



Hochwasserschutz und Kanaldeiche



Inhalt

Stahlpundwände – effiziente Lösungen für Deichbau, Deichsanierung und Kanalhaltung	2
Stahlpundbauweise – ein System mit Vorteilen	4
Spundwandtechnik – die richtige Wahl	6
Spundwand und Landschaftsplanung – die Natur kreativ gestalten	8
Praxisfall – Deichertüchtigung Saint-Laurent-du-Var – Frankreich	10
Praxisfall – Sturmflutsperrwerk Nieuwpoort – Belgien	11

Stahlpundwände – effiziente Lösungen für Deichbau, Deichsanierung und Kanalhaltung

Die Einsatzmöglichkeiten von Stahlpundwänden in Hochwasserschutz- und Kanalhaltungssystemen sind vielfältig. Sie übernehmen in neuen Deichen dichtende, last abtragende oder stabilisierende Funktionen, werden aber

auch zur Ertüchtigung bestehender Deiche verwendet. Wo Platzprobleme auftreten, z.B. in Hafengebieten, können Stahlpundwände auch eigenständige Hochwasserschutzwände bilden.

Die folgenden Beispiele stellen keineswegs eine vollständige Aufzählung aller Einsatzmöglichkeiten von Stahlpundwänden in Dammsystemen dar. Vielmehr sind sie als kreative Anregungen für Bauherren und Ingenieure zu verstehen.

- In Deichen kann die Spundwand als **Dichtwand** eingesetzt werden. Häufig kann die notwendige Dichtheit der Wand durch die natürliche Bodenablagerung in den Schlossfugen gewährleistet werden. Durch leistungsfähige Schlossdichtungssysteme kann der Durchfluss durch die Wand reduziert werden. Eine Dichtwand aus Spundbohlen wirkt sich nicht nur durchflussvermindernd aus, sondern verbessert auch die Gesamtstabilität des Deiches: Sie stabilisiert gleichermaßen die wasserseitige Böschung und die Deichkrone, da die Spundwand die diesbezüglichen Gleitkreise durchquert. Die landseitige Böschung wird durch das Absenken der Sickerlinie stabilisiert. Beim Einsatz einer Stahlpundwand ist die Sickerströmung regelbar. Mit Schlossdichtungen kann sie kontrolliert herabgesetzt werden, durch eingebrannte Schlitze (siehe EAU 2012, E 51 [1]) kann ein natürlicher Durchfluss geschaffen und der Deich vor Austrocknung geschützt werden. Da die Stahlpundwand zudem undurchdringbar für Wühltiere und Baumwurzeln ist, verhindert sie die Gefahr einer durch präferenzielle Sickerwege verursachten, rückschreitenden Erosion. (Abb. 1)

- Mit Hilfe einer Stahlpundwand kann ein Deich nicht nur abgedichtet, er kann auch mit wenig Platzaufwand an ein **erhöhtes Bemessungshochwasser** angepasst werden. Dabei lässt man die Spundbohlen einfach um die gewünschte Höhe aus dem Deich herausragen – und dies bei einer erheblichen Platzersparnis gegenüber einer Erhöhung des Deiches selbst. Aufgrund ihrer Biegesteifigkeit können Stahlpundwände problemlos den anfallenden Wasserdruck in den Deichkörper abtragen. Im Übrigen stabilisiert die Stahlpundwand auch bei einer Erhöhung des Deiches die wasserseitige Böschung sowie die Deichkrone und ermöglicht ein Absenken der Sickerlinie in der landseitigen Böschung. (Abb. 2)
- Besondere Bedeutung kommt der Stahlpundwand im Rahmen der **Böschungsstabilisierung** zu. Die Spundwand trägt dabei den Erddruck der Böschung in das Deichauflager ab. Zu diesem Zweck kann sie einfach in das Auflager eingespannt werden. Soll zusätzlich ein Geländesprung von mehr als drei bis vier Metern überwunden werden, so empfiehlt es sich, die Spundwand am Kopf zu verankern. Die Ankerkräfte können, je nach Platz und Untergrundverhältnissen, durch eine Ankerwand, Injektionsanker oder Schrägpfähle in das Deichauflager abgetragen werden. Die auf diese Art und Weise stabilisierte Böschung kann steiler ausgebildet werden, als dies ohne Einsatz der Stahlpundwand der Fall wäre.



