde ein Modell für die Bildung und Erhaltung dieser Schutzschicht aufgezeigt (Abb. 7). Durch die Legierungselemente, insbesondere Kupfer, Chrom und Phosphor, bilden sich beim Rostvorgang unter der Einwirkung von Schwefeldioxid schwer lösliche basische Sulfate, Hydroxide und Phosphate. Diese bauen auf dem Metall eine kompakte und relativ fest haftende amorphe Rostschicht auf. Sie hemmt den weiteren Zutritt von Sauerstoff, Wasser und Schwefeldioxid zur Metallfläche. Die Rostdeckschicht ist jedoch in größeren Abständen mit Rissen durchzogen (mit dem Auge nicht sichtbar). Das gefährdete Metall in den Rissflächen

bleibt aber dann elektrochemisch passiv und damit vor weiterem Rostangriff geschützt, wenn die Oberfläche nach kurzen Feuchtzeiten immer wieder abtrocknet. Bei langen Feuchtzeiten (Dauerfeuchtigkeit) werden diese Stellen aktiv und vergrößern sich durch fortschreitende Korrosion. Bei Dauerfeuchtigkeit geht somit der erhöhte Korrosionswiderstand verloren, und der Wetterfeste Stahl rostet dann wie ein unlegierter Stahl. Werkstoffgerechte Bedingungen sind somit nur gegeben, wenn Dauerfeuchtigkeit ausgeschlossen ist.

Eine ungleichmäßige Färbung tritt auf, wenn die Oberfläche unterschiedlichen Bedingungen ausgesetzt ist, wie z. B. unterschiedlicher Feuchtigkeitsintensität, Feuchtigkeitsdauer oder unterschiedlicher Temperatur auf der Stahloberfläche. Die dabei entstehenden Farbunterschiede werden meist nur dann wahrgenommen, wenn sie auf ein und derselben Oberfläche gleichzeitig auftreten. Dies ist z. B. bei ungleichmäßigem, örtlich konzentriertem Wasserablauf der Fall. Hierbei können sich auch Schlieren bilden.

2.2.3 Deckschichtbildung bei indirekt benetzten Flächen

Man begegnet immer wieder der Meinung, die Flächen der Konstruktionen aus Wetterfesten Stählen müssten der direkten Benetzung, also dem Regen, ausgesetzt sein, damit sich die schützende Deckschicht bildet. Das ist nicht richtig, da die nicht direkt benetzten Flächen ebenfalls mehr oder weniger feucht werden und Feucht-trocken-Wechseln ausgesetzt sind. Die Ursache sind die Luftfeuchtigkeit und die Kondensation. Wenige Wochen nach dem Sandstrahlen stellt sich auch hier eine hellbraune Rostfärbung ein. Eine Deckschicht bildet sich auch bei indirekt benetzten Flächen aus. Die Korrosionsbelastung von indirekt benetzten Flächen ist meist geringer als bei direkter Benetzung. Sie kann aber auch sehr hoch sein, wenn Kondenswasser wegen mangelnder Belüftung sehr lange nicht abtrocknet. Je nach Bedingung bildet sich eine entsprechende Schutzschicht und Färbung aus. Würde z. B. gar keine Feuchtigkeit auftreten, würde keine Deckschicht ausgebildet. In diesem Fall würde auch keine benötigt. Bei geringer indirekter Benetzung bildet sich eine Deckschicht mit hellerer Braunfärbung und ungenarbter, gleichmäßigerer Oberflächenstruktur aus. Je nach den Feuchtigkeitsbedingungen, z. B. gut oder weniger gut belüftet, mit wenig oder mehr Kondensation, nähert sich die Oberflächenstruktur derjenigen bei normaler Korrosionsbelastung. Im Extremfall von Dauerfeuchtigkeit wird die Deckschichtbildung gestört, und der Wetterfeste Stahl rostet wie der normale Baustahl.

2.2.4 Geringere Unterrostungsneigung von Beschichtungen

Sowohl [4] als auch [6] und [7] weisen darauf hin, dass die Unterrostungsneigung von Be-

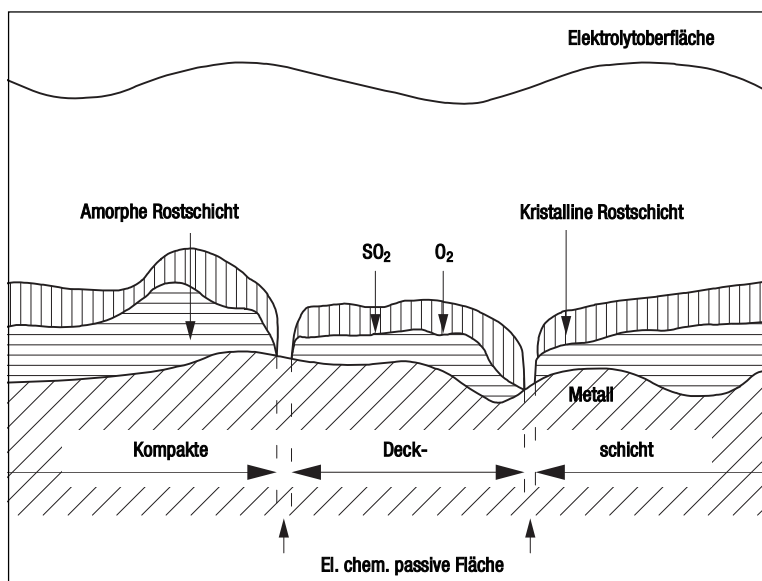


Abb. 7: Schematische Darstellung der Rostschicht eines gut bewitterten Wetterfesten Stahles

schichtungen bei Wetterfesten Baustählen bei gleichen Voraussetzungen geringer ist als bei vergleichbaren unlegierten Baustählen. Eine Begründung dafür wird z. B. in [9] gegeben.

2.3 Voraussetzungen für den optimalen erhöhten Korrosionswiderstand

Die Voraussetzungen für den erhöhten Korrosionswiderstand sind werkstoffgerechte Bedingungen. Diese Bedingungen betreffen sowohl die Atmosphäre, der die Konstruktion ausgesetzt ist, als auch das Kleinstklima im konstruktiven Detail, das sich je nach der speziellen Bedingung dort einstellt. Die Atmosphäre berücksichtigt das Klima und die Schadstoffe in der Luft.

Die praktischen Voraussetzungen für den optimalen erhöhten Korrosionswiderstand sind folgende:

Keine Dauerfeuchtigkeit:

Wie im Abschnitt 2.2 dargelegt, rostet der Wetterfeste Stahl bei Dauerfeuchtigkeit wie ein unlegierter Stahl.

Feucht-trocken-Zyklen:

Feuchtzeiten müssen in kurzer Zeit (z. B. acht Tage) wieder Trockenzeiten folgen. Sind die Bedingungen ungünstiger, d. h., werden die Feuchtzeiten länger, ohne dass schon von Dauerfeuchtigkeit gesprochen werden kann, dann sind die Abrostungsraten höher als bei guten Bedingungen.

Geringe Schadstoffbeanspruchung:

Gewisse Schadstoffe dürfen nicht auftreten oder müssen unter bestimmten Grenzwerten liegen, wenn gute werkstoffgerechte Bedingungen für den Wetterfesten Stahl vorliegen sollen.

- Keine Chloridbelastung durch Meereseinfluss oder Streusalz.

| Erwartete Nutzungsdauer | Korrosionsbelastung | | |
|-------------------------|---------------------|--------|--------|
| | Schwer | Mittel | Leicht |
| < 30 Jahre | 1 | 0,8 | - |
| > 30 Jahre | 1,5 | 1,2 | 0,8 |

Tabelle 2: Abrostungszuschläge nach Tabelle 2 aus [4] für drei Korrosionsbelastungen: schwer, mittel und leicht

- Schwefeldioxidbelastung in der Luft muss kleiner sein als $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oder etwa $40 \text{mg}/\text{m}^2$ je Tag.
- Kein hoch konzentrierter chemischer oder industrieller Rauch.

In der Praxis können die optimalen Voraussetzungen (leichte/geringe Korrosionsbelastungen) nicht immer voll eingehalten werden. Wie dann vorzugehen ist, wird im nächsten Abschnitt behandelt.

2.4 Einstufung in eine Korrosivitätskategorie und Dickenzuschläge

2.4.1 Übersicht

Für Tragkonstruktionen, deren Tragfähigkeit durch Abrostungen gefährdet werden könnte, verlangt die DASt-Richtlinie 007 [4] Dickenzuschläge (Tabelle 2). Diese Zuschläge gelten nur für bewitterte Flächen. Zum Beispiel sind bei einem geschlossenen Kastenträger nur die Außenflächen der Bleche bewittert. Zuschläge sind auch bei Schweißnähten erforderlich, wenn

1. die Nähte nicht schon automatisch durch die Blechdickenzuschläge verstärkt werden, wie das bei Stumpfnähten der Fall ist, und
2. bei den übrigen Nähten wie z. B. Kehlnähten, wenn sie bei der Berechnung unter Abzug der voraussichtlichen Abrostung (negativer Dickenzuschlag) überbeansprucht würden.

Aber auch bei Konstruktionen, bei denen durch Abrostungen die Gebrauchsfähigkeit in Frage gestellt sein könnte, wie z. B. bei Konstruktionen mit relativ dünnen Blechen, ist zu empfehlen, die voraussichtlichen Abrostungswerte für die vorgegebene Nutzungsdauer abzuschätzen und diese gegebenenfalls bei der Planung zu berücksichtigen.

Die Dickenzuschläge sind von den Korrosionsbelastungen der Konstruktion abhängig. Es ist daher für den Planer erforderlich, sich über diese Belastungen Klarheit zu verschaffen, um dann die Einstufung in eine Korrosionsbelastung (Korrosivitätsklasse) vornehmen zu können.

2.4.2 Einstufung

In Tabelle 2 werden drei Korrosionsbelastungen genannt, nämlich schwer, mittel und leicht. Als Beispiel dafür sind in [4] verschiedene Atmosphären von Standorten der Konstruktion angegeben, nämlich Industriatmosphäre (schwer), Stadtatmosphäre (mittel) und Landatmosphäre (leicht). Abgesehen davon, dass sich heute teilweise Landatmosphären von Stadt- oder gar Industriatmosphären kaum mehr unterscheiden, beeinflussen, wie schon oben erwähnt, auch noch die Faktoren des Kleinstklimas die Korrosivität wie z. B. die Belüftung oder die Salzbeaufschlagung. Da hierzu in [4] keine Beispiele genannt werden, kann der Anwender meinen, dass er mit der Unterscheidung von den Atmosphären am Standort der Konstruktion schon alle Faktoren bei der

Merkblatt 434

Einstufung in eine Korrosivitätsklasse berücksichtigt hat, was aber nicht der Fall ist. Es ist daher heute ein praxisgerechteres Einstufungsmodell erforderlich. In Anlehnung an die DIN EN ISO 12944, „Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme“ [10] wird vom Autor hier ein Einstufungsmodell speziell für den Wetterfesten Stahl angeboten. In [10] werden fünf Korrosivitätskategorien entsprechend [11] unterschieden, wobei die fünfte Kategorie (sehr stark) noch

aufgeteilt ist in C5-I und C5-M.

- C1 unbedeutend
- C2 gering (entspricht „leicht“ in [4])
- C3 mäßig (entspricht „mittel“ in [4])
- C4 stark (entspricht „schwer“ in [4])
- C5-I sehr stark (Industrie)
- C5-M sehr stark (Meer)

Da für den Wetterfesten Stahl die Feuchtigkeitsdauer bzw. der Feucht-trocken-Wechsel und die

Anwesenheit von korrosiven Stoffen für die Abrostung entscheidend sind, wird in dem Einstufungsmodell die Ermittlung der Korrosivitätskategorien von diesen Größen abhängig gemacht (Tabelle 3).

Die Feuchtigkeitsdauer bzw. die Feucht-trocken-Wechsel sind wiederum nicht nur vom Klima, sondern auch von guten oder schlechten Umgebungsbedingungen wie z. B. einer guten oder schlechten Belüftung der Konstruktion oder einer indirekten

| Feuchtigkeitsstufen Tatsächliche Feuchtigkeitsverhältnisse an der Konstruktion, verursacht durch Niederschlag, Wasserablauf oder Kondensation, Letztere bei relativer Luftfeuchtigkeit von 70 bis 80 % bei $t > 0\text{ °C}$ | 1. Geringe korrosive Stoffe $\text{SO}_2 < 40\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ und $\text{Cl} < 60\text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ | 2. Hohe Schwefeldioxidbelastung SO_2 bis $250\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ und $\text{Cl} < 60\text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ | 3. Hohe Salzbelastung $\text{Cl} > 300\text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ und $\text{SO}_2 < 40\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|---|---|--|--|
| 1. Innen: bei geringer Luftfeuchtigkeit ohne Kondensation (z. B. in klimatisierten Räumen von Gebäuden) | C1 | Nicht relevant | Nicht relevant |
| 2. Feucht-trocken-Wechsel mit nur kurzzeitiger Kondensation (z. B. außen: bei indirekter Benetzung mit guter Belüftung oder innen: in ungeheizten Gebäuden) | C2 | C2/3 | C3/4 |
| 3. Feucht-trocken-Wechsel, nur durch die Atmosphäre bestimmt (außen: gut belüftete, glatte Konstruktion) | C3 | C4 | C4 |
| 4. Feucht-trocken-Wechsel mit längeren Feuchtzeiten als durch den Klimaeinfluss allein (z. B. bei nicht gut belüfteter Konstruktion oder Konstruktion mit Schmutznestern) | C4 | C5 | C5 |
| 5. Feucht-trocken-Wechsel mit sehr langen Feuchtzeiten: praktische Dauerfeuchtigkeit (z. B. bei schlecht belüfteten Konstruktionen mit ungünstigen Spalten oder mit zusätzlichen Verunreinigungen) | C4/5 | C5 | C5 |

Tabelle 3: Praktische Hilfe zur Festlegung einer Korrosivitätskategorie für Konstruktionen aus Wetterfestem Stahl in gemäßigttem Klima (z. B. Deutschland) in Abhängigkeit von Feuchtigkeitsstufen (vertikal) und atmosphärischen Bedingungen (horizontal). Der Einsatz von ungeschütztem Wetterfestem Stahl ist bei Kategorie C5 nicht sinnvoll. (Die Chloridbelastung wird als Ablagerung je m^2 und Tag ($\text{d} = \text{day}$) angegeben. Sie ist der Mittelwert eines Jahres)

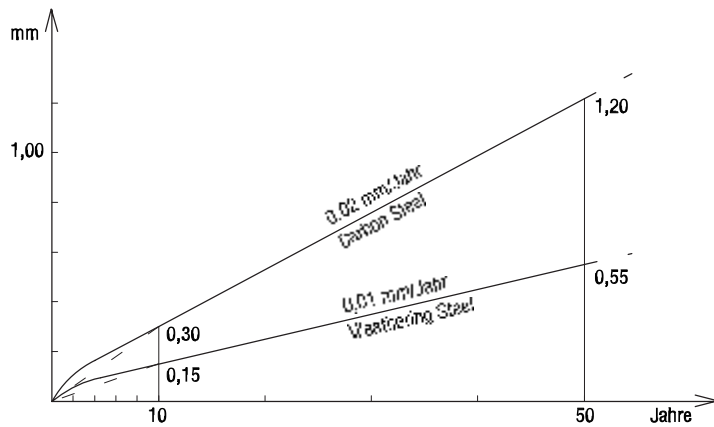


Abb. 8: Abrostungskurven von Carbon Steel (unlegierter Stahl) und Weathering Steel (Wetterfester Stahl) nach ISO 9224 für die Korrosionskategorie C4 (oberer Grenzwert)

oder direkten Benetzung abhängig sowie von den Bedingungen in der Konstruktion selbst. Zum Beispiel können Konstruktionen Spalte aufweisen oder vollständig glatt sein. Deshalb werden auch diese Parameter bei den Feuchtigkeitsstufen berücksichtigt.

