

Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 57/1/57/2 (1989)

Artikel: Beständigkeitsprobleme an der Ölandsbrücke in Schweden
Autor: Olnhausen, Werner von / Rydén, Clas-Göran
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-44294>

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: 21.02.2026

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

Beständigkeitsprobleme an der Ölandsbrücke in Schweden

Durability Problems at the Öland Bridge, Sweden

Problème de durabilité du pont d'Öland en Suède

Werner VON OLNHAUSEN

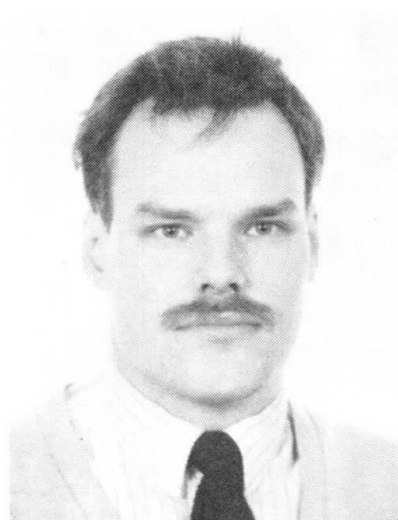
Brückenchef
Reichsamt für Strassenwesen
Borlänge, Schweden



Werner von Olnhausen, geb. 1928, erhielt seinen Dipl.-Ing. Grad 1954 an der Techn. Hochschule Hannover, BRD. Danach hat er in Schweden mit Entwurf, Konstruktion und Normung im Brücken- und Ingenieurbau in Industrie, Verwaltung und als beratender Ingenieur gearbeitet.

Clas-Göran RYDÉN

Bauingenieur
Reichsamt für Strassenwesen
Borlänge, Schweden



Clas-Göran Rydén, geb. 1957, M. Sc. 1982, Tekn. lic. 1986 an der Techn. Hochschule Luleå, arbeitet hauptsächlich mit der Entwicklung von Methoden zur Feststellung und Verhinderung von Stahlkorrosion im Beton.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Artikel beschreibt die an den Pfeilern der Ölandsbrücke auftretenden Korrosionsschäden sowie Testausführungen von Sanierungsmassnahmen.

SUMMARY

The article describes corrosion damage at the piers of the Öland bridge and measurements for rehabilitation.

RÉSUMÉ

L'article décrit les dommages causés par la corrosion sur les piles du pont d'Öland, ainsi que les mesures d'assainissement étudiées.



ALLGEMEINES. ÜBERBAU UND UNTERBAU.

Die 1967–1972 gebaute Brücke zwischen dem schwedischen Festland und der im Südosten vorgelagerten Insel Öland ist mit 6.072 m Länge immer noch Europas längste Brücke. Sie besteht aus einem Hochbrückenteil, Fig. 1, mit $6 \times 130 \text{ m} + 2 \times 60 \text{ m}$ Spannweite in 36 m Höhe über der Schifffahrtsrinne, der als Spannbetonkastenkonstruktion im Freivorbau ausgeführt ist, und aus zwei Anschlussbrücken, Fig. 2, mit $23 \times 35 \text{ m}$ bzw. $124 \times 35 \text{ m}$ Spannweite, die als kontinuierliche Stahlbetonbalkenbrücken mit Hilfe von zwei Vorbauwagen am Platz fachweise betoniert wurden. Die Brückenbreite ist 13 m. Die Anschlussbrücke auf der Ölandseite folgt auf etwa 3,5 km Länge bei nur geringfügiger Steigung (1,7 %) der Wasseroberfläche, wobei der tiefste Punkt des Überbaus am Ölandwiderlager auf Kote +3,5 m liegt. Bei Dimensionierung und Ausführung des Überbaus wurde grosse Mühe auf gute Beständigkeit verwandt, um den erwarteten Frost-Tausalzbeanspruchungen widerstehen zu können. Überall wurde Beton K 40, in der Fahrbahn mit Luftzusatz, verwendet. Die Brückenoberfläche erhielt Gussasfaltisolierung, freiliegende Betonflächen wurden mit Silanpreparaten behandelt. Wasserdichte Fugen wurden mit fast 600 m Abstand eingebaut. Der Überbau der Brücke hat sich bisher gut bewährt.