Arles, Frankreich



Das geht mit einer deutlichen Platzeinsparung einher. Soll der Schifffahrtsweg verbreitert werden, so kann dank der Spundwand von einem Trapezprofil auf ein Rechteckprofil übergegangen werden. (Abb. 3a, 3b, 3c)

- Die Stahlspundwand kann auch als **Setzungsschutz** fungieren. In diesem Fall wird die Spundwand landseitig vom Deich eingebracht und isoliert ihn statisch von nahe gelegenen Bauten. Dadurch können Setzungen sowohl von Gebäuden als auch vom Deich selbst vermieden werden. (Abb. 4)

- Als **Hochwasserschutzwand** kann eine Stahlspundwand einen Deich vollständig und vollwertig ersetzen. Diese Variante ist besonders interessant in Häfen oder an Stellen mit beengten Platzverhältnissen. Aber auch zum Schutz von vereinzelt Gebäuden oder Anlagen kann auf diese Variante zurückgegriffen werden. Außerdem kann eine aus Stahlspundbohlen ausgeführte Hochwasserschutzwand problemlos an einen Erddeich angeschlossen werden. (Abb. 5)

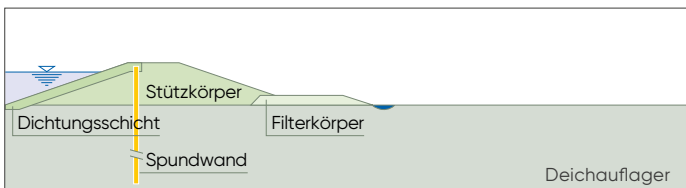


Abb. 1: Dichtwand

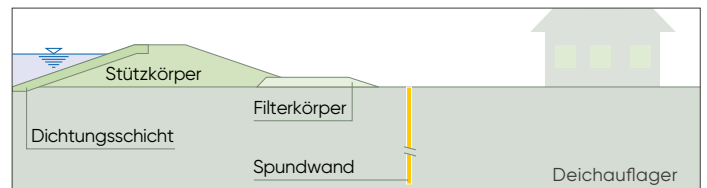


Abb. 4: Setzungsschutz

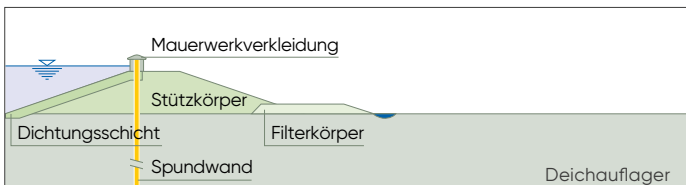


Abb. 2: Erhöhung des Bemessungshochwasser

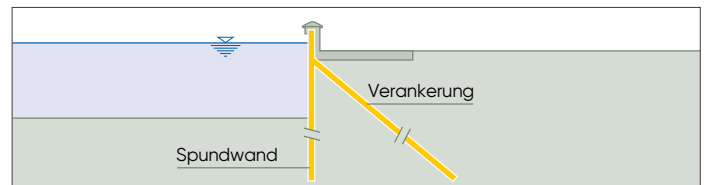


Abb. 5: Hochwasserschutzwand

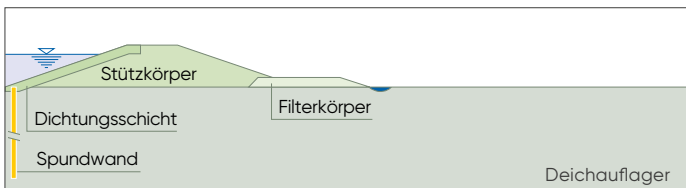


Abb. 3a: Wasserseitige Böschungsstabilisierung /Erosionsschutz

Spundwände retten Leben !

Sehen Sie hier wie Stahlspundwände dazu beitragen, die Auswirkungen des Klimawandels zu bekämpfen.

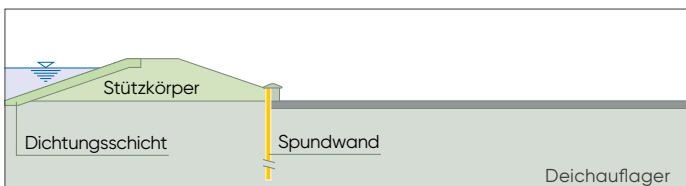


Abb. 3b: Landseitige Böschungsstabilisierung

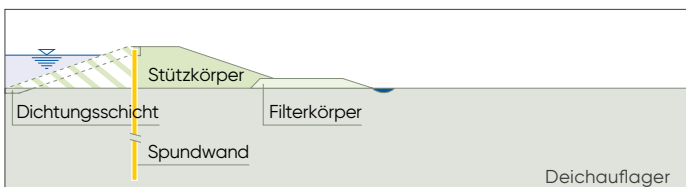


Abb. 3c: Verbreiterung des Schifffahrtsweges



Stahlpundbauweise – ein System mit Vorteilen

Im Bereich des Hochwasserschutzes und der Kanalhaltung spielen Stahlpundwände ihre spezifischen Vorteile aus.

