

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Hein, Christian**

## **Anlegegeschwindigkeiten von Großcontainerschiffen**

Deutsche Beiträge. Internationaler Schifffahrtskongress (PIANC)

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

**PIANC Deutschland**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104916>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Hein, Christian (2014): Anlegegeschwindigkeiten von Großcontainerschiffen. In: PIANC Deutschland (Hg.): Deutsche Beiträge. 33. Internationaler Schifffahrtskongress; San Francisco, USA, 01. - 05. Juni 2014. Bonn: PIANC Deutschland. S. 1-5.

### **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.



## Anlegegeschwindigkeiten von Großcontainerschiffen

Dipl.-Ing. Christian Hein  
bremenports GmbH & Co. KG, Bremerhaven

### Zusammenfassung

Bei der Ermittlung und Auswertung von real gemessenen Anlegegeschwindigkeiten von Großcontainerschiffen konnte zumindest für den als exponiert geltenden Standort Bremerhaven festgestellt werden, dass die mittleren Anlegegeschwindigkeiten deutlich unter den Angaben der Bemessungsempfehlungen liegen. Insbesondere bei der Größe der Anlegewinkel sind deutlich geringere Werte gemessen worden, als die heute geltenden Empfehlungen ausweisen. Falls es durch die geschilderte Betrachtungsweise einer kumulierten Energiesumme des Gesamtsystems gelingen würde, die aktuellen Bemessungsmethoden anzupassen, könnte dies in Zukunft dazu führen, dass Fendersysteme insbesondere für Großcontainerschiffe deutlich wirtschaftlicher zu planen und realisieren sind.

### 1. Einleitung

Seit der Indienstellung der E-Klasse von der Maersk-Reederei laufen seit dem Jahre 2006 regelmäßig Großcontainerschiffe den Containerterminal Bremerhaven/Deutschland an. Seit einem halben Jahr ist der Hafenstandort nun auch Anlaufpunkt der Triple-E-Klasse, und musste sich mit den gesteigerten Anforderungen durch Anlegemanöver und deren Wirkungen auf die Kajenbauwerke auseinander setzen. Da die deterministischen Bemessungsrichtlinien (PIANC Guidelines for the Design of Fender Systems 2002, Marcom Report of WG 33) [1] für Schiffe dieser Größenordnungen konstante und nicht mehr differenzierte Annäherungsgeschwindigkeit ausweisen, wurde eine Anlage konzipiert, die vollautomatisch in der Lage ist, die realen Anlegegeschwindigkeiten von Großcontainerschiffe zu messen und auszuwerten.

In dieser Ausarbeitung werden die Anlage und ihre Funktionalität beschrieben. Es werden im Anschluss die Ergebnisse aus über 1000 Anlegevorgängen beschrieben und analysiert. Abschließend werden die Ergebnisse der Auswertung mit den Empfehlungen der Bemessungsrichtlinien verglichen und ein Ausblick über mögliche weitere Schlussfolgerungen gegeben.

### 2. Geschwindigkeitsmessanlage

#### 2.1 Anlegegeschwindigkeit

Die Anlegegeschwindigkeit eines Schiffes ist die entscheidende Bemessungsgröße bei der Ermittlung von Anlegeenergien. Mit der berechneten Energie wird letztendlich das erforderliche Arbeitsvermögen der Fender ermittelt, und der Fender dementsprechend ausgewählt. Die Herleitung der deterministischen Bemessungsmethode der PIANC beruht auf der Grundgleichung der kinetischen Energie.

$$E = 1/2 m \cdot v^2 \quad (\text{kinetische Energie})$$

Da die Geschwindigkeitskomponente in der Gleichung quadratisch berücksichtigt wird, können schon geringe Abweichungen bei der Festlegung der Anlegegeschwindigkeit zu großen Differenzen bei den Energiewerten führen.

Für die Bemessung der Anlegeenergie wird im Folgenden die Bemessungsmethode des PIANC-Reports von 2002 [„Guidelines of the Design of Fender Systems“] herangezogen. Seit 2004 ist diese Bemessungsmethode auch in den „EAU – Empfehlungen des Ausschusses Ufereinfassungen“ aufgeführt.

