

Ein Vierteljahrhundert Spundwanddickenmessung mittels Ultraschall bei der Bundesanstalt für Wasserbau

Anne HEELING, Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg

Kurzfassung. Spundwände sind weit verbreitete Bauwerke im Wasserbau: sie sichern Geländesprünge in Häfen und an Wasserstraßen. Aufgrund korrosionsbedingter Wanddickenverluste ist die Nutzungsdauer von Spundwänden jedoch begrenzt. Für die Bauwerksbetreiber sind die Kenntnis des aktuellen Korrosionszustandes und die Prognose der Restnutzungsdauer deshalb von großem wirtschaftlichem Interesse.

Die Bundesanstalt für Wasserbau führt routinemäßig Spundwanddickenmessungen mit Ultraschall durch und entwickelt dabei kontinuierlich das Messverfahren und die Auswertung weiter.

1. Einführung

In Häfen und an Wasserstraßen sind Stahlspundwände weit verbreitete Bauwerke zur Sicherung von Geländesprüngen. Als Folge von Abrostungen ist deren Nutzungsdauer jedoch begrenzt. Für die Betreiber solcher Anlagen ist die Kenntnis der Restspundwanddicke und der daraus abzuleitenden Restnutzungsdauer deshalb eine wichtige Planungsgrundlage. Da die Größe des korrosionsbedingten Wanddickenverlustes neben dem Alter der Spundwand auch von einer Vielzahl weiterer Faktoren abhängt (Milieubedingungen am Standort, Eigenschaften des Spundwandstahls), können Abrostungsraten, die in der Literatur angegeben werden, nur einen Anhaltspunkt bzgl. der zu erwartenden Nutzungsdauer einer Spundwand darstellen. Belastbare Aussagen lassen sich derzeit nur aus Ultraschallmessungen unmittelbar am Bauwerk ableiten.

Solche Messungen sind jedoch, z.B. aufgrund des erforderlichen Tauchereinsatzes, zeit- und kostenintensiv. Darüber hinaus existieren weder eingeführte bzw. genormte Verfahren bzgl. Methodik und Umfang von Spundwanddickenmessungen, noch wird auf dem freien Markt Standardsoftware zur Messdateneingabe, -pflege und -auswertung angeboten. Als Folge gibt es kaum private Anbieter, die qualitativ hochwertige Spundwanddickenmessungen durchführen.

Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) mit Hauptsitz in Karlsruhe und Dienststellen in Hamburg und Ilmenau ist die zentrale technisch-wissenschaftliche Bundesoberbehörde zur Unterstützung der zum Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung gehörigen Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Zu den Aufgaben der BAW gehört die Begutachtung, Beratung und anwendungsbezogene Forschung im Rahmen des Aus- und Neubaus, des Betriebs und der Unterhaltung der Bundeswasserstraßen.

Die WSV besitzt – anders als die meisten Betreiber (Gemeinden, Firmen) – eine Vielzahl von Spundwänden sowohl im Binnenland als auch an der Küste. Die BAW führt seit mehr als einem Vierteljahrhundert Wanddickenmessungen an diesen vielfältigen Bauwerken durch und verfügt damit über einen (vermutlich weltweit) einmaligen Informations- und Datenbestand. Fußend auf diesen Erfahrungen wird von der BAW sowohl die Durchführung als auch die Auswertung der Messungen kontinuierlich weiterentwickelt.



Abbildung 1: Spundwände in Häfen und an Wasserstraßen

2. Problemstellung

Korrosion beeinflusst maßgeblich die Nutzungsdauer einer Spundwand. Ohne aufwändige Messungen vor Ort sind die Betreiber von Spundwandbauwerken bei der Prognose der Restnutzungsdauer auf Abrostungsraten aus der Literatur angewiesen. So wurden in den „Empfehlungen des Arbeitsausschusses *Ufereinfassungen*“ (EAU), ein Standardwerk im Wasserbau, bis 1990 [6] mittlere jährliche Abrostungen von 0,02 mm im Süßwasser, 0,12 mm in deutschen Seehäfen und 0,14 mm in wärmeren Gebieten angegeben.

