

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Hechler, Oliver; Gregor, Oliver; Weber, Ernst**

## **Bewertung von technischen Lösungen im modernen Hafengebäude**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107090>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Hechler, Oliver; Gregor, Oliver; Weber, Ernst (2020): Bewertung von technischen Lösungen im modernen Hafengebäude. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Interdisziplinärer Wasserbau im digitalen Wandel. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 63. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 461-471.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# **Bewertung von technischen Lösungen im modernen Hafenanbau**

Oliver Hechler  
Oliver Gregor  
Ernst Weber

Um Investitionen in den Hafenanbau optimal und nachhaltig einzusetzen ist es wichtig, eine Bewertungsmethode zu entwickeln, die es erlaubt, unterschiedliche Bauweisen von der Konzeptstudie bis zum Ende der Nutzungsdauer zu vergleichen.

Weltweit sind verschiedene Bauverfahren für die Ausführung von Kaiwänden standardisiert, wie z. B. Schwergewichtsmauern, Pfahlrost- oder rückverankerte Wandkonstruktionen. Besonders in den Niederlanden und in Deutschland werden häufig kombinierte Spundwandssysteme eingesetzt.

Verschiedene Faktoren sind für die Wahl des Entwurfs (Lösung bzw. Baumaterial), die Bemessung und den Bau von Kaiwänden zu berücksichtigen. Neben den geologischen Bedingungen sind Tide, äußere Lasten aus Kranbetrieb und Lagerflächen sowie verfügbare Baugeräte relevant. Auch beeinflussen lokale Erfahrungen die Entscheidung über das Bauverfahren. In jedem Fall müssen die Rückhaltefunktionen für Boden und Wasser, Lastabtragung von Verkehrslasten und sicheres Anlegen von Schiffen sowie rasches Be- und Entladen erfüllt werden.

Eine von Tractebel (Belgien) durchgeführte Studie untersucht die Einflüsse verschiedener Faktoren im Hinblick auf Planung, Kosten und Umwelteinwirkungen von Seehäfen. Sie legt Vorschläge zu Kriterien vor, die die Identifizierung und Quantifizierung der Stärken und Schwächen verschiedener Konstruktionsweisen erlauben. In einem ersten Schritt werden die Bauweisen Stahlspundwand und Schlitzwand zum Bau eines Kreuzfahrtterminals miteinander verglichen.

In dieser Studie wurden umfassende Ansätze für ein System zur wirtschaftlichen und ökologischen Bewertung von Kaimauern im Hafenanbau über deren gesamten Lebenszyklus entwickelt. Insgesamt lässt sich feststellen, dass für die betrachteten Einzelfälle eine Bewertung bereits möglich ist.

Stichworte: Hafenanbau, Kaimauer, Spundwand, Schlitzwand, Bewertung, Lebenszyklus, Kosten, Umwelteinwirkung

## 1 Einleitung und Motivation

Der weltweite Güterverkehr wächst kontinuierlich. Nicht nur die Anzahl der eingesetzten Schiffe, sondern auch deren Größe nimmt stetig zu. Nach Schätzungen des BWMi werden die Umschlagvolumina der 19 größten deutschen Seehäfen von 269 Mio. Tonnen in 2010 auf ca. 468 Mio. Tonnen in 2030 steigen. Auch in der Wertschöpfungskette der Offshore-Windenergie nehmen Häfen eine zentrale Stellung ein. Für den Bau von Offshore-Windparks sind Häfen der Knotenpunkt, den alle Anlagenteile passieren müssen. Leistungsfähige Häfen mit bedarfsgerechter Hinterlandanbindung sind wesentliche Voraussetzungen für die maritime Logistik. Ein sukzessiver Ausbau der Häfen ist damit unverzichtbar.

Neben der raschen Entwicklung bei den Schiffsgrößen ist der Klimaschutz ein treibender Faktor zur Aufwertung von bestehenden Strukturen und/oder Motivation zu neuen Projekten. So musste beispielsweise die Hauptdeichlinie in Hamburg von 1962 bis heute um rund 2,50 m erhöht werden. Für die Zukunft ist ein weiterer, deutlicher Anstieg des Meeresspiegels zu erwarten. In den Niederlanden wird für aktuelle Maßnahmen ein Szenario mit einem angenommenen Meeresspiegelanstieg um 0,85 m bis 1,30 m im Jahr 2100 zu Grunde gelegt. Allerdings mehren sich Erkenntnisse und Einschätzungen, dass der Anstieg des Meeresspiegels schneller ablaufen und damit im Jahre 2100 deutlich höher ausfallen könnte.