Normale Anlegeenergie (Normal Berthing Energy)

$$E_N = 0,5 \cdot M_D \cdot (V_B)^2 \cdot C_M \cdot C_E \cdot C_S \cdot C_C$$

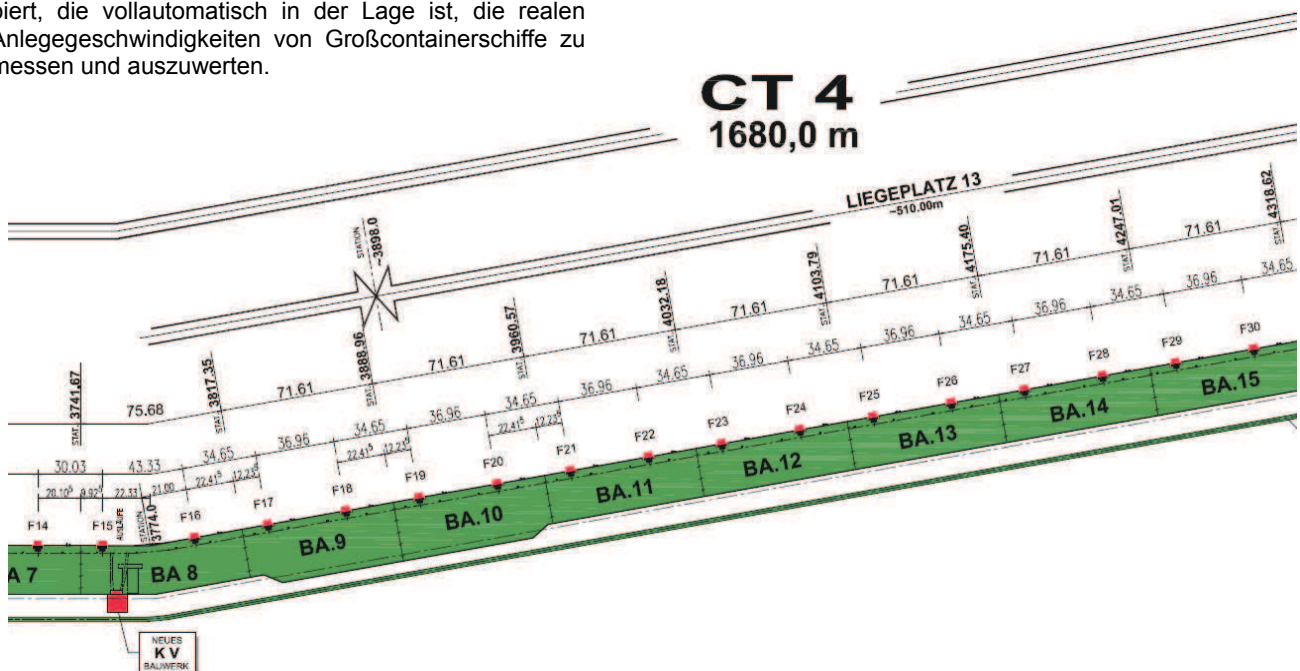


Abbildung 1: Messbereich am CT 4 Bremerhaven (bremenports)

Hierbei ist:

- M<sub>D</sub>** = Schiffsverdrängung in t (Displacement)
- V<sub>B</sub>** = Anlegegeschwindigkeit in m/s (Berthing Velocity)
- C<sub>M</sub>** = Koeffizient des virtuellen Massenfaktors (Added Mass Coefficient)
- C<sub>E</sub>** = Exzentrizitätskoeffizient (Excentricity Coefficient)
- C<sub>S</sub>** = Dämpfungsfaktor des Uferbauwerks (Berth's Configuration Coefficient)
- C<sub>c</sub>** = Nachgiebigkeitsfaktor (Sofness Coefficient)

## 2.2 Technische Konzeption

Um die Messwerte vorwiegend großer Schiffsgrößen zu erhalten, wurde ein fest installiertes Messsystem am Containerterminal Bremerhaven in einem Bereich platziert, an dem in der Regel die größten Containereinheiten anlegen. Aufgrund der exponierten Lage entschied man sich für ein auf Radartechnologie basierendes und stationäres Messsystem, das automatisch rund um die Uhr Anlegevorgänge elektronisch aufzeichnet. Hierzu sind auf einer Länge von rund 430 m dreizehn Sensoren angebracht, die zu einem jeweils zugehörigen Schwimmfender die Anlegegeschwindigkeit des Schiffes und die Kompression des Fenders beim Anlegevorgang misst.

