Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 116 (1998)
Heft: 30/31

Artikel: Gesamtsanierung der Tragkonstruktion: Mehrzweckanlage Ulmizberg
Autor: Zeerleder, Jean-Louis
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79550

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Jean-Louis Zeerleder, Bern

Gesamtsanierung der Tragkonstruktion

Mehrzweckanlage Ulmizberg

Zwei unterschiedliche Aufgaben waren zu lösen. Erstens die statische Überprüfung der Tragsicherheit unter Berücksichtigung der Querschnittsschwächung durch Korrosion und durch Arbeitsöffnungen für die Behandlung der Hohlräume der RHS-Stahlprofile. Und zweitens die Entwicklung einer zuverlässigen und kostengünstigen Methode für die Behandlung des korrodierten Cortenstahls an Ort. Für die engen Hohlräume waren bis anhin kaum gangbare Methoden und einschlägige Erfahrungswerte bekannt.

Eine grobe Überprüfung der ursprünglichen Statik von 1972 zeigte, dass die Stahlkonstruktion von Anfang an mit grosszügigen Tragreserven bemessen worden war. 1991 wurde der Materialabtrag infolge Korrosion an einigen Stäben von der Empa gemessen. Er betrug bis maximal 1,9 mm bzw. etwa 20% der ursprünglichen Wanddicke der Stahlprofile. Dieses alarmierende Resultat machte klar, dass eine Sanierung nicht mehr verschoben werden konnte. Die ursprünglich hohe Tragsicherheit war in der Zwischenzeit auf knapp genügende Werte gesunken.

Korrosionsschutz

Durch Vorversuche wurde eine zuverlässige Applikationsmethode ermittelt, bei der durch verschieden grosse Arbeitsöffnungen (150×300 bis 180×360 mm) die Innenflächen der Hohlprofile behandelt werden konnten.

Für die Wahl des Korrosionsschutzsystems waren folgende Überlegungen ausschlaggebend:

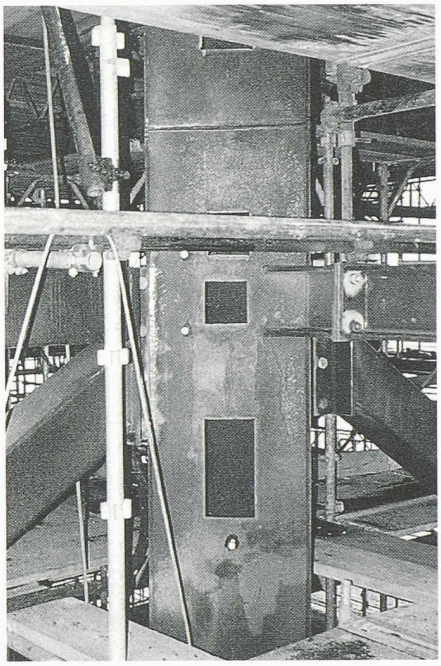
- wechselnde Witterungseinflüsse, teilweise starke Betauung
- minimaler Unterhalt
- gewünschte Langzeitbeständigkeit von 40–50 Jahren

Aufgrund ihrer Erfahrung empfahl die Empa die gleiche Behandlung für Cortenstahl wie für gewöhnlichen Baustahl Fe E 235. Um alle Ecken und Flächen in den Profilhohlräumen einwandfrei bearbeiten zu können, wurden Korrosionsschutzsysteme mit lösungsmittelarmen Farbstoffen vorgeschlagen und mit Schleuderlanze und Rundkopfdüse an verschiedenen Stäben versuchsweise appliziert. Die korrodierten Stäbe wurden zuerst auf Güte Sa 2½ sandgestrahlt und gereinigt. Im Verlauf der Vorversuche erkannte man, dass für die Behandlung der Profilinnenflächen spezielle Strahl- bzw. Spritzdüsen anstelle der marktüblichen Ringstrahldüse angefertigt und eingesetzt werden mussten. Die Absaugtechnik für das Strahlmittel bewährte sich dagegen von Anfang an.