Die European Sea Ports Organization schätzt, dass die Investitionspipeline für internationale Häfen im Zeitraum 2018 - 2027 rund 5 Mrd. EUR pro Jahr betragen wird. Die United Nations Conference on Trade and Development überschlägt, dass, auch aufgrund des Klimawandels, in den nächsten 50 Jahren bis zu 500 Mio. US-Dollar pro Seehafen investiert werden müssten, um die globalen Hafen- und Wasserstraßenstrukturen sowie die Hochwasserschutzsysteme zu verbessern.

## 2 Bewertung von Ausführungsvarianten einer Kaiwand

Um die Finanzmittel optimal und nachhaltig einzusetzen ist es wichtig, eine Bewertungsmethode für den Hafenaufbau zu entwickeln, die es erlaubt, unterschiedliche Bauweisen von der Konzeptstudie bis zum Ende der Nutzungsdauer zu vergleichen. Hierzu wurde ein Kriterienkatalog für Kaiwände im Rahmen einer Untersuchung der Abteilung Wasserbau des belgischen Ingenieurbüros Tractebel, in Zusammenarbeit mit ArcelorMittal, vorgeschlagen. Dabei wurden baupraktische Fragen, ökonomische Faktoren, Betriebskosten

und Umweltaspekte betrachtet. Ziel war es, Optimierungspotentiale aufzuzeigen und zu bewerten, damit diese bereits in der Planung anstehender Projekte berücksichtigt werden können.

Als Kriterien zur Bewertung von Bau und Betrieb einer Kaiwand wurden Herstellungskosten, Bauzeit, Instandhaltungs- bzw. Wartungskosten, Rückbaukosten, Wirtschaftlichkeit und Umwelteinwirkung identifiziert. Diese werden maßgeblich von der nautischen Lage des Hafens (z.B. für Kosten und Transportwege) und der Nutzung der Kaiwand sowie die damit verbundenen geometrischen Anforderungen, Bodenprofil als auch Einwirkungen und Bemessungsnormen beeinflusst. Zusätzlich sind Baujahr und Lebensdauer zu berücksichtigen. Mit Wahl der Bauweise (Materialien, statisches System und Ausführung, z.B. von Land oder Wasser aus) ergeben sich somit Planungsaufwand, Kosten für Baustelleneinrichtung und Baufelddräumung, Allgemeinkosten der Baustelle und Kosten der Bauausführung. Die Bewertung erfolgt mittels qualitativer und quantitativer Faktoren, welche die neuesten Entwicklungen für sicheres und nachhaltiges Bauen berücksichtigen.

### 3 Vergleich von Ausführungsvarianten einer Kaiwand

#### 3.1 Beschreibung des Vergleichsprojekts und Annahmen

Um die Bewertungsmethode zu testen wurde ein Vergleich von Ausführungsvarianten durchgeführt. Dazu wurde das Beispiel des Neubaus einer 200 m langen Kaiwand für ein in Zentral- oder Nordeuropa (Antwerpen) gelegenes Kreuzfahrt-Passagier-Terminal gewählt. Baubeginn ist 2020 und die Lebensdauer wurde auf 50 Jahre festgelegt. Die Bemessung der Alternativen erfolgte nach EN 1997, Nachweisverfahren 1, unter Annahme von Korrosionsverlusten gemäß EN 1993-5, einem Tidehub von 3,0 m, keiner seismischen Aktivität und geringer Wellen- und Strömungsbelastung. Die zusätzlichen Lasten umfassen eine gleichmäßig verteilte Last auf dem Kai von  $20 \text{ kN/m}^2$  sowie Halte- und Annelasten nach BS 6349. Die laterale Verformung wurde nicht eingeschränkt. Es wurden allgemein verfügbare Baustoffe gewählt (Spundwand nach EN 10248, Stahlbetonbauteile in Klasse C40/50, Bewehrungsstahl der Güte 500 C, die Stahllanker mit Materialfestigkeit von 500 MPa und die Verpressanker aus Stahlzuggliedern der Güte 1770 MPa aus Spanndrahtlitzten mit 15,3 mm Durchmesser). Unterschiede in Deckwerk, Befestigungen und Anbauten sind nicht Bestandteil der Studie. Der Kolksschutz vor der Kaiwand zur Verhinderung von Erosion des Meeresbodens ist enthalten. Herstellung erfolgt landseits, unter der Annahme üblicher Bauausführung, ohne besondere Einschränkung. Aushubtoleranzen und überhöhter Aushub (Nassbagge-

rei) sind im minimalen Aushubniveau enthalten. Weitere Angaben und Annahmen können [Tractebel 2019] entnommen werden. Ein Entwurf der Kaiwand in Spundwandbauweise mit Ankerwand ist in Abbildung 1 dargestellt. Im Folgenden wird die Vergleichsstudie verkürzt vorgestellt.