Die Feuchtigkeitsstufen 1 und 2 in Tabelle 3 berücksichtigen gegenüber den Normalbedingungen bei einer Konstruktion in Deutschland (im Freien bei gemäßigttem Klima) günstige Einflüsse hinsichtlich der Beanspruchung durch Feuchtigkeit. Die Stufe 3 repräsentiert allein die Atmosphäre in unserem gemäßigten Klima. Es sind in dieser Stufe gute Belüftung und glatte Konstruktionen bei direkter Benetzung vorgegeben. Die Stufen 4 und 5 berücksichtigen dagegen ungünstige Einflüsse bezüglich der Feuchtigkeitseinwirkung.

Der Benutzer muss, um die Korrosivitätskategorie für seinen Fall zu finden, zuerst die Einflussfaktoren und deren Intensität bei seiner Konstruktion feststellen oder abschätzen. Es ergibt sich dann für ein und denselben Standort je nach den zusätzlichen Bedingungen (z. B. gute oder schlechte Belüftung, Nord- oder Südseite, Vegetationseinfluss auf die Feuchtigkeitsdauer, konstruktive Ausbildung (z. B. Spalte),

direkte oder indirekte Benetzung, guter oder schlechter Wasserablauf, Intensität korrosiver Stoffe in der Luft, Abwaschen von Salzen durch Regen oder nicht) die eine oder andere Korrosivitätskategorie. Bei der Einstufung helfen ihm die beispielhaften Angaben unter den einzelnen Feuchtigkeitsstufen in Tabelle 3.

Optimale Bedingungen für Konstruktionen im Freien sind die der Korrosivitätskategorie 2. Dieser Kategorie entsprechen z. B. Stahlflächen unter der Fahrbahn von Deckbrücken. Bei direkter Benetzung in einem gemäßigten Klima mit einer Atmosphäre mit nur geringen korrosiven Stoffen, wie sie heute in Deutschland in weiten Bereichen gegeben ist, kann die Korrosivitätskategorie C3 (mäßig = mittel) zugrunde gelegt werden, wenn die Konstruktion werkstoffgerecht gut durchgebildet ist (Konstruktion ohne Spalte) und keine speziell negativen Umgebungsbedingungen vorliegen wie z. B. schlechte Belüftung. Bei Kategorie C4 wird auf die beispielhaften Angaben in Tabelle 3 verwiesen. Die Bedingungen der Kategorie C5 sind, wie aus Abschnitt 2.3 gefolgert werden kann, für den Einsatz von ungeschütztem Wetterfestem Stahl ungeeignet.

2.4.3 Dickenzuschläge

Für sämtliche Korrosivitätskategorien gibt die ISO 9224 [11] unter anderem auch für den Wetterfesten Stahl Abrostungskurven an. Für eine Standzeit t über mehr als zehn Jahre gilt dort für den Dickenverlust Δh einer bewitterten Seite:

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 10 r_{av} + (t - 10) r_{lin}$$

r_{av} = jährliche Abrostungsrate in den ersten zehn Jahren

r_{lin} = jährliche Abrostungsrate in den späteren Jahren

Für die drei folgenden Korrosivitätskategorien gelten nach [11] folgende Werte für r_{av} und r_{lin} :

| | r_{av} | | r_{lin} | |
|----|----------|------|-----------|------|
| | min. | max. | min. | max. |
| C2 | 0,1 | 2 | 0,1 | 1 |
| C3 | 2 | 8 | 1 | 5 |
| C4 | 8 | 15 | 5 | 10 |

Tabelle 4: Einseitige Abrostungsraten je Jahr für die Korrosivitätskategorien C2, C3, und C4 (in Mikrometern = 1/1000 mm)

In den einzelnen Korrosivitätskategorien ergeben sich damit z. B. für eine Nutzungszeit von 100 Jahren folgende maximalen Abrostungen je bewitterte Seite:
 C2 $\Delta h = (10 \times 2 + 90 \times 1) : 1000 = 0,11$ mm
 C3 $\Delta h = (10 \times 8 + 90 \times 5) : 1000 = 0,53$ mm
 C4 $\Delta h = (10 \times 15 + 90 \times 10) : 1000 = 1,05$ mm

Die ungünstigste Abrostungskurve 8 (Hüllkurve) der DAST-Richtlinie 007 [4], die aus älteren Versuchen stammt, liefert dagegen etwa 1,7 mm. Der maximale Wert nach Tabelle 2 (DAST-Richtlinie 007) ist etwas geringer, nämlich 1,5 mm. Mit den Werten von [4] ist man heute, nachdem die Luftverunreinigung durch SO₂ ganz wesentlich geringer geworden ist, auf der sicheren Seite,

vorausgesetzt, es liegen keine Bedingungen der Kategorie C5 vor.

In **Abb. 8** ist für die Kategorie C4 der zeitliche Verlauf der maximalen Abrostung von Carbon Steel (unlegierter Baustahl) und Weathering Steel (Wetterfester Baustahl) entsprechend [11] angegeben. Der Verlauf ist dort bilinear vorgegeben. Für die ersten zehn Jahre ist der Anstieg steiler als für die folgenden Jahre. In Wirklichkeit ist der Verlauf in den ersten zehn Jahren jedoch nicht linear, sondern so wie in den ausgezogenen Kurvenästen dargestellt. Die Abrostung bei Wetterfestem Stahl ist in der Kategorie C4 etwa halb so groß wie bei unlegiertem Baustahl.

2.5 Kontaktkorrosion

Am Wetterfesten Stahl tritt Kontaktkorrosion auf, wenn er

über einen Elektrolyt (z. B. verunreinigtes Wasser) mit einem elektrochemisch edleren Metall, (z. B. hochlegierte Edelstähle, Kupfer, Blei und Zinn) eine leitende Verbindung bildet. Elektrochemisch unedle Metalle wie z. B. Zink und Aluminium können vom Wetterfesten Stahl angegriffen werden. Bei der Kontaktkorrosion spielt auch das Massenverhältnis der beiden Metalle eine Rolle (siehe auch Kapitel 3).

2.6 Ermüdungsverhalten

Nicht vorwiegend ruhende Belastungen können bei Stählen zu Ermüdungsbrüchen führen. Dabei spielt auch die Oberflächenbeschaffenheit eine Rolle. Wetterfeste Stähle weisen nach einiger Zeit Rostnarben auf. Gegenüber völlig glatten Oberflächen tritt eine Abminderung der

Ermüdungsfestigkeit ein [12]. Praktische Angaben zur Abminderung macht [4]. Die Rostnarbe hat jedoch bezüglich der Ermüdung bei üblichen Konstruktionen kaum Bedeutung, da bei Konstruktionen fast immer die ungünstigeren Kerbfälle durch Schweißnähte maßgebend sind.

3 Lieferung und Verarbeitung

3.1 Lieferung

Für die Lieferung von Flach- und Langerzeugnissen (Bleche, Breitflachstähle, Profile wie z. B. I- und L-Profile, Stäbe und Walzdraht) gilt [6] bzw. demnächst [7] in Verbindung mit EN 10025-1. Die lieferbaren Dicken sind in Tabelle 2 von [6] bzw. in Tabelle 1 von [7] angegeben. Für nahtlose oder geschweißte, runde, quadratische oder rechteckige Hohlprofile sind die für übliche Stähle geltenden Normen entsprechend anzuwenden. Bei Bedarf von nur kleineren Mengen ist vom Planer rechtzeitig zu prüfen, ob die gewünschten Formen und Dicken rechtzeitig geliefert werden können. Gegebenenfalls muss auf vorhandenes Material ausgewichen werden.

3.2 Verarbeitung

3.2.1 Bearbeitbarkeit

Bei gängigen Bearbeitungen im Stahlbau wie Warm- und Kaltumformen, Brennen, Flammrichten, Bohren und Fräsen verhalten sich Wetterfeste Stähle wie gängige unlegierte Baustähle. Zusätzliche Hinweise zur Umformbarkeit geben [4] und [6].

3.2.2 Schweißen

Wetterfeste Stähle nach [6] bzw. [7] sind mit gängigen Verfahren des Stahlbaus schweißbar. Es gelten dabei die gleichen Grundsätze wie bei den vergleichbaren unlegierten Baustählen. Bei den Stählen der Klasse WP sollten beim Schweißen auf Grund ihrer

erhöhten Phosphorlegierung besondere Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden. Wie schon in Kapitel 2.1 dargelegt, ist jedoch die Anwendung dieser WP-Stähle in Deutschland weder nach [4] noch nach der Bauregelliste vorgesehen.

Es ist zu empfehlen, im Bereich der zu schweißenden Randzonen eine schon gebildete Deckschicht in einer Breite von 10 bis 20 mm z. B. durch Schleifen zu entfernen, um Heißrisse durch niedrigschmelzende Kupfer-Eisen-Legierungen an der Oberfläche zu verhindern.

Wetterfeste Stähle sind sowohl untereinander als auch mit schweißgeeigneten unlegierten Baustählen verschweißbar.

Bei ungeschützter Anwendung des Wetterfesten Stahles muss

| Stabelektrode E-Hand | MAG-Fülldraht | UP-Schweißen | |
|--|--|------------------------|----------------------|
| | | Draht | Pulver |
| OK 73.08 (ESAB) | OK Autrod 13.26 (ESAB) FILARC PZ6112 (ESAB) | OK Autrod 13.36 (ESAB) | OK Flux 10.71 (ESAB) |
| TENCORD Kb (Oerlikon) | FLUXOFIL 48 (Oerlikon) FLUXOFIL 18 (Oerlikon) | | |
| SH Patinax Kb (Thyssen) Böhler Fox NiCuCr | Union Patinax (Thyssen) Böhler NiCu 1-IG | | |

Tabelle 5: Beispiele von Schweißzusätzen für die Stähle S235J2W und S355J2W

auch das Schweißgut wetterfest sein. Um dies zu erreichen, können auf den Grundwerkstoff abgestimmte wetterfeste Schweißzusätze verwendet werden. Beim Mehrlagenschweißen genügt es in der Regel, diese speziellen Schweißzusätze nur für die der Atmosphäre ausgesetzten Decklagen zu verwenden. Die Schweißzusätze sind typischerweise vom Legierungstyp CuNi und CuNiCr und sind im Handel erhältlich. **Tabelle 5** führt einige Beispiele auf.

In Deutschland wird nach DIN 18800-1 für Blech und Breitflachstahl in geschweißten Bauteilen mit Dicken über 30 mm, die im Bereich der Schweißnähte auf Zug beansprucht werden, der Aufschweißbiegeversuch gefordert. Bis zu Dicken von 100 mm können heute Stahlhersteller solches Material auf Wunsch liefern.

3.2.3 Schrauben

Es gibt zwar Schrauben samt Unterlegscheiben und Muttern aus Wetterfestem Stahl, sie sind aber möglicherweise im Handel schwer zu bekommen. Da nach der DASt-Richtlinie 007, Anhang 4 [4], bei direkt benetzten Verbindungen eine Beschichtung des Stoßbereiches (Bauteile und Schrauben) gefordert wird, können in diesem Fall auch normale Schrauben verwendet werden.

Schrauben aus hochlegierten Edelstählen sind auch einsetzbar.

Zwar kann sich theoretisch zwischen Edelstahl und Wetterfestem Stahl zu Ungunsten des Letzteren ein galvanisches Element und damit Kontaktkorrosion bilden. Da aber in praktischen Verbindungen die Schraubenmasse relativ klein ist gegenüber derjenigen des Wetterfesten Stahles, treten erfahrungsgemäß keine Schäden am Wetterfesten Stahl auf.

Bei verzinkten Schrauben kann Kontaktkorrosion entstehen, die die Verzinkung abträgt und im Bereich der Schrauben am Wetterfesten Stahl sichtbar ablagert. Bei direkter Benetzung ist die Verzinkung allein - ohne zusätzliche Beschichtung - nicht ausreichend. Bei indirekter Benetzung hat sich an ausgeführten Konstruktionen gezeigt, dass die Abtragung von Zink dann sehr gering ist, wenn diese Bereiche nur kurze Zeit feucht sind.

3.2.4 Verbindungstechnik

Geschweißte Verbindungen haben gegenüber geschraubten Verbindungen den Vorteil, dass sich bei ihnen Spalte weitgehend vermeiden lassen. In Spalte kann durch direkte Benetzung, durch Luftfeuchtigkeit, Kondensation und Kapillarwirkung Feuchtigkeit gelangen und dort Dauerfeuchtigkeit bewirken. Diese führt zu starker Korrosion. Ist ein vorhandener Spalt jedoch hinreichend gepresst, was gleichbedeutend damit ist, dass der Rost den Spalt nicht auf-

treiben kann, dann kommt der Rostprozess in diesen Spalten mangels Sauerstoffzufuhr zum Erliegen. Um dies zu erreichen, muss in den Verbindungen ein nicht zu großes Verhältnis von Verbindungsmittelabstand zu minimaler Blechdicke der zu verbindenden Bleche herrschen (siehe die folgenden Abschnitte: Verbindungen).

Geschweißte Verbindungen

Bei direkter Benetzung sind keine unterbrochenen Nähte zulässig. Bei indirekter Benetzung ist dies möglich. Es muss dann aber, um auftreibenden Rost zu vermeiden, die Länge der nicht geschweißten Zone kleiner sein als das Zehnfache der geringsten Blechdicke (**Abb. 9**).

Geschraubte Verbindungen

Wird eine Verbindung direkt benetzt, ist eine Beschichtung des Stoßbereichs einschließlich der Berührungsflächen erforderlich. Wird die Verbindung nur indirekt

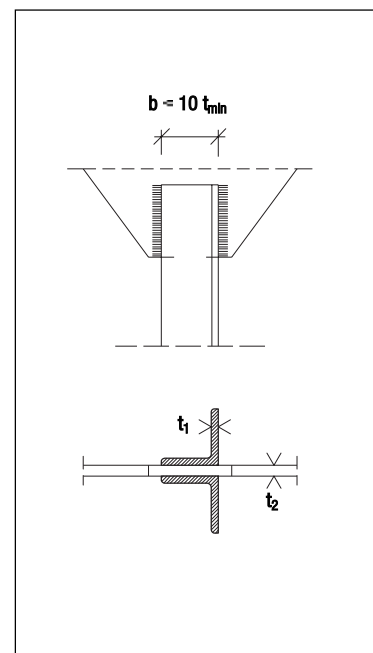


Abb. 9: Beispiel für die maximale Länge b der nicht geschweißten Zone einer unterbrochenen Schweißnaht bei indirekter Benetzung

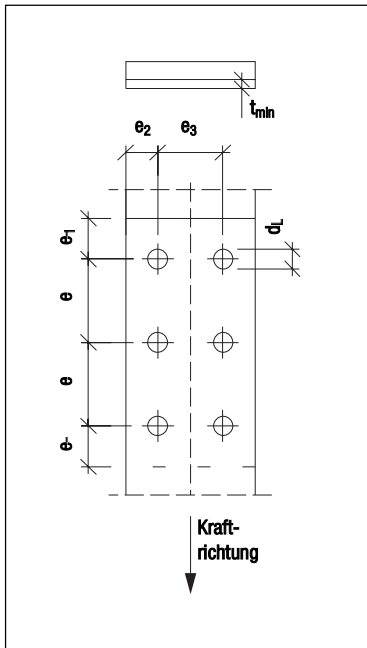


Abb. 10: Zusatzbedingung in DIN 18800-1: größter Lochabstand für e und e_3 nicht größer als $7 d_L$ oder $14 t_{min}$

oder nicht benetzt, können die Berührungsflächen unbeschichtet bleiben. Für die Schraubenabstände gilt DIN 18800-1. Um jedoch auftreibenden Rost in den Berührungsflächen zu vermeiden, darf der größte Lochabstand für e und e_3 nicht größer als $7 d_L$ oder $14 t_{min}$ sein (Abb. 10 und Abb. 11). Bei GV- oder GVP-Verbindungen sind die vorbereiteten Reibflächen wie bei unlegierten Baustählen stets mit einer gleitfesten Beschichtung zu versehen.

