

**Zeitschrift:** Tec21  
**Herausgeber:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein  
**Band:** 142 (2016)  
**Heft:** 40: Stützmauern : die Erblast der Boomjahre

**Artikel:** Zerstören, um zu verstehen  
**Autor:** Opan, Erdjan / Ryser, Roman / Mayoraz, Frédéric  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-632799>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.03.2025

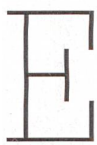
**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

STÜTZMAUERN UNTERSUCHEN

# Zerstören, um zu verstehen

Destruktive Untersuchungen zeigen auf, was ein Augenschein nicht verrät: eine häufig auftretende Korrosion der Hauptbewehrung, die auf den porösen Beton und zu wenig Bewehrungsüberdeckung zurückzuführen ist.

Text: Erdjan Opan, Roman Ryser, Frédéric Mayoraz, Yann Smith



Es ist äusserst schwierig, den Zustand von Winkelstützmauern zu beurteilen. Eine visuelle Inspektion dieser Stützmauern aus Stahlbeton mit Fundamentfuss gibt – im Sinn der Astra-Richtlinie 12002 «Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstrassen» – nicht genügend Auskunft über den tatsächlichen Zustand des Bauwerks.

Aus diesem Grund unternahm das Astra zwischen 2007 und 2012 detaillierte Untersuchungen an rund 50 Stützmauern der Nationalstrassen A5, A9 und A16 anhand von destruktiven Untersuchungen (vgl. Kas ten S. 28). Diese Untersuchungen bestätigten die Gefahr eines plötzlichen Versagens von Winkelstützmauern infolge von Querschnittsverlusten durch Korrosion an der tragenden Bewehrung. Die Querschnittsverluste traten insbesondere im Bereich der Arbeitsfugen zwischen Wand und Fundament auf, obwohl an der Wand auch hangseitig keinerlei Anzeichen von Korrosion – etwa Rostspuren oder Betonabplatzungen – festzustellen waren. Erst das Freilegen der Bewehrung durch Spitzen oder Höchstdruckwasserabtrag brachte die Querschnittsverluste zutage. Die Laboruntersuchungen zeigten zudem, dass die Korrosion auch ohne Chloride auftreten kann. Infolgedessen besteht bei allen Winkelstützmauern mit schlechtem Überdeckungs beton am Fuss die Gefahr einer punktuellen Korrosion der tragenden Bewehrung auf Höhe der Arbeitsfugen zwischen Wand und Fundament, was die Tragsicherheit erheblich beeinträchtigen kann.

## Kleine Deformationen, sofortiges Versagen

Alle bei den destruktiven Untersuchungen entdeckten Schäden befanden sich in Bereichen, in denen der Überdeckungs beton Kiesnester oder stark erhöhte Porosität aufwies, teilweise in Kombination mit einer ungenügenden Stärke bei der Arbeitsfuge zwischen Wand und Fundament. Diese Stelle ist bei Winkelstützmauern kritisch, weil hier Schwierigkeiten bei der Ausführung – wie die Entmischung des Betons, ungenügende Vibra-

tion oder das Austreten von Zementmilch aus der Schalung –, erhöhte statische Anforderungen aufeinander treffen und gerade hier das Bauwerk am stärksten beansprucht wird. Zudem verhindern die vertikalen Dilatationsfugen und das statisch bestimmte System, dass bei mangelnder Tragfähigkeit die Kräfte umgelagert werden und dadurch grössere Verschiebungen auftreten, die das abnormale Verhalten der Stützmauer von aussen erkennen lassen. Nach heutigem Erkenntnisstand verhalten sich Mauern mit Rippen analog zu Mauern ohne Rippen.

Im Allgemeinen ist die Karbonatisierungstiefe in diesem kritischen Bereich gering, und es wurden weder im Beton noch im Boden korrosionsfördernde Substanzen gefunden. Die Korrosion ist also ausschliesslich auf den porösen Beton und allenfalls auf eine zu geringe Bewehrungsüberdeckung zurückzuführen, wodurch der Alkalischutz für die Bewehrung nicht



Beispiel einer Untersuchung an bestehenden Winkelstützmauern: talseitiger Höchstdruckwasserabtrag mit vorgängigem Aushub.





Hauptbewehrung eines Stützbauwerks mit niedrigem Korrosionsgrad und Querschnittsverlust.



Hauptbewehrung eines Stützbauwerks mit erheblichem Korrosionsgrad und Querschnittsverlust.

gewährleistet wird und es zu einer elektrochemischen Korrosion durch Makroelementbildung kommt. Auch am Fundament wurden bei einigen Werken Schäden als Folge unzureichender Überdeckung festgestellt.