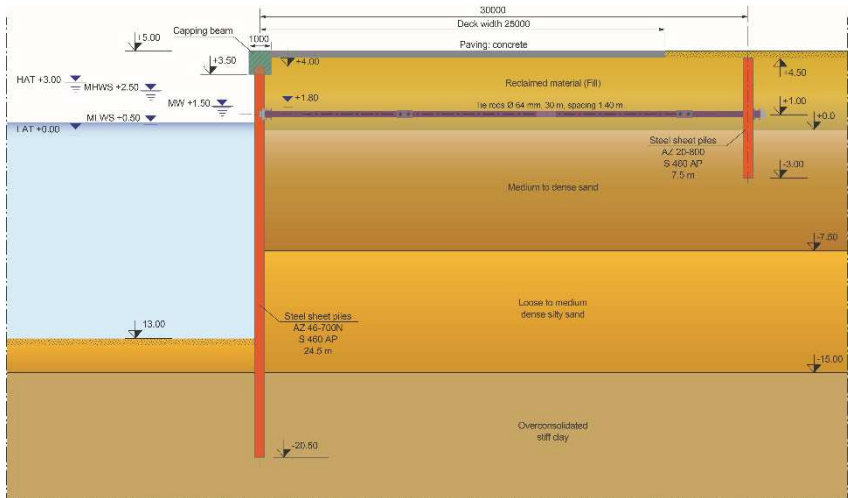


Abbildung 1: Entwurf einer Kaiwand in Spundwandbauweise [Tractebel 2019]

### 3.2 Herstellungskosten

Die Einheitskosten wurden bestehender Datenbanken entnommen, die Informationen von Händlern, Baufirmen und veröffentlichte Preisangaben [SPON's book 2018] beinhalten. Sie wurden mit Hilfe des europäischen Baupreisindex sowie der Inflationsrate der letzten 10 Jahre angepasst. Die in Tabelle 1 aufgeführten Annahmen sind den Einheitspreisen zugrunde gelegt. Die Ergebnisse der Berechnung sind in Abbildung 2 dargestellt.

Die Gesamtkosten für die betrachtete Kaiwand in Spundwandbauweise wurden zu 6 Millionen €, für die Schlitzwandbauweise zu 6,9 Millionen € ermittelt. Somit ergibt sich für die Ausführung in Spundwand eine Kostenersparnis von 13% gegenüber der Ausführung als Schlitzwand.

Das Stahlmaterial der Haupt- und Ankerwand stellt den größten Anteil an den Baukosten für die Spundwand dar und beträgt etwa 2,2 Millionen € (38%). Zusätzlich werden 1,03 Millionen € (17%) für Erdarbeiten aufgewendet, gefolgt von 540.000 € für Stahlbetonarbeiten.

Für die Schlitzwand entfallen ca. 2,6 Millionen € (38% der Gesamtkosten) auf die bewehrte Betonkonstruktion. Die Kosten für die Erdarbeiten liegen etwas höher als bei der Spundwandausführung bei 1,1 Millionen € (16%).

