

# Verbundbrücken aus wetterfestem Stahl in der Schweiz

Autor(en): **Ryser, René / Lang, Thomas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 4

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79870>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



1

Napoleonbrücke bei Brig (1981)

René Ryser, Aigle, Thomas Lang, Lausanne

## Verbundbrücken aus wetterfestem Stahl in der Schweiz

**In der Schweiz begann die Verwendung von wetterfestem Stahl Ende der sechziger Jahre, und der Werkstoff stiess unter den Fachleuten sogleich auf grosses Interesse. Leider schadeten später einige unglückliche Anwendungen, insbesondere im Bereich des Fassadenbaus, seinem guten Ruf. Mit Hilfe dieses Artikels soll gezeigt werden, dass sich der wetterfeste Stahl gerade für die Ausführung von Stahl-Beton-Verbundbrücken besonders gut eignet, solange gewisse Grundsätze während der Projektierung und der Ausführung eingehalten werden.**

In den dreissiger Jahren begann in den Vereinigten Staaten die Entwicklung von wetterfesten Baustählen, die zuerst von U.S. Steel unter dem Namen Cor-Ten auf dem Markt angeboten wurden. Diese Stähle fanden anfänglich Verwendung im Schienen- und Strassenfahrzeugbau, im Schiffsbau sowie für Masten von Hochspannungsleitungen. Erst viel später, in den sechziger Jahren, gelangte der wetterfeste Stahl auch im Brücken- und Hochbau zur Anwendung. 1964 wurde in den Vereinigten Staaten die erste Brücke dieser Art ge-

baut [1]. Ende der sechziger Jahre waren auch die wichtigsten Stahlhersteller in Europa in der Lage, wetterfesten Stahl zu liefern. In der Schweiz wurden 1969 die ersten Gebäude und 1970 die erste Strassenbrücke in wetterfestem Stahl erbaut.

### Kennwerte und Eigenschaften

Wetterfeste Stähle sind niedriglegierte Baustähle. Sie besitzen unter normalen atmosphärischen Bedingungen eine erhöhte Korrosionsbeständigkeit, die es erlaubt, sie in rohem Zustand ohne Korrosionsschutzanstrich einzusetzen. Die Korrosionsbeständigkeit wird durch die Zugabe von kleinen Mengen insbesondere der Legierungselemente Chrom, Kupfer und Nickel erreicht. Diese Elemente begünstigen die Bildung einer kompakten und gut haftenden oxydischen Deckschicht als Schutz gegen Witterungseinflüsse. Bild 2 zeigt den Vergleich der Schmelzanalyse eines normalen Baustahls FeE 355-D (EN 10 025 [2]) und eines wetterfesten Stahls FeE 355-D (EN [3]).

### Langzeitverhalten von wetterfesten Stählen

Das Langzeitverhalten von wetterfesten Stählen hängt hauptsächlich von der Häufigkeit und der Dauer der «Feucht-

MG. Der Artikel liegt auch in französischer Sprache vor: Er ist im «Ingénieurs et architectes suisses», Ausgabe 1/2 vom 19. Januar 2000, erschienen.

Trocken-Zyklen» sowie von den atmosphärischen Bedingungen ab (Land-, Stadt-, Industrie- oder Meeresatmosphäre). Bild 3 zeigt als Verhaltensmerkmal den Verlauf des Materialverlustes in Abhängigkeit der Zeit für zwei verschiedene Atmosphärentypen. Kurve 1 entspricht den bei aggressiver Industriebatmosphäre der Witterung ausgesetzten Bauteiloberflächen. Kurve 2 hingegen zeigt das Verhalten bei städtischer Atmosphäre und gibt ungefähr den Materialverlust wieder, der bei den meisten in der Schweiz vorhandenen Bauwerken zu erwarten ist.