- Zuallererst zeichnen sie sich durch ihre **Wirtschaftlichkeit** aus, die in erster Linie aus einem schnellen Baufortschritt resultiert. Darüber hinaus überzeugen Stahlpundwände auch durch ihren hohen Vorfertigungsgrad und ihre kontrollierte Qualität ab Werk. Diese Vorteile zahlen sich für den Bauherren in direktem Zeitgewinn aus. Durch die geringe Baustelleneinrichtung kann der Bau nach einer minimalen Vorlaufzeit beginnen. Auch die Tatsache, dass ein einziges Element dichtende und tragende Funktionen kombinieren kann, ermöglicht zeitsparendes und damit ökonomisches Bauen.
- Im Zeitalter von regelbaren, resonanzfrei anlaufenden Hochfrequenzvibratoren können Spundwände relativ **schonend eingebracht** werden. In besonders sensiblen Fällen können die Bohlen vollkommen erschütterungsfrei eingepresst werden. Beim Einbringen der Spundwand kann sowohl von der Wasserseite als auch von der Landseite her gearbeitet werden.
- Spundwände in Hochwasserschutzsystemen ermöglichen bis zu einem gewissen Grad die Regelung der Sickerströmung. Hat die Spundwand eine **dichtende Wirkung** zu erfüllen, so können die Schlösser abgedichtet werden. Soll jedoch das Erdreich im Deich feucht gehalten und vor Austrocknung geschützt werden, so können Schlitze in die Spundwand gebrannt werden, die einen natürlichen Durchfluss durch die Spundwand erlauben. Dies reduziert außerdem den nach einem Hochwasserereignis anstehenden landseitigen Wasserüberdruck.
- Wo beengte Verhältnisse die Konstruktion des Hochwasserschutzsystems beeinflussen, steht die Stahlpundwand als **Platz sparendes Element** ohne Alternative da. Sie lässt sich diskret in die Landschaft eingliedern und genügt dabei hohen ästhetischen Ansprüchen.
- Die von Wühltieren ausgehenden Gefahren – Sickerwege durch Wühlgänge, die präferenzielle Strömungswege darstellen – können mit der Verwendung von Stahlpundwänden ausgeschlossen werden. Gleiches gilt für die Schädigung des Deiches durch starkes Wurzelwerk. Ein Durchstoßen der Dichtungsschichten und daraus resultierendes Öffnen von Sickerwegen kann – im Gegensatz zu anderen Systemen – mit einer Stahlpundwand verhindert werden. Mit einer Dichtwand aus Stahlpundbohlen eröffnen sich damit für den Erddeich ganz neue Gestaltungsmöglichkeiten – weil die Bohlen **undurchdringlich**



Greifswald-Ryck 1, Deutschland



Greifswald-Ryck 2, Deutschland



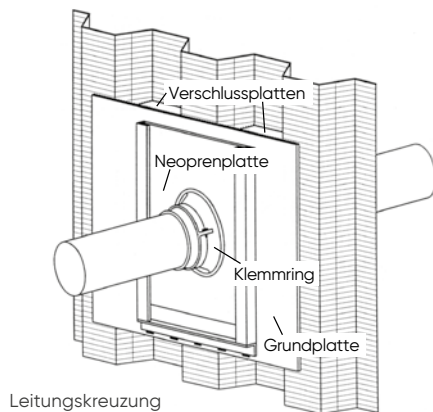
Placentia, Neufundland



Wroclaw, Polen

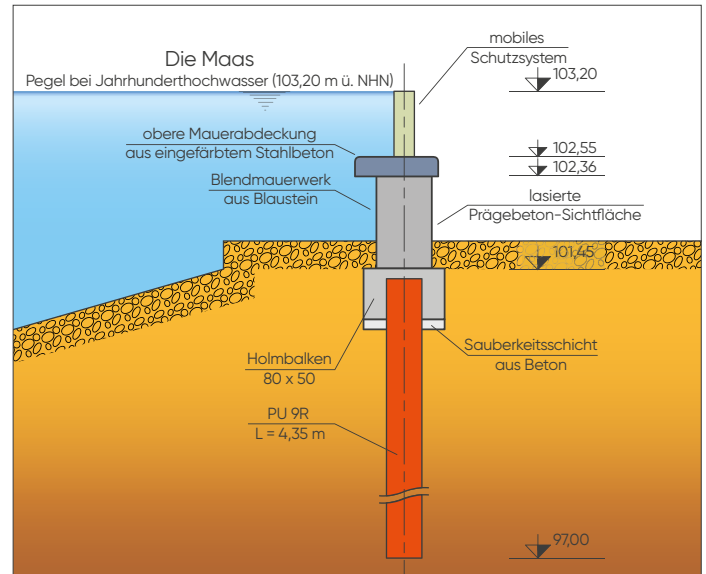
sind und somit ein Bepflanzen der Deichböschungen in Erwägung gezogen werden kann. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass die Bepflanzung die Inspektion des Deiches nicht behindern darf.

- Stahl ist **duktil**, das heißt: Bevor es zu einem Bruch der Spundwand selbst kommt, geht eine fortschreitende Verformung der Wand voraus. Dadurch entsteht eine Vorwarn- bzw. Reaktionszeit, in der Unregelmäßigkeiten in der Deichkonstruktion erkannt und mit entsprechenden Maßnahmen behoben werden können.
- Dank ihrer Flexibilität kann eine Stahlspundwand hervorragend an fast jede vorgegebene Geometrie angepasst werden. Mit minimalem Aufwand und gleichzeitig maximaler Dichtheit kann sie mittels konventioneller Verbindungstechniken auch an andere Deichsysteme angeschlossen werden. Zudem besteht die Möglichkeit, den Deich im Extremfall **durch Aufstockung von mobilen Elementen** auf den Holm der Spundwand zu erhöhen oder Öffnungen im Hochwasserschutz zu lassen, die im Ernstfall ebenfalls durch mobile Elemente geschlossen werden. Auch bei Leitungsdurchführungen – stets kritische Stellen in Hochwasserschutzdeichen – bietet die Spundwand die Möglichkeit, auf einfache Art und Weise bevorzugte Sickerwege entlang der Rohre zu vermeiden. Nebenstehend abgebildet ist ein Ausführungsbeispiel einer Leitungskreuzung. Das abgebildete Ausführungsdetail ist zudem setzungsunempfindlich.