3.2.5 Strahlen

Die Walzhaut von warmgewalzten, wetterfesten Stahlerzeugnissen haftet relativ fest auf der Stahloberfläche. Möchte man optisch eine gleichmäßige Oberfläche erhalten, wird dringend empfohlen, die Walzhaut durch Strahlen zu entfernen. Dies ist auch stets bei direkt benetzten Flächen ratsam, da sich sonst im Bereich abwitternder Walzhaut eventuell längere Zeit Feuchtigkeit halten kann.



Abb. 11: Stoß des Winkels in einem Fachwerkmast. Zu große Schraubenabstände bewirken auftreibenden Rost.

3.2.6 Beschichten

Wetterfeste Stähle lassen sich wie unlegierte Baustähle nach entsprechender Oberflächenvorbereitung beschichten. Gründe für eine Beschichtung können ästhetischer Natur sein. Werden werkstoffgerechte Bedingungen für ganze Bauten oder spezielle Bauteile oder nur Bauteilflächen nicht oder nicht mit Sicherheit eingehalten, muss dort der Wetterfeste Stahl ebenfalls beschichtet werden. Dabei ist z. B. auch an das Versagen von anderen Elementen wie z. B. Dampfsperren oder so genanntes „dauerelastisches“ Fugenmaterial zu denken, wodurch der Wetterfeste Stahl gegebenenfalls unplanmäßig einer Dauerfeuchtigkeit ausgesetzt würde.

Bei der Beschichtung von bereits bewitterten Oberflächen, bei denen sich nachträglich herausgestellt hat, dass die werkstoffgerechten Bedingungen für den unbeschichteten Wetterfesten Stahl offensichtlich nicht in der

angenommenen Weise gegeben sind, der Stahl somit stärker rostet als gedacht, müssen die zu beschichtenden Oberflächen wie bei normalen Baustählen zuvor normgerecht von Rost gereinigt werden.

Bereits bewitterte Oberflächen mit durchsichtigen Beschichtungstoffen zu versehen, um z. B. den Anfall von Rostprodukten zu vermeiden, die andere Bauteile verunreinigen können, oder um zu verhindern, dass sich Passanten mit Rost beschmutzen, wenn sie mit der Oberfläche in Berührung kommen, hat sich bei Konstruktionen im Freien nicht bewährt. Die Lebensdauer solcher Beschichtungen auf rostigen Oberflächen ist viel zu gering. Dies ist ja bekanntlich auch bei üblichen Beschichtungssystemen auf rostigen Oberflächen der Fall. Außerdem würden die so beschichteten Oberflächen wegen der ungleichmäßigen Ablösung der Beschichtung bald „fleckig“ und dadurch ästhetisch unakzeptabel werden. Im Innern von Gebäuden können gegebenenfalls die Bedingungen günstiger sein, so dass eine entsprechende Beschichtung auf der bewitterten Oberfläche, auf der aber zuvor die losen Teile beseitigt worden sind, über die vorgesehene Zeit hält. Bei mechanischem Abrieb durch regelmäßige Berührungen oder z. B. beim Begehen von Bodenplatten gilt dies natürlich nicht.

4 Anwendungen von Wetterfestem Baustahl

4.1 Konstruktionen

4.1.1 Beispiele aus dem Hochbau

Museum und Park Kalkriese

Ein Beispiel aus dem Hochbau, das mit dem Wesen des Materials „Wetterfester Stahl“ auf unterschiedlichsten Ebenen arbeitet, ist das archäologische Museum Kalkriese mit angeschlossenem Museumspark. Es wurde im Jahr 2002 auf dem mutmaßlichen Schauplatz der so genannten „Schlacht im Teutoburger Wald“ eröffnet (Abb. 12). Die Schlacht im Jahre 9 n. Chr. ist in der römischen Geschichtsschreibung belegt. Die Schweizer Architekten, die den Entwurfswettbewerb gewonnen hatten, sahen im rostigen Wetterfesten Stahl den für diese Stätte aussagestärksten Werkstoff. Er wurde nicht nur für das Mu-

seum, sondern auch für drei Pavillons auf dem Gelände und für Wegplatten eingesetzt (Abb. 13).

Die Stahlskelettkonstruktion aus Trägern, Stützen und Verbänden des Museumsgebäudes besteht aus normalem Baustahl, der mit einer dunklen rotbraunen Farbe beschichtet ist. Dies gilt auch für die Rahmen der großen Fenster (Abb. 14). Große Platten aus Wetterfestem Stahl, die an der Skelettkonstruktion befestigt sind, bilden die Außenhaut der Wände (5.900 mm x 3.100 mm x 15 mm), des Daches (3.100 mm x 1.500 mm x 6 mm) und der Decke über dem freien Erdgeschoss (3.100 mm x 1.500 mm x 6 mm). Die liegenden Platten von Dach und Decke sind durch Winkel versteift. Der Turmtrakt weist mehrere große Öffnungen auf. Der Wetterfeste Stahl und die beschichteten Konstruktions-



Abb. 13: Weg zum Pavillon

teile treten dort und im Bereich der Fenster gleichzeitig harmonisch ins Blickfeld. Auch die drei Pavillons auf dem Parkgelände sind Skelettkonstruktionen, die mit Platten aus Wetterfestem Stahl verkleidet sind.

Die konstruktiven Details wurden werkstoffgerecht ausgebildet. Die Außenhaut aus Wetterfestem Stahl ist hinterlüftet. Lochbleche oben und unten ermöglichen dort die Luftzirkulation. Außerdem sind die Platten auf Abstand mit freier Fuge ($a = 20 \text{ mm}$) verlegt, so dass auch durch sie die Luft zirkulieren kann. Die Fuge ist klein genug, so dass keine Vögel ins Innere gelangen können, um dort gar zu nisten. Da das Regenwasser, das auf das Dach niedergeht, über diese offenen Fugen in den hinterlüfteten Dachraum fließt, ist die innere Decke dort

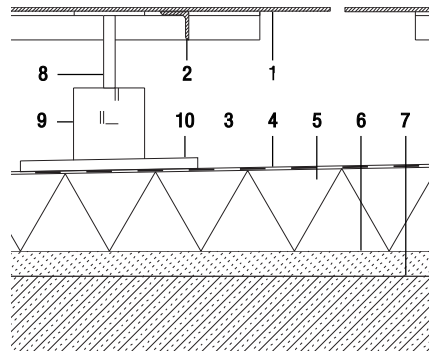


Abb. 12: Archäologisches Museum Kalkriese, nördlich von Osnabrück



Abb. 14: Fensterfront

wasserdicht (dreilagige Bitumenbahn mit Wurzelschutz) ausgeführt (Abb. 15) und mit hinreichendem Gefälle versehen, das das Wasser zu Entwässerungseinläufen abführt. Die Dachplatten aus Wetterfestem Stahl mussten auf der Innenseite beschichtet werden, da das Wasser, das an den Fugen eintritt, auch an Teilen der Unterseite der Platten entlanglaufen und diese feucht halten kann, bis der belüftete Raum nach dem Regen wieder austrocknet. Das rostbeladene Wasser vom Dach wird im Bereich der Fenster durch ein entsprechendes Gefälle und Aufkantung aus beschichtetem Blech daran gehindert, über die Glasflächen abzulaufen (Abb. 16). An den Verbindungsstellen zwischen den Fassadenblechen und der Skelettkonstruktion kann in den Fugen der Verbindungselemente kein auftreibender Rost entstehen. Diese Elemente wurden beschichtet einschließlich der zugehörigen Zone am Fassadenblech aus Wetterfestem Stahl (Abb. 17).



- 1 Dachplatten, Wetterfester Stahl 6 mm, 0,5 % Gefälle, innen beschichtet, offene Fugen, Breite 20 mm
- 2 Aussteifungswinkel, beschichtet
- 3 Luftraum
- 4 Bitumenbahn, dreilagig, mit Wurzelschutz
- 5 Foamglasdämmung
- 6 Aufbeton (Leichtbeton)
- 7 Porenbetonfertigteile
- 8 Gewindestab (Stützelement)
- 9 Kunststoffblock 100/100/ca.100 mm
- 10 Gummischrotmatte 250/250/15 mm

Abb. 15: Querschnitt des hinterlüfteten Daches, Maßstab 1 : 10



Abb. 16



Abb. 17

Neubau Museum

„Sowjetisches Speziallager 7/1“

Das ehemalige KZ Sachsenhausen wurde nach dem Zweiten Weltkrieg als sowjetisches Spezial-Gefangenenlager genutzt. Das Ende 2001 eröffnete Museum erinnert an diese zunächst verdrängte Geschichte. Die im Wettbewerb erfolgreichen Architekten hatten sich Folgendes zum Ziel gesetzt: „Das Gebäude soll informieren und zur Kontemplation

anregen, ohne zu überwältigen“, und dies nicht nur von außen (Abb. 18), sondern auch von innen. Die Wahl der Materialien und konstruktiven Details spielte dabei eine wichtige Rolle. Für die Dachträger, die im Innenraum sichtbar sind, wurde Wetterfester Stahl ausgewählt (Abb. 19). Der geringe Abstand der Träger und ihre natürliche Rostfärbung tragen mit zu der gewünschten Atmosphäre im Innern bei.



Abb. 18: Museumsgebäude, eingeschossiger Quader mit 33 m x 20 m Grundfläche



Abb. 19: Sichtbare, vollwandige Dachträger im Innenraum

Wohnhaus Alvano, Hamburg

Der zweigeschossige Solitärbau (Wohnhaus) wurde dezentral in einem Parkgrundstück angeordnet. Die Ost-, Süd- und Nordseite sind als weiß verputzte Lochfassaden ausgebildet, während sich die Westseite mit einer Glasfassade komplett zum Parkgarten öffnet. Sonnenschutzelemente aus Wetterfestem Stahl – 26 an der Zahl – können „von Hand“ frei über die Glasfassade verteilt oder, wenn gewünscht, in Gruppen zusammengeschoben werden. Die Elemente wirken wie ein dicht gewebtes Geflecht. Dieses besteht aus schmalen Flachstählen mit unterschiedlichen Breiten (Abb. 20). Die horizontalen und vertikalen Stäbe, die in hintereinander angeordneten Ebenen liegen, sind miteinander verschweißt.



Abb. 20: Westfassade mit stockwerk hohen, verschiebbaren Sonnenschutzelementen mit Gitterstruktur aus Wetterfestem Stahl

T-Haus in Wilton, New York, USA

Das Haus, das die Abb. 21 zeigt, wurde für einen Schriftsteller entworfen. Im unteren Gebäudeteil liegt die Wohnung und kreuzförmig darüber die Bibliothek. Gewünscht war vom Architekten eine homogene, monolithische Oberfläche, keine Differenzierung von vertikalen und horizontalen Flächen. Die

Außenhaut der Wände und Dächer aus Wetterfestem Stahlblech ($t = 6 \text{ mm}$) wurde somit fugenlos voll verschweißt. Dies ist für den Wetterfesten Stahl günstig, weil dann keine Spalten und Fugen vorhanden sind, in denen sich Feuchtigkeit halten kann. Da die optisch ebenen Dächer ein hinreichendes Gefälle für den Wasserablauf haben, kann sich auch

dort kein Wasser halten. Die geschlossene Außenhaut verlangt aber im Innern eine bauphysikalisch richtig ausgeführte Konstruktion, die garantiert, dass an der Innenseite der Fassadenbleche kein Wasser aus der Luftfeuchtigkeit kondensiert. Die Montageeinheiten zeigt die Abb. 22.



Abb. 21: Haus eines Schriftstellers, USA

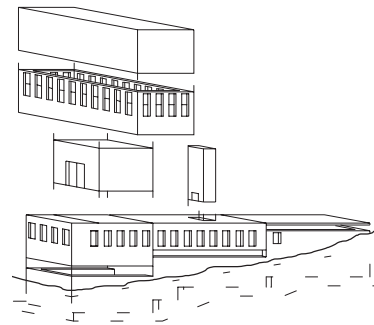


Abb. 22: Montageeinheiten

Wohnhauserweiterung in Bergisch Gladbach-Bensberg

Das im Familienbesitz befindliche Fachwerkhaus bot nicht mehr genug Wohnraum. Der Besitzer, ein Architekt, plante daher eine Erweiterung. Nach seinem Wunsch sollte sie architektonisch „die Sprache von heute sprechen“, aber gleichzeitig einen wesentlichen Bezug zum alten Fachwerkhaus aufweisen. Das Ergebnis ist ein Wohnwürfel mit einer Grundfläche von 6,12 m x 6,12 m und Fassaden- und Fensterflächen, die sich in ihrer Aufteilung auf das Fachwerkhaus beziehen (Abb. 23). Zu der vorgenommenen Erweiterung gehört auch ein Windfang mit vorgelagerter Veranda, der den Wohnwürfel mit dem Fachwerkhaus verbindet.

Die Fassade des in Holztafelbauweise erstellten Neubaus besteht aus Wetterfestem Stahl. Die 0,54 m x 1,185 m bis 1,25 m großen Platten haben eine Dicke von 3 mm (Abb. 24). Sie sind mit 10 mm Fugenabstand auf eine dahinter liegende Traglattung ge-

- 1 Inbus M8/VA
- 2 Kunststoffscheibe
- 3 Wetterfester Stahl 3 mm, Fugenbreite 10 mm
- 4 Kunststoffbuchse
- 5 Hinterlüftung
- 6 Gewindedübel Messing
- 7 Traglattung 60/60 mm
- 8 Holzschraube, höhenversetzt zu Schrauben M8
- 9 Holztafelwand:
bituminierte Pappe
Mehrschichtplatte 18 mm
Wärmedämmung 160 mm
Dampfsperre
zwei Lagen Gipsfaserplatten

schraubt, wobei Abstandhalter aus Kunststoff den Luftraum für die gewünschte Hinterlüftung schaffen. Zusammen mit der Dampfsperre im Innern kann somit Dauerfeuchtigkeit an der Innenseite der Fassadenbleche vorgebeugt werden. Die Kunststoffscheiben unter den Befestigungsschrauben vermeiden eine Lokalelementbildung. Die nur bis knapp zur Unterkante der Fassadenbleche angeschüttete grobkörnige Grauwacke lässt keinen Feuchtigkeitsstau zu und behindert die Hinterlüftung nicht.