### Ausgleich des Materialverlusts

Die Kurven zeigen, dass in der Tat im Laufe der Zeit ein geringer Materialverlust eintritt. Dies führt zur Frage, ob dieser nicht durch eine Mehrdicke der Bleche ausgeglichen werden müsste. In gewissen Ländern, wie der Bundesrepublik Deutschland oder Schweden, bestehen Vorschriften für die Berücksichtigung des Materialverlusts; andere Länder, wie z.B. die USA, sehen keine Mehrdicken vor. Auch in der Schweiz wurden die meisten Bauwerke ohne Berücksichtigung dieses Phänomens erstellt. Wenn man die deutsche Richtlinie [4] anwendet, muss je nach Atmosphärentyp jeder der Witterung ausgesetzten Bau-

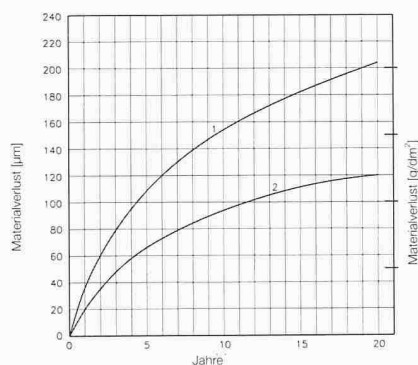
Bezeichnung			Massenanteile [%]							
SIA 161/1 (1990)	EN 10 027-1, ECISS-IC 10, EN 10 088	EN 10 027-2	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Cr	Cu max.	Ni
Fe E 355-D	S355J2G3	1.0570	0,20	0,55	max. 1,60	0,035	0,035			
Fe E 355-D	S355J2G1W	1.8963	0,16	0,50	bis 1,50	0,035	0,035	bis 0,80	0,25 0,55	0,65

2

Schmelzanalyse von Baustählen

3

Materialverlust in  $\mu\text{m}$  und  $\text{g}/\text{dm}^2$   
in Abhängigkeit der Zeit (in Jahren)



teilerfläche zwischen 0,8 und 1,5 mm Abrostungszuschlag hinzugefügt werden. Die schwedische Richtlinie [5] schreibt etwas geringere Werte vor, nämlich zwischen 0,35 und 1,1 mm. Seit einigen Jahren werden in Deutschland regelmässig Blechdickenmessungen vorgenommen [6], und die ersten Resultate zeigen, dass die effektiv eingetretenen Materialverluste geringer als erwartet ausfallen. Im Durchschnitt wurden nach fünfzehn Jahren Betrieb unter Industriemmosphäre weniger als 0,2 mm Blechdickenabnahme gemessen. Die in der Schweiz realisierten Verbundbrücken sind meist Bauwerke mit zwei Hauptträgern und oberliegender Fahrbahnplatte, die die Stahlkonstruktion vor direkter Benetzung schützt. In diesem Fall ist ein Blechdickenzuschlag nicht unbedingt nötig; der Dickenverlust ist zudem im Vergleich zur verwendeten Blechstärke äusserst gering.

### Grundregel

Da die Schweiz von den Einschränkungen für die Verwendung von wetterfestem Stahl bei Meeresatmosphäre nicht betroffen ist, gilt es vor allem die Grundregel des Sicherstellens der Feucht-Trocken-Zyklen zu beachten, da es andernfalls zu Unregelmässigkeiten beim Aufbau der Deckschicht kommt. Der Einfluss dieser Feucht-Trocken-Zyklen wurde im Detail durch Schwitter und Böhni [7] untersucht. Die Studie zeigt deutlich, dass

nur dann optimale Bewitterungsbedingungen vorliegen, wenn die Feuchtperioden zahlreich und von kurzer Dauer sind. Dies wiederum erfordert die Berücksichtigung einiger Grundsätze während Projekt und Betrieb einer Verbundbrücke.

### Klimatische Bedingungen

Als erstes ist zu überprüfen, ob die lokalen klimatischen Verhältnisse die Abfolge von Feucht-Trocken-Perioden erlauben. Ist dies nicht möglich, so muss auf die Verwendung von wetterfestem Stahl verzichtet werden. Das kann zum Beispiel der Fall sein, wenn das Bauwerk an einem sehr feuchten Standort geplant ist, wenn es von dichter Vegetation umgeben wird (Bild 4) oder weniger als 1 m über der Erd- bzw. weniger als 2,5 m über einer Wasseroberfläche liegt.