**Tabelle 1:** Annahmen zu den Einheitspreisen [Tractebel 2019]

Position	Annahme
Stahlpundwände (SSP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materialpreis inklusive Transportkosten im Umkreis von 100 km, ohne Beschichtung oder andere Oberflächenbearbeitung.</li> <li>- Einbaupreis für Maschinen mit Bedienung von Land, Auf- und Umbaukosten, sowie Wartezeiten.</li> </ul>
Anker	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mit Beschichtung, Kupplungsstücke, Hüllrohre, Abdeckungen, Transportkosten.</li> <li>- Bohren inkl. Maschinentransport und Entsorgung des Bohrguts.</li> <li>- Einbau und Verpressen: Maschinen-, Arbeits- und Transportkosten.</li> </ul>
Erdarbeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nassbagger: Mobilisierung in der Nähe der Baustelle (25km), Kosten für Maschine mit Bedienung, tägliche An- und Abfahrt, Arbeit in 12 Stunden Schichten mit bis zu 10.000m<sup>3</sup>; Aushubmaterial unbelastet, wird entweder auf Baustelle deponiert oder weiterverwendet.</li> <li>- Erdarbeiten im Fels (Bodenklasse 6-7): mit schwerem mechanischen Gerät und Kontrolle der entstehenden Vibrationen.</li> <li>- Füllmaterial: Kies/Sand Gemisch mit enger oder weiter Sieblinie, ohne Feinanteile, Lieferung aus der Nähe der Baustelle.</li> <li>- Schlitzwand: Bentonitanlage, Lagerung und Entsorgung Aushubmaterial.</li> </ul>
Schlitzwand	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstellung inklusive Baus einer Arbeitsplattform (wird am Bauende verfüllt).</li> </ul>
Betoneinbau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sämtliche notwendigen Maschinen und Wartezeiten.</li> <li>- Schalung mit Liefern und Einbau, bis Höhe 3,5 m, Oberflächenbeschaffenheit F1.</li> </ul>
Ausrüstung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 m Tiefe Fender mit UMHWPE Teilen.</li> <li>- "Additional furniture" (zusätzliche Einrichtung): Liefern und Einbauen von Leitern, Kantenschutz, Rettungsringen, Beleuchtung und ähnlichem.</li> </ul>
Rückbau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planungen, Zugang und Sicherheitskosten und temporäre Bauarbeiten</li> </ul>

### 3.3 Kosten für den Rückbau

In verschiedenen Ländern der Erde hat der Verursacher des Bauwerks später auch für dessen Beseitigung die Verantwortung zu tragen. Deshalb wurde der Rückbau in die Bewertung mit aufgenommen. Der Rückbau erfolgt nach dem Schema: Aushub hinter der Verbauwand (Vermeidung von strukturellem Versagen); Rückbau der bestehenden Strukturen; Nass- oder Trockenbaggerei von Restmassen (nur Schlitzwand). Der Abbruch „Stahlbeton“ umfasst den Einsatz von Abbruchwerkzeugen und Brechern, sowie die Trennung von Stahl und Beton. Des Weiteren wird angenommen, dass die Schlitzwand nur bis zur Hafensohle abgebrochen wird, und alle tiefer liegenden Teile der Wand im Boden verbleiben. Für die Spundwand wird angenommen, dass 90% des Materials wiedergewonnen werden kann. Die Bewertung erfolgt zum Schrottpreis. Die Abbruchkosten beinhalten Zeiteffekte und es wird ange-

nommen, dass die Preise sich ähnlich der der Kapitalverzinsung erhöhen. Basierend auf dem internen Datenbestand von Tractebel und den getroffenen Annahmen können die Kosten für den Rückbau nach 50 Jahren gemäß Tabelle 2 abgeschätzt werden, woraus sich ein zusätzlicher Kostennachteil für die Schlitzwand im Vergleich zur Spundwandbauweise ergibt.