Die während der Vorversuche applizierten vier verschiedenen Korrosionsschutzverfahren wurden nach mehreren Monaten ausgewertet. Neben einer visuellen Kontrolle testete die Empa Blechausschnitte im Labor mit folgenden Kurzprüfungen:

- 20 Zyklen Schwitzwasser gemäss DIN 50 017 (Kondenswasser-Wechselklima)
- 1000 Stunden Salzsprühtest gemäss DIN 50 021
- Anschliessende Korrosionsunterwanderung gemäss DIN 53 167
- 2400 h künstliche Bewitterung (gemäss DIN 53 384: «Q-Panel»-Ultraviolett)
- Haftung mit Gitterschnitt gemäss DIN 53 151 vor und nach der künstlichen Bewitterung

Zusätzliche Untersuchungen wurden mit dem Porenprüfgerät durchgeführt, um die Resultate der Empa-Versuche zu untermauern. Schliesslich wurde beschlossen, die nachfolgend aufgeführten Systeme für die korrosionstechnische Behandlung aller Stahlprofile anzuwenden.



Arbeitsöffnungen für den inneren Korrosionsschutz an einer der sechs Turmstützen

Innenbehandlung der RHS-Rohre

- Sandstrahlen nach SIS 05 59 00 Sa 2½ (schwedische Norm), mineralisches Strahlmittel, Rauhtiefe 60–80 µm
- 1 x Grundbeschichtung mit Zinkstaub als aktiver chemischer Schutz, Basis: 1-K-Polyurethan FH (K=Komponente; FH = feuchtigkeitshärtend), Farbton grau, min. Schichtdicke 40 µm
- 3 x Deckbeschichtung mit Teerpolyurethan als physikalischer Schutz, Basis: 1-K-Polyurethan FH, Farbton:
  - 1. Schicht teerschwarz, min. 120 µm
  - 2. Schicht rotbraun, min. 120 µm
  - 3. Schicht teerschwarz, min. 120 µm

  min. Schichtdicke 360 µm
- Totale Dicke 400 µm

Aussenbehandlung aller Stäbe

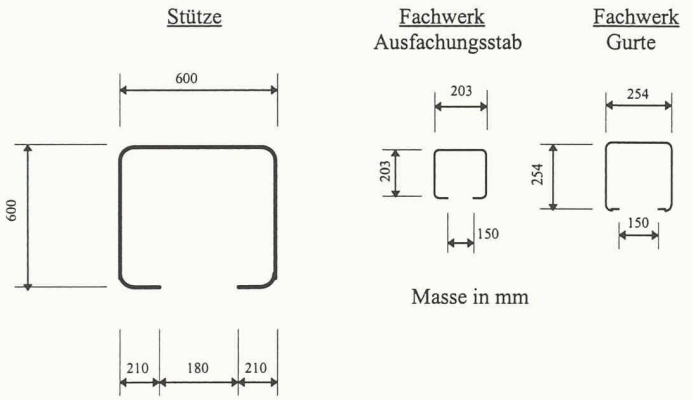
- Sandstrahlen nach SIS 05 59 00 Sa 2½, mineralisches Strahlmittel, Rauhtiefe 60–80 µm

1 Schichtdickenmessungen von Proben aus dem Bauwerk

Probe	Schichtdicken in µm		
	Solldicke	Messgerät	Mikroskop
Fachwerk (innen)	400 Gesamtaufbau	max. 613 ø 469±61 min. 355	max. 728 min. 497
Stütze F (innen)	180 Gesamtaufbau	max. 778 ø 569±130 min. 330	max. 535 min. 497
Stütze F (aussen)	140 Zweite Zwischenschicht	max. 228 ø 236±37 min. 141	max. 366 min. 223

Stab	Abmessungen [mm]	Normalkraft [kN] in Ver.last	Wind	Σ	Moment [kNm]	Spannung [kg/cm²] σ_N	σ_M	σ_{tot}	σ_{zul} [kg/cm²]
3	600x600x10	-344	-123	-467	-	-1980	-	-1980	2200
6	600x600x16	-407	-139	-546	+54	-1470	-765	-2235	2200
29	600x600x12	-258	-18	-286	+52	-1020	-970	-1990	2200
170	254x254x9,5	-12	-40	-52	-	-560	-	-560	620 (K)
120	203x203x6,3	+3	-35	-32	-	-510	-	-510	790 (K)
120	203x203x6,3	+11	+35	+46	-	+730	-	+730	1300