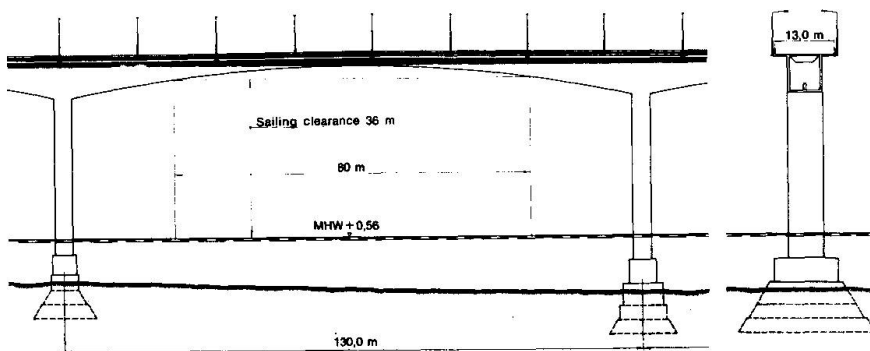


Fig. 1 Hochbrücke.

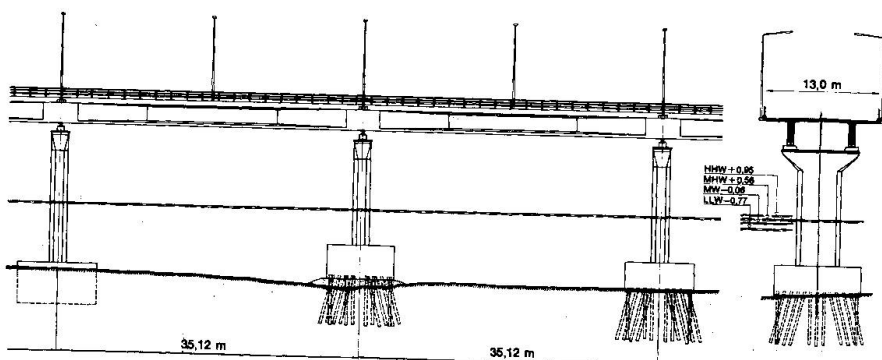


Fig. 2 Anschlussbrücken.

Der Unterbau besteht aus innerhalb von Spundwänden unter Wasser gegossenen Bodenplatten, die direkt auf dem Sand oder auf Pfahlrosten aus Betonschlagpfählen ruhen. Die Pfeilerschäfte sind im Bereich der niedrigen Anschlussbrücken massiv mit reichlichem Betonquerschnitt c:a 2 m x 5 m, ausgeführt, der nach Auspumpen der Spundkammern im Trocknen gegossen wurde. Bewehrung liegt nur an den Aus senflächen. Sie ist für einen beachtlichen Eisdruck bemessen. Oberhalb der Pfeilerschäfte liegen Hammerkopfbalken, die für sich betoniert

und schon nach kurzer Zeit mit dem Rüstungswagen belastet wurden. Der Baufortschritt war ein Fach in 14 Tagen mit jedem Wagen. Die Produktion der Anschlussbrücken wurde äusserst rationell betrieben, wobei allerdings die Qualitätsfragen beim Unterbau wenig Beachtung fanden. Die Ausführung entsprach jedoch der zum Bauzeitpunkt üblichen Sorgfalt für Bauteile ohne besondere Anforderungen. Die Pfeiler stehen im Wasser der Ostsee, die im Brückenbereich einen Salzgehalt von nur 0,3–0,4 % hat. Die Einwirkung dieses Milieus auf den Beton wurde stark unterschätzt. Die Spezifikation verlangt nur Beton mit K 30 als Druckfestigkeit, Luftzusatz im Bereich der Wasserlinie und im übrigen die allgemeinen Forderungen der damals ganz neuen schwedischen Betonbestimmungen von 1965. Es ist heute – zurückschauend – leicht, eine Reihe von Faktoren anzugeben, die für die Beständigkeit der Pfeiler nachteilig waren. Folgende Liste ist sicher nicht vollständig:

