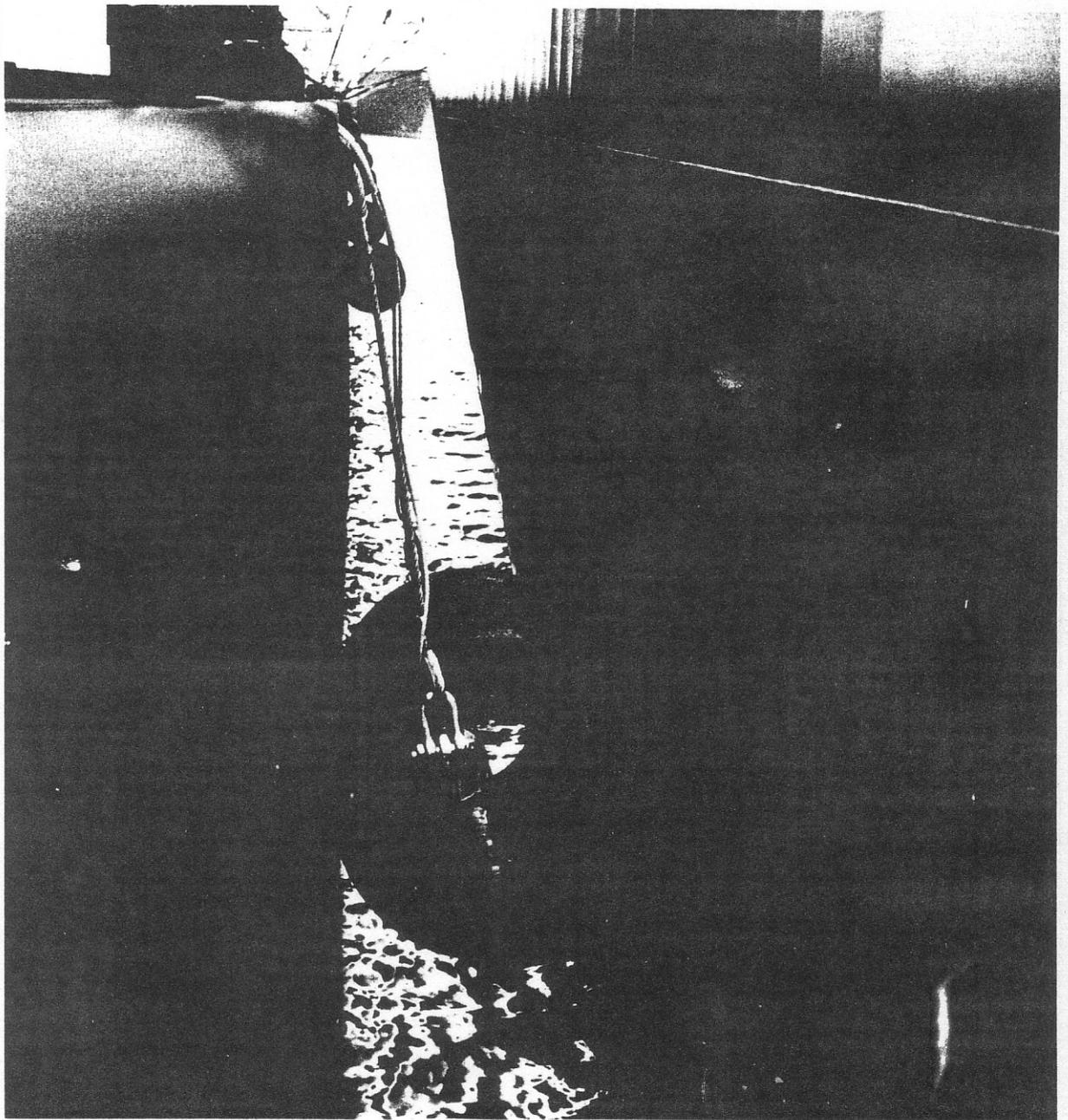


W.W.



Der Stoß gegen eine Pier
- Überlegungen zur Simulation -

	FACHHOCHSCHULE HAMBURG FACHBEREICH SEEFART	April 84
	Die Pier	
	H. Stoltenberg, W. Scheuermann	

Inhaltsverzeichnis

- 0. Einleitung
- 1. Koordinatensysteme
 - 1.1 Globales und lokales System
 - 1.2 Koordinatentransformation
 - 1.2.1 Transformation lokal → global
 - 1.2.2 Transformation global → lokal
 - 1.3 Pierkoordinatensystem
 - 1.3.1 Normale
 - 1.3.2 Parallele
 - 1.3.3 Pierabstand
- 2. Struktur der Pier
 - 2.1 Piersockel
 - 2.2 Fender
- 3. Struktur des Schiffsrumpfes
 - 3.1 Abmessungen
 - 3.2 Knautschverhalten
- 4. Dynamik
 - 4.1 Pierwirkung: Kräfte und Momente
 - 4.2 Geschwindigkeit eines Punktes der Schiffshaut
 - 4.3 Pierkräfte beim Anlegen
 - 4.3.1 Federwirkung des Fenders
 - 4.3.2 Wirkung des Piersockels
 - 4.3.3 Gleitreibung
 - 4.4 Drehmoment
- 5. Programmierung
 - 5.1 Programmiertechnische Probleme
 - 5.1.1 Dynamik und diskrete Zeitschritte
 - 5.1.2 Zeitkritischer Stoßprozeß
 - 5.2 Wirkungsgrad des Fenders
 - 5.3 Ausgaben an das Bewegungssystem
 - 5.4 Begrenzung des Piereinflußbereiches
 - 5.5 Schnittstellenvariable
 - 5.6 Variable der Piersimulation
- 6. Sonstiges
 - 6.1 Terminalausgaben für Übungsleiter



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

S. 1

0. Einleitung

Im Verlauf mehrerer Seminarveranstaltungen an der Schiffsführungs- und Simulationsanlage "SUSAN" hat sich die Notwendigkeit ergeben, naturgetreue An- und Ablegemanöver zu fahren.

Ziel der folgenden Überlegungen ist es, die Kraftwirkungen zwischen einer Pier und einem Schiff zu beschreiben.

	FACHHOCHSCHULE HAMBURG	April 84 S. 2
	FACHBEREICH SEEFAHRT	
	Die Pier	
	H. Stoltenberg, W. Scheuermann	

1. Koordinatensysteme

1.1 Globales und lokales System

Die Formulierung von Kräften und Momenten erfolgt in Koordinatensystemen, die denen des "Eigenschiffsmodells" (KAE Dokumentation Teil 2 Anhang 1) entsprechen.

Wir unterscheiden das

"Interne Koordinatensystem", auch

"lokales Koordinatensystem" genannt (Abb. 1)

und das

"Koordinatensystem des Übungsgebietes", auch

"globales" oder "externes Koordinatensystem" genannt (Abb. 2)

• Internes Koordinatensystem

Der Ursprung befindet sich auf der Längsachse des Schiffes unterhalb des Schwerpunktes auf der Wasseroberfläche. Alle Kräfte- und Momentenberechnungen des ESM beziehen sich auf das schwerpunktbezogene Koordinatensystem. Die Beschreibung der Zusammenhänge wird mit diesem Koordinatensystem durchgeführt.

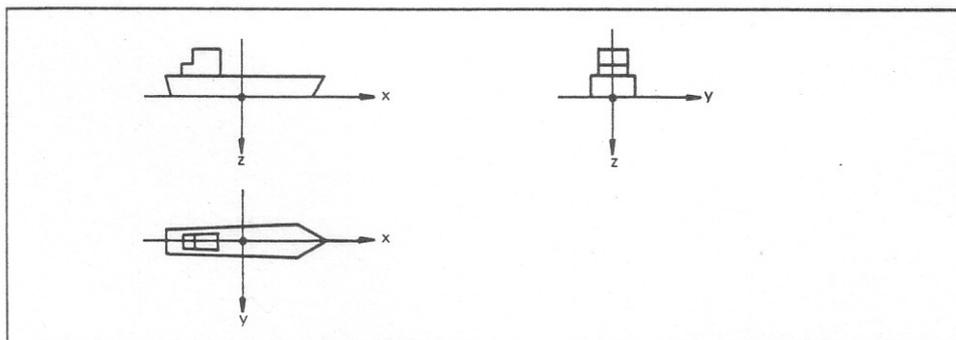


Abbildung 1

Globales Koordinatensystem

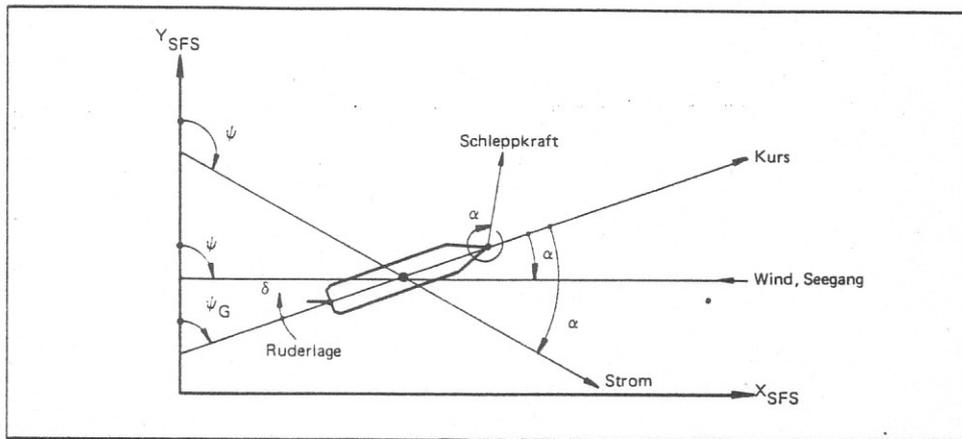


Abbildung 2

Man beachte insbesondere die Drehung, die beide Systeme unterscheidet.