Bereits Ende der 1980iger Jahre wies HEIN [10] auf Grundlage der Erfahrungen der BAW jedoch darauf hin, dass nicht von einer konstanten Abrostungsrate ausgegangen werden kann, sondern dass sich mit zunehmender Standzeit die jährliche Abrostung verringert: jüngere Spundwände rosten schneller als ältere. Doch selbst unter Berücksichtigung einer altersabhängigen Abrostungsrate zeigte sich, dass besonders im Küstenbereich viele Spundwandbauwerke aufgrund lokaler Durchrostungen bei Weitem nicht die erwartete Nutzungsdauer von ca. 50 bis 80 Jahren erreichten [3]. Dieses Phänomen ist für die Nutzer und Betreiber bei der Beurteilung des Korrosionszustandes einer Spundwand zu beachten.

3. Kennwerte der Korrosion

Die Beschreibung des aktuellen Korrosionszustandes und die Prognose der Restnutzungsdauer beziehen sich auf die beiden Grundfunktionen eines Spundwandbauwerkes:

- Auf eine Spundwand wirken horizontale Lasten aus Erd- und Wasserdruck. Bei korrosionsbedingt abnehmender Wanddicke kann es zu Spannungsüberschreitungen kommen. Zur Beurteilung der aktuellen **Standicherheit** ist die Kenntnis der aktuellen mittleren Restwanddicke erforderlich. Die Prognose der Restnutzungsdauer bzgl. der Standicherheit erfolgt über die mittlere Abrostungsrate ($= [\text{Ausgangswanddicke} - \text{mittlere Restwanddicke}] / \text{Standzeit}$).
- Eine Spundwand muss den Boden im Hinterfüllungsbereich zurückhalten. Als Folge von Durchrostungen kann es jedoch aufgrund von Wellen und Grundwasserströmung

zu einem Ausspülen des Bodens, zur Bildung von Hohlräumen und schließlich zu Sackungen und Bodeneinbrüchen landseitig der Spundwand kommen. Zur Beurteilung der aktuellen **Gebrauchstauglichkeit** ist die Kenntnis der aktuellen minimalen Restwanddicke erforderlich. Die Prognose der Restnutzungsdauer bzgl. der Gebrauchstauglichkeit erfolgt über die maximale Abrostungsrate (= [Ausgangswanddicke – minimale Restwanddicke] / Standzeit).

Die Beschreibung des aktuellen Korrosionszustandes und die Prognose der Restnutzungsdauer einer Spundwand beruhen also auf diesen Kennwerten der Korrosion, d.h. auf der mittleren und minimalen Restwanddicke bzw. der mittleren und maximalen Abrostung und Abrostungsrate.

Seit 1996 wird dies auch in der EAU [7] berücksichtigt: es werden auf den BAW-Messergebnissen basierende Diagramme für die mittlere und die maximale Abrostung in den einzelnen Korrosionszonen und für Süß- und Meerwasser angegeben (Abbildung 2).

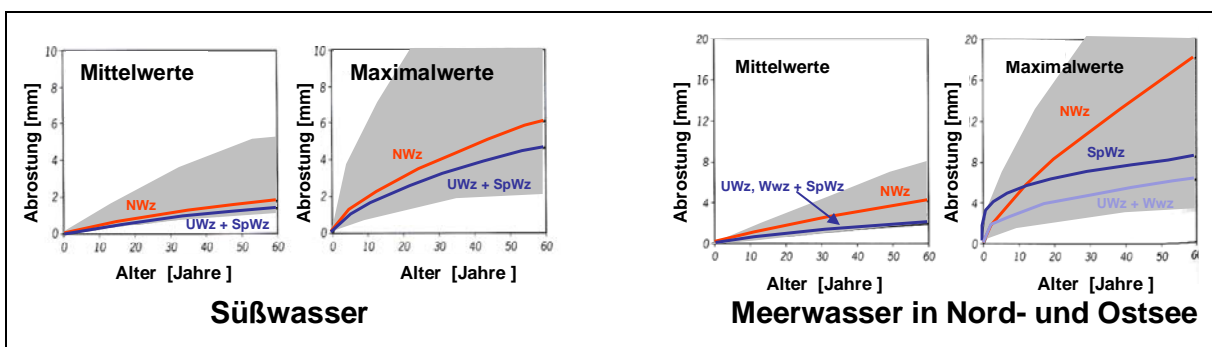


Abbildung 2: Korrosionsbedingte Wanddickenabnahme im Süß- und Meerwasser nach [7]