2
Auszug aus der Stabstatik 1972: Spannungsnachweise



3
Querschnittsschwächung durch Arbeitsöffnungen

- 1 x Grundbeschichtung mit Zinkstaub, Basis: 1-K-Polyurethan FH, Farbton grau, min. Schichtdicke 40 µm
- 2 x Zwischenbeschichtung mit Eisenglimmer, Basis: 1-K-Polyurethan FH, Farbton:
  - 1. Schicht silber, min. 50 µm
  - 2. Schicht mittelgrau, min. 50 µm.

  Min. Schichtdicke 100 µm
- 1 x Deckbeschichtung mit Eisenglimmer, Basis: 1-K-Polyurethan FH, Farbton: RAL 8019 «graubraun», UV-beständig. Min. Schichtdicke 40 µm
- Totale Dicke 180 µm

Konzeption, Ausschreibung und Ausführung des Korrosionsschutzes erfolgten in Anlehnung an die SN-Norm 555 001: «B3 Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen».

Überwachung und Kontrollen

Die Korrosionsschutzfirma hatte die Aufgabe, über die Arbeiten an Ort ein Baustellenprotokoll zu führen, in dem die Daten der Wetter- und Klimaverhältnisse (relative Luftfeuchtigkeit, Luft- und Objekttemperatur und Taupunktabstand) sowie die Resultate der Eigenkontrolle für jeden behandelten Stab eingetragen wurden.

Ein Mitarbeiter des Ingenieurbüros wurde von der Empa für die Kontrollen vor Ort geschult. Die Überwachung des Korrosionsschutzes auf der Baustelle erfolgte in einwöchigem Rhythmus durch diesen Mitarbeiter und rund alle zwei bis vier Wochen durch einen Experten der Empa. Sie umfasste folgende Kontrollen:

- Beurteilung des Reinheitsgrads des Stahls nach der Sandstrahlung mit der hohen Anforderung Sa 2½. Eine Videokamera wurde stichprobenweise für die Kontrollen in den Hohlräumen verwendet
- Visuelle Beurteilung der applizierten Korrosionsschutzschichten
- Schichtdickenmessung des Korrosionsschutzes
- Überprüfen des Gesamtaufbaus des Korrosionsschutzes auf Porenfreiheit mit einem Porenprüfgerät (Basis: Schwachstromkreis 9 V und feuchte Schwammelektrode)
- Einblick in das Baustellenprotokoll

4
Materialabtrag infolge Korrosion gemäss Empa-Messung, 1991 (Auszug mit Extremwerten)

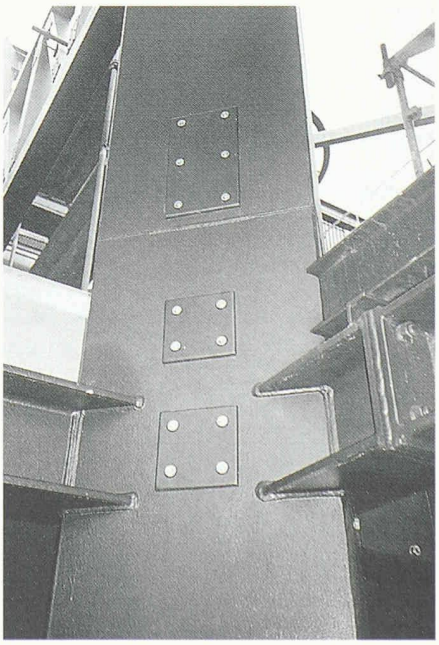
Bezeichnung Stab	Wanddicke [mm] Empa-Messung	ursprünglich	Materialabtrag Mittelwert [mm]
1 Stütze a unten	15,0	16,0±0,5	-1,0
141 Diagonale	8,7	9,5±0,5	-0,8
157 Diagonale	7,6	9,5±0,5	-1,9
173 Diagonale	9,2	9,5±0,5	-0,3
Mittelwert Diagonale	8,5	9,5±0,5	-1,0