1.2 Koordinatentransformation

1.2.1 Transformation lokal → global

APSI	Kurs in rad
(XUR, YUR)	Schiffsschwerpunkt in externen Koordinaten
(XLOC, YLOC)	lokale Komponenten eines Vektors
(XGLO, YGLO)	globale Komponenten eines Vektors

Die Transformationsgleichungen lauten:

$$XGLO = XLOC * \sin (APSI) + YLOC * \cos (APSI) + XUR$$

$$YGLO = XLOC * \cos (APSI) - YLOC * \sin (APSI) + YUR$$

Werden Kräfte, Geschwindigkeiten, Momente etc. transformiert, so darf die Verschiebung nicht mitgerechnet werden, d.h. XUR und YUR sind in diesen Fällen gleich Null zu setzen.

1.2.2 Transformation global → lokal

$$XLOC = XGLO * \sin(\text{APSI}) + YGLO * \cos(\text{APSI}) - XUR$$

$$YLOC = XGLO * \cos(\text{APSI}) - YGLO * \sin(\text{APSI}) - YUR$$



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

S. 5

1.3 Pierkoordinatensystem

Für die Beschreibung der Wechselwirkung zwischen Schiff und Pier ist es notwendig, bestimmte vektorielle Größen in Komponenten eines pierbezogenen Koordinatensystems darzustellen.

Es ist allerdings nicht nötig, die Transformationsgleichungen des Pierkoordinatensystems explizit zu formulieren. Statt dessen genügt es, die Normale \vec{n}^o auf die Pier und die normierte Parallele \vec{p}^o als Vektoren für vektorielle Operationen zur Verfügung zu haben.

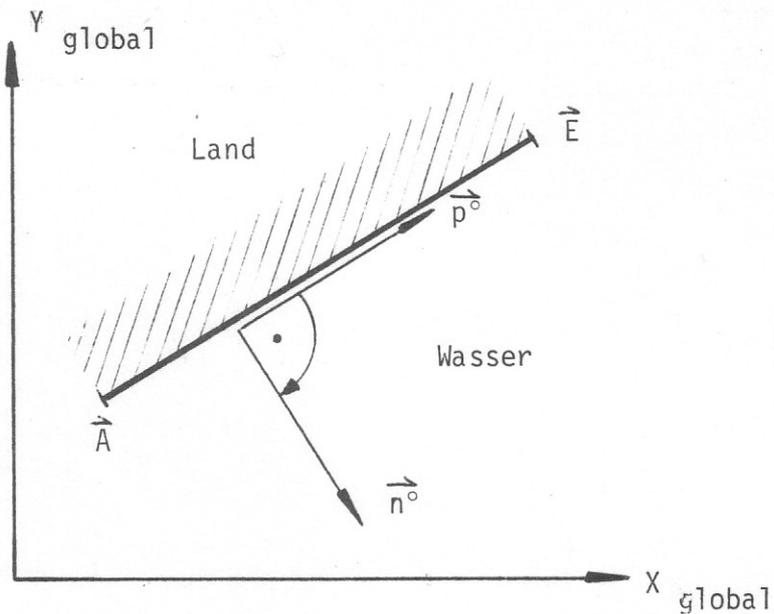


Abbildung 3

1.3.1 Normale

$\vec{A} = (XPIERA, YPIERA)$ Anfangspunkt der Pier

$\vec{E} = (XPIERE, YPIERE)$ Endpunkt der Pier

$\vec{n}^\circ = (ENORMX, ENORMY)$ Normale

Einer Pier wird durch ihren Anfangspunkt \vec{A} und ihren Endpunkt \vec{E} definiert.

Wir legen fest, daß die Normale \vec{n}° immer zur Wasserseite zeigen soll. (Es gelte: $\vec{n}^\circ \perp \vec{E} - \vec{A}$, $|\vec{n}^\circ| = 1$)

Die Normale läßt sich also berechnen, wenn der Vektor $\vec{E} - \vec{A}$ auf die Länge 1 normiert wird und um 90° gedreht wird (siehe Abb.3).

Damit sind \vec{A} und \vec{E} nicht vertauschbar. Durch die Reihenfolge von Anfangs- und Endpunkt wird die Wasser- und Landseite der Pier festgelegt.

Die Drehung eines Vektors (x,y) im globalen Koordinatensystem um 90° im Uhrzeigersinn in einen neuen Vektor (\bar{x}, \bar{y}) geschieht durch:

$$\bar{x} = y$$

$$\bar{y} = -x$$

Wird der Vektor $\frac{1}{|\vec{E} - \vec{A}|} \cdot (\vec{E} - \vec{A})$ nach den obigen Formeln gedreht, so erhält man den Normalenvektor $\vec{n}^\circ = (ENORMX, ENORMY)$:

$$ENORMX = (YPIERE - YPIERA) / \text{sqr} ((XPIERE - XPIERA) ** 2 + (YPIERE - YPIERA) ** 2)$$

$$ENORMY = (XPIERA - XPIERE) / \text{sqr} ((XPIERE - XPIERA) ** 2 + (YPIERE - YPIERA) ** 2)$$



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

S. 7

1.3.2 Parallele

Die Parallele zur Pierrichtung \vec{p}° (siehe Abb. 3) entspricht dem Vektor $\frac{1}{|\vec{E} - \vec{A}|} \cdot (\vec{E} - \vec{A})$.

Es gilt: $|\vec{p}^\circ| = 1$, $\vec{p}^\circ \parallel \vec{E} - \vec{A}$

Zweckmäßigerweise aber wird die Normale \vec{n}° um 90° zurück gedreht:

Die Drehung eines Vektors (x, y) im globalen Koordinatensystem um 90° im Gegenuhrzeigersinn in den Vektor (\bar{x}, \bar{y}) hat allgemein die Form:

$$\bar{x} = -y$$

$$\bar{y} = x$$

So ergibt sich:

$$\vec{p}^\circ = (-ENORMY, ENORMX)$$

1.3.3 Pierabstand

$\vec{P} = (\text{PKTxE}, \text{PKTYE})$ Punkt der Schiffshaut in externen Koordinaten

$\vec{A} = (\text{XPIERA}, \text{YPIERA})$ Anfangspunkt der Pier

$\vec{n}^\circ = (\text{ENORMX}, \text{ENORMY})$ Normale zur Pier

PABST Pierabstand

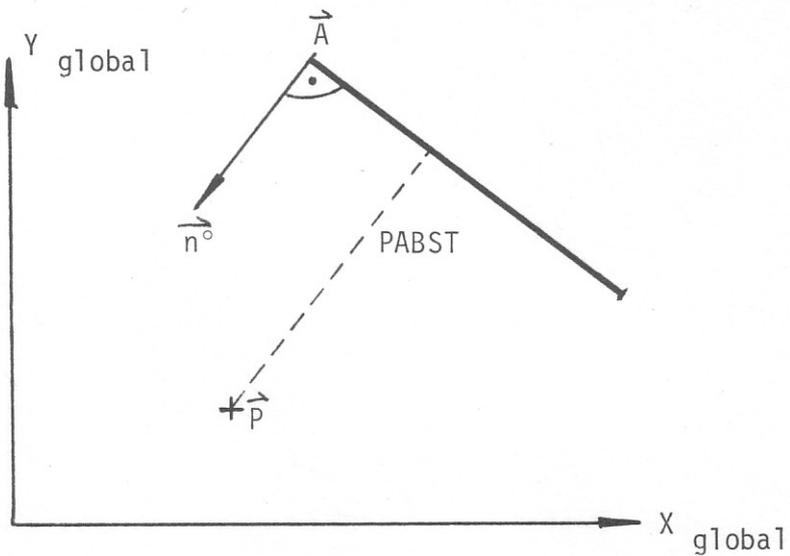


Abbildung 4

	FACHHOCHSCHULE HAMBURG	April 84 S. 9
	FACHBEREICH SEEFAHRT	
	Die Pier	
H. Stoltenberg, W. Scheuermann		

Allgemein: Abstand d Punkt - Gerade: *)1

$$d = \langle \vec{n}^\circ, \vec{P} - \vec{A} \rangle \quad (\text{Skalarprodukt})$$

Im kartesischen System berechnet man das Skalarprodukt folgendermaßen:

$$\begin{aligned} \langle \vec{a}, \vec{b} \rangle &= a \cdot b \cdot \cos \angle(\vec{a}, \vec{b}) = \langle (a_1, a_2), (b_1, b_2) \rangle = \\ &= a_1 b_1 + a_2 b_2 \end{aligned}$$

Somit folgt für den Pierabstand PABST

$$PABST = ENORMX \cdot (PKTXE - XPIERA) + ENORMY \cdot (PKTYE - YPIERA)$$

Aus dem Vorzeichen läßt sich ablesen, auf welcher Seite der Pier sich der Punkt \vec{P} befindet:

Ist $PABST \geq 0$, so liegt \vec{P} auf der Wasserseite,
 $PABST < 0$, so liegt \vec{P} auf der Landseite.