### Konstruktive Details

Die Dauerhaftigkeit eines Bauwerks aus wetterfestem Stahl hängt zu einem grossen Teil von der Qualität der konstruktiven Details ab. Es ist deshalb alles vorzusehen, damit die Dauer der Feuchtperioden möglichst kurz ausfällt. Vorhandenes Wasser muss überall ohne Hindernisse abfliessen können. Allfällige Entwässerungsöffnungen sind gross genug zu gestalten, damit sie im Laufe der Zeit nicht verstopfen. Der Innenraum von zugänglichen Hohlkästen muss zur Vermeidung von Kondenswasser gut belüftet werden;

4

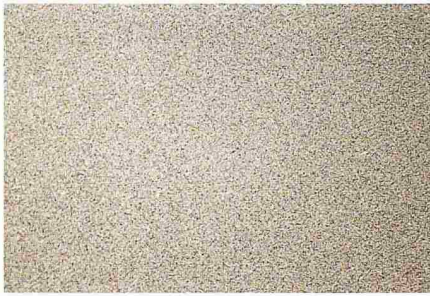
Ungünstige lokale klimatische Bedingungen



kleine Hohlräume sollten dicht abgeschlossen sein. Diese konstruktiven Probleme sind relativ leicht zu lösen, in der Literatur gibt es dafür zahlreiche Vorschläge [4], [6].

Die verwendete Art der Bauteilverbindung kann ebenfalls einen Schwachpunkt für die Dauerhaftigkeit darstellen. Normalerweise verwendet man Schweissverbindungen, da die Zwischenräume geschraubter Teile in der Regel nicht abgedichtet werden können. Auf Grund der Kapillarität besteht dort deshalb häufig Dauerfeuchtigkeit und entsprechendes Korrosionsrisiko. Geschraubte Verbindungen können jedoch bei sekundären Bauteilen, die nicht direkt benetzt sind, verwendet werden (Verbände, Querträger usw.).

Zusätzlich zur Dauerhaftigkeit muss auch das Aussehen des Bauwerks berücksichtigt werden. Alle Bauteile aus Stahl sollten während der Herstellung gestrahlt werden; dies beschleunigt die Bildung der Deckschicht, und die Oberfläche erreicht rascher ihre Endfärbung. Während des Betonierens der Fahrbahnplatte muss darauf geachtet werden, dass keine Zementmilch auf die Stahlkonstruktion gelangt, da diese, einmal ausgehärtet, äusserst fest haftende und optisch wenig ansprechende Spuren hinterlässt. Im Endzustand des Bauwerks darf von der Stahlkonstruktion abfliessendes Wasser auf keinen Fall in Berührung mit Betonbauteilen kom-



5a

Kompakte, feinkörnige Deckschicht



5b

Grobkörnige Deckschicht



5c

Deckschicht mit Rostplattenbildung

6

Viaducs des Vaux, Einschlebevorgang (1998, Bild: J. Jeker, Denges)



men, da diese sonst mit Rostspuren verschmutzt werden.

### Überwachung und Unterhalt

Es ist wichtig, in Betrieb stehende Bauwerke periodisch zu überwachen. Während der ersten Kontrollen in kurzen Zeitabständen wird es sich zeigen, ob die projektierten Massnahmen auch wirklich funktionieren. Später können die Inspektionsintervalle verlängert werden. In der Tat kann man manchmal beobachten, dass sich die Umgebungseinflüsse verändern und dies Auswirkungen auf das Verhalten des wetterfesten Stahls hat. Das Vegetationswachstum, abgefallenes Laub oder auch Dreck und Staub auf der Stahlkonstruktion können das Vorhandensein von Dauerfeuchtigkeit fördern. Diese Feuchtigkeit kann auch durch mangelnde Dichtigkeit der Fahrbahnplatte, der Fahrbahnübergänge oder des Brückenentwässerungssystems hervorgerufen werden. Die periodischen Kontrollen sind einfach auszuführen und benötigen keine besondere Messausrüstung: eine einfache visuelle Kontrolle genügt. Eine feinkörnige, kompakte und gut haftende Deckschicht zeugt von einem günstigen Verhalten des wetterfesten Stahls (Bild 5a). Falls die Deckschicht eine grobkörnige Struktur aufweist oder sich gar plättchenartig vom Stahl ablöst, deutet dies auf verlängerte Feuchtperioden hin (Bild 5b). Dieses Phänomen ist im Allgemeinen dort anzutreffen, wo die