Die einzelnen Radargeräte sind auf die Außenkante des Fenders justiert, so dass Verformungen und Geschwindigkeiten mit einer maximalen Abweichung von +/- 3 mm sehr genau aufgezeichnet werden können. Ab einer Distanz von 30 m erkennt das System vollautomatisch ein anlegendes Schiff und zeichnet den Anlegevorgang über kurze Messintervalle von min. 2 Messungen pro Sekunde auf.

Hierdurch werden je nach Schiffsgröße bis zu 10 Geschwindigkeitskomponenten am Schiff erfasst. Die für eine spätere Energieberechnung erforderliche Schiffsverdrängung in Tonnen erhält das System zunächst aus dem AIS-System (Automatic Identification System). Aus diesem System werden Daten, wie Schiffsname, Ort, Uhrzeit und insbesondere der Tiefgang zur Verfügung gestellt.

Über für die meisten Schiffstypen vorliegende Loading-scales können bei der Auswertung der Ergebnisse sehr genaue Aussagen über die Wasserverdrängung, und damit der Schiffsmasse in Tonnen während des Anlegevorganges gemacht werden.

## 2.3 Aufbereitung der Messergebnisse

Die Daten werden via Netzwerkverbindung direkt an die Datenbank ACRON weitergeleitet, das die Informationen dann in graphischer und tabellarischer Form an den Nutzer ausgibt. Alle Prozessdaten werden archiviert und sind jederzeit wieder abrufbar. Die Auswertungsergebnisse werden auf einer Bildschirmoberfläche graphisch dargestellt und können bei Bedarf in Echtzeit verfolgt werden. Hierbei werden interessante, visuelle Effekte wie das Drehen des Schiffes um die Schwerpunktsachse dargestellt.

Bei der Betrachtung der reinen Zahlenwerte der Ergebnisse wären solche Effekte nur sehr schwer nachvollziehbar. Die Sensoren messen in regelmäßigen, zeitlichen Abständen die Entfernung zur Schiffshaut und ermitteln über die Distanzmessungen die Anlegegeschwindigkeiten. Die Darstellung der Geschwindigkeit erfolgt über ein grafisches Koordinatensystem mit einer Zeit-Weg-Achse.

Das Messsystem wurde in seiner Entstehungsphase eigentlich ausschließlich für die Erfassung der Annäherungsgeschwindigkeit bis zum Kontaktpunkt mit dem Fender konzipiert. Jedoch wurde auch die Bewegung über den Kontaktpunkt hinaus aufgezeichnet, und so erhielt man neben den maximalen Verformungsdaten des Fenders auch die negative Beschleunigung des Schiffes. Damit liefert dieses System eine hervorragende Möglichkeit, die reale Verformung eines Fenders, und damit den zugehörigen Energiewert zu ermitteln, welcher sich aufgrund eines spezifischen und nicht theoretischen Anlegevorgangs eingestellt hat.

Eine solche Betrachtungsmöglichkeit am Real-System ist nach Wissensstand des Autors derzeit weltweit einmalig, und bietet die Möglichkeit, theoretisch ermittelte Anlegeenergien nach der PIANC [1] mit am Realsystem gemessenen Energien zu vergleichen. Durch einen solchen Vergleich ist es möglich, Abweichungen der gemessenen Energiewerte zu erkennen, und zu erforschen, warum die Bemessungsvorschriften möglicherweise ein anderes Ergebnis liefern.