Diese Unterscheidung ist interessant, um zu entscheiden, ob das Schiff die Pier gerammt hat.

*)1 DTV-Atlas Mathematik, Bd. 1, S. 194 f, München 1978



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

S. 10

2. Struktur der Pier

2.1 Piersockel

Die betrachtete Pier besteht aus zwei Teilen, die sich wesentlich in ihrer dynamischen Wirkung auf das Schiff unterscheiden.

Der Piersockel stellt die Landseite der Pier dar, seine Kante ist die Grenze zwischen Wasser und Land und wird durch Anfangspunkt A und Endpunkt E beschrieben.

Die Masse des Piersockels wird ∞ angenommen, d.h. Kraftwirkungen auf die Pier führen nicht zu Bewegungen der Pier. Die Pier wird als "starr" betrachtet, d.h. Kraftwirkungen führen nicht zu Verformungen. Die Kraftwirkung an der Pier entspricht dem Maximalwert, den die Struktur des Schiffsrumpfes bis zur plastischen Deformation aufbringen kann.

Wir setzen anhand empirischer Untersuchungen diese Kraft auf 22500 kN an.

Im Falle von Gleitreibung des Schiffes am Piersockel gelte ein Reibungsbeiwert $\mu = 0,58$.

	FACHHOCHSCHULE HAMBURG	April 84 S. 11
	FACHBEREICH SEEFAHRT	
	Die Pier	
	H. Stoltenberg, W. Scheuermann	

μ Pier

0.5

0.12

2. Struktur der Pier

2.1 Piersockel

Die betrachtete Pier besteht wesentlich in ihrer dynamischen Beanspruchung aus zwei verschiedenen

Der Piersockel stellt die Kante dar, die zwischen dem Pier und dem Schiff durch den Antriebspunkt A und B

Die Masse des Piersockels wird durch die Wirkung der Kräfte auf die Pier für die Pier als "Pier" betrachtet.

Die Kräfte, die durch die Wirkung der Kräfte auf die Pier für die Pier als "Pier" betrachtet werden, sind die Kräfte, die durch die Wirkung der Kräfte auf die Pier für die Pier als "Pier" betrachtet werden.

Wir setzen anhand empirischer Untersuchungen diese Kräfte auf 22500 kN an.

Im Falle von Gleitreibung des Schiffes am Piersockel gelte ein Reibungskoeffizient $\mu = 0,88$.

April 84 2. 11	FACHHOCHSCHULE HAMBURG FACHBEREICH SEELAND		
	Die Pier		
H. Stoltenberg, W. Scheuermann			

2.2 Fender

FENDBR	Fenderbreite
DFEND	Richtgröße
ETAFEN	Wirkungsgrad des Fenders
FFEND	Fenderkraft

Der Fender ist der Pier zur Wasserseite hin vorgelagert, d.h. die wasserseitige Fenderkante hat den Pierabstand FENDBR.

Geometrische und physikalische Eigenschaften:

Fenderbreite	FENDBR = 2,5 m
Federkonstante	DFEND = 500 kN/m
Wirkungsgrad	ETAFEN = 0,6 *)3

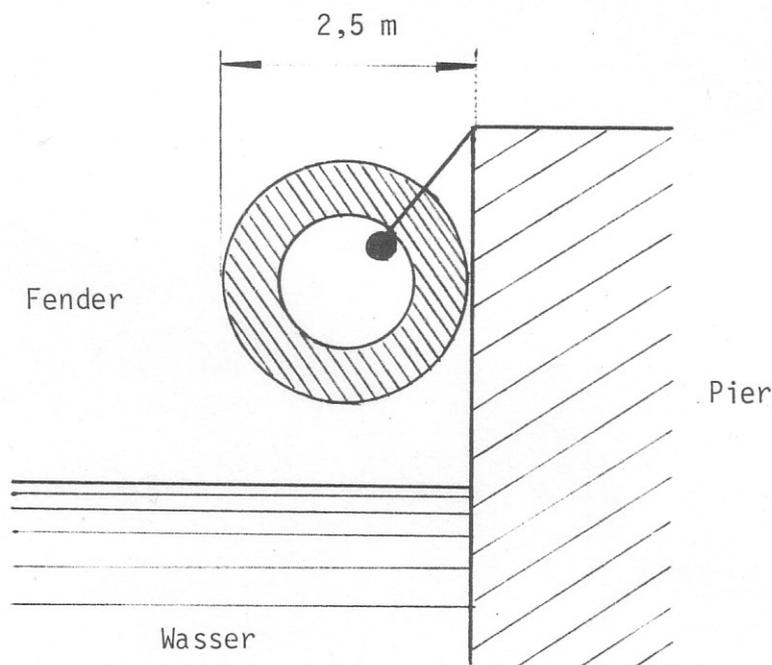


Abbildung 5: Fender

*)3 Phoenix Fenderkatalog

Der Fender wird durchgehend über die ganze Länge der Pier gerechnet.

Der Gleitreibungsbeiwert entspricht dem Reibungsbeiwert des Piersockels.

3. Struktur des Schiffsrumpfes

3.1 Abmessungen

Die Wirkung der Pier auf das Schiff besteht in Kräften, die in den Berührungspunkten der Schiffshaut mit der Pier auftreten.

In dem hier beschriebenen Modell genügt die Charakterisierung der Umriss der Schiffshaut durch 5 markante Punkte, deren Lage im lokalen Koordinatensystem mittels Größen aus dem jeweils verwendeten Eigenschiff berechnet werden.

ASHBRT Schiffsbreite
ASHLNG Schiffslänge

Punkt 1: Vorsteven	PKTXI (1) = ASHLNG / 2 PKTYI (1) = 0
Punkt 2: Schulterpunkt Stb vorne	PKTXI (2) = (ASHLNG - ASHBRT) / 2 PKTYI (2) = ASHBRT / 2
Punkt 3: Heck Stb achtern	PKTXI (3) = -ASHLNG / 2 PKTYI (3) = ASHBRT / 2
Punkt 4: Heck Bb achtern	PKTXI (4) = -ASHLNG / 2 PKTYI (4) = -ASHBRT / 2
Punkt 5: Schulterpunkt Bb vorne	PKTXI (5) = (ASHLNG - ASHBRT) / 2 PKTYI (5) = -ASHBRT / 2



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

S. 13

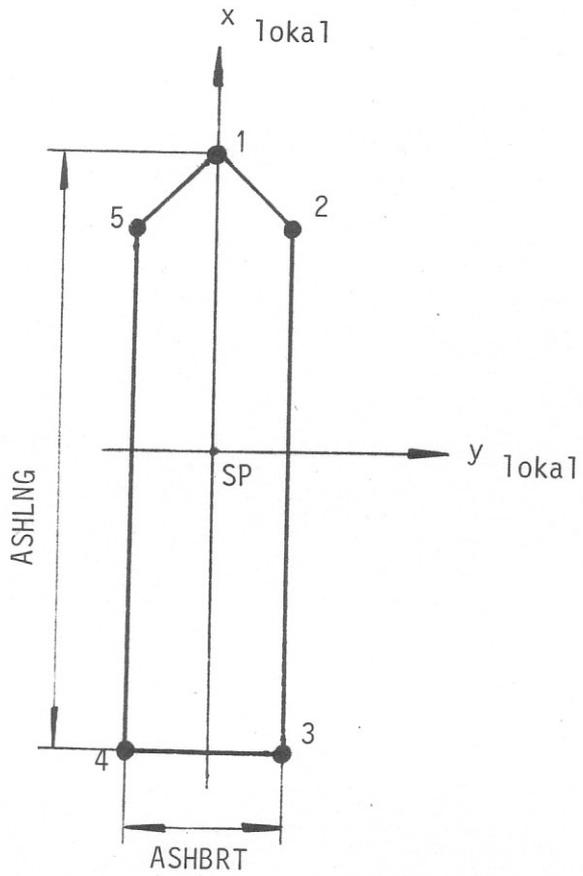


Abbildung 6: Punkte der Schiffshaut

3.2 Knautschverhalten

Einer bestimmten Maximalbelastung widersteht die Konstruktion eines Schiffsrumpfes ohne große Verformung; was darüberhinausgeht, bewirkt eine plastische Deformation der Struktur, sprich: Beschädigungen.