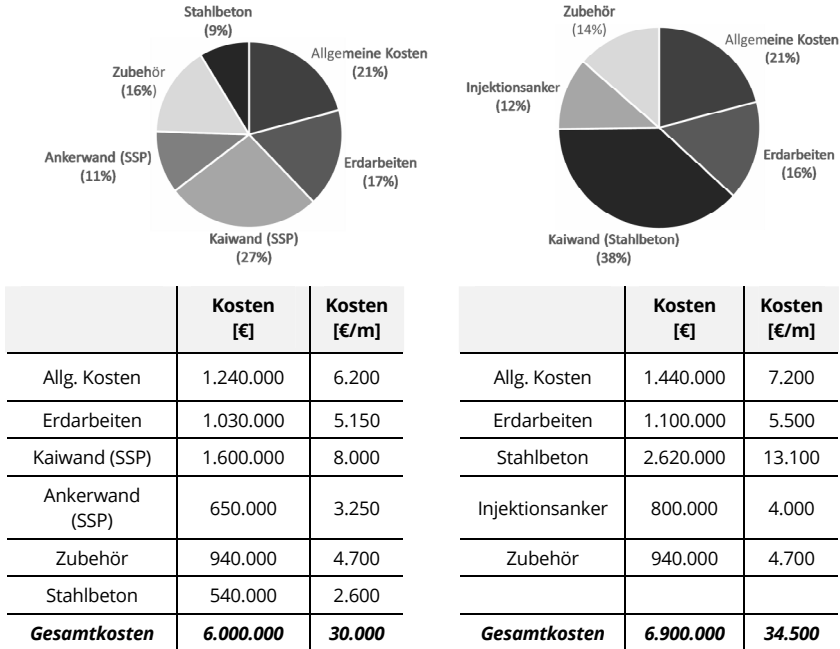


Abbildung 2: Kostenvergleich der reinen Baukosten: Spundwand (SSP) - Gesamtkosten 6,0 Mio. €, Schlitzwand - Gesamtkosten 6,9 Mio. € [Tractebel 2019]

Tabelle 2: Kostenzusammenstellung für den Rückbau [Tractebel 2019]

Entstehungsjahr	Spundwand [€]	Schlitzwand [€]
2020	387.500	910.300
2070	1.713.500	4.936.300

### 3.4 Bauzeit

In der vorliegenden Studie wurde die Bauzeit als Wert „laufende Meter Wand pro Arbeitstag“ definiert. Dies beinhaltet den Bau der eigentlichen Kaiwand sowie aller notwendigen Nebenarbeiten wie Erdarbeiten, Baubehelfe und Temporärbauwerke. Nicht eingerechnet sind die Überbauten, Ausrüstungen

und alle nicht direkt notwendigen Arbeiten zur Herstellung des Hauptbauwerks. Der Bauzeitenvergleich der Ausführung in Spundwandbauweise zu der als Schlitzwand ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Zeitersparnis der Spundwandausführung beträgt für dieses Beispiel 20%. Sofern Zeiten für den Rückbau zu berücksichtigen sind, wirkt sich dies zusätzlich zu Gunsten der Spundwandbauweise aus.

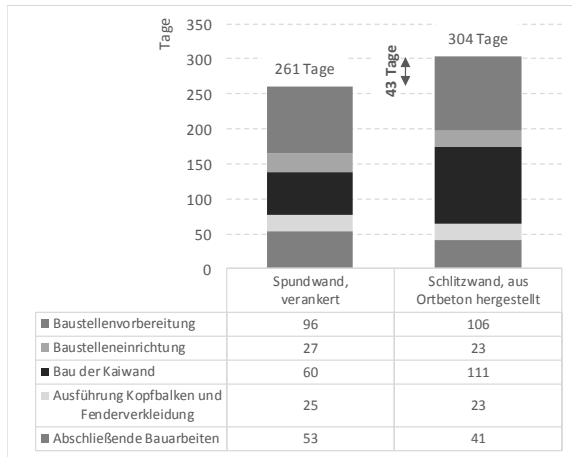


Abbildung 3: Vergleich der Bauzeiten [Tractebel 2019]

### 3.5 Wirtschaftlichkeit

Für den Return-On-Investment (ROI) wird in der vorliegenden Studie näherungsweise die Zeit der Generierung von Gewinnen betrachtet. Die Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit basieren auf der Annahme eines linearen Wachstums von 3% zuzüglich eines Wachstumsfaktors von 1,025 pro Jahr mit Steigerung des Nettogewinns des Terminals nach einem Jahr Betrieb. Die Verzinsung wurde zu 1,6% angenommen. Einflüsse aus Inflation werden nicht einbezogen. Der jährliche operative Gewinn wurde mit 520.000€ abgeschätzt, wobei Kosten für Wartung und Instandhaltung berücksichtigt sind. Es wird weiter angenommen, dass das Anfangskapital des Terminalbetreibers dem maximalen Investitionsvolumen (CAPEX) entspricht. Gewinne einer bestimmten Zeit „j“ werden partiell reinvestiert und generieren wiederum Profite im Zeitraum „j+1“ mit der definierten Verzinsung. Auch werden Einsparungen im ursprünglichen Investitionsplan reinvestiert und generieren Wachstum in der vorgegebenen Wachstumsrate. Daraus ergibt sich, dass die Ausführung mit Spundwand, welche in den Kosten etwa 900.000€ niedriger liegt als die der



Schlitzwand, im Vergleich einen 2 Jahre früheren und somit 20% schnelleren ROI erzielt.