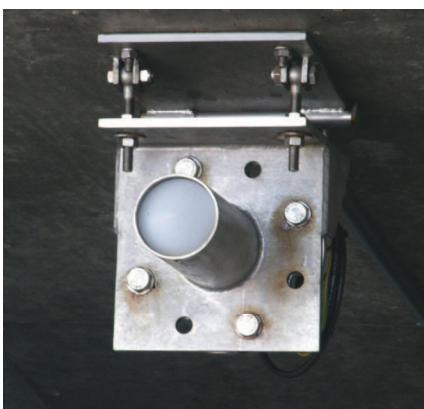


Abbildung 2: Radarsensor (Bremenports)

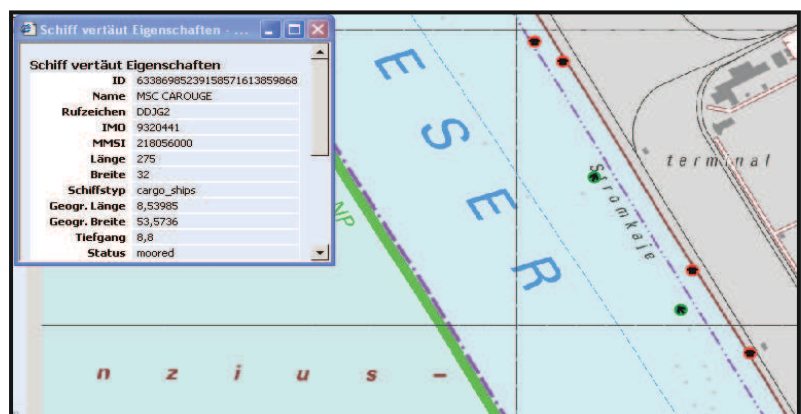


Abbildung 3: AIS Ausschnitt Containerterminal Bremerhaven

# Hafenbau- und infrastruktur

## Anlegegeschwindigkeiten von Großcontainerschiffen

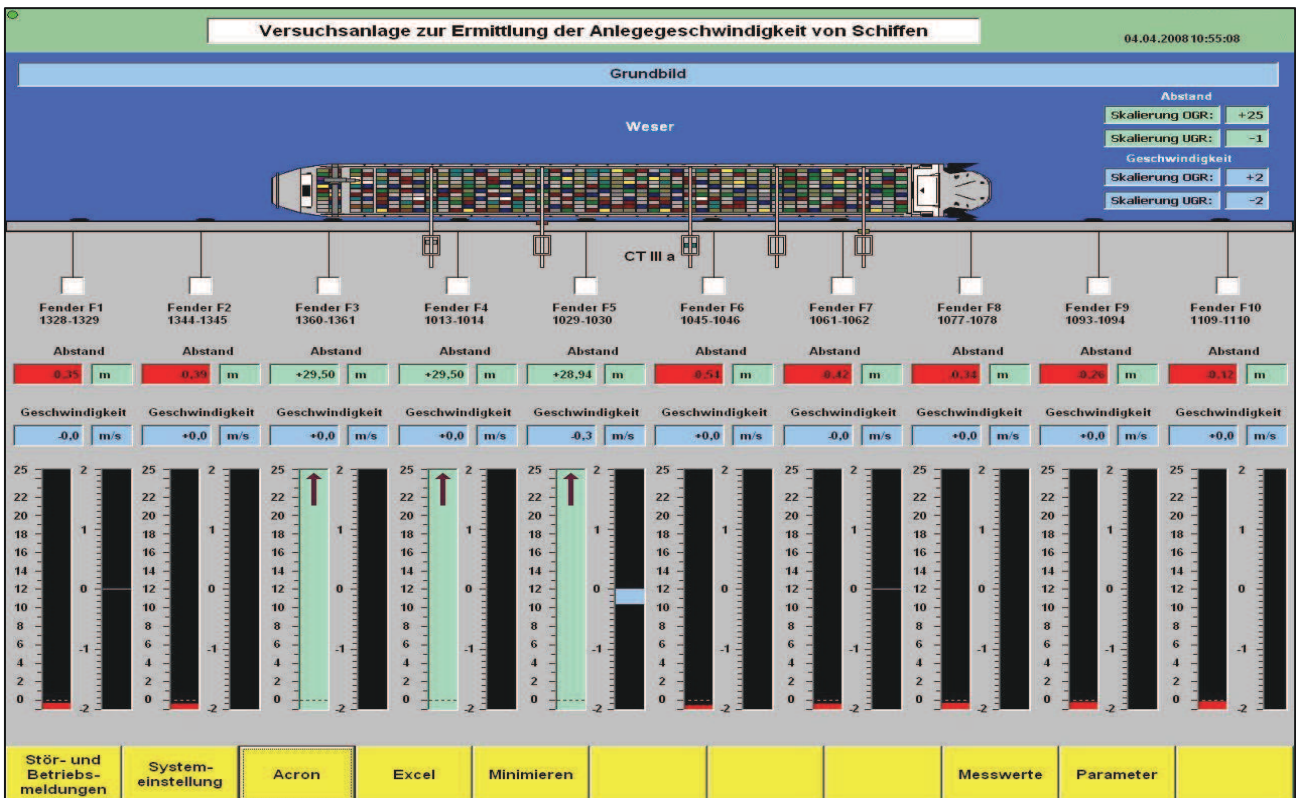


Abbildung 4: visuelle Bildschirmdarstellung

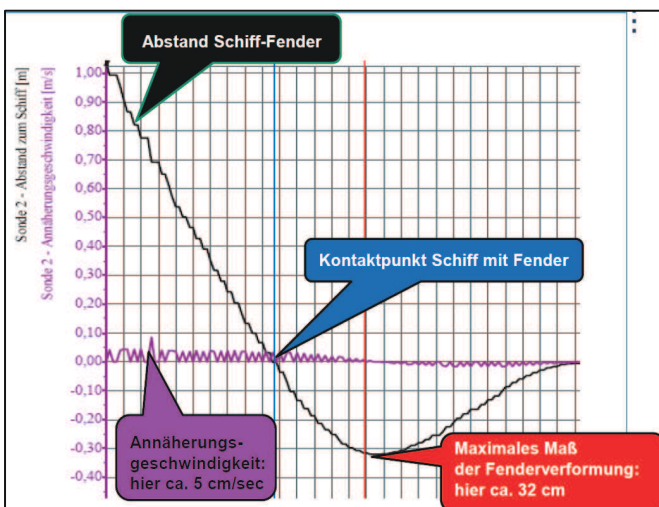


Abbildung 5: Grafik Anlegebewegung

### 3. Ergebnisse

Im Folgenden werden nun die Ergebnisse aus einer Messdauer von 4 Jahren präsentiert. Während dieses Zeitraumes wurden 1082 verwertbare Anlegevorgänge aufgezeichnet und ausgewertet. Aus den Datensätzen lassen sich u. A. folgende Kerndaten darstellen:

- Anlegegeschwindigkeit zum Kontaktzeitpunkt Schiff-Fender
- Anlegewinkel des Schiffes
- Kompression der beanspruchten Fender
- Gesamtanlegeenergie des Vorganges

Bei den gemessenen Anlegegeschwindigkeiten sind recht große Abweichungen in beide Richtungen zu erkennen. Liegt gerade bei den großen Schiffen die mittlere Geschwindigkeit bei ca. 5 cm/sec, so sind die Extremwerte (bis zu 17 cm/sec) wesentlich größer.

Wird im Rahmen der Bemessungstabellen nach der spanischen ROM [2] und der EAU [3] für die hier dargestellte Schiffsklasse eine einheitliche Annäherungsgeschwindigkeit von 20 cm/sec (ungünstige Bedingungen/mit Schlepperhilfe) für die Berechnung zugrunde gelegt, so darf hinterfragt werden, ob die Abweichungen dieser Bemessungsgröße in Hinblick auf die gemessenen Durchschnittswerte nicht zu groß sind. Aufgrund der bereits angesprochenen Quadrat dieser Werte wird eine rechnerische Erhöhung (5 cm/sec zu 20 cm/sec) der Energiewerte mit dem Faktor 16 erzeugt.