Wir nehmen simplifizierend den Wert der Maximalbelastbarkeit der Rumpfkonstruktion mit 22500 kN an *)² (Knautschkraft).

4. Dynamik

4.1 Pierwirkung: Kräfte und Momente

Zur Simulation einer Pier werden die Summe aller Kräfte und das Gesamtdrehmoment der Pierwirkung auf das Schiff berechnet. Als externe Kräfte und Momente müssen diese Größen in der Bilanz der Externen Kräfte erfaßt werden.

FXPIER, FYPIER	Summe aller Pierkräfte
ENPIER	Summe aller Pier-Drehmomente

4.2 Geschwindigkeit eines Punktes der Schiffshaut

Infolge Drehung unterscheidet sich i.A. die Geschwindigkeit eines Punktes $\vec{P} = (PKTXI(n), PKTYI(n))$ der Schiffshaut von der des Schiffsschwerpunktes.

Berechnet werden müssen die Geschwindigkeiten über Grund.



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

S. 15

Drehgeschwindigkeit $\omega = \frac{d\psi}{dt} = RG$

$\vec{v} = (UG, VG)$ Geschwindigkeit des Schiffsschwerpunktes

$$|\hat{v}_{rot}| = \omega \cdot r$$

$\hat{v}_{rot} = (-RG * PKTYI(n), RG * PKTXI(n))$
Bahngeschwindigkeit des Punktes \vec{P}

$$\vec{v}_P = \vec{v} + \hat{v}_{rot} = (UPKTE, VPKTE) = (UG - RG * PKTYI(n), VG + RG * PKTXI(n))$$

\vec{v}_P : wahre Geschwindigkeit des Punktes \vec{P}



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

S. 16

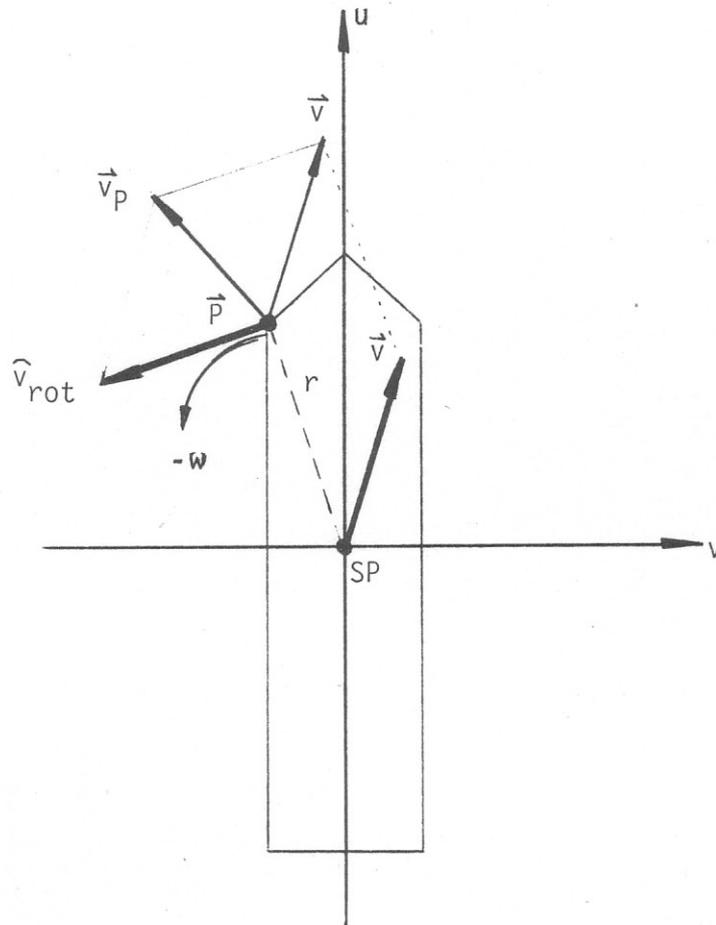


Abbildung 7: internes System



FACHHOCHSCHULE HAMBURG
FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84
S. 17

4.3 Pierkräfte beim Anlegen

4.3.1 Federwirkung des Fenders

ETAFEN	Wirkungsgrad des Fenders
FENDBR	Fenderbreite
PABST	Pierabstand eines Punktes P
DFEND	Richtgröße (Federkonstante) des Fenders
FFEND	Federkraft des Fenders

Jeder Punkt des Fenders wird als Feder aufgefaßt.

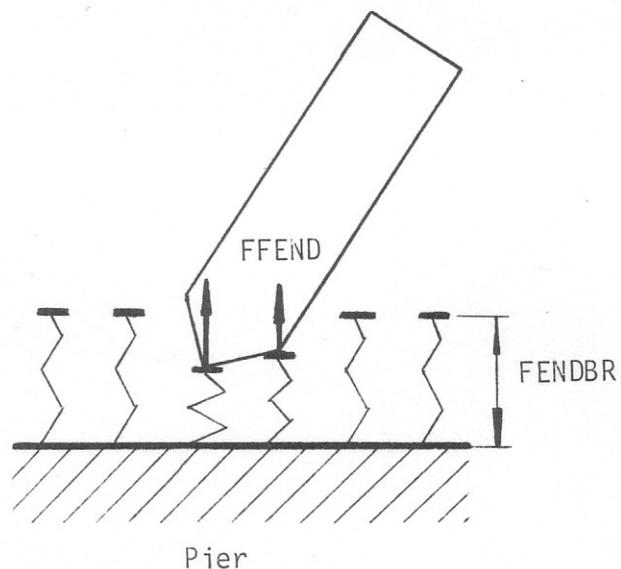


Abbildung 8

Die Kraft wird für jeden Punkt \vec{P} der Schiffshaut, abhängig von seinem Pierabstand PABST, berechnet.

Hier und im folgenden interessiert die Zerlegung des Geschwindigkeitsvektors \vec{v}_P eines Punktes P der Schiffshaut in pierbezogene Komponenten:

Internes Koordinatensystem Externes Koordinatensystem

$$\vec{v}_P = (\text{UPKTE}, \text{VPKTE}) \quad \vec{V}_P = (\text{UEXT}, \text{VEXT})$$

Pierbezogene Koordinaten:

$$\vec{v}_P = (\text{VPIER}, \text{GLEITR})$$

wobei $\text{VPIER} = \text{UEXT} * \text{ENORMX} + \text{VEXT} * \text{ENORMY} = \langle \vec{v}_P, \vec{n}^\circ \rangle$

$\text{GLEITR} = \text{VEXT} * \text{ENORMX} - \text{UEXT} * \text{ENORMY} = \langle \vec{v}_P, \vec{p}^\circ \rangle$

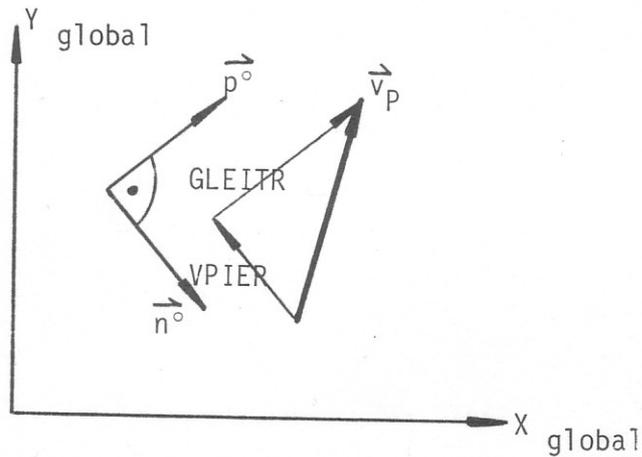


Abbildung 9

Wenn $PABST < FENDBR$ und $PABST > 0$, dann:

$$FFEND = DFEND * (FENDBR - PABST)$$

wobei für $VPIER < 0$: $DFEND = 500 \text{ kN/m}$
 $VPIER \geq 0$: $DFEND = DFEND * ETAFEN$
mit $ETAFEN = 0,6$

Solange sich der Punkt \vec{P} auf die Pier zu bewegt, ist die Reaktionskraft des Fenders größer, als wenn er sich bereits wieder entfernt (siehe Abb. 11). Damit wird der Wirkungsgrad des Fenders erfaßt und eine merkliche Schwingungsdämpfung eines mit Leinen vertäuten Schiffes erreicht.