Spundwände rosten jedoch nicht gleichmäßig. Die Korrosion variiert aufgrund unterschiedlicher Korrosionseinflüsse selbst an einem einzelnen Bauwerk: von einer Spundbohle zur nächsten, längs der Bohlenhöhe sowie längs des Bohlenquerschnittes. Die Spundwandhöhe wird deshalb üblicherweise hinsichtlich Korrosionstypus und -intensität in unterschiedliche Zonen unterteilt: die Spritzwasserzone (SpWz in Abbildung 2 und 4), die Wasserwechselzone (WWz; in Gewässern mit Tideeinfluss), die Niedrigwasserzone (NWz; das ist der Bereich ca. 0,5 m über und 1,5 m – 2,0 m unter Mittelwasser, in der die intensivste Korrosion auftritt) sowie die Unterwasserzone (UWz). Die Kennwerte der Korrosion müssen damit für jedes Bauwerk für jede Korrosionszone bestimmt werden.

Die große Schwankungsbreite der Abrostungen (dargestellt als grauen Flächen in Abbildung 2) zeigt aber, dass auch die EAU-Diagramme nur eine grobe Schätzung der Nutzungsdauer einer Spundwand erlauben: Belastbare Aussagen erfordern Restwanddickenmessungen unmittelbar am Bauwerk.

4. Restwanddickenmessungen

Die Durchführung von Restwanddickenmessungen ist zeit- und kostenintensiv und muss oft unter schwierigsten Bedingungen erfolgen (Tauchereinsatz, strömendes bzw. trübes Wasser, Wellengang, Messeinsatz nahe stark frequentierter Hafenanlagen, Schleusen und in engen Wasserstraßen). Restwanddickenmessungen erfordern deshalb eine sorgfältige Vorbereitung, Durchführung und Auswertung.

4.1 Messgerät

Handelsübliche Ultraschallgeräte mit ausschließlich digitaler Anzeige sind für die Wanddickenmessung an Stahlspundwänden im Wasserbau nicht geeignet. Die BAW verwendet ein *Universal-Ultraschall-Messinstrument* mit folgenden Eigenschaften ([1], [2], [5]; s. Abbildung 3):

- Digitalanzeige zum direkten Ablesen des Messwertes,
- Oszilloskop zur visuellen Kontrolle der Messwert-Qualität,
- Stoßwellenprüfkopf, der die Berechnung der Wanddicke aus der Laufzeitverzögerung zweier aufeinanderfolgender Schallimpulse erlaubt,
- von der BAW entwickelter Spezialadapter zur Gewährleistung eines bekannten Wasservorlaufes.

Die erzielte Messgenauigkeit liegt i.d.R. unter 0,1 mm ([2], [5]), was in Anbetracht der Unsicherheiten bzgl. der Ausgangswanddicke (z.B. aufgrund von Walztoleranzen), die bei Spundwänden im Wasserbau meist zwischen 6 mm und 20 mm liegt, ausreichend ist.

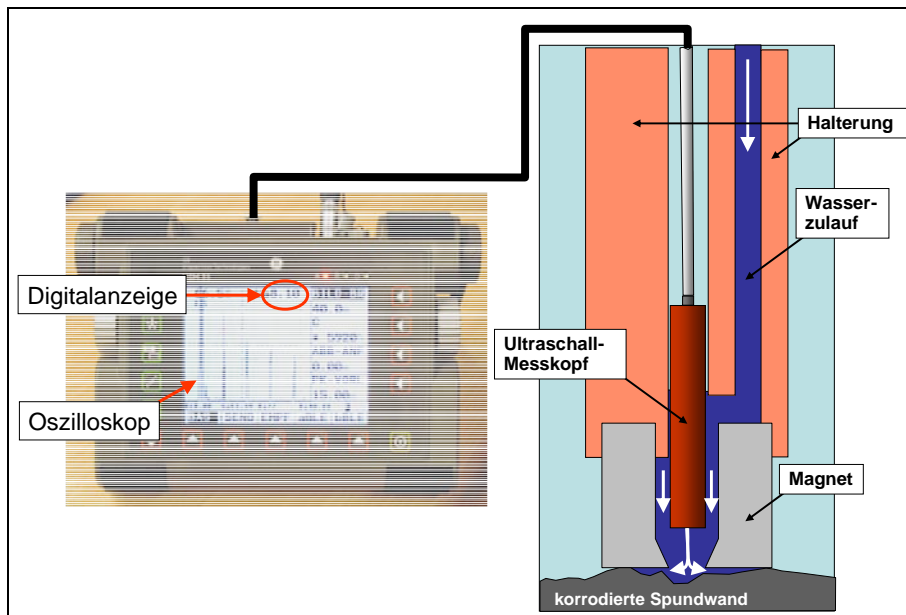


Abbildung 3: Universal-Ultraschall-Messinstrument

Der Einsatz eines Universal-Ultraschall-Messinstrumentes setzt jedoch eine relativ glatte Stahloberfläche voraus. Deshalb müssen die Messpunkte zunächst mittels Nadelhammer, Flex oder Sandstrahlung sorgfältig gereinigt werden.