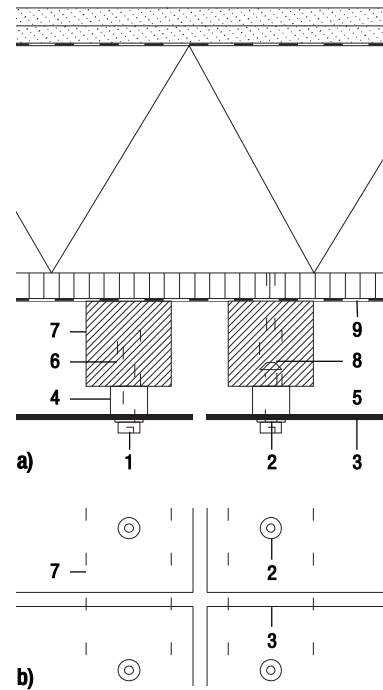


Abb. 24: Hinterlüftete Fassadenplatten, Maßstab 1 : 5
a) Horizontalschnitt durch die hinterlüftete Fassade
b) Ansicht der Fugenkreuzung samt Befestigungsschrauben



Abb. 23: Fachwerkhausanbau mit Fassadenplatten aus Wetterfestem Stahl

Fünfgeschossiges Hauptgebäude eines ehemaligen Forschungsinstitutes in Oberhausen

Im Jahr 1965 wurde das Forschungsinstitut geplant und etwa zwei Jahre danach fertig gestellt. Das Hauptgebäude ist ein fünfgeschossiger Bau (Abb. 25), wobei das Kellergeschoss eingeschlossen ist. Die Grundrissabmessungen betragen 20 m x 49 m. Um eine gute Belichtung der Räume zu erhalten, wurde ein durchgehendes Fensterband gewählt. Dieses wurde zur Vermeidung einer Blendwirkung wenig über Augenhöhe durch einen undurchsichtigen Bereich unterbrochen. Dieser Bereich ist mit Lamellen verkleidet. Dahinter befindet sich ein kippbarer Belüftungsflügel aus einer Sandwichplatte. Sowohl diese Lamellen als auch die Brüstungsverkleidungen bestehen aus Wetterfestem Stahlblech der Dicke $t = 2 \text{ mm}$ (heute würde man empfehlen, sie dicker zu machen). Die Bleche sind gekantet und auch geschweißt. Vom Architekten wurden als Vorteile des Wetter-

festen Stahles der günstige Preis, die geringen Unterhaltungskosten und die natürliche, sich selbst bildende Färbung genannt. Die Ausbildung der hinterlüfteten Fassade ist in Abb. 26 zu sehen. Bei der Planung war bekannt, dass insbesondere während der ersten Jahre von der Fassade Rostpartikel abgehen, die vom Regenwasser nach unten weitertransportiert werden und andere Bauteile verschmutzen können. Der Architekt hat daher bei der Konstruktionsausbildung der Fassade besondere Maßnahmen getroffen.

Das Regenwasser sollte möglichst gleichmäßig verteilt und nicht irgendwo konzentriert abfließen. Über den Fenstern sollte es frei abtropfen können. Die Fensterhöhe sollte in Bezug auf den Fassadenüberstand so dimensioniert sein, dass der Wind das abtropfende Wasser nicht an die Fensterscheiben drücken kann und diese nicht verschmutzen. Die Fassade muss unten über das Sockelgeschoss so weit überstehen, dass es von abtropfendem

Wasser, das Rost mitführt, nicht erreicht wird. Dort, wo das Wasser am Boden auftrifft, soll es keine Schlieren hinterlassen.

Dass diese Forderungen konstruktiv umgesetzt wurden, ist in Abb. 25 zu sehen. Das Foto wurde etwa 25 Jahre nach der Erstellung des Gebäudes aufgenommen. Hier sei noch auf weitere wesentliche Punkte bei der Fassadenkonstruktion hingewiesen. Alle Blechteile weisen genügend Gefälle zu den Tropfnasen auf, so dass das Wasser von den Flächen rasch abfließt und abtropft (Abb. 25). Des Weiteren kann die Luft auch an den Innenseiten der Bleche, die durch Luftfeuchtigkeit indirekt benetzt werden, gut zirkulieren. Somit trocknen die relativ dünnen Bleche außen und innen immer wieder rasch ab und sind daher keiner Dauerfeuchtigkeit ausgesetzt. Dies gilt auch für die Zonen an den vertikalen Fugen der Brüstungselemente. An den Fugen läuft das Wasser vertikal rasch ab. Da sie nicht zu eng sind, ist dieser Bereich auch gut belüftet.



Abb. 25: Fünfgeschossiges Hauptgebäude eines Forschungsinstitutes mit einer Fassade aus Wetterfestem Stahl

- 1 Cor-Ten-Stahl 2 mm
- 2 Hinterlüftung
- 3 Wärmedämmung
- 4 Antidröhnmittel
- 5 Stahlprofil, spritzverzinkt
- 6 Kippflügel
- 7 Kippflügel, unverglast
- 8 Stahlblechpaneel, verzinkt, mit Glasfasermatte
- 8 Dichtung

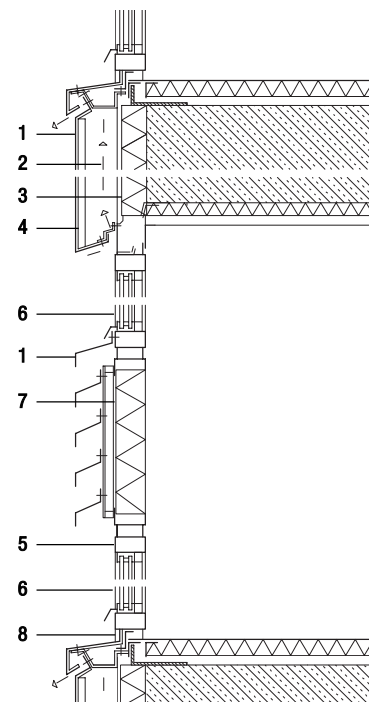


Abb. 26: Vertikalschnitt durch die Fassade, Maßstab 1 : 20

Pfarrkirche des Gemeindezentrums Herz Jesu in Völklingen-Ludweiler

Wegen Bergschäden musste das alte Gemeindezentrum samt Kirche der Pfarrgemeinde Herz Jesu in Völklingen-Ludweiler aufgegeben und verlegt werden. Das neue, an einem sicheren Ort von Ludweiler gebaute Zentrum ging aus dem 1995 durchgeführten Wettbewerb hervor. Der Bau wurde Ende des Jahres 2000 abgeschlossen (Abb. 27). Die einzelnen Gebäude des Zentrums sind um einen mit einem schmalen, überdachten Umgang gesäumten Innenhof angeordnet. Die Kirche hat einen rechteckigen Grundriss. Das Haupttragwerk ist eine ausgesteifte Träger-Stützen-Konstruktion aus Stahl.

Für die weitgehend geschlossenen Fassaden zweier Außenwände der Kirche, nämlich der in Abb. 27 sichtbaren Frontwand und der linken Längswand (Abb. 28), wurden außen und innen 8 mm dicke und 1,71 m breite Bleche aus Wetterfestem Stahl S235J2W eingesetzt, die unterschiedliche Längen bis maximal 3,09 m aufweisen. Die Kopfbleche der Wände sind 6 mm dick. Hinter der Frontwand steht in etwas mehr als 4 m Abstand eine raumhohe, den inneren Kirchenraum nach außen abschließende

Stahl-Glas-Wand. Auch die Längswand (rechts), die den Innenraum auf der Seite vor der hohen Betonscheibe (Abb. 27) begrenzt, ist als Stahl-Glas-Wand ausgebildet. Die Betonscheibe und die Frontwand aus Wetterfestem Stahl sind somit außerhalb des Kirchenraumes als Sichtschutzwände angeordnet. Die linke Längswand (Abb. 28) der Kirche sieht zwar wie die Frontwand aus. Sie schließt aber den Kirchenraum direkt nach außen hin ab. Der Wetterfeste Stahl dieser Wand ist somit innen direkt sicht- und greifbar. Die Lichtbänder, die wie bei der Frontwand oberhalb und unterhalb der Wandfläche aus Wetterfestem Stahl verlaufen, sind hier durch Glaselemente geschlossen. Bei der Frontwand sind sie offen. Die Längswand benötigte auch eine Wärmedämmung. Im Inneren der Wand angeordnete ausgeschäumte Blechpaneele übernehmen diese Aufgabe. Wie diese Wand konstruktiv ausgebildet wurde, zeigt die Abb. 29. Die wetterfesten Fassadenbleche der Wände stützen sich über Traversen aus Wetterfestem Stahl mit T-förmigem Querschnitt, die im Abstand von etwa 75 cm angeordnet sind, auf verzinkten Wandriegeln HEA 140 ab. Diese Riegel geben ihre Last an die verzinkten Stützen (Stützen-

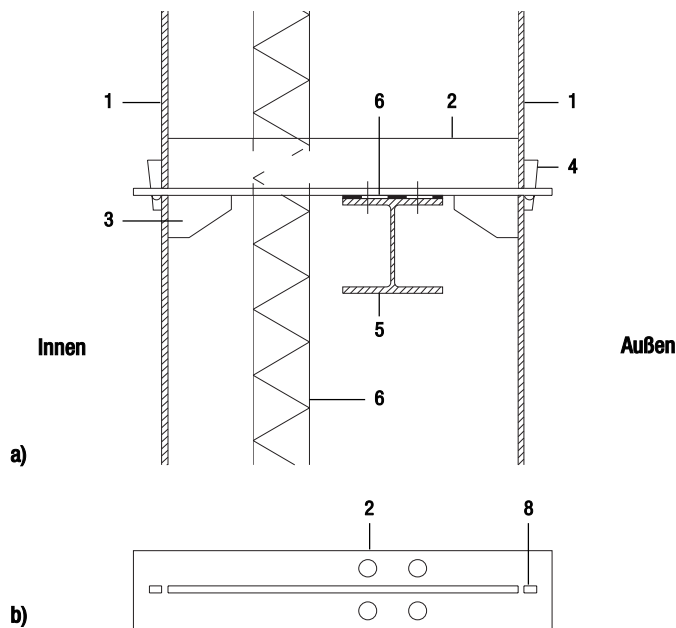


Abb. 28: Linke Seitenwand mit Fassadenblechen aus Wetterfestem Stahl. Die Keil-Pressverbindungen, mit denen die Bleche in einem Abstand von 75 cm fixiert sind, sind als Punkte gut sichtbar. Die Lichtbänder am Fuß und am Kopf dieser Wand sind verglast.

abstand 4 m) weiter. Auch die Abtragung der Horizontalkräfte aus Wind erfolgt auf diese Weise. Die Fixierung der Fassadenbleche wird über Pressung mittels eines Blechkeiles erreicht, der in einen



Abb. 27: Gemeindezentrum Herz Jesu in Völklingen-Ludweiler. Links von der hohen Betonscheibe ist die Kirche angeordnet. Die Sichtflächen der Frontwand (im Bild zu sehen) und der linken Seitenwand bestehen außen und innen aus Wetterfestem Stahl.



- 1 Fassadenblech Wetterfester Stahl 8 mm
- 2 Traverse Wetterfester Stahl
Gurtblech 590/110/10 mm
Steg 494/60/10 mm
- 3 Eckblech der Traverse Wetterfester Stahl
- 4 Keilblech Wetterfester Stahl 70/20/6 mm
- 5 Wandriegel HEA 140, verzinkt
- 6 Trennlage
- 7 Wärmedämmtes Blechpaneel 80 mm
- 8 Schlitz für Keilblech

Abb. 29: Konstruktionsdetail der linken Seitenwand, Maßstab 1 : 10
a) Vertikalschnitt: Das Detail zeigt die Auflagerung und Befestigung der Fassadenbleche sowie die Lage der gedämmten Stahlpaneele. Der eingetriebene Blechkeil fixiert das obere und untere Wandblech durch Pressung.
b) Draufsicht auf die T-förmige Traverse, die die Wind- und Eigengewichtslasten auf den Wandriegel überträgt

Schlitz des nach außen vorstehenden Gurtes der Traverse eingetrieben ist (Abb. 28 und Abb. 29). Keil und Traverse sind ebenfalls aus Wetterfestem Stahl. Die einzelnen Fassadenbleche sind nicht

miteinander verschweißt, d. h., die Fugen sind offen. Die Luft kann über diese Fugen und über oben und unten angeordnete Lochbleche zwischen Fassade und Isowand zirkulieren. Feuchtigkeit,

z. B. aus Kondensation, kann somit auch auf der Innenseite der Bleche rasch abtrocknen. Da das Dach über die Längswand und weitgehend auch über die Frontwand auskragt, sind diese Blechwände zumindest in den oberen Bereichen nur indirekt benetzt.

Die Eingangstür der Kirche ist auf der Nordseite in die hohe Betonwand eingeschnitten. Diese zweiflügelige Außentür (Abb. 30) ist eine feuerverzinkte Stahlkonstruktion, auf die bauseitig innen und außen eine Holzbeplankung aufgebracht wurde. Auf dieser sind 3 mm dicke Stahlbleche aus Wetterfestem Stahl (Cor-Ten B) verklebt. Ihre unterschiedliche Größe und ein durch Ätzung vertieft eingelassener Schriftzug sowie zwei Türgriffe, die als hohe, rechteckige Vertiefungen ausgebildet sind, gestalten die Oberfläche der Tür.

Zum Entwurf der Kirche sagt der Architekt: „Unser Entwurf versucht, in der gesamten Anlage vom Grundriss bis zu den einzelnen Gegenständen die Idee einer formalen Einfachheit in Raumfigur und Material auszudrücken.“ Diese Aussage bezieht sich auch auf die Verwendung von Blechen aus Wetterfestem Stahl. Außerdem weist der Architekt darauf hin, dass diese Bleche auch Assoziationen zur ehemaligen Hüttenstadt Völklingen aufkommen lassen sollen.

Das stillgelegte Völklinger Hüttenwerk, in dem auch Einwohner von Ludweiler tätig waren, ist heute Museum und wurde 1994 als industriegeschichtliches Weltkulturerbe in die UNESCO-Liste aufgenommen.



Abb. 30: Zweiflügelige Eingangstür der Kirche: Ansicht von innen und Detail von außen im Bereich der Tür(ein)griffe

4.1.2 Beispiele aus dem Brückenbau

Fußgängerbrücken auf der BUGA 2001 in Potsdam

Im Zuge der Bundesgartenschau (BUGA) im Jahr 2001 wurde ein ehemaliges Militärgelände in Potsdam zu einem neuen Volkspark umgestaltet. Dabei wurden unter anderem die 7 m hohen künstlichen Erdwälle, die das Militär hinterlassen hatte, in das neue Konzept einbezogen. Von dem im Wettbewerb um diese Aufgabe erfolgreichen Architektenteam wurden die Erdwälle über Treppen, Rampen und insgesamt acht Brücken verbunden (Abb. 31 bis Abb. 33). Dadurch entstanden zwei Erlebensebenen: eine am Fuß der Wälle und eine zweite auf den Wällen. Die Brücken wurden der jeweiligen Situation durch Stützweiten-, System- und Auflagervariationen angepasst.

Sowohl für die Brückenträger als auch für die Begrenzungen der Rampen, die auf den Wallkronen zu den Brücken führen und dabei in die Wälle einschneiden, wurde Wetterfester Stahl gewählt. Die Brückenträger haben einen schmalen, hohen Kastenquerschnitt. Sie bilden zusammen mit der Gehbahn einen Trogquerschnitt (Abb. 34). Damit übernehmen die Brückenträger auch die Funktion der Geländer. Die Rampenbegrenzungen sind einwandig ausgeführt. Auf den Bildern ist zu erkennen, dass sich die natürliche Rostfärbung des Wetterfesten Stahles harmonisch in die Park- und Gartensituation mit Erde und Wasser, grünen Bodendeckern, Stauden, Bäumen, Natursteinen, Holz- und Betonelementen einfügt. Es gibt mehrere konstruktive Details, die entsprechend werkstoffgerecht ausgebildet wurden. Der Holzbelag der Gehbahn (Abb. 35) hat einen hinreichend großen Abstand von den Brückenhauptträgern. Dadurch können keine



Abb. 31: Brücke mit Zwischenstützen



Abb. 32: Fußgängerbrücke am Kiosk, Potsdam



Abb. 33: Übergang von der in den Wall eingeschnittenen Rampe zur Brücke

Schmutznester entstehen, die meist lange die Feuchtigkeit halten. Die Querträger sind beschichtet, da am Anschluss der Holzgehbihahn die Luftzirkulation geringer ist. Beschichtet sind auch die erdberührten Flächen

der Rampenbegrenzungen und ein Streifen am unteren Rand auf der sichtbaren Seite der Rampenbegrenzung, dort, wo nach dem Regen über Kapillarwirkung Feuchtigkeit aus dem Schotterbett aufsteigen kann (Abb. 33).