4.3.2 Wirkung des Piersockels

Wenn die Annäherungsgeschwindigkeit des Schiffes so groß ist, daß der Fender "die Fahrt nicht aus dem Schiff nehmen" kann, bevor er vollständig zusammengedrückt ist, kommt es zur Berührung mit dem Piersockel ($PABST \leq 0$).

Reaktionskraft des Piersockels wirkt nur auf einen Punkt der Schiffshaut, für den gilt:

$PABST \leq 0$ und $VPIER < 0$, d.h. Fahrt in Richtung auf die Pier.



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84
S. 20

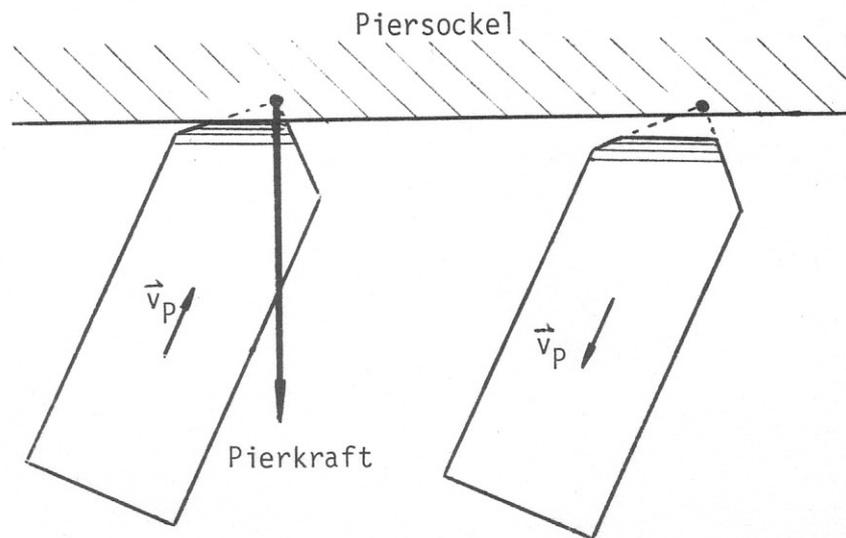


Abbildung 10

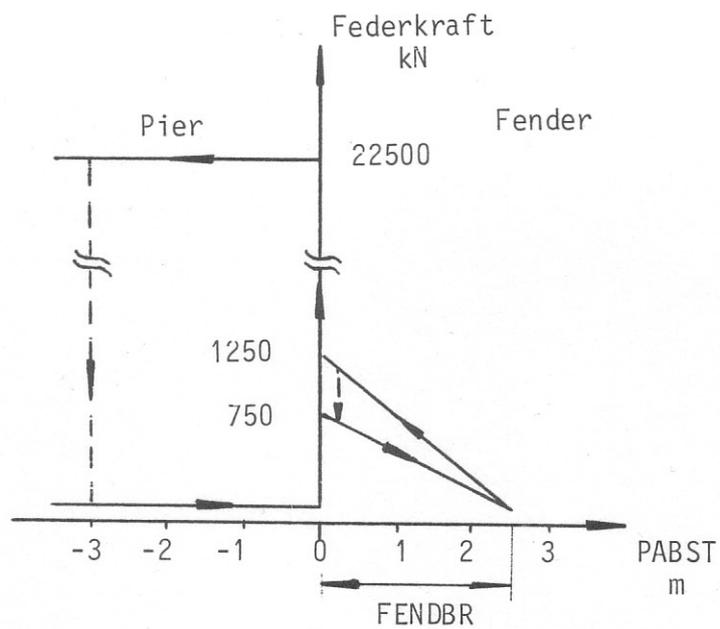


Abbildung 11



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

S. 21

Wenn $PABST \leq 0$, existiert keine Federwirkung des Fenders,
d .h. $DFEND = 0$ kN/m.

4.3.3 Gleitreibung

\vec{F}_N = Normalkraft

$\vec{F}_{PIER} = (FXHILF, FYHILF) =$
Reaktionskraft in einem Berühr-
punkt

\vec{F}_R = Reibungskraft

μ = Gleitreibungszahl AMY

\vec{F}_F = Pierkraft

Wegen $\vec{F}_N = -\vec{F}_F$ gilt:

$$F_R = \mu \cdot F_N = \mu \cdot F_F$$

Die Gleitreibungskraft \vec{F}_R hängt im Gleitfall nicht von der Geschwindigkeit $|\vec{v}_p|$ des Berührungspunktes ab, wohl aber von deren Richtung.

Die Gleitrichtung IGLTR wird definiert als das Vorzeichen der Geschwindigkeitskomponente GLEITR des Berührungspunktes parallel zur Pier.



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

S. 22

$$\text{IGLTR} = \text{sign} (\text{GLEITR})$$

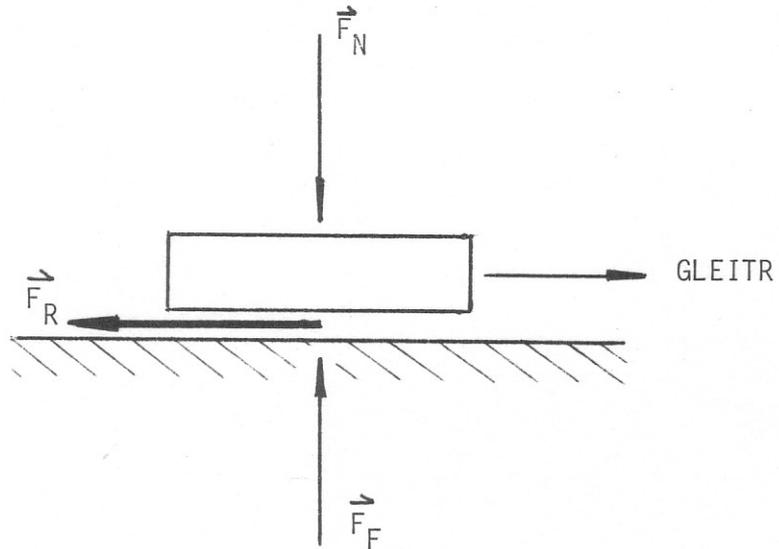


Abbildung 12

Wenn $\text{IGLTR} = +1 \longrightarrow \vec{P}$ gleitet von \vec{A} nach \vec{E}
 Wenn $\text{IGLTR} = -1 \longrightarrow \vec{P}$ gleitet von \vec{E} nach \vec{A}

Die Pierkraft \vec{F}_F setzt sich aus den Kraftanteilen aus der Fenderwirkung FFEND und der Wirkung des Piersockels AKNTSH zusammen.

$$F_F = \text{FFEND} + \text{AKNTSH}$$

$$\text{mit FFEND} = 0 \quad \text{.XOR.} \quad \text{AKNTSH} = 0$$

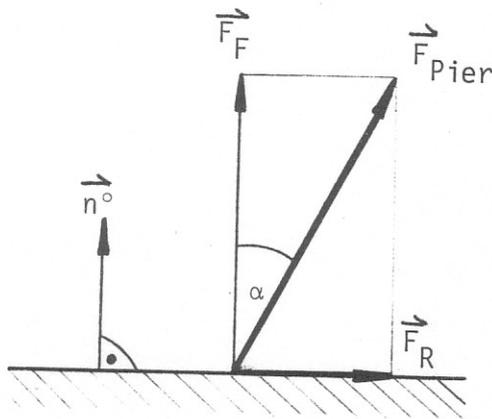


Abbildung 13

Mit $CSATMY = \cos(\text{atn}(\mu))$
 $SNATMY = \sin(\text{atn}(\mu))$ berechnen wir \vec{F}_{Pier} aus:

$$FXHILF = (ENORMX * CSATMY + IGLTR * ENORMY * SNATMY) * (FFEND + AKNTSH) * CSATMY$$

$$FYHILF = (ENORMY * CSATMY - IGLTR * ENORMX * SNATMY) * (FFEND + AKNTSH) * CSATMY$$

Der Fall, daß $GLEITR = 0$ ist, also Haftreibung vorliegt, wird nicht eigens betrachtet, sondern regelt sich dynamisch ein.