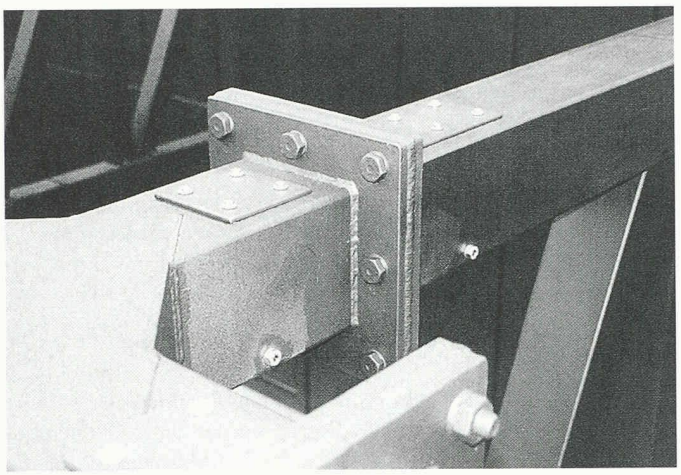
Schichtdickenmessungen

Laborversuche: Die Ausführung des Korrosionsschutzes wurde von Versuchen begleitet. Die Applikationsanleitung für die Grundierung mit Zinkstaub wurde z.B. im Empa-Labor überprüft. Es wurden Cortenstahlplatten aus dem Bauwerk entnommen, die zunächst auf beiden Seiten bis Sa 2½ sandgestrahlt wurden. Auf den Proben wurde eine rund 100 µm starke Nassfilmdicke mit dem Rakel aufgezogen. Die effektiv aufgetragene Nassfilmdicke wurde mit dem Nassschicht-Dickenmessrad gemäss ASTM D 1212-54 (Kamm) gemessen. Nach dem Trocknen wurde die Schichtdicke an mehreren Stellen mit einem elektrischen Schichtdickenmessgerät registriert. Die Proben wurden zurechtgeschnitten und die Schnittkanten geschliffen. Die fertigen Proben wurden in eine flüssige Epoxid-Einbettmasse gelegt. Nach dem Härten wurden die effektiv aufgetragenen Schichtdicken unter dem Mikroskop beurteilt und mit dem eingebauten Mikrometer genau gemessen.

Auffallend war stets die gute Übereinstimmung zwischen den Mittelwerten der

Abschlussdeckel auf den Arbeitsöffnungen an einer Turmstütze





Verschweissung eines Stabstosses, Abschlussdeckel und Chromstahlschrauben mit Aufbohrung für den Innendruck-Ausgleich

Messgerätablesungen und den effektiven Minimalschichtdicken gemäss Mikroskop.

- Baustellen-Kontrollen: Die Messkontrollen der applizierten, trockenen Korrosionsschutzschicht erfolgte zu zwei Zeitpunkten, nämlich:
  - Nach der 2. Zwischenschicht
  - Nach dem Gesamtaufbau des Korrosionsschutzes

In Bild 1 sind einige Messresultate zusammengestellt: auffallend ist auch hier die gute Übereinstimmung der Mittelwerte der Messgerätablesungen mit der effektiv aufgetragenen minimalen Schichtdicke gemäss Mikroskop.

Tragsicherheit

Der ursprünglichen statischen Berechnung von 1972 waren die damals gültigen SIA-Normen zugrunde gelegt worden, insbesondere:

- SIA 160 (1970): Belastungsannahmen
- SIA 161 (1956, bzw. Entwurf 1974): Stahlbau

Das Haupttragskelett wurde ohne die Auskragungen damals schon mit einem dreidimensionalen Computerprogramm berechnet. Die auskragenden Fachwerke, an denen die Terrassen angehängt sind, hatte man einzeln von Hand berechnet und deren Auflagerkräfte als Punktbelastungen ans Haupttragskelett abgegeben. Gemäss damals üblichem Verfahren wurden alle Lasten und Kräfte zusammengezählt, und die Spannungsnachweise im Querschnitt durchgeführt. Wie in Bild 2 dargestellt, wurden die zulässigen Spannungen selten ausgenützt.