- Die Pfeileroberkante hätte etwa 1 m höher verlegt werden müssen, um die Spritzwasserwirkung zu reduzieren.
- Die Betonüberdeckung sollte 45 mm statt 30 mm sein.
- Die Hammerkopfbewehrung hätte mit geringeren Dimensionen und besserer Verteilung (Scheibenbewehrung statt Balkenbewehrung) ein günstigeres Rissbild ergeben.
- Der Betonzuschlag – besonders für Lieferungen von der Ölandseite – enthält in gewissem Umfang poröse Bestandteile.
- Der Zementgehalt ist mit 270 kg/m^3 zu gering um dichten Beton zu garantieren. Der Wasser/Zementfaktor liegt nahe 0,7, was für die Festigkeit ausreicht, aber hohe Porosität zur Folge hat.
- Als Anmachwasser kam Seewasser zur Verwendung, wodurch ein Grundgehalt an Chlorid von etwa 0,2 % entstand.
- Die Steighöhe beim Betongiessen lag bei etwa 2 m/Std, was schlechtes Verdichten und Setzungen herbeiführte. Zum Verdichten der grossen Betonmenge von $20 \text{ m}^3/\text{Std}$ standen nur 1–2 Vibratorstäbe zur Verfügung. Schlechte Verdichtung führte zu Densitätswerten bis herab auf $2,1 \text{ t/m}^3$.
- Weder Kühlung noch Formisolierung wurden eingesetzt um die Temperaturgradienten zu begrenzen, die vermutlich bis auf 40°C anstieg. Die Nachbehandlung des Betons beschränkte sich auf Feuchthalten bis zum Ausschalen, das schon nach kurzer Zeit (etwa 2 Tagen) stattfand.
- Frühbelastung der Hammerköpfe führte zu verstärkter Rissbildung.

2. AUFTRETENDE PFEILERSCHÄDEN

Um 1980 wurden in einer Reihe von Pfeilerköpfen Querrisse in den Hammerbalken festgestellt. Die Bewehrung ist hier aus der Konsolwirkung der Auflager hochbeansprucht, aber nach einer einfachen Fachwerkstheorie ausreichend bemessen. Ein Mangel besteht in der Konzentration der Bewehrung an den oberen Rand. Der Hammerbalken wirkt als Scheibe und müsste einen Teil der Bewehrung auf das obere Drittel verteilt erhalten. In diesem Bereich sind die Risse am grössten. Die Pfeilerköpfe der niedrigen Pfeiler bis etwa 1 km vom Ölandswiderlager enthielten Chloridkonzentrationen bis zu 5 % der Zementmenge im Bereich der Bewehrung, die auf Spritzwasser vom Wellenschlag zurückzuführen waren. Das Chlorid reicherte sich auf hohe Werte an durch abwechselndes Überspülen und Austrocknen, trotz des geringen Salzgehalts im Seewasser. Die Oberflächenbewehrung auf den Seiten der Pfeilerschäfte war zum Teil stark korrodiert. Besonders im Spritzwasserbereich und in der Wasserlinie war die Deckschicht an vielen Stellen lose und durch die sich volummässig aus-



dehnenden Korrosionsprodukte der Bewehrung (Rotrost) abgesprengt, so wie das bei Oberflächenkorrosion unter Zugang von Sauerstoff zu erwarten ist. Zu unserer Überraschung setzte die Korrosion fort auch in Pfeilerteilen weit unter der Wasserlinie, wo mit Sicherheit kein Sauerstoff mehr vorhanden ist. Wir fanden einige grobe Bewehrungstäbe mit etwa 25 % Materialverlust am Übergang der Pfeilerschäfte in die Bodenplatte bei etwa 6 m Wassertiefe. Die Betondeckschicht war hier nicht abgesprengt, zeigte auch keine "Boom"-Tendenzen mit dem Betonhammer. Die Korrosionsform war vom Lochfrass-typ, das Korrosionsprodukt war schwarz, zeigte nur geringe Volumenausdehnung, teilweise war die Staboberfläche noch intakt, während das Innere des Stabes stark angegriffen war. Elektropotentialmessung gab an der Betonoberfläche eindeutige Indikation des arbeitenden Korrosionsprocesses, d.h. eines vollausgebildeten galvanischen Elements, wo das Eisen in Anwesenheit von Chloridjonen im Seewasser in Lösung geht und in Ionenform die undichte Deckschicht passiert. In einigen Fällen zeigte der Beton an der Oberfläche schwarze Flecken, meist dort wo die Deckschicht dünn war. Auch dieser Korrosionstyp - chloridinitiierte Korrosion - ist an und für sich wohlbekannt, jedoch noch nicht so sehr im Betonbau. Es gibt heute aber bereits Experten, die behaupten, dass man für Beton im Seewasser auf die Dauer immer Korrosionsschäden der genannten Art erhält, wenn man nicht den wirksamen galvanischen Elementen durch einen gegengerichteten Schutzstrom entgegenarbeitet (kathodischer Schutz). Demnach wäre es ausgeschlossen bei starker Chloridbelastung im Wasser einen zuverlässigen Korrosionsschutz allein durch eine hochwertige Betondeckschicht zu erreichen.