4.4 Drehmoment

ENPIER

Gesamtdrehmoment

$$\vec{F}_{PIER} = (FXHLFI, FYHLFI)$$

Pierkraft in einem Punkt P

$$\vec{P} = (PKTXI(n), PKTYI(n))$$

der Schiffshaut

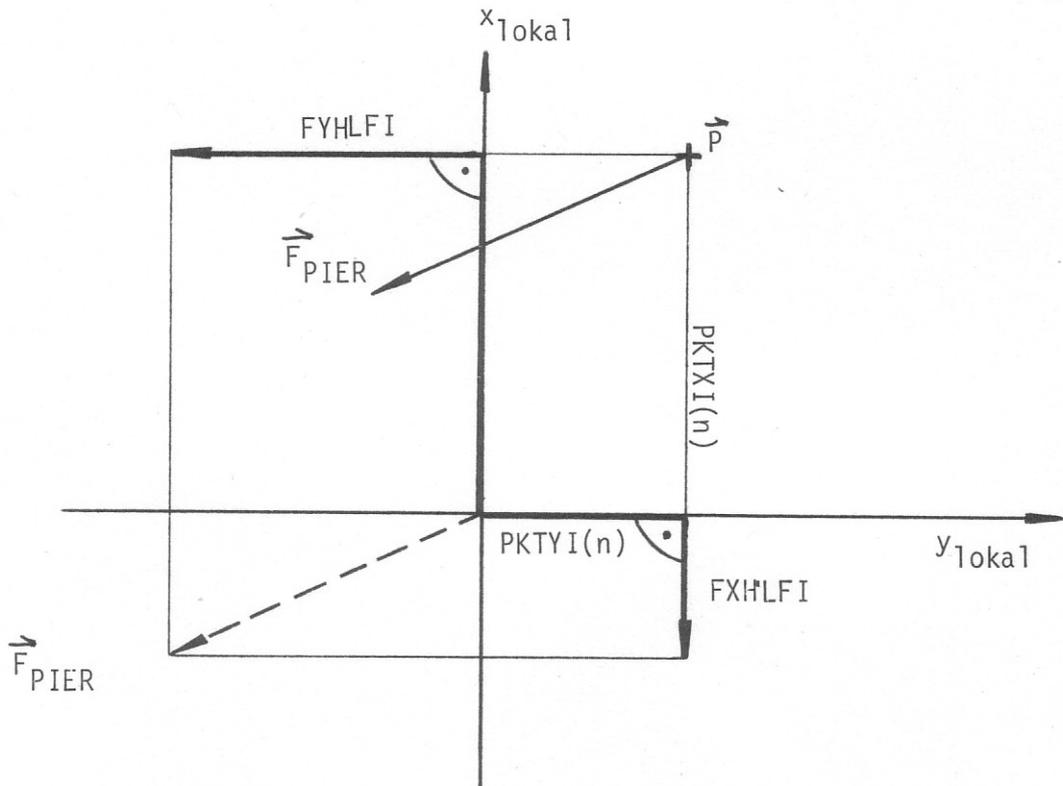


Abbildung 14

Eine Kraft \vec{F}_{Pier} in einem Punkt \vec{P} der Schiffshaut bewirkt ein Einzeldrehmoment \vec{N} :

$$N = FYHLFI * PKTXI(n) + FXHLFI * PKTYI(n)$$

Das Gesamtdrehmoment ENPIER ist die Summe aller Einzeldrehmomente.

5. Programmierung

5.1 Programmiertechnische Probleme

5.1.1 Dynamik und diskrete Zeitschritte

In der Simulation ist es nötig, den Schiffsort in das folgende Integrationsintervall zu extrapolieren.

Ohne Extrapolation tritt die Fenderwirkung verzögert ein.

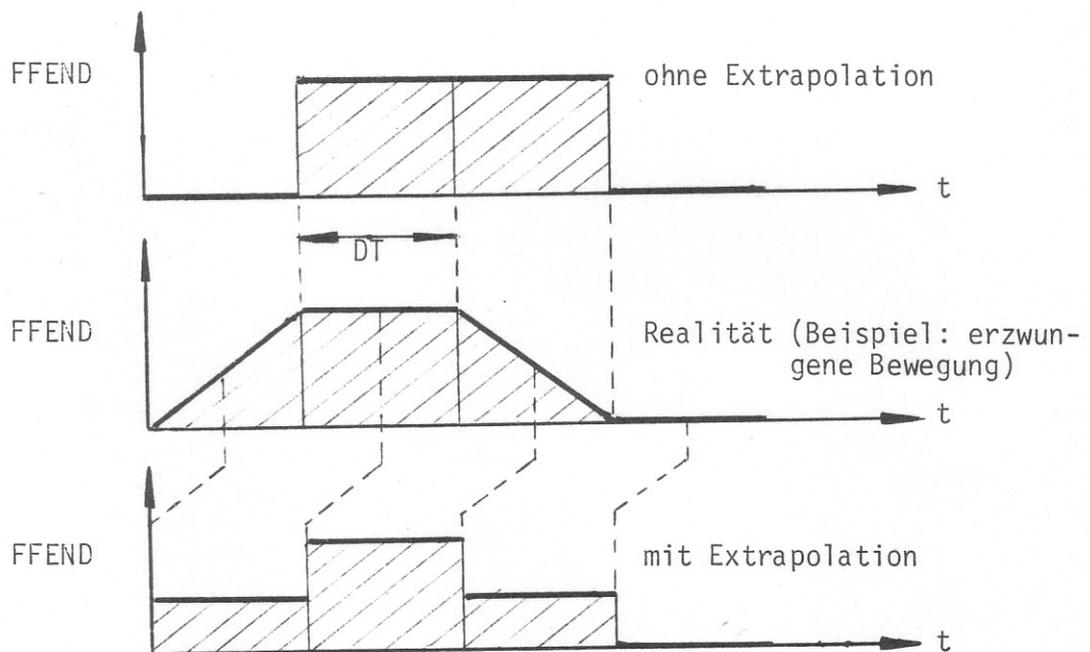


Abbildung 15

Es wird daher für das Zeitintervall DT in erster Näherung linear gemittelt, bzw. der Schiffsort wird für den Zeitpunkt DT/2 extrapoliert.

Schiffsort in Meter: $XGEOLC = XGEO/2^{**16}$
 $YGEOLC = YGEO/2^{**16}$

Extrapolation: $XGEOLC = XGEOLC + UEXT * DT/2$
 $YGEOLC = YGEOLC + VEXT * DT/2$

Hier ist (UEXT, VEXT) der ins globale System transformierte Geschwindigkeitsvektor (UG, VG) des Schiffsschwerpunktes

5.1.2 Zeitkritischer Stoßprozeß

Das Anfahren einer Pier ist im allgemeinen ein "plastischer", reibungsbehafteter nicht-zentrischer Stoß *)4, der ggf. nur eine kurze Zeit dauert. Das Beschreiben des Kraftverlaufs in Zeitinkrementen von 1 sec kann, wie im folgenden gezeigt, zu großen Ungenauigkeiten führen:

Es kann passieren, daß sehr große Kräfte zu lange anstehen, während in Wirklichkeit der Stoßvorgang bereits beendet wäre.

*)4 vergl. K. Maguerre, Techn. Mechanik

	FACHHOCHSCHULE HAMBURG	April 84 S. 27
	FACHBEREICH SEEFAHRT	
	Die Pier	
	H. Stoltenberg, W. Scheuermann	

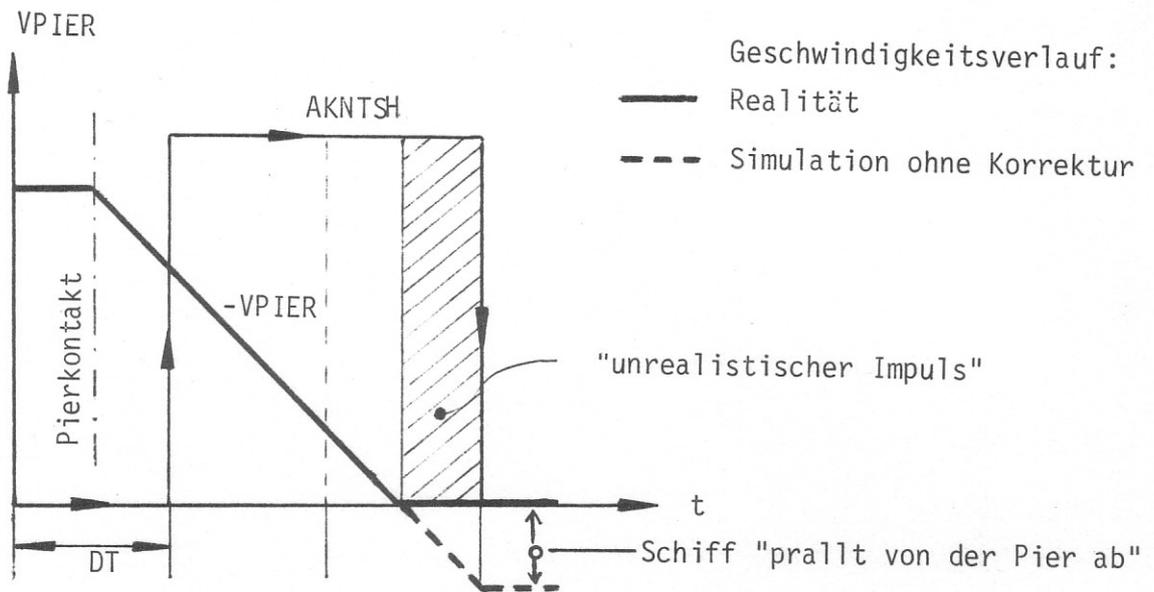


Abbildung 16: Beispiel für fehlerhafte Stoßsimulation

Da am Zeittakt von 1 sec. im gegebenen Fall nichts geändert werden kann, wird zur Vermeidung des "unrealistischen Impulses" die Knautschkraft AKNTSH im Bereich kleiner Geschwindigkeiten dynamisch verkleinert. Die daraus resultierende größere "Eindringtiefe" ist unwesentlich.