Leitungskreuzung

- Im Gegensatz zu anderen Baustoffen können Stahlspundwände **wieder entfernt werden**. Besonders interessant ist dieser Umstand bei Hochwasserschutzsystemen, die nur für eine begrenzte Zeit Schutz bieten sollen. Einmal eingesetzte Spundbohlen sind nach ihrem Rückbau zu 100 Prozent recyclingfähig und daher besonders umweltfreundlich.



Givet, Frankreich



Deicherhöhung Zons – zeitlich begrenzte Schließung von Öffnungen im permanenten Hochwasserschutz



Deicherhöhung Zons – mobile Elemente als zeitlich begrenzte Erhöhung des permanenten Hochwasserschutzes

Außer der rein statischen Stabilisierung eines Deiches kann sich eine Spundwand auch indirekt günstig auf dessen Stabilität auswirken:

- Durch ein **Herabziehen der Sickerlinie** wird die Stabilität der landseitigen Böschung erhöht. Dadurch kann sie steiler ausgebildet werden, oder der luftseitige Böschungsknick kann tiefer gelegt werden.
- Durch eine Verlängerung des Sickerweges wird die Sicherheit gegenüber einem **hydraulischen Grundbruch** erhöht.
- Bei einem Leck in der Kanaldichtung kann eine Kernspundwand den Materialtransport im Boden verhindern und somit **einer rückschreitenden Erosion vorbeugen**. Außerdem sinkt die Gefahr einer durch Wühltierbefall bedingten, rückschreitenden Erosion deutlich.

Diese zusätzlichen positiven Auswirkungen erzielt die Spundwand besonders dann, wenn sie in eine wasserundurchlässige Schicht einbindet.

Wasserdurchlässigkeit

Die Wasserdurchlässigkeit einer Stahlspundwand kann stark variieren, je nachdem ob und welches **Schlossdichtungssystem** zur Anwendung kommt. Nähere Erläuterungen hierzu geben die Broschüren "Die Dichtheit von Spundwandbauwerken". Soll der Spundwand nur eine tragende Wirkung zugeteilt werden, bei gleichzeitiger Vermeidung eines Austrocknens der luftseitigen Böschung, so können **Durchlaufentwässerungsschlitze** angeordnet werden (s. hierzu EAU 2012, E 51). Zur Berechnung des Durchflusses durch eine Stahlspundwand gibt die EN 12063, Anlage E, Aufschluss. Bindet die Spundwand nicht in eine wasserundurchlässige Schicht ein, so können der Durchfluss und die Sickerlinie jedoch nur durch eine numerische Berechnung exakt ermittelt werden.

Dauerhaftigkeit

Im Boden tendiert die Wandstärkenabnahme der Stahlspundwände normalerweise gegen Null. Auch im Süßwasser sind kaum Probleme zu erwarten. Aus ästhetischen Gründen werden jedoch sichtbare, unverkleidete Spundwände häufig mit einer Beschichtung versehen. Bei der Farbwahl sollte beachtet werden, dass dunkle Farbtöne langsamer verschmutzen als helle. Vorschläge für Beschichtungssysteme werden im Gesamtkatalog Stahlspundwände, Kapitel Beständigkeit, aufgezählt.

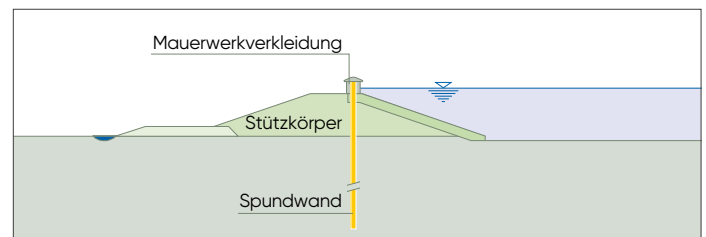


Abb.1: Verkleidung mit Mauerwerk

Einbringverfahren

Deiche können setzungsgefährdet und somit empfindlich gegen Erschütterungen sein. Dank regelbarer, resonanzfrei anlaufender **Hochfrequenzvibratoren** können Stahlspundwände jedoch relativ erschütterungsarm eingebracht werden. Im Zweifelsfall kann auf ein **Vibrations-Monitoring-System** zurückgegriffen werden, das ein Warnsignal abgibt, sobald ein bestimmtes Vibrationsniveau überschritten wird. Tritt dieser Fall ein, sollte vorgebohrt, gepresst **oder schlagend** gerammt werden. Für die **Schlagrammung** können in den meisten Fällen höhere Schwinggeschwindigkeiten zugelassen werden. **Pressen** hingegen ist vollkommen erschütterungsfrei. Hat die Wand eine dichtende Funktion, so ist mit erhöhter Sorgfalt zu arbeiten, um die Unversehrtheit der Stahlspundwand zu gewährleisten.