Trotzdem kann in Bereichen starker Muldenkorrosion zusätzlich der Einsatz einer Schieblehre erforderlich werden. Der Schieblehren-Messwert, d.h. die Muldentiefe, wird dann vom Mittelwert der am gleichen Messpunkt mit Ultraschall ermittelten Restwanddicken subtrahiert.

4.2 Auswahl und Anzahl der Messpunkte

Um einen aussagekräftigen Datenbestand zur Beurteilung des aktuellen Korrosionszustandes zu erhalten, sollten bei einem Spundwandbauwerk von ca. 500m Länge die Restwanddicken an ca. 10 bis 12 gleichmäßig über das Bauwerk verteilten Spundbohlen über die gesamte Höhe – also über und unter Wasser – gemessen werden. Die Tabelle in Abbildung 4 listet die Anzahl und den Abstand der je Spundwandbohle zu messenden Messquerschnit-

te auf. Je Messquerschnitt sollte im Bereich von Bohlenberg und –tal sowie auf den Flanken, jeweils berg- und talseitig, je eine Messpunkt-Fläche von ca. 10cm x 10cm mit jeweils maximal 6 Einzelmesswerten gemessen werden.

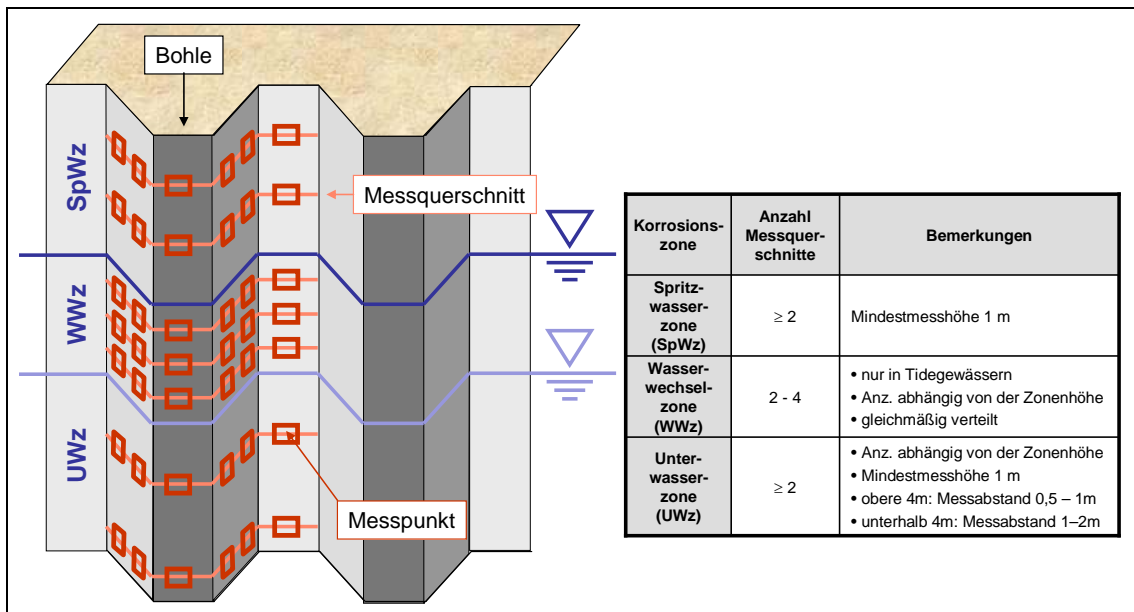


Abbildung 4: Messpunkte an einer Spundwand

Für eine aussagekräftige Beurteilung des Korrosionszustandes sind pro Bauwerk und Korrosionszone insgesamt mindestens 100 Einzelmesswerte erforderlich. In Abhängigkeit von der Höhe der Korrosionszone an der Spundwand kann auch eine größere Anzahl von Einzelwerten (bis zu 500) sinnvoll sein. Führt das beschriebene Messprogramm zu weniger als 100 Werten je Korrosionszone (z.B. bei sehr kurzen Spundwänden), so ist es nicht sinnvoll, mehr Einzelwerte an einem Messpunkt zu erheben oder den Höhenabstand zwischen den Messpunkten zu verringern. Für eine bessere Aussagekraft sollte hingegen die Anzahl der untersuchten Einzelbohlen erhöht werden.