Allgemeine statische Überlegungen

Neben der Reduktion der Wandstärke durch Korrosion musste man die Frage einer weiteren, möglichen Querschnittsschwächung durch Arbeitsöffnungen beantworten, die zur Behandlung der Innenräume der Hohlprofile entstanden waren (Bild 3).

Die Gefahr der Querschnittsschwächung durch die Arbeitsöffnungen war besonders für die Stützen aktuell, die so massiv ausgebildet und in relativ kurzen Abständen seitlich gehalten wurden, dass für deren Bemessung Knicken nicht massgebend war. Für alle anderen Stäbe war Knicken für die Bemessung ausschlaggebend, und hier konnte man das Problem mit den Arbeitsöffnungen relativ leicht lösen. Da ein Knickstab hauptsächlich aufgrund einer durch Formänderungen ausgelösten Biegebeanspruchung versagt, wurden die Arbeitsöffnungen nahe bei den beiden Stabenden mit wenig Knickauslenkung vorgesehen, was auch für die Korrosionsschutzarbeiten sinnvoll war. Damit konnte die effektive Querschnittsschwächung durch die Arbeitslöcher auf ein Minimum reduziert werden.

Im Oktober 1991 wurde der Materialabtrag infolge Korrosion an ausgewählten Stäben von der Empa mit Ultraschall gemessen. In Bild 4 ist die geringste Wanddicke aus mehreren Messungen dargestellt. Der Materialabtrag betrug 0,3 bis 1,9 mm mit einem Mittelwert von etwa 1 mm. Für die statische Überprüfung wurde eine Sicherheitsmarge von 0,5 mm auf den grössten Messwert des Materialabtrags zugeschlagen: man überprüfte das Tragwerk unter der vereinfachenden Annahme, dass der Materialabtrag in allen Stäben bis 2,4 mm betragen könnte.

Ausführungsstatik

Für viele kritische Stäbe war der Knicknachweis massgebend. Bei den Zugstäben und den massiven Stützen musste die Querschnittsschwächung durch die Arbeitsöffnungen voll in Rechnung gestellt werden.

Während der Ausführung wurden die effektiven Wandstärken von jedem sandgestrahlten Stahlprofil mit dem Mikrometer gemessen und dokumentiert. Den grössten Materialabtrag von bis zu 1,7 mm fand man bei den horizontal liegenden Ober- und Untergurten der auskragenden Fachwerke. Die gemessenen Wandstärken sind demzufolge wesentlich grösser als die der statischen Berechnung zugrunde gelegten (Bild 5).

5
Kontrollmessung der effektiven Wandstärken der Stahlprofile bei den Sanierungsarbeiten (Auszug)

Bauteil	Wandstärke [mm] (Soll)	Wandstärke [mm] (gemessen)	Abbau [mm]	Abbau [%]
Fachwerke 2+3	9,5	7,85 - 9,10	0,40 - 1,65	4,20 - 17,40
Fachwerk 5	9,5	8,45 - 8,90	0,60 - 1,05	6,30 - 11,00
Fachwerk 6	9,5	8,65 - 9,25	0,25 - 0,85	2,60 - 8,90
Stütze A Kote 0 bis -12	16	15,14 - 15,33	0,67 - 0,86	4,20 - 5,40
Stütze F Kote +44 bis +40	8	7,50 - 7,85	0,15 - 0,50	1,90 - 6,30
Ausfachung Turmbereich	9,5	8,19 - 9,48	0,02 - 1,31	0,20 - 13,80

Adresse des Verfassers:
Jean-Louis Zeerleder, dipl. Bauing. ETH SIA USIC, Adamina Zeerleder Partner, Bauingenieure und Planer, Jupiterstrasse 45/207, Postfach 95, 3000 Bern 15