Regenrückhaltebecken Lübeck, Deutschland

Spundwand und Landschaftsplanung – die Natur kreativ gestalten

Der Einsatz von Stahlspundwänden ermöglicht eine naturnahe Ufergestaltung, die sowohl den ökonomischen als auch den ökologischen und ästhetischen Ansprüchen gerecht wird: Damit sich die als Hochwasserschutz oder Kanalhaltung dienenden Spundwände harmonisch in das Landschafts- oder Stadtbild

integrieren, können sie entweder mit einem Farbanstrich beschichtet, mit Holz, Ziegel- oder Natursteinen verkleidet oder aber mit Pflanzen begrünt werden. Eine Bepflanzung fördert gleichzeitig die Wiederansiedlung von Ökosystemen, welche durch den Eingriff in die Natur verändert wurden.

Beliebt in Stadtgebieten: Variantenreiche Steinverkleidungen

In städtischen Bereichen bietet sich oftmals eine Verklinkerung mit Mauerwerk oder Natursteinen an, um die Stahlwände optisch aufzuwerten. Ganz und gar unverkleidete Stahlwände genügen im Allgemeinen nicht den ästhetischen Anforderungen und sind daher in erster Linie in Hafenanlagen (z.B. Kaiwände) zu finden.

Die **Verkleidung** mit Ziegel- oder Natursteinen lässt eine Vielzahl von gestalterischen Varianten zu und kann in vielen Fällen durch eine zusätzliche Bepflanzung ergänzt und aufgelockert werden. Durch die Verwendung von **vorgefertigten Elementen** kann der Verkleidungsprozess erheblich beschleunigt werden. Zu beachten ist jedoch, dass die Auswahl des Steinmaterials immer nach den ortstypischen Gegebenheiten erfolgen sollte. An Hochwasserschutzwände in Stadtgebieten wird bisweilen die Forderung gestellt, die Sicht auf den Fluss zu erhalten. Dabei besteht die Möglichkeit, Aussparungen in der Wand vorzusehen, die im Ernstfall durch mobile Dammbalken geschlossen werden. Eine Alternative dazu ist die durchsichtige HWS-Wand, eine auf Augenhöhe durch Panzerglas erhöhte Spundwandkonstruktion.

Begrünte Ufer steigern die Lebensqualität

Von seiner schönsten und natürlichsten Seite zeigt sich ein mit Spundwänden ausgebautes Ufer mit einer pflanzlichen Verkleidung. Die **Begrünung** wertet das Landschaftsbild auf und führt zu einer gesteigerten Lebensqualität – zumal die Uferzonen unserer Wasserwege in der Regel beliebte Naherholungsgebiete sind. Die Begrünungsmaßnahmen sollten den spezifischen landschaftlichen Voraussetzungen und den ökologischen Anforderungen angepasst sein, wobei der Erfolg einer Begrünung in hohem Maße von der spezifischen Pflanzenwahl abhängt.

Idealerweise wird ein natürliches Ökosystem so wenig wie möglich verändert, sondern lediglich gezielt ergänzt. Die Verwendung von Spundwänden in Deichen erlaubt eine **teilweise Bepflanzung** der Böschungen, weil eine Beschädigung der Dichtwand, u.a. durch Wurzeldurchbruch, nicht mehr zu befürchten ist. Bei Kanalhaltungsdeichen kommt dadurch der Schifffahrt ein gewisser Windschutz zugute. Allerdings darf die Bepflanzung nie die Inspektion des Deiches behindern.

Ähnlich wie Balkone oder Hauswände mit Blumenkästen dekoriert werden, kann eine Spundwand mit **Biotopkästen** verschönert werden. Diese variieren hinsichtlich ihrer Baustoffe, ihrer Formen, Farbtöne und Anordnungen und können beliebig miteinander kombiniert werden.

Die Biotopkästen werden entweder in Höhe des Wasserspiegels oder unterhalb der Wasseroberfläche angebracht, je nachdem ob sie für Sumpfpflanzen oder reine Unterwasserpflanzen gedacht sind. Alternativ zu den Biotopkästen kann man sich für ein System entscheiden, das im Wellental der Spundwand eingebaut ist.