Abstände Stahl-Erdboden oder Stahl-Beton zu gering sind, oder auch innerhalb von schlecht belüfteten, von Betonbauteilen umschlossenen Bereichen. Dauerfeuchtigkeit oder Feuchtperioden von sehr langer Dauer zeigen sich anhand grosser Rostplatten, die sich leicht von der Stahloberfläche lösen lassen und eine Dicke von ein bis vier oder gar fünf Millimetern aufweisen (Bild 5c). In diesem Falle müssen unverzüglich Veränderungen am Bauwerk vorgenommen werden, um das weitere Auftreten solcher Feuchtigkeit zu verhindern. Andererseits muss die Bedeutung der durch Dauerfeuchtigkeit hervorgerufenen Schäden auch relativiert werden: das Verhältnis der Dicke einer Rostplatte zum entsprechenden Blechdickenverlust liegt in der Grössenordnung von zehn zu eins; eine Rostplatte von 5 mm Dicke entspricht somit einem Blechdickenverlust von ungefähr 0,5 mm.

### Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit

Die wirtschaftlichen Vorzüge des wetterfesten Stahls sind offensichtlich. Sie liegen in den Einsparungen sowohl bei der Herstellung als auch im Unterhalt begründet. Vergleicht man eine Brücke aus wetterfestem Stahl und eine entsprechende Brücke mit einem üblichen vierlagigen Zwei-Komponenten-Korrosionsschutzanstrich (Aufbringen des letzten Anstrichs auf der Baustelle nach dem Betonieren der Fahrbahnplatte), so bringt - bezogen

auf den Preis der Stahlkonstruktion - der wetterfeste Stahl Einsparungen zwischen 10 und 15% oder bezogen auf das gesamte Bauwerk solche von 3 bis 8%. Besonders deutliche Einsparungen lassen sich bei Bauwerken erzielen, die zahlreiche Montageschweissnähte erfordern oder bei denen der Montagevorgang erhebliche Schäden an den in der Werkstatt aufgetragenen Grundbeschichtungen hervorrufen kann (Bild 6).

Die Einsparungen im Unterhalt sind schwieriger abzuschätzen. Eine Verbundbrücke mit einem üblichen Korrosionsschutzanstrich von guter Qualität erfordert jedoch ungefähr alle 20 bis 25 Jahre mehr oder weniger umfassende Erneuerungsarbeiten. In der Schweiz haben zahlreiche Brücken aus wetterfestem Stahl ein Vierteljahrhundert ohne Probleme überstanden, und ihre Stahlkonstruktionen bedürfen keinerlei Instandsetzung.

### Brücken in der Schweiz

In der Schweiz gibt es 35 Verbundbrücken aus wetterfestem Stahl. Bild 7 enthält einen entsprechenden Überblick, wobei Fussgängerpasserellen und Brücken mit einer Länge unter 30 m nicht aufgeführt sind. Bild 8 zeigt als Beispiel eines Bauwerks mit Kastenträger die Brücke über die Rhone bei Illarsaz.