- 1 Kastenträger 1100/250 mm
Wetterfester Stahl
Steg 15 mm, Flansch 40 mm
- 2 Längsträger
Lärchenholz 45/125 mm
- 3 Querträger Hohlprofil 170/100 mm,
beschichtet
- 4 Brückenbelag
Lärchenholz 45/100 mm
- 5 Handlauf
Lärchenholz 250/40 mm,
in größeren Abständen auf dem
Obergurt abgestützt

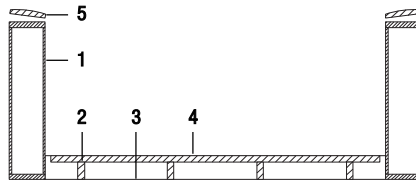


Abb. 34: Brückenquerschnitt, Maßstab 1 : 50



Abb. 35: Brückenuntersicht

Dalabrücke (Schweiz)

Um zwischen den beiden durch die tiefe Schlucht des Flusses Dala getrennten Orten Leuk und Varen (Schweiz, Kanton Valais) eine kantonale Straßenverbindung herzustellen, wurde die Dalabrücke (Abb. 36) mit einer Gesamtstützweite von 209,57 m gebaut. Sie wurde 1990 fertiggestellt. Es ist eine Rahmenbrücke in Verbundbauweise. Zu den geringen Unterhaltungskosten und zur Dauerhaftigkeit dieser exponiert liegenden Brücke trägt auch

der Wetterfeste Baustahl in Verbindung mit der gut durchdachten Konstruktion bei. In Abb. 37 ist der Querschnitt der längs vorgespannten Verbundbrücke zu sehen. Die Hauptträger und die Rahmenstiele haben Kastenquerschnitte. Die Konstruktion ist voll geschweißt, so dass kein Wasser, z. B. durch Schraubenlöcher, in die Stahlkästen eindringen kann. Aus demselben Grund sind auch die Wasserabflussrohre, die die Fahrbahn entwässern, außerhalb der Kästen geführt.



Abb. 36: Dalabrücke, Rahmenbrücke mit geneigten Stielen

- 1 Hauptträger Kastenquerschnitt, geschweißt
Obergurt 20–45 mm
Untergurt 20–80 mm
Steg 12–16 mm
- 2 Querträger I-Querschnitt $h = 500$ mm,
geschweißt $a = 7763$ mm
- 3 Windverband Rundrohr $\varnothing 250$ mm
- 4 Verbund-Fahrbahnplatte, Spannbeton
- 5 Vorspannkabel
- 6 Öffnung, nach Vorspannung geschlossen
- 7 Brückenbelag
- 8 Entwässerungsleitung

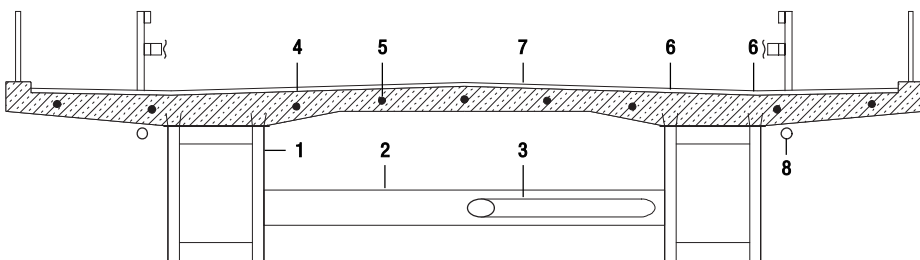


Abb. 37: Querschnitt der längs vorgespannten Verbundbrücke, Maßstab 1:100

Fußgänger- und Radfahrerbrücke über den Seerhein in Konstanz

Vom Bauherrn, der Stadt Konstanz, bestand unter anderem der Wunsch, dass bei dem Unterhalt der Brücke möglichst wenig Schwierigkeiten auftreten. Des Weiteren durfte weder beim Bau noch durch spätere Unterhaltsmaßnahmen das Wasser des Seerheins verunreinigt werden. Anstricherneuerungen wären daher teuer geworden.

Die geschweißte Deckbrücke aus Wetterfestem Stahl, die 1991 fertig gestellt wurde, konnte sämtliche Bedingungen gut erfüllen

(Abb. 38). Der Kastenträger ist gevoutet und spannt über drei Felder mit 46,68 m, 70,02 m und 46,68 m. Den Querschnitt zeigt die Abb. 39. Um einen guten Wasserabfluss von der Konstruktion zu erzielen und Schmutz zu vermeiden, wurde der Kragarm ohne Untergurt als T-Träger mit dickerem Steg ausgebildet. Der längs laufende Randträger ist so konstruiert, dass Wasser von ihm direkt abtropft und nicht an den Konsolen weiterläuft. Die unteren Stegenden des Kastenträgers sind über das Bodenblech des Kastens hinausgeführt. Dadurch kann am

Steg herunterlaufendes Wasser das Untergurtblech nicht erreichen und dort Schlieren bilden. Die Auflagersteifen an den Pfeilern und Widerlagern sind als geschlossene Kästen ausgeführt, damit sich kein Schmutz in Konstruktionsecken sammelt, wie dies bei offenen Steifen gerne der Fall ist. Weiter wurden die darunter liegenden Pfeiler und Widerlagerbereiche am Rand mit Aufkantungen versehen, damit Rostwasser, das möglicherweise auf die horizontalen Auflagerbänke gelangt, die sichtbaren Seitenflächen nicht erreichen und verschmutzen kann.

- 1 Kastenträger, Wetterfester Stahl
Stege 14 mm, Deckblech 14 mm und 16 mm,
Untergurt 21 mm
- 2 Krag- und Querträger Wetterfester Stahl
T-Profil-Steg 23 mm
- 3 Fahrbahnrippe 7,5 mm
- 4 Randträger, beschichtet
- 5 Abflussleitung
- 6 Brückenbelag
Polyurethan-Asphalt-Mixtur 6 mm
- 7 Schiene für Inspektionswagen



Abb. 38: Fußgänger- und Radfahrerbrücke über den Seerhein in Konstanz

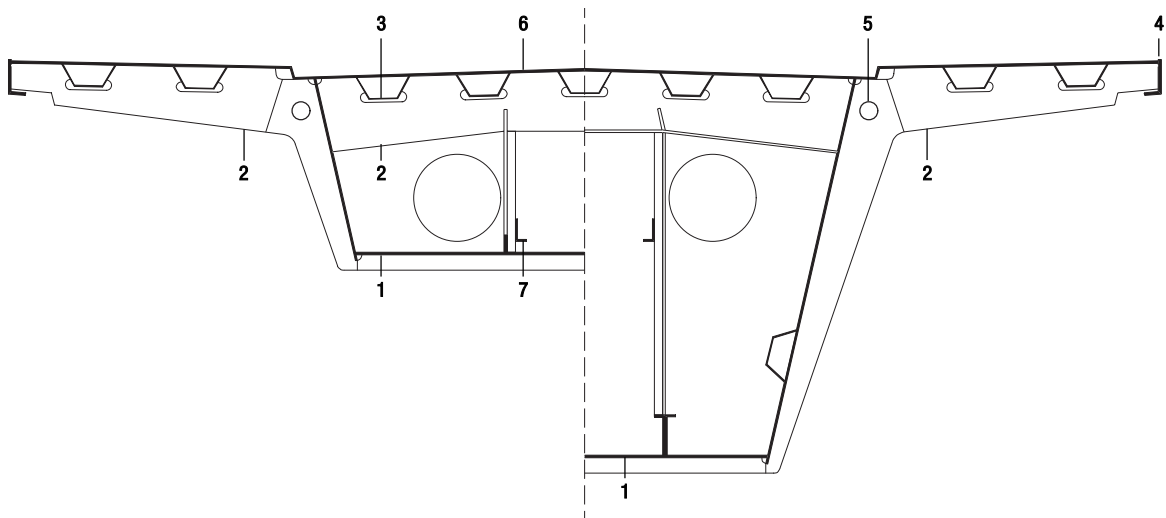
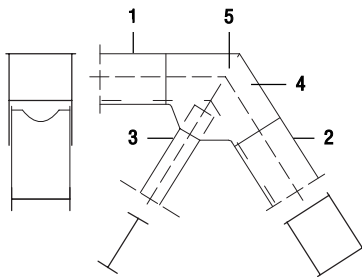


Abb. 39: Brückenquerschnitt im Feld (links) und am Pfeiler (rechts), Maßstab 1 : 50

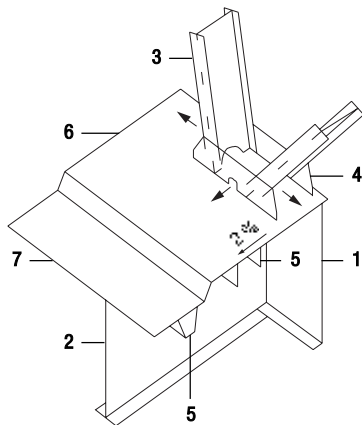


Abb. 40: Voll geschweißte Fachwerkbrücke über ein Hafenbecken in Wanne-Eickel



- 1 Obergurt (Kasten)
- 2 Enddiagonale (Kasten)
- 3 Diagonale (I-Profil)
- 4 Knotenblech (eingeschweißt)
- 5 Steife

Abb. 41: Geschweißter Obergurt-Endknoten



- 1 Fachwerkuntergurt
- 2 Querträger
- 3 Diagonale
- 4 Knotenblech
- 5 Längsrippe
- 6 Gehwegdeckblech
- 7 Fahrbahndeckblech

Abb. 42: Wasserabfluss aus dem unteren Knotenbereich

Brücke über ein Hafenbecken in Wanne-Eickel:

Die Brücke wurde 1974 im Auftrag der privaten Wanne-Herner Eisenbahn und Hafen GmbH gebaut. Sie überbrückte die Schiffszufahrt zu einem Hafenbecken und lag bis 1998 über Wasser, bis das entsprechende Hafenbecken geschlossen wurde und der Zweck der Brücke entfiel. Da sich die voll geschweißte Brücke sehr gut bewährt hat, werden hier einige Hinweise zur Konstruktion gegeben. Die Fachwerkbrücke hat folgende Systemabmessungen: Spannweite 71 m, Höhe 7 m, Breite 11,20 m, acht Gefache mit $L = 8,875$ m, Querträgerabstand = $L/2$ (Abb. 40). Die Obergurte des Fachwerks besitzen Kastenquerschnitt, die Diagonalen haben Kasten- oder I-Querschnitt. Der Untergurt ist als einwandiger Vollwandträger ausgebildet, dessen Obergurt die orthotrope Platte der Fahrbahn bildet. Sämtliche Anschlüsse sind geschweißt ausgeführt (Abb. 41). Damit in den unteren Knotenpunkten keine Wasserfallen entstehen, wurden die Diagonalen und die inneren Knotenbleche mit Ausnehmungen versehen, so dass der Wasserabfluss gut möglich ist (Abb. 42).

Rüschelbrücke über die Brackeler Straße in Dortmund

Diese Brücke (Abb. 43) ist eine der ältesten Brücken aus Wetterfestem Baustahl in Deutschland. Sie wurde in den Jahren 1970/71 erstellt und führt über eine breite Ausfallstraße, einen Bach, über Gleisanlagen der Bahn und über ein Wiesengelände. Die Montagestöße sind noch geschraubt ausgeführt. Es handelt sich um eine vierfeldrige Deckbrücke (4×55 m) in Verbundbauweise mit zwei nebeneinander liegenden Kastenträgern. Die Brücke hat sich im Laufe der vielen Jahre sehr gut bewährt. Dies liegt sicher auch an der gut geeigneten und gut ausgeführten Konstruktion. Außerdem wird die Brücke durch die im Verhältnis zur Stegblechhöhe relativ großen Kragarmüberstände nur indirekt benetzt.



Abb. 43: Rüschelbrücke, Endfeld über der Brackeler Straße, Dortmund

4.1.3 Weitere Anwendungsbeispiele

Die weiteren Beispiele in **Abb. 44** bis **Abb. 49** sind ein Ausschnitt aus den vielen Anwendungsmöglichkeiten für den Wetterfesten Stahl.



Abb. 44: Fernsehumsender. Etwa 100 Exemplare wurden von der Post um 1980 gebaut. Höhe zwischen 60 und 70 m, Blechdicke des Rohrquerschnitts 10 bis 15 mm.



Abb. 46: Stromleitungsmast

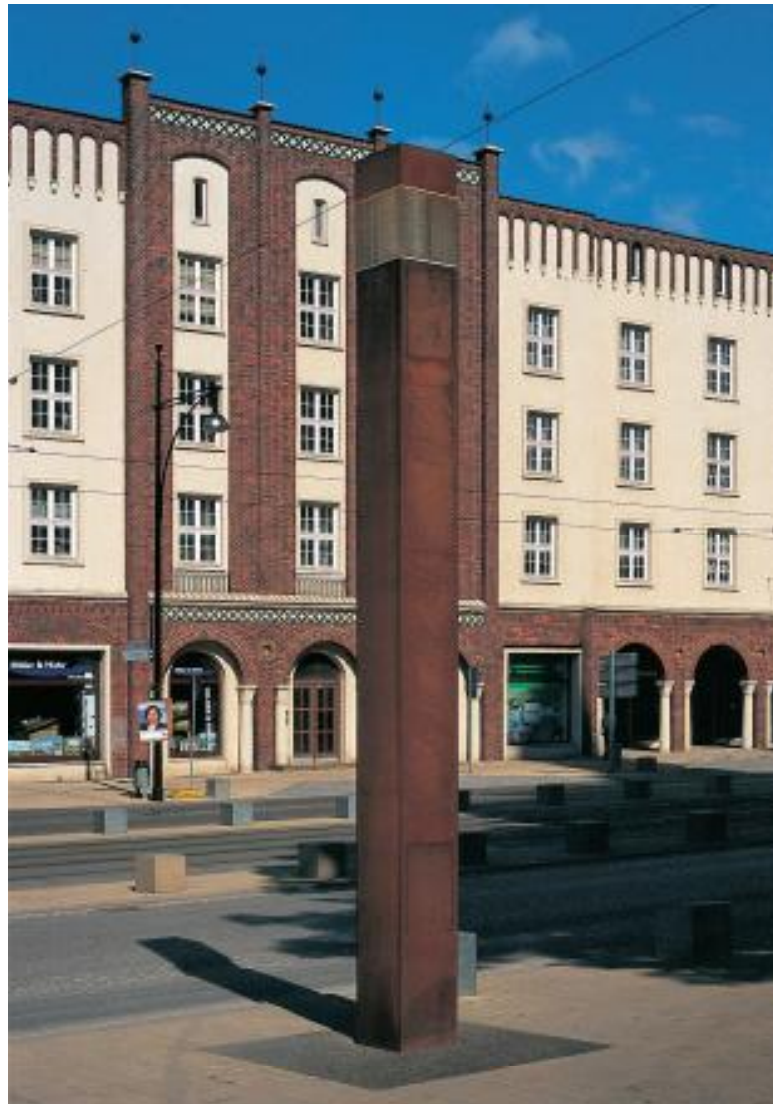


Abb. 45: Lichtsäule an einer Hauptstraße in Rostock



Abb. 47: Ständer einer Geröll- und Schnee-Schutzverbauung in der Schweiz



Abb. 48: Schornsteine eines Energieunternehmens in Berlin



Abb. 49: Schwerlastkran mit 450 t Tragkraft am Hafenbecken in Oberhausen

4.2 Ästhetik

Nach Meinung des Autors spielt bei der Entscheidung, ob Wetterfester Stahl bei einem Bauwerk oder anderen Anwendungen eingesetzt wird oder nicht, auch die persönliche ästhetische Empfindung der maßgebenden Personen eine wesentliche Rolle. Deshalb muss hier darauf eingegangen werden. Zwar heißt es: „Über Geschmack lässt sich nicht streiten“, aber wir wissen, dass sich unser Geschmack auch verändert, teils durch unbewusste Beeinflussungen wie bei der Mode, teils aber auch durch ein neues Verstehen durch Informationen.