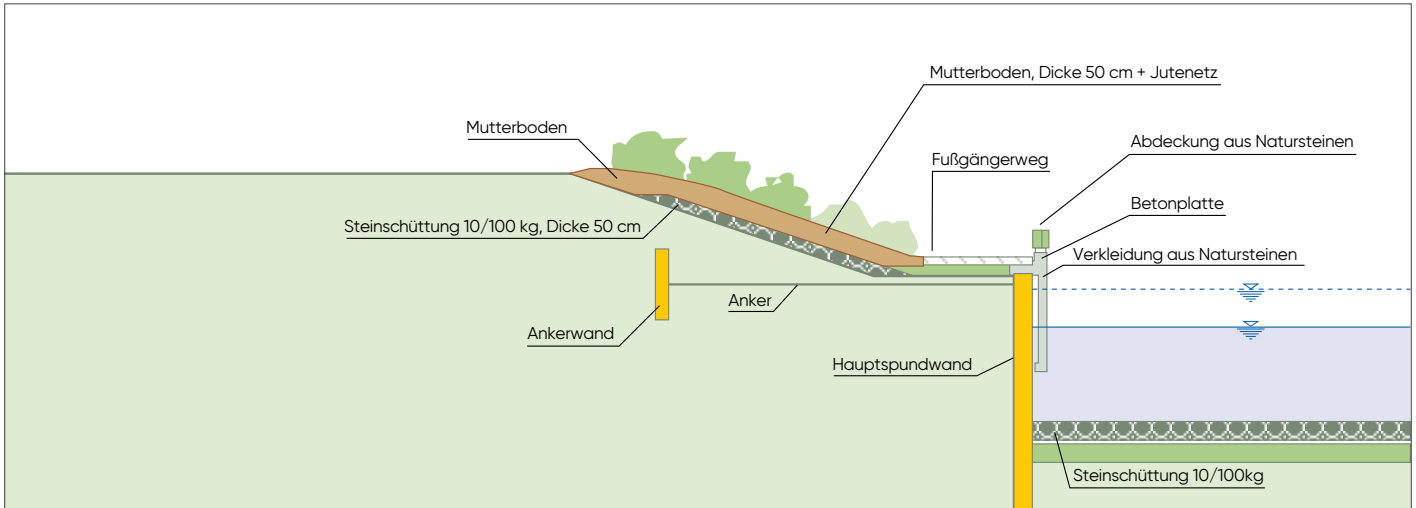


Nervaux-Kanal, Troyes, Frankreich



Radunia-Kanal, Danzig, Poland





Aspekte zur Ufergestaltung

Bei der Verkleidung und/oder Begrünung der Spundwände muss einer Reihe von Aspekten Rechnung getragen werden:

- Zur Gründung eines Mauerwerks kann ein angeschweißtes Stahlprofil oder ein Betonfundament dienen.
- Beim Bemessen der Verkleidung müssen mögliche Anpralllasten berücksichtigt werden – sowohl auf der Wasser- als auch auf der Landseite.
- Eventuell müssen die Sickerhohlräume der Spundwand ausgefüllt werden, damit Anprallstöße direkt auf die Stahlwand übertragen werden. Ein Anstauen von Wasser in diesen Hohlräumen muss auf jeden Fall vermieden werden, da eine solche Wasseransammlung zu Frostschäden, Ausblühungen und Korrosion führen kann.
- Werden metallische Anbauteile unsachgemäß befestigt, kann dies zu Kontaktkorrosion führen.
- Bei beschichteten Stahlspundwänden mit Begrünung ist zu gewährleisten, dass die Beschichtung zugänglich bleibt, da ansonsten die Wartung erschwert wird.
- Holz kommt als Verkleidungsmaterial dann in Frage, wenn es die nötige Dauerhaftigkeit aufweist.

Weitere Informationen zu diesem Thema finden Sie in der Broschüre „Stahlspundwände – Umweltfreundliche und landschaftsgerechte Gestaltung von Uferbefestigungen“.

Literatur

- [1] EAU 2020, Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Uferbefestigungen". Häfen und Wasserstraßen. Ernst und Sohn, 2020.