Zusätzlich wurden die Rückbaukosten für die Bauweisen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen. Der Rückbau einer Betonkonstruktion ist um den Faktor 3 teurer als der einer Stahlspundwandlösung, sofern ein vollständiger Rückbau der Betonwand überhaupt möglich ist. In der Studie wird davon ausgegangen, dass der Teil der Schlitzwand unter der Hafensohle im Boden verbleibt.

Neben den geringeren Baukosten für die Ausführung in Spundwandbauweise, verglichen mit der Schlitzwandausführung, erhält man nach 25 Jahren 1,5 Millionen € zusätzlichen Cash Flow, der sich auf 6 Millionen € nach 50 Jahren summiert.

### 3.6 Umwelteinwirkung

Die in der Vergleichsstudie berücksichtigten Ausführungsvarianten wurden auch unter dem Gesichtspunkt der Umwelteinwirkung anhand messbarer Umweltkennzahlen, wie Treibhauspotential ( $\text{CO}_2$ -Äquivalent), während der Lebensdauer der Struktur, sowie Verkehrsstörungen (Belastung des Straßennetzes) während des Baus, analysiert. Die Ökobilanz (LCA) für die Lebensdauer der Struktur wurde mit Hilfe einer „Cradle to Grave“ - LCA mit Optionen ermittelt, die die maßgeblichen Phasen der Ökobilanzen von Bauprodukten berücksichtigt. Sofern verfügbar, wurden die Daten aus Umweltproduktdeklarationen (EPD) verwendet, wobei das Potenzial der Recyclingfähigkeit (Option: Modul D) berücksichtigt wurde. Sofern keine EPD vorlag, wurden die Sachbilanzen aus zuverlässigen Datenbanken und aus durch Fachleute überprüfter Literatur entnommen. Für angesetzte Geräte und Ausrüstung zur Wartung sowie Geräte zum speziellen maritimen Einsatz wurden die Werte spezifischen Quelldatensätzen entnommen. Zur Abschätzung der Auswirkungen infolge der Transporte wurde angenommen, dass sich vor Ort ein Betonwerk in einem Umkreis von 10 km befindet. Die Anlieferung des Betons erfolgt mittels Mischfahrzeugen mit einer Kapazität von  $12 \text{ m}^3$ . Die Spundwände werden mit der Bahn von Esch-Belval, Luxemburg, angeliefert. Wann immer Informationen zu den ergänzenden Effekten (Wiederverwendung oder Recyclingfähigkeit) nicht in der EPD enthalten waren, wurde die Substitutionsmethode angewendet [Hammond and Jones, 2008]. Die damit verbundenen Emissionen für die Baumaterialien wurden entsprechend dem jeweiligen Produktpotential angepasst, das am Ende ihrer Lebensdauer recycelt werden kann. Die Schlitzwand wurde als bis zur Hafensohle im Boden

verbleibend angenommen, da ein Rückbau der Schlitzwand unterhalb als mit vertretbarem Aufwand nicht möglich eingeschätzt wurde.

Es ist anzumerken, dass sich der Beitrag der Betriebs- und Wartungsphase zur Ökobilanzierung verringert, sofern keine energieintensiven Systeme, wie z. B. Kathodischer Korrosionsschutz durch Fremdstrom, eingesetzt werden [Rens 2013].

Die Analyse der Daten für eine Kaimauer, in den oben definierten Anwendungsgrenzen, ergibt, dass das globale Treibhauspotential z. B. der Spundwandlösung mit Verankerung im Vergleich zu einer aus Ort beton hergestellten Schlitzwand um 25% niedriger ist. Zur Darstellung der Ergebnisse, siehe Abbildung 4, wurde das Treibhauspotential in k€ gemäß der Monetarisierungsmethode von DUBOCALC ausgedrückt. Diese Methode wird in den Niederlanden zur Bewertung der ökologischen Qualität angewendet und wurde speziell für die EMAT-Beschaffungsstrategie (Economically Most Advantageous Tender – Bewertung für die Vergabe öffentlicher Ausschreibungen zur besseren Erfassung des Wert/Preis-Verhältnisses) entwickelt. Es werden dabei 50 € pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent in der Bewertung angesetzt.