Es ist vermutlich eine Tatsache, dass Rost im Unterbewusstsein von vielen Personen zunächst negativ besetzt ist, weil Rost Schäden hervorrufen kann und auf Vergänglichkeit hinweist. Diese emotionale Empfindung stellt sich besonders dann ein, wenn Rost an Bauten oder Bauteilen gesehen wird, die üblicherweise – da aus unlegiertem Baustahl hergestellt – beschichtet sind wie z. B. Stahlbrücken oder

Konstruktionen im Stahlhochbau. Wenn aber der Betrachter dieselben rostigen Oberflächen wegen einer räumlichen Distanz nicht als solche erkennt, werden Färbung und Struktur sogar meist positiv beurteilt, wie eine Befragung zu einem Bauwerk in natürlicher Umgebung ergab. In diesem Fall kam eine negative Assoziation nicht auf, da der Rost als braune Farbe wahrgenommen wurde. Aber auch dort, wo die Betrachter den Rost durchaus erkennen, dieser Rost jedoch erfahrungsgemäß das Bauteil weder in seiner Standsicherheit und seiner Funktionsfähigkeit noch optisch beeinträchtigt – Beispiele dafür aus unserem Alltag sind Eisenbahnschienen, Eisenbahnschwellen, Kanaldeckel auf Straßen und Gehwegen oder ein Schutzgitter (Abb. 50) –, werden bei den Betrachtern keine negativen Gefühle ausgelöst. Sie finden diese Elemente auch ästhetisch in Ordnung. Bei historischen Gerätschaften, wie z. B. bei altem Handwerkszeug, bei alten Beschlägen an Türen, Türen und Truhen oder bei historischen Waffen ist die Rostfärbung bei denselben Betrachtern

gar positiv besetzt, weil davon teils eine archaische, teils eine nostalgische Wirkung ausgeht. Wie man daraus erkennt, kann ein und dieselbe Person je nach Assoziation den Rost negativ bis positiv sehen. Daraus ist zu schließen, dass sich bei Betrachtern mit den



Abb. 50: Gusseisernes Gitter mit natürlicher Rostfärbung zur Abdeckung einer Baumscheibe im Bereich eines städtischen Gehweges

eben dargestellten Sehgewohnheiten dann die Einstellung zum Wetterfesten Stahl positiv verändert, wenn sie in Zukunft werkstoffgerecht und gut gestalteten Bauten, Konstruktionen oder Kunstwerken begegnen.

Da es aber heute auch schon viele Personen gibt, die eher das Natürliche als das Künstliche lieben, hat der Wetterfeste Stahl wegen seiner natürlichen, sich selbst bildenden Färbung und Oberflächenstruktur bereits seine Freunde gefunden, und deren Zahl wächst.

Es ist aber auch der Planer gefordert. Materialien an sich sind weder schön noch hässlich. Der Umgang mit dem Material ist entscheidend. Das Endprodukt zeigt, ob sich Planer und Bearbeiter auf das Material und die Aufgabe des Produktes in ganzheitlicher Weise eingelassen haben und sie nicht nur einen Teilaspekt verfolgten. Zum Beispiel genügt es nicht, dass eine Konstruktion nur wirtschaftlich ist. Der Anwender muss das Wesen eines Materials vollständig erfassen, nur dann kann er es technisch und gestalterisch zum Vorteil der Gesellschaft einsetzen und von ihr Akzeptanz erwarten. Je mehr Bauten und Konstruktionen mit dieser Haltung geplant und realisiert werden, umso mehr werden dann auch die Vorzüge und die spezielle Aussagekraft des Materials von den Betrachtern erkannt und akzeptiert. Dies gilt für alle Materialien und somit auch für den Wetterfesten Stahl. Erfreulicherweise können in diesem Heft sehr gute Beispiele für Bauten und Konstruktionen aus Wetterfestem Stahl gezeigt werden. Im Zusammenhang mit der Ästhetik sollen hier noch einige spezielle Objekte angesprochen werden.

Wenn der Architekt Gustav Peichl bei seinem Entwurf für die Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland in Bonn bei der architektonischen Außenkonzeption des Museums Säulen aus wetterfesten Stahlrohren anordnete (Abb. 51), spielte



Abb. 51: Kunstmuseum in Bonn mit 16 davor angeordneten Säulen aus Wetterfestem Stahl

der Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit sicher nur eine untergeordnete Rolle. Peichl sagt zur Außengestaltung des Museums: „Es war mir wichtig, Dauerhaftigkeit und Einfachheit bei größtmöglicher Zurückhaltung zu erzielen, aber auch gebautes Selbstbewusstsein und den Anspruch eines Kulturbauwerks nicht zu verleugnen.“ Zu dieser Außengestaltung gehören auch die Säulen. Dieser Anspruch gilt auch für sie. Sie symbolisieren die Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland. Als die neuen Bundesländer hinzukamen, wurde die Zahl der Säulen entsprechend ergänzt.

Für die EXPO im Jahr 2002 in der Schweiz hatte der Architekt Jean Nouvel (Paris) den temporären Ausstellungspavillon „Monolith“ und zugehörige kleinere Pavillons mit Tonnendächern entworfen. Beim Monolith handelte es sich vereinfacht gesagt um einen riesigen Würfel mit 34 m Kantenlänge, der im Jahr 2002 auf dem Murtensee schwamm (Abb. 52).

Da es sich um eine temporäre Konstruktion handelte, genügte als Verkleidung unbehandelte Stahlbleche aus unlegiertem Stahl, der ebenfalls bald die gewünschte Rostfärbung aufwies. Der Monolith symbolisierte laut Aufgabenstellung den „Augenblick und die Ewigkeit“. In einem Kommentar zu diesem Bauwerk steht geschrieben: „Der Architekt hat sich für Stahl als Baumaterial entschieden. Dieses unbehandelte Metall verfügt über eine besondere Ausdruckskraft. Es wird von der Witterung gezeichnet, rostet und ist somit dem Augenblick unterworfen. Während der EXPO 2002 wird der Monolith dementsprechend ein zeitloses Aussehen annehmen.“ Der rostige Monolith war bald nach der Eröffnung der Ausstellung zu einem der herausragendsten Wahrzeichen und zu einer Attraktion der EXPO 2002 geworden. Offensichtlich konnten sich die Besucher auch der optischen Wirkung dieses Bauwerks nicht entziehen. Diese be-



Abb. 52: „Monolith“ (Ausstellungspavillon) auf der EXPO 2002 – Artepilge in Murten (Schweiz)

ruhte vermutlich nicht allein auf der Größe und Form des Bauwerks, sondern auf weiteren Faktoren. Das eigenständige Bauwerk mit seiner einfachen Form und mit der natürlichen rostgefärbten

Oberfläche fügte sich spannungsreich in die dort gegebene Situation mit Wasser, Landschaft und Himmel ein. Vermutlich wäre ein Farbanstrich diesem Anspruch nicht gerecht geworden und hätte

gar eine banale Wirkung erzeugt.

Zum Schluss werden hier noch zwei Skulpturen aus Wetterfestem Stahl gezeigt (Abb. 53 und Abb. 54), die für sich selbst sprechen.



Abb. 53: Skulptur „Diametral“ von Reinhard Scherer, Wetterfester Stahl. Temporäre Ausstellung „Der große Alb-Gang, Skulpturen in der Natur“.



Abb. 54: Skulptur „Die große Mannheimerin“ von Franz Bernhardt, Wetterfester Stahl, Mannheim

5 Inspektion und Wartung

5.1 Inspektion

Vom Bauherrn oder von seinem Beauftragten wird in der DASt-Richtlinie 007 [4] verlangt, die bewitterten Flächen von Tragwerken auf ihr Korrosionsverhalten zu überprüfen. Unter Tragwerken, die so geprüft werden müssen, sind solche zu verstehen, bei denen die Standsicherheit nachzuweisen ist. Hierzu gehören z. B. Brücken. Der Dickenverlust ist mit den Abrostungszuschlägen zu vergleichen. Der Hersteller des Tragwerkes hat den Bauherrn auf die erforderliche Überprüfung hinzuweisen. Bei der Überprüfung geht es um die Messung von Dickenverlusten von Wanddicken. Nach der Erstellung des Tragwerks ist eine Nullmessung an festzulegenden Messstellen vorzunehmen, damit von den tatsächlichen Dicken ausgegangen wird. Die Messungen werden mit einem Ultraschallgerät durchgeführt, das etwa die Größe eines Fotoapparates hat. Die Norm macht zu den Messungen einschließlich der Zeitabstände genauere Angaben.

Selbstverständlich ist es im Interesse des Bauherrn, dass bei der Inspektion auch nachgesehen wird, ob die Konstruktion irgendwelche Schwachstellen aufweist. Schwachstellen sind z. B. Stellen,

an denen sich wider Erwarten Dauerfeuchtigkeit hält, z. B. unter angesammeltem Schmutz, Laub oder Rost. Dort besteht örtlich die Gefahr höherer Abrostungswerte, die möglicherweise von den Messstellen nicht erfasst werden. Auch verstopfte Wasserleitungen sind Schwachstellen, wenn dadurch ein unplanmäßiger Wasserabfluss entsteht, der die Konstruktion beeinträchtigt. Wachsen im Laufe der Zeit eventuell Bäume und Büsche dort, wo vorher keine waren, kann auch dies für die Konstruktion von Nachteil sein, denn dadurch wird die Belüftung wesentlich eingeschränkt, so dass die Stahlflächen lange nicht abtrocknen können. Die maßgebenden Punkte, nach denen zu schauen ist, wurden schon in Kapitel 4.3 angesprochen. Weitere Beispiele sind daher hier nicht erforderlich.

5.2 Wartung

Kleine Ursachen können große Wirkungen haben, die eventuell hohe Kosten nach sich ziehen. Es ist deshalb sinnvoll, Schwachstellen, wenn möglich, schnell zu beseitigen. Bei einem Wassersack kann z. B. eine Öffnung angebracht werden. Angesammelter Schmutz ist mindestens abzukehren. Die Verstopfung in einer Lei-

tung muss behoben werden und wenn möglich auch die Ursache, die dazu geführt hat. Bäume und Büsche sind zurückzuschneiden oder abzusägen. Mit der Wartung sind fachkundige Personen zu beauftragen, die ein Auge für die Schwachstellen haben. Ein Wartungsfragebogen, der die Aufmerksamkeit des Kontrolleurs auf die wesentlichsten Punkte lenkt, kann nützlich sein:

- Gibt es Stellen mit hellem Rost, der einen weiter fortschreitenden Rostprozess anzeigt?
- Gibt es Stellen, an denen Dauerfeuchtigkeit auftritt?
- Läuft örtlich Wasser ab, das die Konstruktion ungleichmäßig färbt?
- Werden Unterbauten verschmutzt?
- Gibt es einfache, aber wirksame Lösungsvorschläge für die festgestellten Mängel?

6 Wirtschaftlichkeit

6.1 Allgemeines

Bei Architekten spielen beim Einsatz von Wetterfestem Stahl vor allem die optische Wirkung und der spezielle Ausdruck des ungeschützten Materials eine wichtige Rolle. Die Ingenieure legen dagegen meist besonderen Wert auf die Wirtschaftlichkeit. Tatsächlich wurde ja der Wetterfeste Stahl um 1930 ausschließlich aus Gründen der Wirtschaftlichkeit entwickelt. Zum einen sollten die Anstriche nicht so schnell unterrosten, zum anderen sollten bei Stahlanwendungen, bei denen gar kein Anstrich sinnvoll ist, die Abrostungsraten geringer sein als bei unlegiertem Stahl. Die damals durchgeführten Unterrostungs- und Abrostungsversuche bestätigten seine wirtschaftlichen Vorteile [13]. Dieser Stahl kam deshalb ab 1930 bei vielen Anwendungen zum Einsatz. Da aber zu Beginn des Krieges die Einsparung von Legierungselementen angeordnet wurde und es nach dem Krieg auch noch längere Zeit Engpässe gab, konnte dieser Stahl in Deutschland viele Jahre nicht mehr erzeugt werden (siehe Kapitel 1).

Beim heute meist ungeschützten Einsatz des Wetterfesten Stahles stellt sich hinsichtlich seiner

Wirtschaftlichkeit die Frage, ob er günstiger ist als der unlegierte Baustahl inklusive Beschichtung. Bei der umfassenden Beantwortung dieser Frage sind je nach den Randbedingungen einer Konstruktion viele Parameter im Spiel. In vielen Fällen können aber schon relativ einfache Untersuchungen zum Ziel führen (siehe nachfolgendes Beispiel). Bei einer Untersuchung sollten folgende Schritte berücksichtigt werden:

Schritt 1: Erstellungskosten

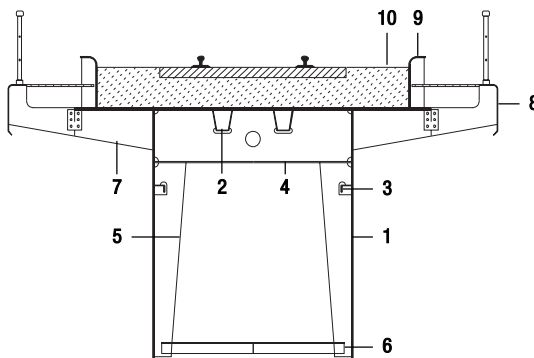
Fragt man zunächst nur nach den Erstellungskosten, dann sind bei einem Vergleich die etwa 10 %-15 % höheren Materialkosten des Wetterfesten Stahls und bei statisch relevanten Konstruktionen noch zusätzlich die Kosten für die Abrostungszuschläge den Kosten gegenüberzustellen, die bei den unlegierten Baustählen für die Beschichtung einschließlich der dazu notwendigen Maßnahmen entstehen.

Schritt 2: Kosten für die Unterhaltung

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Konstruktion spielt aber auch deren Unterhaltung eine entscheidende Rolle. Beim Vergleich von Konstruktionen aus Wetterfestem Stahl mit solchen aus beschichtetem, un-

giertem Stahl ist deshalb zu berücksichtigen, welche Kosten die Unterhaltung einer Beschichtung im Laufe der Lebensdauer verursacht. Das ist nicht so einfach, weil hierbei viele Faktoren mitspielen:

- Da sind zuerst einmal die Kosten, die unmittelbar für die Ausbesserung oder Erneuerung der Beschichtung des Bauwerks aufgewendet werden müssen. Je nach den Randbedingungen, wie z. B. guter oder schlechter Zugang zur Konstruktion, vorhandene oder fehlende Hilfen für das Anbringen von Arbeitsgerüsten oder vorhandener bzw. fehlender lichter Raum für Arbeitsgerüste, können sich diese Kosten stark unterscheiden.
- Des Weiteren sind da die Kosten, die z. B. für die Beseitigung des Strahlschuttes aufgewendet werden müssen.
- Zusätzlich erforderliche Umweltschutzmaßnahmen, wie z. B. eine Einhausung der Konstruktion, können ebenfalls Kosten verursachen.
- Bei Brückenbauwerken entstehen oft Kosten für erforderliche Maßnahmen zur Sperrung der Straße für den Verkehr während der



- 1 Hauptträger
Kastenquerschnitt, geschweißt
Steg 14 mm,
Flansch unten 25 mm
Flansch oben 30 mm
- 2 Trapezrippen 10 mm
- 3 Stegsteifen Winkel 150/100/12 mm
- 4 Querträger, Steg 16 mm, Untergurt 20 mm
- 5 Quersteifen 14 mm
- 6 Winkel 150/100/12 mm
- 7 Konsolensteg 20 mm
- 8 Randträger 10 mm
- 9 Schotterbegrenzung 14 mm
- 10 Schotter

Abb. 55: Kastenquerschnitt einer eingleisigen Eisenbahnbrücke, Stützweite 53,80 m, Maßstab 1 : 100

Sanierungsarbeiten. Bei Autobahnbaustellen können diese Kosten beträchtlich sein. Sie werden beim Bau einer Brücke vermutlich meist nicht in die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen einbezogen.