Diese Empfehlungen sind das Ergebnis einer statistischen Analyse der BAW-Datenbank *WaDiMe* (*Wanddickenmessung*), die im Rahmen des EU-Forschungsprojektes *Design method for steel structures in marine environment including the corrosion behaviour* [8] 2001 – 2004 durchgeführt wurde. Die Datenbank *WaDiMe* umfasst die Ergebnisse der Restwanddickenmessungen seit 1982 an inzwischen ca. 420 Bauwerken mit über 420.000 Einzelwerten.

4.3 Auswertung

Die Restwanddicken einer Messkampagne werden je Spundbohle und Messpunkt höhengerecht dargestellt (Abbildung 5, rechts). Die Gesamtheit aller Restwanddickenprofile vermittelt einen guten Überblick über den Korrosionszustand des Bauwerkes. Darüber hinaus werden weitere Profile erstellt, bei denen zusammenfassend für das gesamte Bauwerk die Restwanddicken, die Abrostungen und die Abrostungsraten aufgetragen werden.

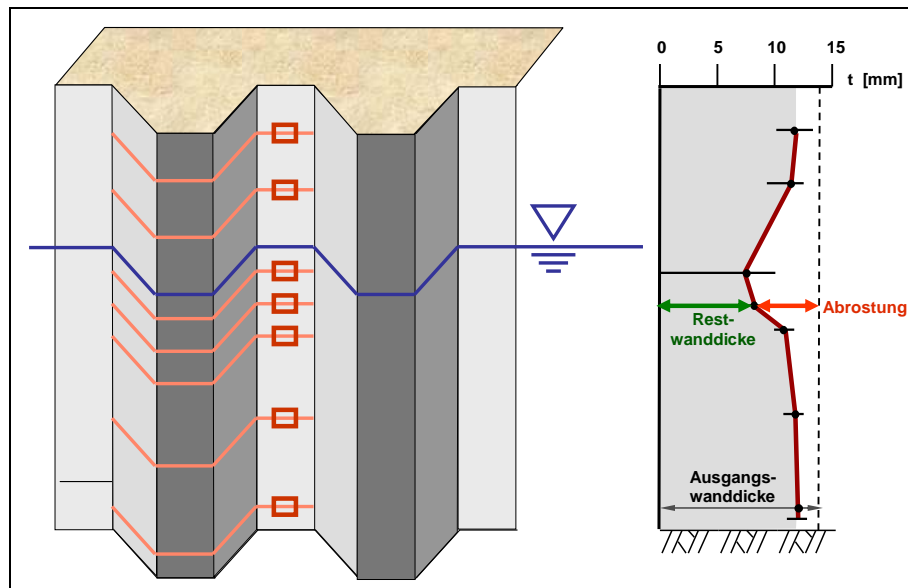


Abbildung 5: Restwanddickenprofil

Zur Ermittlung der Korrosionskennwerte, also der mittleren und der maximalen Abrostung, ist jedoch – über die rein zeichnerische Darstellung der Originalmesswerte hinaus – eine statistische Auswertung der Daten erforderlich.

Frühere Untersuchungen der BAW [9] haben gezeigt, dass die Restwanddicken eines Spundwandbauwerkes pro Korrosionszone lognormalverteilt sind. Deshalb lässt sich die **mittlere Abrostung** aus dem Erwartungswert der Lognormalverteilung der Einzelmesswerte einer Korrosionszone berechnen.

Die tatsächliche minimale Restwanddicken bzw. die **maximale Abrostung** wird bei einer Spundwanddickenmessung in der Regel nicht erfasst: oft treten nur wenige kleine Löcher oder tiefe Mulden auf der ansonsten glatten Stahloberfläche auf, die dann – unter Rost und Bewuchs verborgen – nicht registriert werden. Untersuchungen der BAW Mitte der 1990er Jahre [4] haben jedoch gezeigt, dass sich die maximale Abrostung aus den Einzelwerten einer Messkampagne gut mittels der Formel für das Obere Toleranzintervall

$$\text{Oberes Toleranzintervall } T_0 = e^{\bar{x}_{\text{in}} + k_{n,p;(1-\alpha)} \cdot s_{\text{in}}} \quad (1)$$

berechnen lässt. Ist die berechnete maximale Abrostung größer als die Ausgangswanddicke, so ist mit Durchrostungen zu rechnen, auch wenn im Rahmen der Bauwerksinspektion (noch) keine Löcher gefunden wurden.