Bauwerksname	Kt.	Baujahr	Länge [m]	Stahl [t]
SBB-Bahnüberführung Industrie Althau	AG	1970	54,00	41
Ponts sur la Grande Eau	VD	1973	63,00	130
Viaduc route d'accès à la jonction d'Aigle	VD	1974	545,00	470
Pont de Leukerfeld	VS	1974	149,00	130
Pont sur le Rhône à Illarsaz	VS	1974	181,00	240
Viaduc de Turtig-Raron	VS	1974	551,50	460
Brücke Fabrikstrasse	BE	1976	35,50	91
Brücke Murtenstrasse	BE	1976	38,50	185
Brücke Gampel-Steg/T9-SBB-Rotten	VS	1976	198,00	248
Pont sur la Losentze	VS	1976	164,80	460
Viaduc de Vionnaz	VS	1976	340,00	245
Lehnenbrücke Nr. 1, Kandersteg	BE	1977	139,00	120
Lehnenbrücke Nr. 2, Kandersteg	BE	1977	61,00	50
Rheinbrücke Zurzach-Rheinheim	AG	1977	156,50	216
Viaduc de Getwing sur Rhône+CFF	VS	1977	302,00	290
Viaduc du Chêne	VD	1978	365,20	700
Brücke Nidau-Büren-Kanal	BE	1979	94,00	80
Brücke Nidau-Büren-Kanal (BTI)	BE	1979	94,00	90
Überführung U8 Wiggiswilstrasse	BE	1980	159,00	106
Napoleonbrücke	VS	1980	330,00	750
Nuovo ponte sul Ticino	TI	1981	342,50	547
Pont sur la Sarine	FR	1982	40,85	80
Nuovo ponte sul fiume Maggia	TI	1982	90,00	115
Pont de la Tine	VD	1984	123,67	120
Pont sur le Rhône Saxon-Ouest	VS	1987	130,00	200
Pont sur la Dala	VS	1990	211,00	950
Nouveau pont de Gueuroz	VS	1993	170,25	400
Viaducs des Vaux	VD	1999	945,00	5000

### Aktueller Zustand der Brücken in der Schweiz

Das Institut für Stahlbau (ICOM) der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne führte Mitte der neunziger Jahre im Rahmen einer Studie über das Langzeitverhalten von Verbundbrücken eine Umfrage in Form von an die verantwortlichen Tiefbauämter der Kantone verschickten Fragebogen durch [8]. Diese Umfrage zeigte keine besonderen Probleme mit Bauwerken aus wetterfestem Stahl; die festgestellten Mängel hatten im Allgemeinen keinen Zusammenhang mit dem verwendeten Stahl. Eine Ausnahme muss jedoch erwähnt werden: im Tessin wurden vier Bauwerke einige Jahre nach Inbetriebnahme mit einem konventionellen Korrosionsschutzanstrich versehen. Es handelt sich dabei um einfeldrige Brücken mit Spannweiten zwischen 20 und 30 m. Offensichtlich erfüllten diese Bauwerke die für die Verwendung von wetterfestem Stahl notwendigen Voraussetzungen nicht.

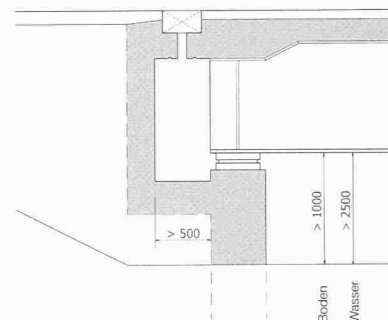
Um die oben erwähnte Umfrage zu vervollständigen, hat ein Stahlbauunternehmen ungefähr zehn weitere Brücken visuell inspiziert und Blechdickenmessungen mit einem Ultraschall-Blechdickenmessgerät vorgenommen. Diese Brücken - die älteste stammt aus dem Jahre 1972 - befinden sich grundsätzlich in gutem Zustand, obwohl es scheint, als ob der Unterhalt in einzelnen Fällen etwas vernachlässigt worden wäre. Unter anderem liessen sich auseinandergezogene

Entwässerungsröhre, direkt auf die Stahlkonstruktion abfließendes Meteorwasser sowie Drecksammlungen auf Unterflanschen von Trägern feststellen. Bei drei Bauwerken fand man zudem Anzeichen von durch Dauerfeuchtigkeit hervorgerufener Korrosion. Die betroffenen Zonen sind begrenzt und befinden sich in allen drei Fällen im Bereich der Widerlager. Ganz allgemein kann man feststellen, dass die Widerlager häufig ohne Berücksichtigung der bei der Verwendung von wetterfestem Stahl einzuhaltenden Grundsätze geplant wurden. So sind die in Bild 9 beschriebenen Minimalabstände oft nicht eingehalten, oder die Fahrbahnübergänge, deren Dichtigkeit bei zahlreichen Bauwerken zu wünschen übrig lässt, wurden direkt über den Stahlträgern angeordnet. Zusätzlich entwickelt sich gerade im Bereich der Widerlager häufig üppige Vegetation, die dauerhafte Feuchtigkeit begünstigt.