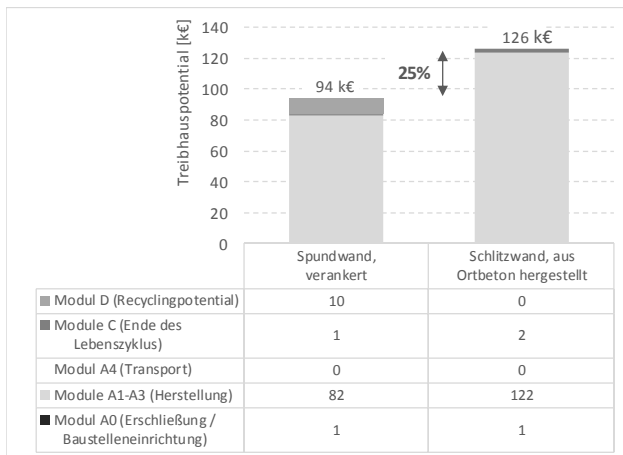


Abbildung 4: Vergleich des monetarisierten Treibhauspotentials [Tractebel 2019]

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

International werden in den nächsten Jahren hohe Investitionen zur Erhaltung und Erweiterung von Hafen- und Wasserstraßenstrukturen sowie Hochwasserschutzsystemen benötigt. Ein optimaler und nachhaltiger Einsatz der erforderlichen Mittel ist demnach unerlässlich. Bewertungsmethoden von Lösungen z. B. im Hafenaufbau sind demnach zu entwickeln, die es erlauben, unterschiedliche Bauweisen von der Konzeptstudie bis zum Ende der Nutzungsdauer zu vergleichen.

Eine von Tractebel (Belgien) durchgeführte Studie zur Bewertung von Kaiwänden definiert Kriterien und erfasst die Einflüsse relevanter Faktoren im Hinblick auf Planung, Preis (LCC) und Umwelteinwirkung (LCA). Sie erlaubt somit eine Identifizierung und Quantifizierung der Stärken und Schwächen verschiedener Konstruktionsweisen. In einem ersten Schritt wurde die Bauweise Stahlspundwand mit der Schlitzwandbauweise zum Bau eines Kreuzfahrtterminals in einem Nordeuropäischen Hafen diesbezüglich verglichen. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Spundwandbauweise 13% günstiger als die Betonbauweise ist, eine 20% schnellere Bauausführung erlaubt und bis zu 25% weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen erzeugt. In der Studie von Tractebel wurden somit umfassende Ansätze für ein System zur wirtschaftlichen und ökologischen Bewertung von Kaimauern im Hafenaufbau über deren Lebenszyklus entwickelt. Insgesamt lässt sich feststellen, dass für die betrachteten Einzelfälle eine Bewertung bereits möglich ist.

## 5 Literatur

- Tractebel (2019): SIMIn Ports and Harbours: The Formula for Steels of the Future. ArcelorMittal Internal Report.
- CRC Press (2017): Spon's Architects' and Builders' Price Book 2018. ISBN-13: 978-1138091634
- EPDs. Institut Bauen und Umwelt e.V. <https://ibu-epd.com/veroeffentlichte-epds/>: ArcelorMittal, EcoSheetPiles™ (2018); ArcelorMittal, Rebar (2016); Beton der InformationsZentrum Beton GmbH, Druckfestigkeitsklasse C 35/45 (2018)
- G.P. Hammond, C.I. Jones (2008): Embodied energy and carbon in construction materials, Proc. Instn Civil Engrs: Energy, 161 (2): 87-98
- International Association of Ports & Harbors (2009): World Ports Climate Initiative. (WPCI) Update. 98<sup>th</sup> AAPA Annual Convention.

Rens, K. (2013): Sustainable Approach for Optimal Steel Sheet Pile Structure Assessment, Maintenance, and Rehabilitation. Journal of Performance of Constructed Facilities, Volume 27 Issue 2

Software tool for calculation of sustainability and environmental design variants of ground, road and water works. <https://www.dubocalc.nl/en/>

Autoren:

Dr.-Ing. Oliver Hechler  
Dipl.-Ing. Ernst Weber

Dipl.-Ing. Oliver Gregor

ArcelorMittal Sheet Piling  
66, Rue de Luxembourg  
L-4221 Esch-sur-Alzette  
Luxembourg

ArcelorMittal Commercial Long Deutschland GmbH, Spundwand, Techn. Büro  
Eilper Straße 71-75  
D-58091 Hagen

Tel.: +352 5313 3105  
E-Mail: [spundwand@arcelormittal.com](mailto:spundwand@arcelormittal.com)

Tel.: +49 2331 3709 47  
E-Mail: [oliver.gregor@arcelormittal.com](mailto:oliver.gregor@arcelormittal.com)