Wir berechnen die Kraftwirkung AKNTSH des Piersockels als Funktion der zur Pier orthogonalen Geschwindigkeitskomponente VPIER:

$$AKNTS\emptyset = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

$$AKNMAX = 2 \cdot 10^4 \text{ kN}$$

$$VPIR63 = -2,0 \text{ kn}$$

Nennwert der Geschwindigkeit, bei dem 63% der Maximalkraft erreicht sind

$$AKNTSH = AKNTS\emptyset + AKNMAX * (1 - \exp(-(|VPIER|/VPIR63)))$$

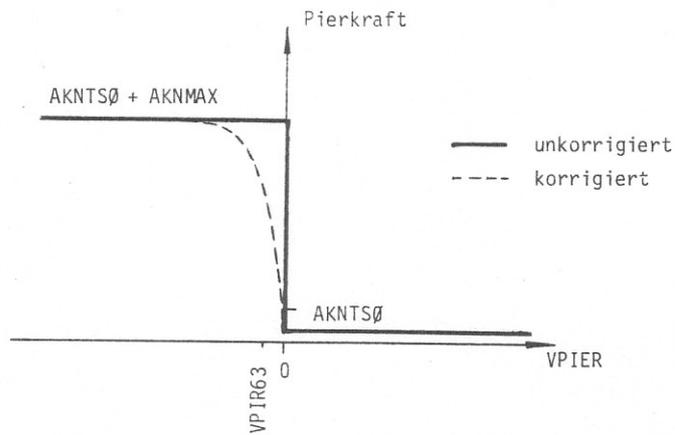


Abbildung 17

5.2 Wirkungsgrad des Fenders

Aus Herstellerangaben errechnet sich aus der Energieaufnahme eines Fenders ein Wirkungsgrad von

$$\eta = 0,8 \dots 0,9.$$

Wegen der Schwierigkeit der Berechnung des hydrodynamischen Verhaltens bei sehr kleinen Geschwindigkeiten, wie sie beim An- und Ablegen vorkommen, ist es sinnvoll, den Wirkungsgrad des Fenders $\text{ETAFEN} = 0,6$ anzusetzen, um eine realistische Stoß-Dämpfung zu erhalten.

5.3 Ausgaben an das Bewegungssystem

Zur natürlichen Simulation von Anlegemanövern gehört die entsprechende Krängung und Neigung des Schiffes.

Da die Dynamik nur für 2 Freiheitsgrade der Translation und einem der Drehung berechnet wird, ist bei der Programmierung der übrigen Bewegungsmöglichkeiten empirisch vorzugehen.

	FACHHOCHSCHULE HAMBURG FACHBEREICH SEEFAHRT	April 84 S. 29
	Die Pier	
	H. Stoltenberg, W. Scheuermann	

PIERST Stampfwinkel wegen Pierberührung
PIERKR Krängungswinkel aus Pierberührung

Parameter:

ASTPIR = 0,7° maximaler Stampfwinkel

AKRPIR = 2,0° maximaler Krängungswinkel

Der funktionale Zusammenhang zwischen Neigungswinkeln
und Pierkraft sieht folgendermaßen aus: (siehe Abb. 15)

$$\text{PIERST} = -\text{sign}(\text{FXPIER}) * \text{ASTPIR} * (1 - \exp(-\text{abs}(\text{FXPIER}) / \text{FMAX63}))$$
$$\text{PIERKR} = \text{sign}(\text{FYPIER}) * \text{AKRPIR} * (1 - \exp(-\text{abs}(\text{FYPIER}) / \text{FPIMAX}))$$

Nennwerte: FMAX63 = 15500 kN
 FPIMAX = 1250 kN

Die Werte werden zu den übrigen Neigungswinkeln aus an-
deren Einflüssen addiert.



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

S. 30

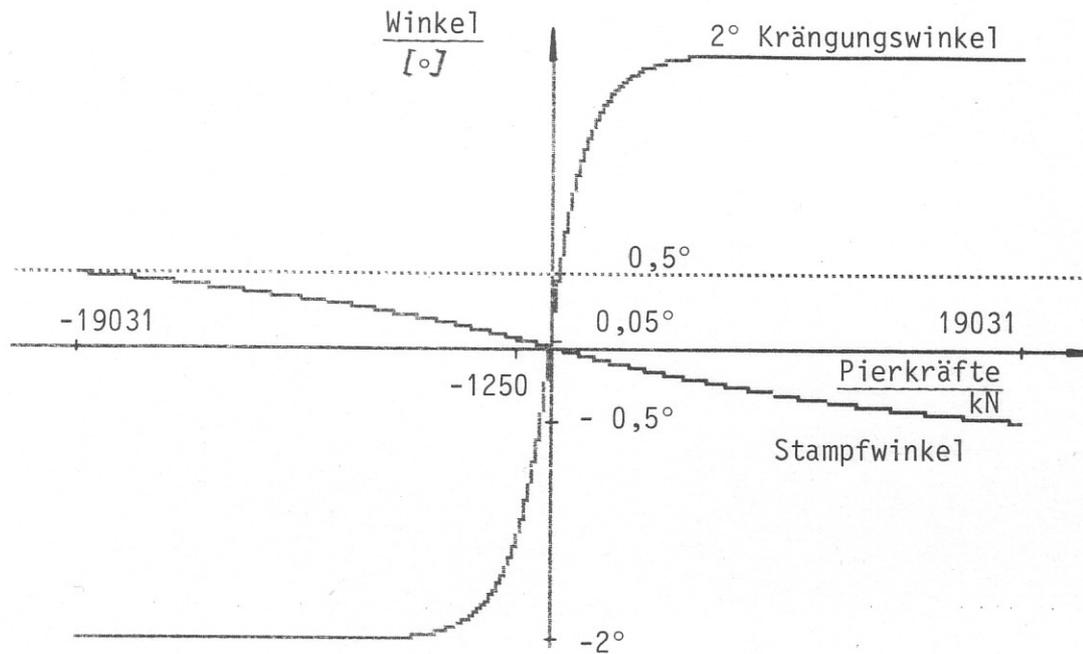


Abbildung 18

Man beachte die Vorzeichen der Pierkräfte und der Winkel.

5.4 Begrenzung des Piereinflußbereiches

Der geografische Bereich, in welchem es nötig ist, die Pierwirkung zu berechnen, wird durch geeignetes Abfragen im globalen Koordinatensystem bestimmt.

Zur fehlerfreien Berechnung auch in Grenzfällen wird der Pierbereich um einen Rand von der Stärke einer Schiffslänge vergrößert.