Neun zwischen 2007 und 2012 ausgeführte Sondierkampagnen an der A5, A9, A16 und H10-NE wurden statistisch ausgewertet (Abb. S. 29). An 259 Feldern von 56 Stützmauern konnten insgesamt 1281 Bewehrungseisen überprüft werden. Dabei waren 24% der untersuchten Bewehrungseisen von Korrosion mit Querschnittsverlusten betroffen. Während der durchschnittliche Querschnittsverlust der gesamten überprüften Bewehrungen bei 9% lag, betrug er bei den korrodierten Bewehrungen 37%.

Da die maximale horizontale Verschiebung im Wandkopf bis zum Bruchzustand gering ist (in der Größenordnung 0.1 bis 0.2% der Wandhöhe), gäbe eine

periodische geometrische Überprüfung der Kopfverschiebung vermutlich keine zuverlässigen Hinweise auf den kritischen Zustand der Stützmauer. Selbst wenn gar keine Verschiebung festgestellt wird, kann eine Winkelstützmauer so grosse Querschnittsverluste aufweisen, dass aussergewöhnliche Einwirkungen (z.B. erhöhter Wasserdruck infolge Drainageausfall) zu einem sofortigen Versagen des Bauwerks führen.

### Destruktive Untersuchungen erforderlich

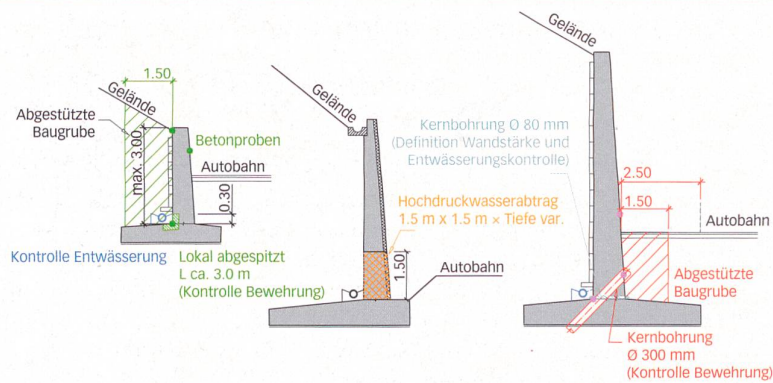
Anstelle der erwähnten punktuellen und destruktiven Untersuchungsmethoden sollte in weiteren Studien eine zerstörungsfreie oder zerstörungsarme Alternative entwickelt werden, die auch schnell, standardisiert und kostengünstig durchführbar wäre. Eine umfassende Analyse der auf dem Markt verfügbaren Unter-

## Destruktive Untersuchung von Stützmauern

Die destruktiven Untersuchungen müssen zwingend den Zugang zur tragenden Bewehrung auf Höhe der Arbeitsfugen zwischen Wand und Fundament schaffen, andernfalls sind sie nutzlos oder gar irreführend. Die Art und Häufigkeit der durchgeführten Prüfungen ist anhand der möglichen Folgen eines Mauerversagens abzuwägen: Je schwerwiegender die Folgen, desto höher wird die Untersuchungsichte.

Drei destruktive Prüfmethoden kamen zum Einsatz: Talseitige Sondierbohrungen Ø 300 mm nach vorgängigem Aushub (Abb., rechts), hangseitige Schächte mit Freilegung der Bewehrung (Abb., links) und talseitiger Hochdruckwasserabtrag nach vorgängigem Aushub (Abb., Mitte).

Begleitend dazu wurde die Art der Dübelverbindungen zwischen den Wandelementen erfasst und ihr Zustand geprüft. Die Labortests im Bereich der Wand-Fundament-Anschlüsse gaben Auskunft über den Chloridgehalt, die



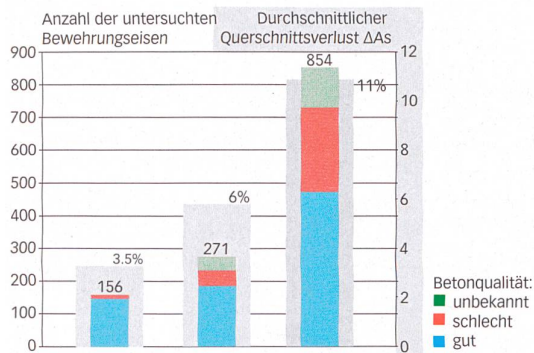
Bewehrungsüberdeckung und die Karbonatisierungstiefe.

36 Stützmauern wurden 2010 auf diese Weise untersucht. Die Gesamtkosten von 2.5 Mio. Fr. (umgerechnet 500 Fr./m) geben eine Größenordnung des Aufwands der Untersuchungen. Umso wichtiger, dass diese einwandfrei und rückverfolgbar dokumentiert werden.