Die durch das Stahlbauunternehmen durchgeführten Blechdickenmessungen besitzen nur Richtwertcharakter. Insbesondere lassen sich daraus keine Rückschlüsse auf die tatsächlich eingetretenen Materialverluste ziehen, da keine Nullmessungen vom Zeitpunkt der Montage vorliegen. Es können nur Vergleiche mit den nominellen Blechdicken gemäss den Planunterlagen angestellt werden. Unter den gut hundert erhobenen Messwerten befinden sich nur zwei, die kleiner als die nominellen Dicken sind: es handelt sich

### 7 Verbundbrücken aus wetterfestem Stahl in der Schweiz

### 9 Prinzipiskizze Widerlager, Minimalabstände



dabei um Stegbleche mit Messresultaten von 9,9 mm bei einer nominellen Dicke von 10,0 mm. Diese Differenz liegt unterhalb der Messgenauigkeit des Geräts und weit unterhalb der Wältoleranzen. Zur Erinnerung: die untere Toleranzgrenze für einen gewalzten Flachstahl von 10 mm Dicke und einer Länge von mehr als 8 m beträgt  $-0,6$  mm ( $-1,4$  mm für eine Blechdicke von 40 mm). Im Durchschnitt liegen die Messwerte 3 bis 4% höher als die nominellen Blechdicken. Diese Resultate untermauern die in Deutschland an einer weitaus grösseren Anzahl von Bauwerken gewonnenen Erkenntnisse [6], [9].

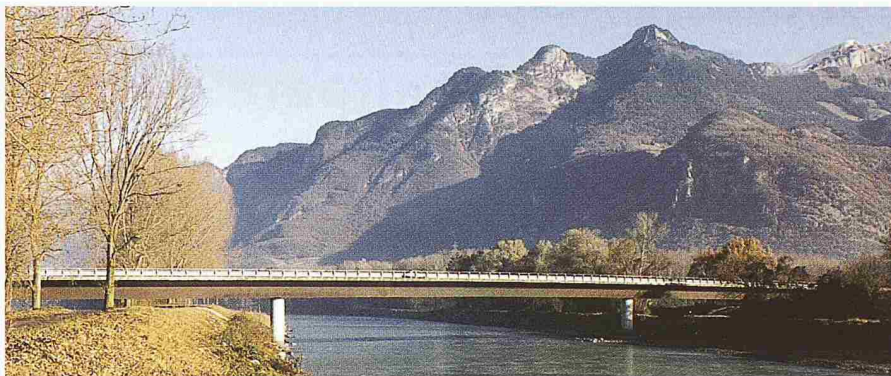
Zurzeit werden im Rahmen einer Studie im Auftrag des Bundesamts für Strassenbau alle schweizerischen Brücken aus wetterfestem Stahl durch das ICOM systematisch untersucht, um einen Gesamtüberblick über ihren Zustand zu erhalten und auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse weitere generell gültige Hinweise für die Verwendung von wetterfestem Stahl in der Schweiz machen zu können (voraussichtliche Publikation der Ergebnisse im Sommer 2000).

### Schlussfolgerungen

Es besteht kein Zweifel, dass die Verwendung von wetterfestem Stahl unter Berücksichtigung der materialspezifischen Grundsätze eine technisch einwandfreie Lösung darstellt; die in der Schweiz und im Ausland realisierten Bauwerke (über 110 Brücken in Deutschland

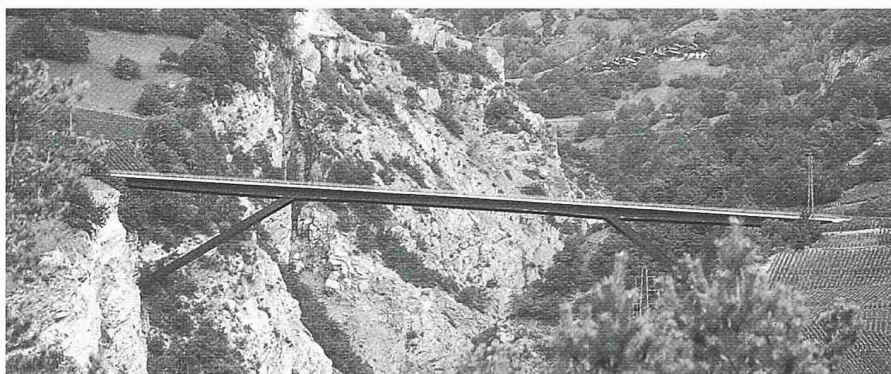
8

Brücke über die Rhone bei Illarsaz (1973)