Viele dauerhafte Seebauten widersprechen dieser Behauptung. Wir sind deshalb in der schwedischen Brückenverwaltung der Meinung, dass die Probleme an der Ölandsbrücke mit betontechnischen Mitteln zu lösen sind, d.h. dass wir die Bewehrung in dichten hochwertigen Beton einbetten müssen. Andererseits sind die Neuentwicklungen auf dem Gebiet des kathodischen Schutzes so wichtig, dass wir uns über die neuen Möglichkeiten informieren und die zugehörigen Techniken studieren und prüfen müssen. 1988 wurden 4 Probepfeiler saniert, wobei nicht nur hochwertiger Beton, sondern auch verschiedene Kathodische Schutzsysteme zur Anwendung kamen. Weiterhin wurde die eingebohrte Bewehrung am Übergang zur Bodenplatte mit Epoxibehandlung eingebaut.

3. SANIERUNGSMASSNAHMEN

Die vorgesehenen Sanierungsmassnahmen können im Rahmen des begrenzten Umfanges dieses Artikels nicht im Einzelnen beschrieben werden. Für die Mehrzahl der Pfeiler, Fig. 3, wird der Pfeilerschaft mit einer bis 2 m unter die Wasserfläche herabreichenden angedrückten Arbeitskammer versehen. Der chloridverseuchte Beton wird mittels Waterjet-Strahlen bis etwa 10 cm hinter der Bewehrung abgearbeitet. Die Bewehrung wird erneuert, mit einem Anodennetz versehen und mit hochwertigem Beton eingegossen. Im Bereich von -2 m bis zur Bodenplatte erhält die Bewehrung einen Kathodenschutz mittels im Seewasser aussen an den Pfeilern angebrachten Magnetitanoden für aufgedrückten Schutzstrom.

Der Hammerkopf, Fig. 4, wird an der Oberfläche auf die gleiche Weise saniert und wird ausserdem durch 4 eingebohrte horizontale Ge-Wi-Stäbe \varnothing 50 in Brückenquerrichtung c:a 70 cm unter Pfeileroberfläche abgesichert. Der Pfeilerbereich oberhalb c:a 6 m über

[illegible]

The image contains two technical drawings of a mechanical component. The top drawing is a side view showing a cross-section of a structure with a sloped surface. It includes labels 'Riese' and 'GEV. 100' with a note 'Lohn p.' below it. The bottom drawing is a front view showing a symmetrical structure with a central rectangular section containing four circular features. A vertical dimension line is on the right side of the front view.

4.1 Korrosionsschäden

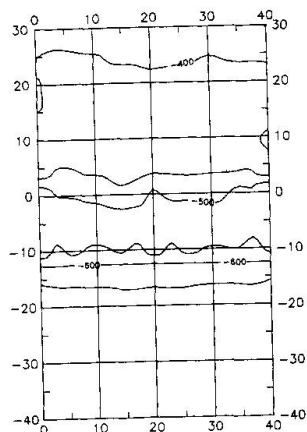


Fig. 5 Elektro-
potential-
werte für
Pfeiler.

Wie oben angedeutet wurden elektrochemische Potentialmessungen durchgeführt, um den Umfang der Bewehrungskorrosion klarzulegen. Fig. 5 zeigt ein Beispiel des Resultats von solchen Messungen. Negative Potentialwerte von unter -350 mV im Verhältnis zu einer Cu/CuSO₄-Elektrode wurden bis zum Niveau 3 m über der Wasserlinie an allen getesteten Pfeilern gefunden. Daraus kann man schliessen, dass Bewehrungskorrosion in diesem Bereich im Gange ist. Potentialmessungen geben jedoch keine Unterlage zur Beurteilung des Umfanges der Korrosionsschäden. Die Indikationen der Potentialmessungen wurden durch Freilegen der Bewehrung bestätigt. Die Bewehrungskorrosion war umfangreich bis 3-4 m über der Wasserlinie. Das Aussehen der Korrosionsschäden und deren Lage deuteten auf 3 verschiedene Arten von galvanischen Korrosionszellen in diesem Bereich, siehe Fig. 6.