Die maximale Abrostung des Gesamt-Spundwandbauwerkes entspricht der der Niedrigwasserzone, wo grundsätzlich die höchsten Abrostungen auftreten. Dieses Verfahren wird seit Jahren von der BAW angewendet und hat sich in der Praxis bewährt. Es hat jedoch einen Nachteil: die genaue Festlegung der Niedrigwasserzone ist rein subjektiv.

Als Ergebnis des o.g. EU-Projektes [8] wird eine praktikable Methode vorgestellt, um die Kennwerte der Korrosion objektiver als bisher aus den Messwerten ableiten zu können. Abweichend von der gängigen Praxis (z.B. [7], s.a. Abbildung 6, links) wird die Niedrigwasserzone nicht mehr als eigenständige Korrosionszone betrachtet (und wurde deshalb in der Tabelle in Abbildung 4 nicht dargestellt).

Stattdessen wird die Spundwand längs ihrer Höhe in folgende, eindeutig definierte Korrosionszonen unterteilt (s. Abbildung 6, rechts, für ein Gewässer ohne Tideeinfluss):

- die *Spritzwasserzone* oberhalb Mittelwasser (MW) bzw. Mittlerem Tidehochwasser (MThw),
- in Tidegewässern die *Wasserwechselzone* zwischen MThw und Mittlerem Tideniedrig-

- wasser (MTnw) sowie
- die *Unterswasserzone* unterhalb MW bzw. MTnw.

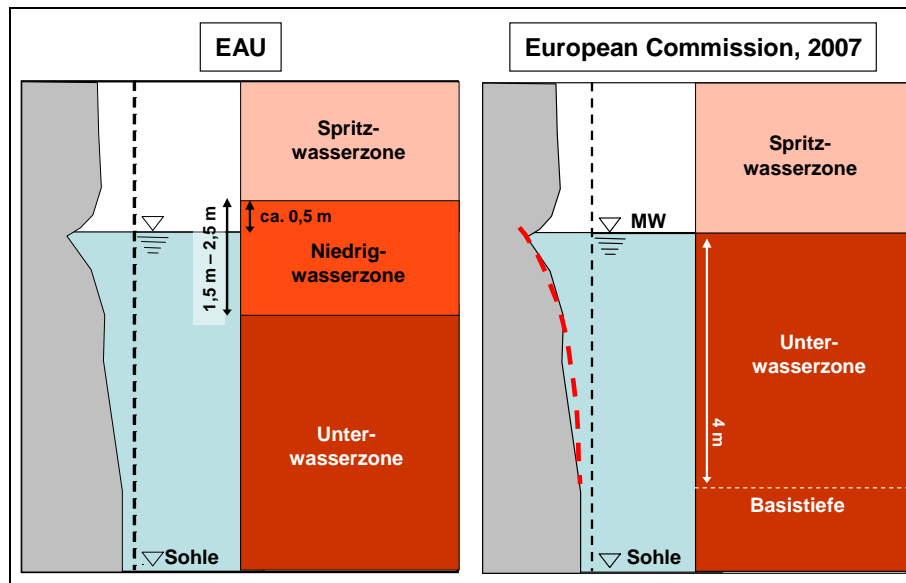


Abbildung 6: Neufestlegung der Korrosionszonen

Innerhalb einer Korrosionszone sind die Abrostungen jedoch nicht konstant; vielmehr besteht eine Tiefenabhängigkeit, die sich als Exponentialfunktion darstellen lässt:

$$\text{Mittlere Abrostung} = b_n \cdot e^{b_m \cdot \text{Tiefe}} \quad (2)$$

$$\text{Maximale Abrostung} = b_x \cdot e^{b_y \cdot \text{Tiefe}} \cdot e^{s_{ln} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}}} \quad (3)$$

mit: Tiefe = bezogen auf die jeweilige Korrosionszone definierende Wassertiefe
 s_{ln} = Standardabweichung der logarithmierten Daten
 n = Anzahl der Daten

Die Regressionskoeffizienten b_x und b_y der Formeln (2) und (3) lassen sich mittels einer Regressionsanalyse aus den Einzelwerten einer Restwanddickenmessung pro Korrosionszone ermitteln. Abbildung 6 zeigt, dass die Exponentialfunktion der Abrostungen in der Unterswasserzone (rote, gestrichelte Linie) auch die hohen Abrostungen im zuvor als *Niedrigwasserzone* gekennzeichneten Tiefenbereich zutreffend wiedergibt und dass deshalb eine weitere Unterteilung der Zone unterhalb von MW bzw. MTnw weder erforderlich noch sinnvoll ist.