Auf der Grundlage der 2010 durchgeführten Untersuchungen definierte die Astra-Filiale Estavayer-le-Lac zwei Kriterien zur generellen Frage, ob ein Bauwerk vorsorglich verstärkt

werden muss oder nicht: Ist der Querschnittsverlust der tragenden Bewehrung im Bereich der Wand-Fundament-Anschlüsse grösser als 15%? Ist der Erfüllungsgrad  $n$  des ursprünglichen inneren Tragwiderstands (ohne Schäden) tiefer als 0,8? Wird eine der beiden Fragen mit Ja beantwortet, muss die Mauer verstärkt werden. Die 2010–2011 durchgeführten vorsorglichen Verstärkungen an Winkelstützmauern der A9 betrafen schliesslich 19 der 23 untersuchten Stützmauern. •





Statistische Auswertung der Bewehrungskorrosion.

suchungsmethoden im Massstab 1:1 ergab allerdings, dass zerstörungärmere Methoden für die Beurteilung des Bauwerkszustands nicht aussagekräftig genug sind. Punktuelle Potenzialmessungen kombiniert mit

galvanostatischen Pulsmessungen stellen die zurzeit vielversprechendsten Methoden für die Ortung von Korrosionsschäden und die Bestimmung der Querschnittsverluste der Bewehrung dar. Doch auch dar diese vermochten bei den drei Stützmauern der A9, an denen sie 2013 getestet wurden, keine zuverlässigen Ergebnisse zu liefern. Deshalb muss der Bauwerkszustand momentan noch weiterhin mit punktuellen und destruktiven Untersuchungsmethoden ermittelt werden, die den geltenden Richtlinien entsprechen. •

*Erdjan Opan*, Dipl. Ing. ETHZ, Projektleiter  
GUMA/OPAN concept;

*Roman Ryser*, Dipl. Ing. FH, Stv. Projektleiter  
GUMA/OPAN concept;

*Frédéric Mayoraz*, Dr. Ing. EPFL, Projektleiter,  
GUMA/De Cérenville Géotechnique;

*Yann Smith*, Dipl. Ing. ETHZ, Projektgenieur,  
GUMA/OPAN concept SA

#### UNTERHALTSSTRATEGIE IN DIE PRAXIS

# Präventiv verstärkt

Die baulichen Massnahmen an der A9 und A5 gelten als Fallbeispiele für die präventive Strategie des Astra im Umgang mit Stützbauwerken. Die Konstruktionsprinzipien werden bei künftigen Projekten angewendet.

Text: Frédéric Mayoraz, Erdjan Opan, Philippe Schär



Als Pilotobjekte für ein mustergültiges Verstärkungsverfahren boten sich die Stützbauwerke der A9 zwischen Lausanne-Vennes und Villeneuve sowie der A5 zwischen La Neuveville und Biel an. Zwischen 2010 und 2015 wurde ihr offenkundig schlechter Zustand mittels unterschiedlicher baulicher Massnahmen aufgehoben:

Bei Nagelwänden gewährleisteten neue permanente Spannanker und Bauteile wie Wände, Longarinen oder Platten den neuen Kraftabtrag. Die Planenden definierten mittels Risikoanalysen, Untersuchungen am Objekt und ergänzender statischer Überprüfungen die erforderliche Ankerkraft, die auf der bestehenden Wand aufgebracht werden sollte. Ergänzend dazu führten sie ein Überwachungssystem ein, das auf Mess- und Kontrollankern basiert und geotechnische Instrumente beinhaltet – etwa Neigungsmesser, Dehnungssensoren oder Piezometer. Für Winkelstützmauern kamen drei

Verstärkungsmethoden der bestehenden Wand infrage: Sie wurden in eine Schwergewichtsmauer umgebaut durch den Einbau eines Gewichtskörpers auf der Wandrückseite, oder es wurde eine neue Nagelwand mit gespannten Anker oder eine Winkelstützmauer davor betoniert. Für jede bestehende Stützmauer wurde eine Kosten-Nutzen-Analyse nach vorgegebenen Kriterien durchgeführt, um die wirtschaftlichste der drei Lösungen zu eruiieren.

Die Nutzungsdauer der neuen Bauwerke beträgt 100 Jahre, während die verstärkten, bestehenden Bauwerke 60 Jahre aufweisen. Bei den Nagelwänden besteht die Möglichkeit, die Massnahmen gegebenenfalls in 25 Jahren zu ergänzen. Die neuen Bauwerke sind monolithisch und ohne Dilatationsfugen konzipiert und somit auch statisch unbestimmt und dauerhaft. Aus der Instandsetzung der Stützbauwerke konnten Lehren bezüglich des Betons, der Anker und der Drainagesysteme gezogen werden.