10

Brücke über die Dala bei Leuk VS (1990)



[6], ungefähr 100 in Grossbritannien [10] und über 2500 in den USA [11]) bezeugen dies eindrücklich. Die wirtschaftlichen Vorteile des wetterfesten Stahls sind unbestreitbar, sie ergeben sich unter anderem direkt aus der Differenz zwischen dem Preis für den Korrosionsschutzanstrich und den Materialmehrkosten. Die ästhetische Beurteilung fällt selbstverständlich eher subjektiv aus. Durch die beiden kontrastreichen Farbtöne des Betons und des Stahls fügen sich diese Bauwerke, wie anhand von Bild 1 und Bild 10 gezeigt, meist gut in ihre Umgebung ein und zeichnen sich durch ein unauffälliges Erscheinungsbild aus.

Nach der anfänglichen Euphorie der siebziger Jahre und der darauffolgenden Ernüchterung auf Grund unglücklicher Anwendungen vor allem im Hochbau stellen wir heute wieder ein vermehrtes Interesse am wetterfesten Baustahl fest. Dieser Werkstoff stellt auf jeden Fall eine interessante Alternative im Bauwesen dar, ganz besonders aber für den Verbundbrückenbau.

Adressen der Verfasser:

*René Ryser*, dipl. Ing. EPFL/SIA, Zwahlen & Mayr SA, Chemin d'Isles, 1860 Aigle, *Thomas Lang*, dipl. Ing. ETH/SIA, ICOM - Construction Métallique, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Lausanne

#### Literatur

- [1] *Nickerson R.L.*: Performance of weathering steel in highway bridges, a Third Phase Report. American Iron and Steel Institute. Washington, 1995
- [2] EN 10025: Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen - Technische Lieferbedingungen. Europäisches Komitee für Normung. Brüssel, 1993
- [3] EN 10155: Wetterfeste Baustähle - Technische Lieferbedingungen. Europäisches Komitee für Normung. Brüssel, 1993
- [4] DAST-Richtlinie 007: Lieferung, Verarbeitung und Anwendung wetterfester Baustähle. Deutscher Ausschuss für Stahlbau. Köln, 1993

- [5] Schwedische Richtlinien: Bulletin 97, Richtlinie für die Verwendung von korrosionsfesten Stählen. Schwedisches Korrosionsinstitut. Stockholm, 1984
- [6] *Fischer M., Roxlan U.*: Projekt 191, Anwendung wetterfester Baustähle im Brückenbau. Forschungsbericht, Studiengesellschaft Stahlanwendungen e.V. Düsseldorf, Juli 1992
- [7] *Böhni H., Schwitler H.*: Wetterfeste Baustähle, das Korrosionsverhalten. Schweizer Ingenieur und Architekt SI+A, 6/79, S. 77 ff., Zürich, 1979
- [8] *Lebet J.-P., Ducret J.-M.*: Le comportement dans le temps des ponts mixtes continus. EPFL, Publication ICOM 351, Lausanne, Mai 1997

- [9] *Fischer M., Wien B.*: Erfahrungen mit Brücken aus wetterfestem Baustahl. Universität Dortmund, konstruktiver Ingenieurbau, Bericht aus dem Fachgebiet Stahlbau, Mitteilung Nr. 3. Dortmund, Dezember 1988
- [10] *Godfrey G.B.*: The use of weathering steels in composite highway bridges. Department of Civil Engineering, Imperial College of Science and Technology. London, 1988
- [11] *Nickerson R.L.*: Performance of weathering steel in highway bridges, a third phase report. American Iron and Steel Institute. Washington, 1995