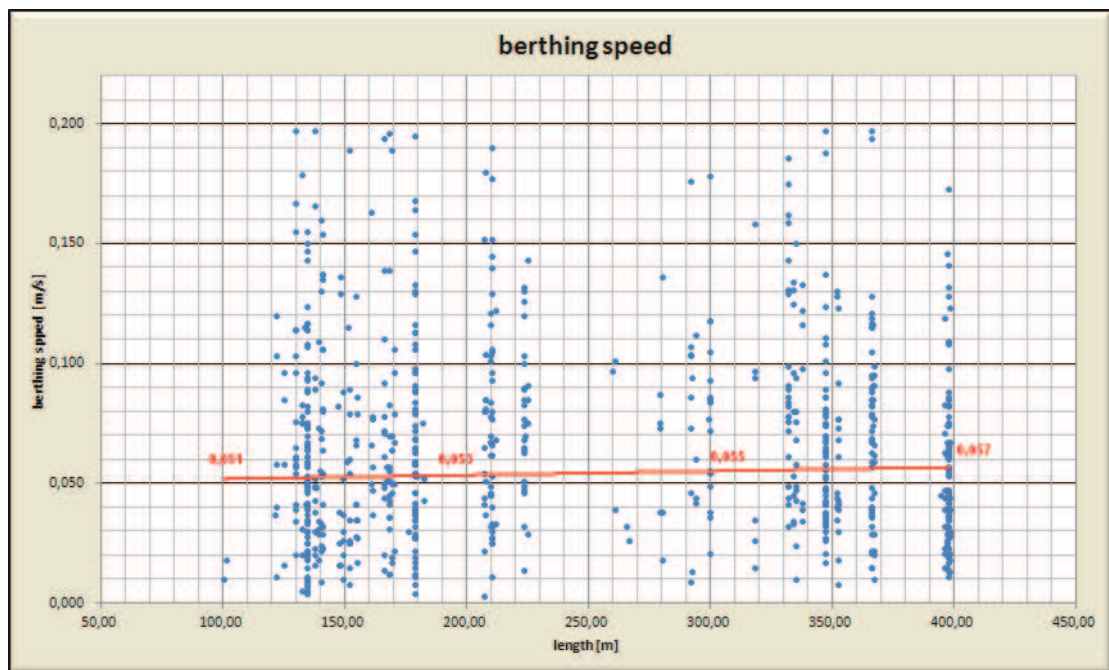
Inwieweit für künftige Geschwindigkeitsannahmen hieraus Rückschlüsse gezogen werden dürfen, ist insbesondere in Bezug auf Sicherheitsreserven des Fendersystems und möglichen Havarieschäden bei missglückten Anlegevorgängen ein noch zu diskutierender Punkt, der mit Sicherheit bei der Überarbeitung der Geschwindigkeitstabellen in der PIANC Arbeitsgruppe WG 145 hinreichend berücksichtigt wird.

Bei den Ergebnissen bezüglich der Anlegewinkel sind die Ergebnisse jedoch sehr eindeutig.

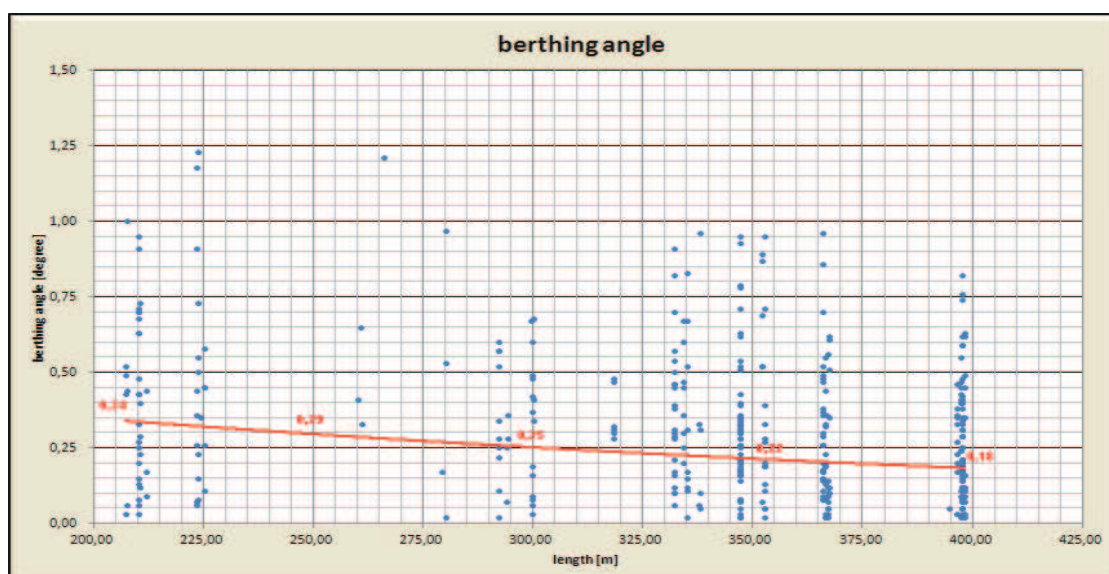
**Hafenbau- und infrastruktur**  
Anlegegeschwindigkeiten von Großcontainerschiffen