Schritt 3: privatisierte Kosten

Insbesondere bei Verkehrsbawerken fallen bei der Sanierung oft auch noch Kosten an, die zwar nicht den Eigner, aber dafür viele Verkehrsteilnehmer oder allgemeiner gesagt die Steuerzahler treffen. Verursacht werden solche Kosten z. B. bei Verkehrsstauungen an Baustellen durch Zeitverluste, Treibstoffverluste und Umweltbelastungen. Bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen werden sie wohl bislang kaum in Ansatz gebracht.

Aus diesen Betrachtungen ist zu schließen, dass es nicht möglich ist, für das weite Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten des Wetterfesten Stahles wie z. B. im Hochbau, im Mastbau, im Kranbau oder im Brückenbau allgemein zutreffende Angaben zu seiner Wirtschaftlichkeit zu machen. In speziellen Fällen ist dies dagegen möglich. Besonders geeignet ist dafür der Brücken-

bau, deshalb wird hier ein entsprechendes Beispiel angeführt.

6.2 Wirtschaftlichkeitsvergleich am Beispiel einer Brücke

Im Folgenden wird ein Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen einer Brücke aus normalem, beschichtetem Stahl dargestellt und einer solchen aus unbeschichtetem, Wetterfestem Stahl. Das Ergebnis ist selbst in diesem speziellen Anwendungsgebiet des Brückenbaus nicht zu verallgemeinern. Sehr wohl liefert es aber dem Anwender konkrete Hinweise auf die maßgebenden Faktoren und für die im Beispiel gewählte Bauart auch konkrete Zahlenergebnisse.

Es wird das in [14] dargestellte Vergleichsbeispiel herangezogen. Die dort gewählte Brücke ist eine ausgeführte eingleisige Eisenbahnbrücke aus beschichtetem, unlegiertem Baustahl. Das Brückensystem entspricht dem einfachen Balken. Der Querschnitt ist ein geschweißter Hohlkasten (Abb. 55). Im Inneren des Hohlkastens ist bei der beschichteten Brücke nur ein einfacher Korrosionsschutz erforderlich. Beim

Kostenvergleich wurden zwei Kostenanteile berücksichtigt, nämlich die Erstellungskosten (Schritt 1) und die Unterhaltungskosten (Schritt 2).

Ergebnisse von Schritt 1 (gerechnet mit heutigen Kosten)

Weil dieses Beispiel [14] schon vor etwa zwölf Jahren erstellt wurde, werden im Schritt 1, der den Vergleich der Erstellungskosten beinhaltet, zunächst die heutigen Kosten angesetzt. In Ergänzung zu den Vorgaben in [14], bei denen davon ausgegangen wurde, dass bei der Brücke aus Wetterfestem Stahl nur die äußeren, sichtbaren Blechflächen zu strahlen sind, wird hierbei auch noch eine Variante mitverfolgt, bei der die Bleche im Inneren des Hohlkastens ebenfalls gestrahlt werden.

Einzeldaten und Voraussetzungen

Die Außenfläche einschließlich der des Schotterkastens hat eine Größe von 1.700 m², die Innenflächen im Hohlkasten 1.100 m². Das spezielle Beschichtungssystem im Bereich des Schotterkastens (340 m²) wird bei diesem neuen Vergleich nicht mit

| Kosten für | Beschichtete Brücke | Brücke aus Wetterfestem Baustahl |
|--|---|---|
| 1. Stahlkonstruktion, einschließlich Lieferung und Montage | 207,4 t x 2.200 €/t = 456.280 € | 207,4 t x 2.280 €/t + 16,6 t x 1.000 €/t = 489.472 € |
| 2. Strahlen der Bleche | 2.800 m ² x 6,5 €/m ² = 18.200 € | a) Nur sichtbare Außenflächen: 1.700 m ² x 6,5 €/m ² = 11.050 € b) Außen- und Innenflächen: 2.800 m ² x 6,5 €/m ² = 18.200 € |
| 3. Beschichtung innen | 1.100 m ² x 8,5 €/m ² = 9.350 € | - |
| 4. Beschichtung außen (1.700 - 340 m ²) | 1.360 m ² x 23,5 €/m ² = 31.960 € | - |
| Gesamt | 515.790 € (100 %) | a) 500.522 € (97 %) b) 507.672 € (98,4 %) |

Tabelle 6: Vergleich der Kosten der beiden Stahlkonstruktionen zum Zeitpunkt der Erstellung (Schritt 1, gerechnet mit heutigen Kosten)

| | Beschichtete Brücke | Brücke aus Wetterfestem Baustahl |
|---|--|--|
| Stahlgewicht in t | 207,4 t (100 %) | 224 t (108 %) |
| Oberflächen | | |
| – Gesamtkonstruktion | 2.800 m ² | 2.800 m ² |
| – (Hohlkasten innen) | (1.100 m ²) | (1.100 m ²) |
| – (Außenflächen) | (1.700 m ²) | (1.700 m ²) |
| Blechkicken | Von 10 bis 30 mm | Von 10 bis 33 mm |
| 1. Kosten für Stahlkonstruktion | 572.080 DM (292.500 €) (100 %) | 572.080 DM x 1,08 + 224 t x 200 DM/t = 662.640 DM (338.800 €) (115,8 %) |
| 2. Kosten für Korrosionsschutz mit Oberflächenbehandlung für Vorbereitungsgrad Sa 2 1/2 | 209.500 DM (107.116 €) (Strahlen aller Flächen und Korrosionsschutz auf allen Flächen, im Kasten reduziert) | 57.160 DM (29.225 €) (Strahlen von 1.700 m ² Außenfläche + Beschichtung im Schotterkastenbereich wie bei der beschichteten Brücke, sonst keine Beschichtungen) |
| Gesamt | 781.580 DM (399.616 €) (100 %) | 719.800 DM (368.025 €) (92 %) |

Tabelle 7: Vergleich der Kosten der beiden Stahlkonstruktionen zum Zeitpunkt der Erstellung (Schritt 1) [14]

einbezogen. Es kann bei beiden Brücken, der beschichteten und der unbeschichteten, als identisch vorausgesetzt werden. Die Blechkicken der Brücke variieren zwischen 10 und 30 mm. Bei den Blechen, die lediglich einseitig bewittert werden, wie die des Hohlkastens und die im Bereich des beschichteten Schotterkastens, ist nur ein einseitiger Dickenzuschlag erforderlich. Dieser Zuschlag wird hier wie in [14] ungünstig für die Korrosionsbelastung „schwer“ nach [4] mit 1,5 mm angesetzt. Tatsächlich könnten in Bereichen, in denen die Istwerte der Blechkicken größer sind als die statischen Sollwerte, entsprechend geringere Zuschläge gemacht werden. Auch wäre bei der Einstufung der Korrosionsbelastung für den geschweißten Hohlkastenquerschnitt (Abb. 55) eine günstigere Klasse möglich (siehe Kapitel 3).

Das Gewicht der ausgeführten beschichteten Brücke beträgt 207,4 t und das Mehrgewicht für Dickenzuschläge bei der Brücke

aus Wetterfestem Stahl 16,6 t [14]. Während bei der 207,4 t schweren beschichteten Brückenkonstruktion für Material, Lieferung und Montage 2.200 €/t angesetzt wurden, erhöhen sich die Kosten des Materials beim Wetterfesten Stahl um derzeit 80 €/t. Für das Mehrgewicht durch Dickenzuschlag werden nur 1.000 €/t gerechnet. Dieser Wert berücksichtigt, dass für diesen Gewichtsteil neben den vollen Materialkosten die Werkstatt-, Lieferungs- und Montagekosten nicht in voller Höhe anzusetzen sind, da es sich bei diesem Mehrgewicht nur um eine Verdickung einzelner Konstruktionselemente und nicht um zusätzliche Konstruktionsglieder handelt. Bei der Außenbeschichtung ist berücksichtigt, dass der dort vorhandene zweite Deckanstrich auf der Baustelle aufgebracht wird. Deshalb musste in diese Kosten auch das Ausbessern von Schadstellen und das Säubern der zu beschichtenden Flächen mit einbezogen werden.

Der zahlenmäßige Vergleich der heutigen Erstellungskosten für die betrachteten Gewerke der beiden Brückenvarianten ist in Tabelle 6 dargestellt.

Wie man erkennt, sind hier selbst bei ungünstigen Annahmen schon die Kosten für die erste Beschichtung höher als die Mehrkosten für den Werkstoff und den Dickenzuschlag beim Wetterfesten Baustahl. Ein entsprechendes Ergebnis für diesen Schritt 1 zeigt ein Beispiel in [15] für eine Straßendeckbrücke in Verbundbauweise.

Ergebnisse von Schritt 1 und 2 aus [14]

Nun sollen hier noch verkürzt die unveränderten Ergebnisse von [14] wiedergegeben werden. Dort wird auch zuerst der Schritt 1 untersucht (Tabelle 7), der wie oben in Tabelle 6 die Erstellungskosten vergleicht. In diesem Schritt 1 sind damals die Mehrkosten des Wetterfesten Stahles mit 102 €/t (200 DM/t) angesetzt worden. Bei den Kosten für die

| Kosten für | Beschichtete Brücke | Brücke aus Wetterfestem Baustahl |
|--|--|--|
| 1. Stahlkonstruktion | 572.080 DM (292.500 €) | 662.640 DM (338.800 €) |
| 2. Erstbeschichtung | 209.500 DM (107.116 €) | 57.160 DM (29.225 €) |
| 3. Kapitalwert zum Zeitpunkt der Erstellung für die Instandhaltung der Beschichtung von 1.700 m ² Außenfläche | 62.570 DM (31.991 €) | – |
| Gesamt | 844.150 DM (431.607 €) (117 %) | 719.800 DM (368.025 €) (100 %) |

Tabelle 8: Vergleich der Kosten der beiden Stahlkonstruktionen zum Zeitpunkt der Erstellung unter Berücksichtigung des Kapitalwertes aus der Instandhaltung der Außenflächen der beschichteten Brücke bei einer Nutzungszeit von 60 Jahren (Schritt 2) [14]

Beschichtung wurden die tatsächlichen Kosten eingesetzt. Sie waren höher als die heute angesetzten. Die Kasteninnenflächen wurden nicht gestrahlt.

Im Schritt 2, der in Tabelle 8 dargestellt ist, werden die Instandhaltungskosten für die Außenfläche der Brücke bei einer 60-jährigen Nutzungszeit untersucht, um diese Kosten nach der Kapitalwertmethode als zusätzlichen Kapitalaufwand zum Zeitpunkt 0 (der Erstellung) in Rechnung stellen zu können. Hier werden die Ergebnisse der kostengünstigeren kurzperiodischen Unterhaltung, die von der Deutschen Bahn entwickelt worden war, angegeben. Bei dieser Art der Unterhaltung werden gegenüber dem Zeitpunkt 0 nach 15 Jahren eine Standardausbesserung (Ausbessern von etwa 7 % der Flächen), nach 25 Jahren eine Teilerneuerung (Ausbessern von etwa 10 % der Flächen zuzüglich einer Deckbeschichtung über die gesamten Flächen) und nach 45 Jahren eine Vollerneuerung des Korrosionsschutzsystems vorgenommen. Dabei sei noch darauf hingewiesen, dass bei der Ermittlung dieser Kosten eine leichte Zugänglichkeit der Brücke zugrunde gelegt wurde.

Die Kapitalersparnis bei der Brücke aus Wetterfestem Stahl

liegt, wie Tabelle 8 zeigt, bei diesem Beispiel bei 17 %, bezogen auf den Zeitpunkt der Anfangsinvestition. Entsprechende Werte der Ersparnis wurden auch in den USA [16] und in der Schweiz [17] ermittelt.

Bei ungünstigeren Voraussetzungen können die Sanierungskosten für Beschichtungssysteme auch weit höher liegen als hier angenommen. Es wird in diesem Zusammenhang nochmals auf die Parameter der Schritte 1 bis 3 im Abschnitt 6.1 verwiesen. Mit Recht kann daher gefragt werden, ob es sich die Gesellschaft in Deutschland weiterhin leisten kann, den Wetterfesten Stahl im Brückenbau noch länger relativ unbeachtet zu lassen. Bislang gibt es in Deutschland nur etwa 150 Brücken aus Wetterfestem Stahl. Dafür gibt es vermutlich kaum wirtschaftliche, sondern vor allem ästhetische Gründe. Nach Meinung des Autors sind solche Einwände gegen den Wetterfesten Stahl aber zu hinterfragen, zumal sie von an der Ästhetik interessierten und aufgeschlossenen Personen wie z. B. Architekten und Künstlern kaum geteilt werden (siehe auch Kapitel 4.2). Dabei wird jedoch davon ausgegangen, dass die Konstruktionsausbildung auch unter ästhetischen Gesichtspunkten erfolgte.

Anhang: Check-Liste für den Anwender

Um die werkstoffgerechte Anwendung des Wetterfesten Stahles zu erleichtern, werden nachfolgend Hinweise gegeben, die auf Erfahrungen des Autors beruhen, die er bei der Ausführung und Inspektion von vielen Konstruktionen gesammelt hat. Auch die DASt-Richtlinie 007 [4] mit ihrem Anhang 4 bietet Hilfen. Für Anwendungen im Hochbau kann außerdem die Veröffentlichung „Wetterfeste Baustähle, Praktische Anwendung im Hochbau“ [18] empfohlen werden.

Die Vielzahl der folgenden Hinweise deckt unterschiedliche Anwendungen ab. Für ein spezielles Objekt kann sich der Anwender daraus die bei ihm maßgebenden Hinweise herausuchen.

Anwendungsgrenzen

Für den unbeschichteten Wetterfesten Stahl liegen ungeeignete Standorte oder Bedingungen vor

- wenn dauerfeuchtes Klima herrscht. (Die Konstruktion ist mehr als 60 % der Zeit feucht. Feucht-trocken-Wechsel treten nur selten auf.) In Deutschland gibt es ein solches natürliches dauerfeuchtes Klima nicht.
- wenn hohe Luftfeuchtigkeit in Innenräumen bewirken kann, dass sich Kondenswasser auf der Konstruktion oder an und in Fassadenelementen niederschlägt (z. B. bei fehlender Dampfsperre).
- wenn Dauerfeuchtigkeit in speziellen Details der Konstruktion (z. B. in Spalten oder in offenen Hohlräumen) auftreten würde und konstruktive Alternativen nicht gefunden werden.
- wenn Konstruktionsglieder weniger als 1 m über der Erde oder über der Vegetation oder weniger als 2,5 m über

stehendem und 3,0 m über fließendem Wasser liegen. Diese Werte gelten bei ungünstiger Belüftung.