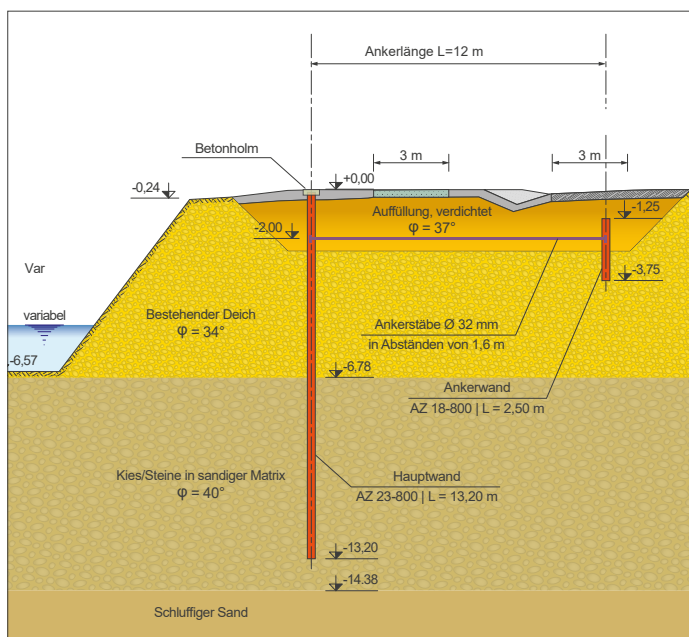
Praxisfall

Deichertüchtigung Saint-Laurent-du-Var | Frankreich



Im Juli 2009 haben der Staat und der Departementsrat der Alpes-Maritimes das erste PAPI (Programm zur Hochwasserprävention) für das untere Var-Tal ins Leben gerufen, dessen vorrangige Maßnahmen einen 500 m langen Deich zum Schutz vor Hochwasser mit einer Durchflussmenge von 3.800 m³/s umfassen. Nach der Genehmigung des PPRI (Plan zur Vorbeugung von Hochwasserrisiken) im Jahr 2011 sah das 2013 unterzeichnete PAPI 2 vor, den Schutz in Saint-Laurent-du-Var um 1.100 m auszuweiten. Die Gesamtlänge des zu ertüchtigenden Deiches am rechten Flussufer beträgt somit 1,6 km. Das Projekt betrifft 2.000 Einwohner, Gewerbegebiete, öffentliche Einrichtungen und das Stadtzentrum. Bereits 2010 wurden am linken Ufer der Deich der Autobahn A8 erhöht und der sogenannte MIN-CADAM-Deich verstärkt.

Die Ertüchtigung erfolgt mittels einer rückverankerten Spundwand. Als Hauptwand wurde ein Profil **AZ 23-800** in Längen von **12,7 m bis 14,5 m** und als Ankerwand ein Profil **AZ 18-800** in Längen von **2,5 m bis 7,5 m** gewählt. Das Gesamtgewicht beläuft sich auf **2.315 Tonnen**. Der Abstand zwischen den beiden Wänden beträgt 12 m, und die Horizontalanker sind in Abständen von 1,6 m angebracht. Das Projekt erstreckt sich vom Parkplatz des Kreisverkehrs Jean Aicard am oberen Ende bis zum Kreisverkehr Pierre de Coubertin am unteren Ende. Die Spundwände sollen die Stabilität der Deiche gegenüber Bruchgefahren (äußere Erosion, innere Erosion, Überlaufen und allgemeine Instabilität) bei einem außergewöhnlichen Hochwasser $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ gewährleisten.



Querschnitt

Die im Juli 2016 begonnenen Arbeiten umfassten auch die Anbringung von Schutzvorrichtungen aus Steinschüttungen und Gabionenmatten, die Neugestaltung der Ausläufe der Regenwasserbauwerke und die Landschaftsgestaltung, wodurch entlang des gesamten Deiches eine begrünte Fläche entstand.

Die beiden Spundwände wurden auf unterschiedliche Weise mit zwei verschiedenen Rammereinheiten hergestellt. Die Hauptwand wurde stoffelweise eingebracht. Die erste Rammereinheit bestand aus einem freihängenden Vibrationsbären **PTC 32HFV** mit einer Doppelzange Duplex 2 x 55t, einem hydraulischen Rüttler **ICE 28 RF** mit einer Einfachzange 200TU sowie einem Dieselhammer **Delmag D 19-52** mit einer geeigneten Rammhaube, die von ArcelorMittal zur Verfügung gestellt wurde. Die Ankerwand wurde fortlaufend mit einem hydraulischen Baggeranbauvibrationsbär **Movax SPH80** eingerammt, welcher auf einem 27-Tonnen-Hydraulikbagger montiert war. Die zweite Rammereinheit bestand aus einem freihängenden Vibrator **PTC 23HFV**, einem Dieselhammer **Delmag D 30** zum Einrammen der Spundbohlen der Hauptwand und einem auf einem Hydraulikbagger montierten hydraulischen Rüttler der Marke Dawson zum Einbringen der Ankerwand. Während der gesamten Dauer der Spundwandrammung wurde eine Schwingungsüberwachung durchgeführt.

Die Drucksondierungen ergaben eine Aufschüttungsschicht mit schwachen bis mittleren mechanischen Eigenschaften, gefolgt von einer Schicht aus Kies und Steinen in einer sandigen Matrix. Die Grenzdruckwerte dieser Schicht lagen über 3 MPa und überschritten an einigen Stellen 5 MPa.

Um die ursprünglich für das Projekt vorgesehenen AZ 24-700-Profile zu ersetzen, wurden im Juni 2016 vorläufige Rammversuche mit AZ 20-800-0,5-, AZ 23-800 und AZ 25-800 durchgeführt, um das gute Verhalten der Spundbohlen der brandneuen AZ[®]-800-Reihe in kompakten Böden zu bestätigen. Letztendlich konnten durch Ersatz der AZ 24-700 durch die AZ 23-800, einem gleichwertigen, aber wesentlich leichteren Profil, Einsparungen von fast 14 % erzielt werden.

Eine weitere Besonderheit des Bauvorhabens war die Verwendung einer **exzentrischen Verankerung** aus GEWI-Stäben mit einem Durchmesser von 32 mm, die ein besonderes Nachweisverfahren erforderte, basierend auf einer Berechnungsmethode, die von ArcelorMittal in Zusammenarbeit mit dem Institut für Stahlbau der Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH) entwickelt wurde.

Die Rammarbeiten begannen 2016 und wurden 2017 abgeschlossen.