Schiffsname	Anlegegeschwindigkeit [m/s]	Wasserverdrängung [t]	Anlegewinkel
Edith Maersk	(max) 0,173	150000	0,16
Estelle Maersk	(min) 0,011	156500	0,17
	(ø) 0,053	171750	0,38
	0,032	154500	(ø) 0,24
Emma Maersk	0,037	154950	(min) 0,02
Eleonora Maersk	0,085	179500	(max) 0,82

**Abbildung 6:** Zusammenfassung Werte (Anlegegeschwindigkeit und Anlegewinkel)



**Abbildung 7:** Anlegegeschwindigkeiten in Abhängigkeit zur Schiffslänge



**Abbildung 8:** Anlegewinkel in Abhängigkeit zur Schiffslänge

Für die Bemessung nach den Bemessungsrichtlinien der PIANC [1] werden für die großen Schiffsklasse 6° als rechnerischer Anlegewinkel empfohlen. Diese Werte werden für die Berechnung des Exzentrizitätskoeffizienten herangezogen. Im Rahmen der Ergebnisauswertung wurden deutlich geringere Anlegewinkel gemessen. So liegt bei den größten Schiffseinheiten der größte, je gemessene Anlegewinkel bei 0,82°. Die durchschnittlichen Anlegewinkel betragen 0,24°.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass heutzutage bei den Anlegemanövern von Großcontainerschiffen von einem nahezu parallel Anlegen auszugehen ist. Dies ist aus geometrischen Gründen auch gar nicht mehr anders möglich. Würde ein Großcontainerschiff heute mit einem Anlegewinkel von > 5° anlegen, würden die übertragenden, geschwungenen Bugpartien des Schiffes über den Pierbereich ragen. Das Schiff, und möglicherweise Hafensuprastrukturen könnten erheblich beschädigt werden.

Daraus lässt sich herleiten, dass die bisherigen Bemessungsannahmen, nach der die gesamte Anlegeenergie von einem einzelnen Fender aufzunehmen ist, Überdenkens würdig sind.

Durch die aufgezeichneten Vorgänge lässt sich zweifelsfrei ermitteln, dass bei allen Anlegevorgängen aufgrund des niedrigen Anlegewinkels immer mehrere Fender beansprucht wurden, und demnach die Energiewerte der jeweiligen Fenderkompressionen nach Auffassung des Autors kumuliert im Gesamtsystem zu betrachten sind. Diese Sichtweise würde zu einer deutlichen Entspannung bei der Fenderbemessung insbesondere der neuen Schiffsgrößen sein.

## **Literatur**

[1] PIANC Guidelines for the Design of Fender Systems 2002, Marcom Report of WG 33

[2] ROM (Recommendations für Maritime Works), Puertos del Estado

[3] EAU 2012 (Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" Häfen und Wasserstraßen), Ernst & Sohn

## **Verfasser**

**Dipl.-Ing. Christian Hein**

bremenports GmbH & Co. KG

Am Strom 2

27568 Bremerhaven

Tel.: 0471/30901-0

E-Mail: [office@bremenports.de](mailto:office@bremenports.de)