Die statistische Auswertung der BAW-Datenbank WaDiMe ergab jedoch auch, dass allgemein bei Spundwänden ab der sogenannten *Basistiefe* von 4m unter MW bzw. MTnw keine Tiefenabhängigkeit der Abrostungen mehr feststellbar ist (s.a. Abbildung 6).

5. Milieubeprobung

Da sich die Verteilung der Abrostungen entspr. Formeln (2) und (3) als Exponentialfunktion je Korrosionszone beschreiben lässt, müssten sich die Regressionskoeffizienten dieser Formeln (b_x und b_y) nicht nur aus den Daten einer Restwanddickenmessung sondern auch aus den Ergebnissen einer Milieubeprobung ableiten lassen.

Im Rahmen des o.g. EU-Projektes [8] wurden dazu an etwa 40, gezielt aufgrund ihrer Standorteigenschaften ausgewählten Bauwerken Restwanddickenmessungen durchge-

führt und dort zusätzlich eine Vielzahl von Parametern bestimmt, die sich grundsätzlich drei Gruppen zuordnen lassen:

- exogene Faktoren (z.B. die physiko-chemischen Eigenschaften des Immersionsmediums Wasser, die mechanische Beanspruchung der Spundwand infolge Fenderreibung, Eisgang oder Wellen sowie mikrobiologische Prozesse),
- endogene Faktoren (z.B. die physiko-chemischen Eigenschaften des Spundwandstahls) und
- dynamische Faktoren (z.B. Korrosionsprodukte).

Das Abrostungsverhalten einer Spundwand lässt sich aufgrund der komplexen Beziehungen zwischen exogenen und endogenen Faktoren nicht in Form einer homogenen Altersfunktion abbilden: so ist z.B. die Basisabrostung b_0 (d.h. die tiefenunabhängige Abrostung in der Unterwasserzone ab 4 m unter MW, s. Abbildung 6) in Bereichen mit Strömung unabhängig vom Spundwandalter.

Deshalb wurde eine multifaktorielle Analyse durchgeführt, um so die vielschichtigen Wechselwirkungen der Einflussparameter untereinander und in Abhängigkeit von der Korrosionszone berücksichtigen zu können: die meisten Parameter wirken nicht einheitlich korrosionshemmend oder -fördernd.

Im Ergebnis wurden folgende korrosionsrelevanten Parameter ermittelt und z.T. zu Clustern zusammengefasst:

- Bauwerksalter, Tide, Wasserströmung
- Stahlmaterial: Grob- und Feinstahl
- Wassermilieu: limnisch, limnisch-brackisch, brackisch, brackisch-marin
- Korrosionsfaktoren: Säure-, O_2 -, Salz- und Schmutz-Faktor
- Jahreszeitliche Unterschiede: Säure-, O_2 -, Salz- und Schmutz-Saisonalität

Darüber hinaus wurden Formeln zur Berechnung der Regressionskoeffizienten b_x und b_y für die einzelnen Korrosionszonen aufgestellt. Deren Anwendung erfordert es jedoch, Beobachtungswerte im Vorwege zu transformieren und/oder zu codieren. Für die Basiskorrosion b_0 gilt z.B. folgende Formel, die jedoch erst nach einer Vielzahl von Zwischenschritten tatsächlich eine Berechnung der Abrostung erlaubt:

$$b_0 = 1,160 - 0,142 \cdot \text{"Stahl"}(\text{"Grobstahl"}) + 0,9481 \cdot \text{"Wasser"}(\text{"limnisch"}) \\ - 0,706 \cdot \text{"Wasser"}(\text{"limnisch-brackisch"}) + 0,0255 \cdot \text{"Wasser"}(\text{"brackisch"}) \\ - 0,392 \cdot \text{"Strömung_binär"}(\text{"hoch"}) + 0,1593 \cdot \ln_Alter + 0,3017 \cdot \text{"O}_2\text{-Faktor"} \\ - 0,158 \cdot \text{"Säure-Saisonalität"} - 0,176 \cdot \text{"Strömung_binär"} \cdot \ln_Alter(\text{Tab.wert}) \\ + 0,1666 \cdot \text{"Tide"} \cdot \ln_Alter(\text{Tabellenwert}) + 0,3647 \cdot \text{"Strömung_binär"} \cdot \text{"Säure-faktor"}(\text{Tab.wert})$$