Elektropotentialmessungen unter der Wasserlinie ergaben Messwerte von -500 bis -650 mV. Dies kann man so deuten, dass 1.) die passive Schicht auf der Bewehrungs Oberfläche geschädigt ist und dass 2.) der Zutritt von Sauerstoff geringen Einfluss hat. Das Korrosionsrisiko unter der Wasserlinie wird hauptsächlich vom elektrischen Leitungsvermögen des Betons bestimmt. Das Leitungsvermögen erwies sich bei Messungen als hoch, weshalb Bewehrungskorrosion unter Wasser möglich scheint. Beim Freilegen der Bewehrung wurden auch tatsächlich Korrosionsschäden unter Wasser festgestellt. Fig. 7 zeigt ein Modell, das diese Korrosionsangriffe



als eine klassische galvanische Zelle mit grosser physischen Ausbreitung erklärt.

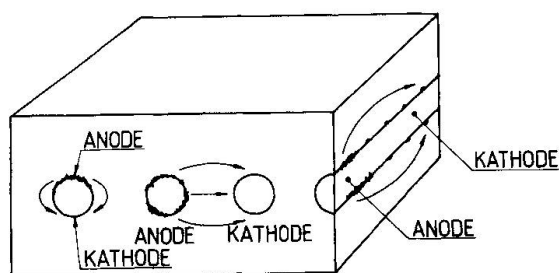


Fig. 6 Verschiedene Korrosionszellen. Der galvanische Strom fliesst in Richtung der Pfeile.

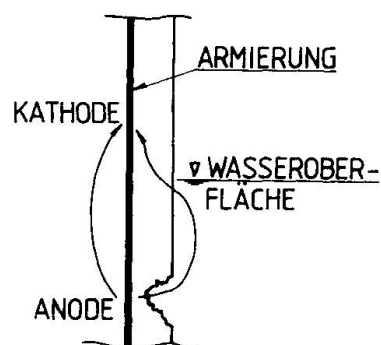


Fig. 7 Galvanische Korrosion unter der Wasseroberfläche.

4.2 Kathodischer Schutz über Wasser

An den Pfeilern, die 1988 repariert wurden, sind als Versuch Anordnungen für kathodischen Schutz angebracht. Zwei verschiedene Anodenmaterialien, Kabel aus elektrisch leitendem Plast (Raychem Ferex) bzw. Streckmetall aus Titan (Eltec Elgard) wurden verwendet. Jedes Anodensystem ist in verschiedene Kreise unterteilt um das Anpassen an variierende Feuchtigkeiten, die in den verschiedenen Pfeilerteilen vorliegen, zu ermöglichen. Das Anodenmaterial wurde auf der freigelegten Bewehrung an den verschiedenen Pfeilern mit Hilfe von speziellen Montierungsdetails und Distanzklötzchen angebracht. Dieses Verfahren bereitet grössere Schwierigkeiten als das normale Anbringen von Anoden auf einer fertigen Betonfläche. Viel Mühe wurde darauf verwandt die Anoden so zu befestigen, dass sie beim Betonieren ihre Lage beibehielten.

4.3 Kathodischer Schutz unter Wasser

Schon früher waren an der Ölandsbrücke Versuche mit kathodischem Schutz der Bewehrung unter Wasser mittels Opferanoden ausgeführt worden. Opferanoden aus Zink gaben einen ausreichenden Schutz, während Aluminium schlechter funktionierte, vermutlich war der Salzgehalt des Wassers zu gering. In den Probepfeilern von 1988 wurden für den Schutz unter Wasser Systeme mit aufgedrücktem Strom installiert. Die Anoden bestehen aus gesintertem Magnetit (Bergsöe Anti Corrosion) und werden in unmittelbarer Nähe der Pfeiler platziert um Läckstromkorrosion an den bewehrten Betonpfählen, auf denen die unbewehrten Unterwasserbodenplatten ruhen, zu vermeiden.

4.4 Betrieb des kathodischen Schutzes

Probepfeiler wurden mit bis zu 12 Stück eingegossenen Referenzzellen versehen, um die laufende Überwachung der Funktion des Kathodenschutzes zu ermöglichen. Die Referenzzellen sind vom Silber/Silberchloridtyp, mit komplettierenden Referenzzellen vom Grafittyp. Kommende Untersuchungen und Proben sollen uns Wegleitung für den künftigen Betrieb des Kathodenschutzsystems geben.