Praxisfall

Sturmflutsperrwerk Nieuwpoort | Belgien

Sturmfluten gehören zu den bedeutendsten Naturgefahren in der Nordseeregion. Besonders Küstenhäfen sind bei schweren Sturmereignissen stark durch Überschwemmungen gefährdet. Um die Küste und das Hinterland vor schweren Stürmen besser zu schützen, hat die flämische Regierung 2011 den *Masterplan für Küstensicherheit* genehmigt. Dieser Plan sieht den Bau einer Sturmflutsperranlage an der Mündung des Flusses Yser in Nieuwpoort vor. Nach umfassenden Studien hierzu wurde ein Tor mit einer Breite von 38 Metern ausgewählt.

Das bewegliche Stahltor ist eine Konstruktion, die sich um eine horizontale Achse dreht. Im Ruhezustand ist das Tor in einem Betonfundament am Grund der Yser verankert. Das Stahltor dreht sich zwischen zwei Stahlgussführungen, die in Betonwiderlagern am Ufer der Yser verankert sind.

Bei Flut erreicht der Wasserspiegel 5 Meter über dem mittleren Niedrigwasserstand (MNW). In Kombination mit einem schweren Sturm, der durchschnittlich zweimal im Jahr auftritt, kann er auf über 6 m MNW ansteigen. In diesem Fall wird das Tor um 90 Grad gedreht und verschließt so den Zugang zum Hafen. Das Sperrtor kann sogar einen Anstieg von bis zu 8 Metern bewältigen, aber diese Situation tritt statistisch gesehen nur einmal in tausend Jahren auf. Bei der Planung der Infrastruktur wurde ein Anstieg des Meeresspiegels um 80 cm bis zum Jahr 2100 berücksichtigt.

Zu Wartungszwecken kann das Sperrtor um 180 Grad in die horizontale Wartungsposition gedreht werden. Neben dem Tor werden in den Widerlagern große seitliche Kanäle (Bypass-Durchlässe) gebaut. Diese können zusätzliche Abflüsse aufnehmen, wodurch die Strömungsgeschwindigkeit bei Springflut unter 3 Knoten gehalten und die Einwirkung auf den Freizeitbootverkehr begrenzt wird.

Die beiden Baugruben für die Widerlager wurden aus kombinierten Spundwänden hergestellt. Jede Baugrube bestand aus 53 Rohren $\varnothing 1.420 \times 21,6$ mm in S 460 MH, 31,5 m lang, und Spundbohlen AZ 28-700 in S 240 GP, 26,5 m lang.

Die Rohre wurden mit einem Vibrationshammer PVE 2350 VM eingebracht und mit einem IHC-Hydrohammer S150 auf die endgültige Tiefe gerammt. Aufgrund des hohen Wasserdrucks auf die kombinierte Spundwand wurden die C6-Schlösser der Rohre und die mittleren Schlösser der Spundbohlen mit dem Dichtungsmittel **Beltan® Plus** verfüllt.

Für jede Grube wurden 42 Rohr-Fundamente $\varnothing 1.270 \times 16$ mm in S 355 J0 mit einer Länge von 12,9 m und einer Überlänge von 8,6 m zum Einrammen mit einem Vibrationshammer oberhalb des Wasserspiegels eingebracht. Mit einem PVE 250M Vibrationshammer wurden sie anschließend 9 m tief in den tertiären Lehm gerammt.

Die Rohre wurden ausgebaggert und teilweise mit Beton verfüllt. Auf der kombinierten Spundwand wurde ein Verstrebungssystem mit Rohren $\varnothing 1.067 \times 14$ mm als Druckstreben und HEM700-Gurten / Gurtungen installiert.

Nach dem Aushub der Baugrube wurde eine 2 m dicke Schicht Unterwasserbeton gegossen. Anschließend konnte die Grube auf ein Niveau von -12,6 m TAW entwässert werden. Die Fundamentrohre wurden auf der Höhe von -12,6 m TAW abgeschnitten und eine 3 m dicke Betonbodenplatte gegossen. Die abgeschnittenen Rohrteile wurden zur Herstellung der Fundamente der zweiten Baugrube wiederverwendet.

Im April 2022 wurde die 4.500 t schwere Stahlbetonschwelle zwischen beiden Widerlagern eingebaut. Neben den Baugruben wurden weitere kombinierte Spundwände, Spundwände und Rohre für die Kaimauern an beiden Ufern, Strömungsleitwänden, eine Baugrube für die Umlaufkanäle, ein Unterstromschutz, Leitwerken und Dalben installiert.

Das Projekt begann im Februar 2018 und wurde 2025 abgeschlossen.



EcoSheetPile™ Plus

SmartSheetPile

ArcelorMittal Commercial RPS S.à r.l.
Spundwand

66, rue de Luxembourg
L-4221 Esch-sur-Alzette (Luxembourg)

E spundwand@arcelormittal.com
spundwand.arcelormittal.com

 Hotline: (+352) 5313 3105

 ArcelorMittalSP

 ArcelorMittal Sheet Piling