Auf diese Weise lässt sich derzeit die Mittlere Abrostung aus den Standort- und Bauwerkseigenschaften eines Spundwandbauwerkes je Korrosionszone mit einer erklärten Varianz von etwa 80 % prognostizieren.

6. Ausblick

In den letzten drei Jahren wurde das Hauptaugenmerk der BAW auf die Weiterentwicklung der Datenbankanwendung WaDiMe gelegt, da diese die Grundlage für die Auswertung der im Auftrag der WSV regelmäßig durchzuführenden Spundwanddickenmessungen darstellt. Diese Arbeit wird auch in Zukunft den Großteil unserer Kapazitäten beanspruchen.

Gleichzeitig wurden und werden alternative Verfahren zur Spundwanddickenmessung auf ihre Praxistauglichkeit hin geprüft und bewertet.

Zukünftig ist geplant, das modifizierte Berechnungsverfahren zur Abschätzung der charakteristischen Werte der Korrosion aus den gemessenen Restwanddicken sowie das Prognosemodell zur Abschätzung der charakteristischen Werte der Korrosion aus Milieuparametern in WaDiMe zu implementieren und zu dokumentieren. Langfristig müsste es da-

mit in Kenntnis der Standorteigenschaften möglich sein, Spundwandbauwerke von vorn herein so zu planen, dass möglichst geringe Abrostungen zu erwarten sind.

Weiterhin ist geplant, eine detaillierte Beschreibung zur fachgerechten Durchführung und Auswertung von Ultraschall-Messungen zu erarbeiten.

Referenzen

- [1] ALBERTS, D. (1987): Wanddickenmessungen an Stahlspundwänden. Mitteilungsblatt der BAW, Nr. 60, Karlsruhe
- [2] ALBERTS, D. (1991): Ultraschallmessungen an stark korrodierten Stahlspundwänden. Hansa, 128. Jahrg., Nr. 3 – 4
- [3] ALBERTS, D., EIBFELDT, F. & SCHUPPENER, B. (1986): Beurteilung lter Spundwandbauwerke an den norddeutschen Küsten. Vortrag auf der Baugrundtagung der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau, 22. – 24.09.1986, Nürnberg
- [4] ALBERTS, D. & HEELING, A. (1997): Wanddickenmessungen an korrodierten Stahlspundwänden. Statistische Datenauswertung zur Abschätzung der maximalen Abrostung. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 75, Karlsruhe
- [5] ALBERTS, D. & SCHUPPENER, B. (1991): Comparison of ultrasonic probes from the measurement of the thickness of sheet pile walls. Field measurements in geotechnics (FMGM 1991, Oslo), Sørum (ed.), Balkema, Rotterdam
- [6] EAU (1990): Empfehlungen des Arbeitsausschusses “Ufereinfassungen“, Häfen und Wasserstraßen – EAU 1990. 8. Auflage, Hrsg.: Arbeitsausschuß „Ufereinfassungen“ der Hafentechnischen Gesellschaft e.V. und der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V., Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin
- [7] EAU (1996): Empfehlungen des Arbeitsausschusses “Ufereinfassungen“, Häfen und Wasserstraßen – EAU 1996. 9. Auflage, Hrsg.: Arbeitsausschuß „Ufereinfassungen“ der Hafentechnischen Gesellschaft e.V. und der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [8] EUROPEAN COMMISSION (2007): Technical research. Steel products and applications for building, construction and industry. Design method for steel structures in marine environment including the corrosion behaviour. Contract No 7210-PR/317
- [9] HEIN, W. (1986): Über das Korrosionsverhalten von Stahlspundwänden im Mittellandkanal. Mitteilungsblatt der BAW, Nr. 59, Karlsruhe
- [10] HEIN, W. (1989): Korrosion von Stahlspundwänden im Wasser. Hansa, 126. Jahrg., Nr. 3 – 4