- wenn Bewuchs von der Konstruktion nicht fern gehalten werden kann. Die Konstruktion bleibt dadurch nach dem Regen sehr lange feucht wegen mangelnder Belüftung und weil noch Wasser von der Vegetation auf die Konstruktion tropft.
- bei starkem Meereseinfluss durch die dort vorhandenen hohen Chloridanteile in der Atmosphäre. In Deutschland ist dies gegeben, wenn die Konstruktion weniger als 500 m vom Meer entfernt ist (bei ungünstigem Windeinfluss auch noch bei größerem Abstand) und im Einflussbereich langer Dauernebel vom Meer.
- in direktem Einflussbereich von besonders aggressiver Industriatmosphäre, aggressivem Industrienebel oder Industrierauch.
- wenn die Konstruktion regelmäßig Streusalzwasser ausgesetzt ist, das der Regen nicht abspülen kann (z. B. bei Brückenteilen, die niedrig über oder unter Straßen liegen, von denen der Verkehr Salzsprühnebel aufwirbelt, so dass sich Salz auf diesen Bauteilen ablagert).
- wenn Rostprodukte und Rostwasser ständig empfindliche Materialien erreichen und verschmutzen können, weil eine konstruktive Lösung, dies zu vermeiden, nicht gefunden wurde.

Verhindern von Dauerfeuchtigkeit am Wetterfesten Stahl

- Die Konstruktion ist so auszuführen, dass keine Wassersäcke entstehen.
- Die Konstruktion ist so auszuführen, dass sich keine Erde, kein Staub, Schmutz oder Laub

usw. ansammeln kann, denn darin können sich Wasser und Kondenswasser halten.

- Ein Gefälle ist insbesondere bei direkt benetzten Stahloberflächen so vorzusehen, dass das Wasser rasch und gezielt abläuft.
- Die Konstruktion ist so auszubilden, dass Wasser, das von anderen Bauteilen abläuft, die Stahlkonstruktion nicht erreicht und diese je nach Konstruktion lange feucht hält.
- Die Konstruktion ist so auszubilden, dass die Stahlteile gut belüftet sind.
- Bewuchs ist von der Konstruktion fern zu halten, um eine gute Belüftung zu gewährleisten. Im schlimmsten Fall kann sich z. B. unter Bäumen auf der nassen Konstruktion sogar Moos bilden, das sehr lange die Feuchtigkeit hält.
- Spalte, in denen sich Wasser aus direkter oder indirekter Benetzung oder durch Kapillarwirkung halten kann, sind zu vermeiden. Sehr dichte Spalten, die z. B. durch Verbindungsmittel so zusammengepresst werden, dass sie der sich in ihnen bildende Rost nicht aufweiten kann, sind nicht gefährlich.
- Hohlkörper (nicht zugänglich) müssen insbesondere bei direkter Benetzung dicht sein, damit kein Wasser eindringen oder durch Unterdruck eingesaugt werden kann, wie dies im Bereich nicht geschweißter Verbindungen oder bei nicht dichten Schweißnähten möglich ist.
- Hohlkästen (zugänglich) sollten keine größeren Öffnungen besitzen, damit wenig Außenluft eindringen kann. Aus dieser Luft kann sich nämlich in den Hohlkästen in der Nähe der Öffnungen Kondenswasser niederschlagen. Dies ist insbesondere bei Konstruktionen in Wassernähe möglich.

- In Innenräumen mit Luftfeuchtigkeit muss dafür gesorgt werden, dass sich auf dem Wetterfesten Stahl der einzelnen Konstruktionselemente wie z.B. Stützen, Träger oder Innenseiten von Fassadenelementen kein Kondenswasser niederschlagen kann. Zum Beispiel kann vor Letzteren eine Dampfsperre oder eine Hinterlüftung angeordnet werden. Wird eine Lösung nicht gefunden, sind die betroffenen Stahlteile bzw. Stahlflächen mit geeigneten Beschichtungen zu versehen.
- Ins Innere von Fassadenelementen, in denen Wärmedämmungen integriert sind, darf weder von der Gebäudeaußenseite noch von der Innenseite aus Wasser oder Wasserdampf eindringen. Es entsteht sonst in ihnen Dauerfeuchtigkeit, und sie rosten von innen her. Bei den ausgeschäumten Fassadenelementen aus Wetterfestem Stahl der Gebäude der Freien Universität Berlin-Dahlem (Rostlaube) war dies der Fall. Es handelte sich somit bei den Schäden an dieser Fassade nicht um ein Materialproblem, sondern um ein Fugenproblem bei der Fassadenkonstruktion. Mit neuer Fugentechnik (z. B. unter Pressung stehende Gummidichtungen wie bei der Fenstertechnik) kann das verhindert werden.
- Die Verbindungsstellen von Fassadenelementen dürfen keine Überlappungen und ungünstige Spalte aufweisen, in die Feuchtigkeit einziehen kann. Auch undichte oder undicht werdende Fugen (z. B. bei so genannten „dauerelastischen“ Materialien) sind schädlich. Bei Anwendung der neuen Fugentechnik (siehe oben) tritt dieses Problem nicht auf.

Kontaktkorrosion vermeiden

- Leitende Verbindungen von Wetterfestem Stahl mit elektrochemisch edleren Werkstoffen, wie z. B. hochlegierten Edelstählen, Kupfer, Blei oder Zinn, und unedleren Werkstoffen, wie z. B. Zink oder Aluminium, sind bei direkter Benetzung zu vermeiden. Dabei kommt es aber auch auf die Massenverhältnisse der Metalle an (siehe Kapitel 2 und 3). Bei nur indirekter Benetzung ist zu prüfen, ob solche Verbindungen vertretbar sind.

Ungleichmäßige Färbung sichtbarer Oberflächen vermeiden

- Bei sichtbaren Oberflächen muss aus ästhetischen Gründen immer die Walzhaut entfernt werden, damit sich eine gleichmäßige Färbung einstellen kann.
- Die Konstruktion muss so ausgebildet werden, dass örtlicher Wasserablauf nicht zu Ablaufschlieren auf der Oberfläche führt, wenn diese stören.
- Bewuchs muss von und über der Konstruktionsoberfläche fern gehalten werden, damit kein verunreinigtes oder mit Pflanzensäften angereichertes Wasser vom Bewuchs auf die Stahloberfläche gelangt und diese verfärbt.
- Es sollte vermieden werden, dass Teilflächen durch Kapillarwasser aus feuchten Medien gespeist werden. Dadurch entstehen Farbunterschiede.
- Bei Bauwerken ist zu beachten, dass bei gleichzeitig sichtbaren Flächen, die sowohl direkt als auch indirekt benetzt werden, vom Betrachter gewisse Farbunterschiede registriert werden können.

Verschmutzungen bei Fertigung, Transport und Montage vermeiden

- Verschmutzungen, z.B. durch Öl, Farbkreiden, Putzmittel oder andere Stoffe, sind zu vermeiden.
- Fertigungs- oder Montage-markierungen haben so zu erfolgen, dass sie wieder einfach beseitigt werden können.
- Die Lagerung der Stahlteile vor oder während der Montage darf weder Schlieren, Verschmutzungen noch Schäden bewirken.

Vermeiden, dass schadhafte andere Bauelemente zu Verschmutzungen oder Schäden am Wetterfesten Stahl führen

- Entwässerungsleitungen und Wassereinfläufe müssen so angeordnet oder ausgebildet werden, dass durch mögliche Lecks oder Verstopfungen derselben die Stahlkonstruktion nicht verschmutzt oder beschädigt wird.
- Die Konstruktion von Brücken ist so auszubilden, dass ein undicht gewordener Fahrbahnübergang keine Schäden oder Mängel an der benachbarten Stahlkonstruktion hervorrufen kann.
- Ist z. B. nicht sicher, dass eine Dampfsperre dicht bleibt, dann sollten Stahlteile, an denen sich dann voraussichtlich Kondenswasser bildet, vorbeugend beschichtet werden.

Verschmutzung angrenzender Bauteile vermeiden

- Die Ausbildung der ganzen Konstruktion sollte so erfolgen, dass Verschmutzungen angrenzender Bauteile wie z. B. Fußböden, Treppen, Wände oder Fenster nicht möglich sind.

- Der Wasserablauf muss geplant werden und somit kontrolliert erfolgen. Dabei sind auch Windwirkungen zu beachten, insbesondere bei Wasserspeiern.
 - Kann nicht vermieden werden, dass Wasser, das Rostprodukte enthält, über angrenzende Bauteile abläuft, müssen für diese Bauteile geeignete Baustoffe oder Farben gewählt werden.
 - Auch bei Fertigung, Transport und Montage müssen Verschmutzungen durch geeignete Maßnahmen vermieden werden. So kann z. B. beim Betonieren der Wetterfeste Stahl oder während der Stahlbaumontage ein fertiges Betonbauteil verschmutzt werden. Möglicherweise kann die anschließende Beseitigung solcher Verschmutzungen preisgünstiger sein als ihre Vermeidung.
- menbedingungen noch gegeben sind (z. B. ob keine Bäume in der Nähe der Konstruktion gewachsen sind oder ob die Konstruktion noch genügend Abstand vom Boden oder vom Wasser aufweist) und ob Schäden oder Mängel aufgetreten sind (z. B. können Fugen oder Dampfsperren undicht geworden sein).
 - Eventuelle Konstruktionsmängel hinsichtlich der korrosionsschutzgerechten Gestaltung sind zu beseitigen.
 - Schmutzansammlungen auf der Stahlkonstruktion sind zu entfernen.
 - Entwässerungsleitungen und Wassereinflüsse sind auf Dichtheit und Funktionsfähigkeit zu überprüfen und gegebenenfalls auszubessern.

Schädigungen von anderen Bauteilen durch auftreibenden Rost vermeiden

- In größeren Spalten, die nicht hinreichend gepresst sind, kann auftreibender Rost entstehen. Dieser auftreibende Rost kann angrenzende Bauteile wie Glasscheiben, Betonteile oder Verbindungsmittel durch die dabei entstehenden Kräfte schädigen (z. B. Betonteile absprengen). Können Spalten nicht vermieden oder hinreichend gepresst werden, sind dort geeignete Beschichtungssysteme (Anstriche) auf den Stahl aufzubringen.

Inspektion und Wartung der Konstruktion

- Die Konstruktionen müssen von Zeit zu Zeit kontrolliert werden. Hierbei ist zu prüfen, ob die ursprünglichen Rah-

Literatur

- 1 Schulz, E. H., 1928. Zur Fortentwicklung des hochwertigen Baustahles. Stahl und Eisen, 48. Juni, S. 849-853.
- 2 Hoff, P., 1937/38. Die Entwicklung der hochfesten Stähle für den Großstahlbau. Dissertation, Techn. Hochschule Braunschweig und Mitteilungen der Kohle- und Eisenforschung, Band II, 1938/40, S. 1-82.
- 3 Fischer, M., 2002. Ist der heute im Stahlbau verwendete Baustahl optimal? Stahlbau, 71. Jg., Heft 1, S. 13-21.
- 4 DASt (Hrsg.), 1993. Lieferung, Verarbeitung und Anwendung Wetterfester Baustähle, DASt-Richtlinie 007. Deutscher Ausschuss für Stahlbau, Köln.
- 5 DIN EN 10020, 1989. Begriffsbestimmung für die Einteilung der Stähle. Europäische Norm, Sept., Beuth Verlag, Berlin.
- 6 DIN EN 10155, 1993. Wetterfeste Baustähle, Technische Lieferbedingungen. Europäische Norm, Beuth Verlag, Berlin.
- 7 prEN 10025-5, 2002. Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 5: Technische Lieferbedingungen für Wetterfeste Baustähle. Europäischer weißer Normentwurf.
- 8 Böhni, H., und Schwitter, H., 1979. Wetterfeste Baustähle - Das Korrosionsverhalten. Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 6.
- 9 Daeves, K., 1926. Die Witterungsbeständigkeit gekupferter Stahles. STAHL und EISEN, Zeitschrift für das Deutsche Eisenhüttenwesen, Nr. 52, 46. Jg., Dez., S. 1857-1863.
- 10 DIN EN ISO 12944-2, 1998. Korrosionsschutz von Stahlbauten

- durch Beschichtungssysteme - Einteilung der Umgebungsbedingungen. Europäische Norm, Beuth Verlag, Berlin.
- 11 ISO 9224, 1992. Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Guiding values for the corrosivity categories. International Standard.
 - 12 Seeger, T., Degenkolbe, J., und Olivier, R., 1991. Zulässige Spannungen für den Betriebsfestigkeitsnachweis bei Wetterfesten Baustählen nach sechsjähriger Bewitterung. Stahlbau, 60. Jg., Heft 11, S. 333-342.
 - 13 Vereinigte Stahlwerke AG, Dortmund, 1930. UNION-BAUSTAHL, seine Anwendung im Hoch- u. Brückenbau. Firmenschrift der Dortmunder Union, August 1930.
 - 14 Fischer, M., und Roxlau, U., 1992. Anwendung Wetterfester Baustähle im Brückenbau. Forschungsbericht Projekt 191, Studiengesellschaft Stahlanwendung e. V., Düsseldorf, Juli.
 - 15 Fischer, M., und Sczyslo, S., 1992. Wetterfeste Baustähle und ihr Einsatz bei Brücken - Neuer Kenntnisstand. Straße + Autobahn, Heft 10, S. 637-648.
 - 16 Mathay, W. L., 1993. Uncoated weathering steel bridges. Vol. I, Chap. 9 Highway Structures, Design-Handbook (AISC), Januar.
 - 17 Lang, Th. P., und Lebet, J.-P., 2002. Brücken aus Wetterfestem Stahl. Tec 21, Nr. 24, S. 23-29.
 - 18 Theiler, F., und Geiser, R., 1979. Wetterfeste Baustähle, Praktische Anwendung im Hochbau. Schweizer Ingenieur und Architekt, Vol. 97, No. 6, S. 83-87.

Architekten

- Museum und Park Kalkriese:
Annette Gigon/Mike Guyer,
Dipl.-Architekten
ETH/BSA/SIA AG
Carmenstrasse 28
CH-8032 Zürich
(Projektleitung: Volker Mencke)
- Neubau Museum „Sowjetisches Speziallager 7/1“ (Stiftung Brandenburgische Gedenkstätten)
schneider + schumacher
Architekturgesellschaft mbH
Schleusenstraße 17
D-60327 Frankfurt am Main
(Projektleitung: Nadja Hellenthal)
- Wohnhaus Alvano
von Gerkan, Marg und Partner
(gmp)
Elbchaussee 139
D-22763 Hamburg
(Entwurf: Mainhard von Gerkan und Nikolaus Goetze; Projektleitung: Thomas Haupt)
- Wohnhaus Bergisch Gladbach-Bensberg
Prof. Bruno Franken BDA
Dipl.-Ing. Jürgen Kreft
Deutscher Platz 1
D-51429 Bergisch Gladbach
(Entwurf: Prof. Bruno Franken)
- Fünfgeschossiges Hauptgebäude eines ehemaligen Forschungsinstitutes in Oberhausen
Prof. K. Dübbbers, Berlin
- T-Haus Wilton, New York
Simon Ungers, Tom Kinslow,
New York
- Pfarrkirche des Gemeindezentrums Herz Jesu in Völklingen-Ludweiler
C. und Prof. A. Lamott BDA
(Projektleitung: Sonja Schmucker)
Silberburgstraße 129 a
D-70176 Stuttgart
- Brücken BUGA 2001 in Potsdam
Prof. Ditrich • Fritzen • Löff
Architekten + Stadtplaner, Köln
Frankenwerft 5
D-50667 Köln



Stahl-Zentrum

Stahl-Informations-Zentrum

Postfach 10 48 42
40039 Düsseldorf
E-Mail: siz@stahl-info.de
Internet: www.stahl-info.de