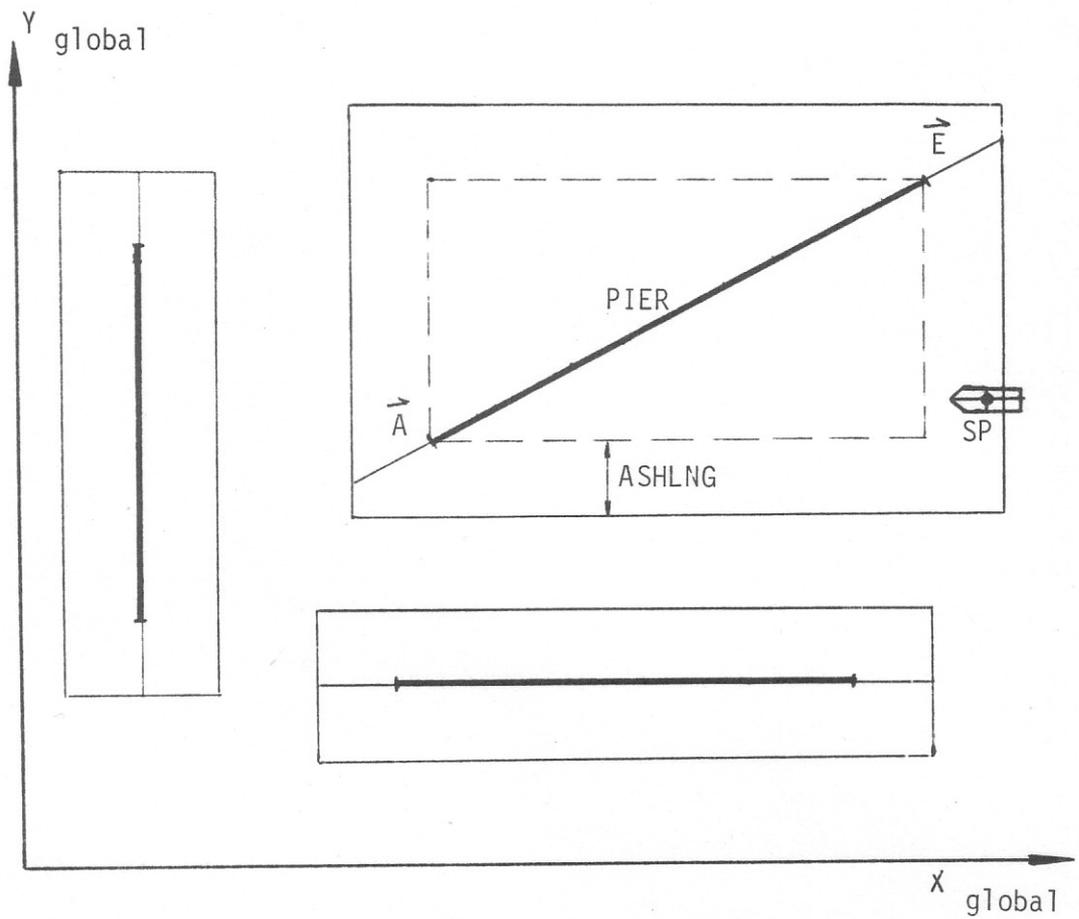


Abbildung 19: Pierbereich

Nur wenn sich der Schiffsschwerpunkt SP innerhalb des rechteckigen Pierbereiches befindet, wird die Wirkung der Pier berechnet.

	FACHHOCHSCHULE HAMBURG FACHBEREICH SEEFAHRT	April 84 S. 32
	Die Pier	
	H. Stoltenberg, W. Scheuermann	

5.5 Schnittstellenvariable

Aus der Schnittstelle werden zur Berechnung der Pier folgende Variablen benötigt:

XPIERA, YPIERA	Koordinaten des Pieranfangspunktes
XPIERE, YPIERE	Koordinaten des Pierendpunktes
QSIGEO	Kurs des Schiffes [°]
XGEO, YGEO	Schiffsmittelpunkt in globalen Koordinaten
UG, VG	Geschwindigkeit des Schiffsmittelpunktes über Grund
RG	Drehgeschwindigkeit des Schiffes
DT	Zeitschritt 1 sec
ASHLNG	Schiffslänge
ASHBRT	Schiffsbreite

In die Schnittstelle werden geschrieben:

FXPIER, FYPIER	Pierkraft, lokal
ENPIER	Drehmoment aus Pierwirkung
PIERST	Stampfwinkel aus Pierwirkung
PIERKR	Krängungswinkel aus Pierwirkung



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

.S. 33

5.6 Variable der Piersimulation

FENDBR	Fenderbreite (2,5 m)
AMY	Reibungszahl μ (0,58)
ETAFEN	Fenderwirkungsgrad η (0,6)
AKNTSØ	Knautskraft, Grundkomponente ($2,5 \cdot 10^3$ kN)
AKNMAX	Maximum der variablen Knautskraftkomponente ($2 \cdot 10^4$ kN)
AKNTSH	Knautskraft
CSATMY	$\cos(\text{atn}(\mu))$
SNATMY	$\sin(\text{atn}(\mu))$
VPIR63	Nennwert der Anäherungsgeschwindigkeit (-2,0 kn)
PIERST	Stampfwinkel aus Pierberührung
PIERKR	Krängungswinkel aus Pierberührung
FMAX63	Nennwert der Pierkraft für Stampfen (15500 kN)
FPIMAX	Nennwert der Pierkraft für Krängung (1250 kN)
ASTPIR	Maximaler Stampfwinkel ($0,7^\circ$)
AKRPIR	Maximale Krängung (2°)
VPIER, GLEITR	Geschwindigkeit eines Punktes der Schiffshaut, pierbezogen
UPKTE, VPKTE	Geschwindigkeit eines Punktes der Schiffshaut, lokales System
IGLTR	Gleitrichtung
PABST	Pierabstand eines Punktes
DFEND	Richtgröße des Fenders (500 kN/m)
FFEND	Federkraft des Fenders
ENPIER	Gesamtmoment aus Pierberührung
FXPIER, FYPIER	Gesamtkraft aus Pierberührung
FXHILF, FYHILF	Pierkraft in einem Berührungspunkt
UEXT, VEXT	Geschwindigkeit des Schiffsschwerpunktes, externes System
XGEOLC, YGEOLC	vorausberechneter Ort des Schiffsschwerpunktes
ENORMX, ENORMY	Normale \vec{n}° auf Pier
PKTXI(n), PKTYI(n)	Punkt n, $n = 1, \dots, 5$
APSI	Kurs in Koordinatentransformation
XLOC, YLOC	lokale Koordinaten
XGLO, YGLO	globale Koordinaten
XUR, YUR	globale Koordinaten des Nullpunktes



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

S. 34

6. Sonstiges

6.1 Terminalausgaben für Übungsleiter

Für die Durchführung von Anlegemanövern werden für den Übungsleiter die Pier-Abstände der 5 Punkte der Schiffshaut in geeigneter Darstellung ausgegeben.

Vorsteven

Stb vorne

Stb achtern

Bb achtern

Bb vorne



FACHHOCHSCHULE HAMBURG

FACHBEREICH SEEFAHRT

Die Pier

H. Stoltenberg, W. Scheuermann

April 84

S. 35

6.2 Begrenzung des Bereichs der Kraftwirkung

Die Anwendung erfordert, daß die Wirkung einer Pier tatsächlich erst in ihrem Anfangspunkt beginnt und in ihrem Endpunkt endet.

Das bisherige Modell genügt diesen Anforderungen nicht.

Die Begrenzung der Kraftwirkung der Pier erfolgt senkrecht zu dieser. (Siehe Abb. 21)

Die Entscheidung, ob ein Punkt \vec{P} der Schiffshaut außerhalb oder innerhalb des Bereichs liegt, in dem die Pierkräfte wirksam sind, erfolgt mit Hilfe der Parallelen \vec{p}^0 (siehe Abb. 3).

$$PIRLNG = \text{sqr}((XPIERE-XPIERA)**2+(YPIERE-YPIERA)**2)$$

Normale $\vec{n} = (ENORMX, ENORMY)$ mit
ENORMX = (YPIERE-YPIERA)/PIRLNG
ENORMY = (XPIERA-XPIERE)/PIRLNG

Parallele $\vec{p}^0 = (-ENORMY, ENORMX)$ (vgl. 1.3)

Es wird eine Variable PIEBER definiert, welche die Abszisse des Punktes \vec{P} in Pierkoordinaten angibt.

$$\begin{aligned} \text{PIEBER} &= \langle \vec{P} - \vec{A}, \vec{p}^0 \rangle && \text{oder} \\ \text{PIEBER} &= -(PKTXE - XPIERA) * ENORMY + (PKTYE - YPIERA) * ENORMX \end{aligned}$$

wobei $\vec{P} = (PKTXE, PKTYE)$ der Punkt in externen Koordinaten ist.

Wenn $\text{PIEBER} < 0$ oder $\text{PIEBER} > \text{PIRLNG}$ dann wird keine Kraftwirkung der Pier berechnet. Wenn sich das Schiff aber im Piereinflußbereich befindet (siehe 5.4) erfolgen dennoch Ausgaben der Pierabstände an den Benutzer. (Siehe Abb. 20)

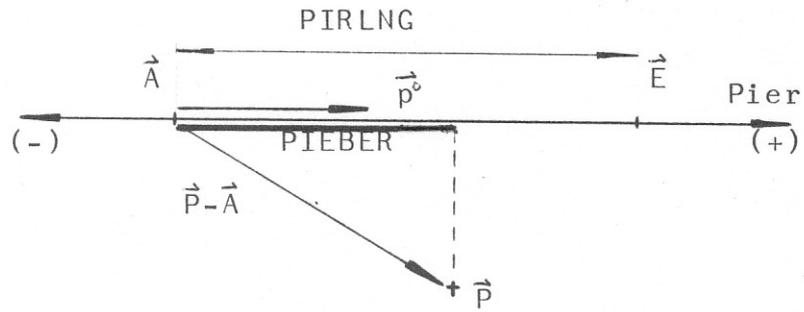


Abbildung 20: Projektion von \vec{P} auf die Pier

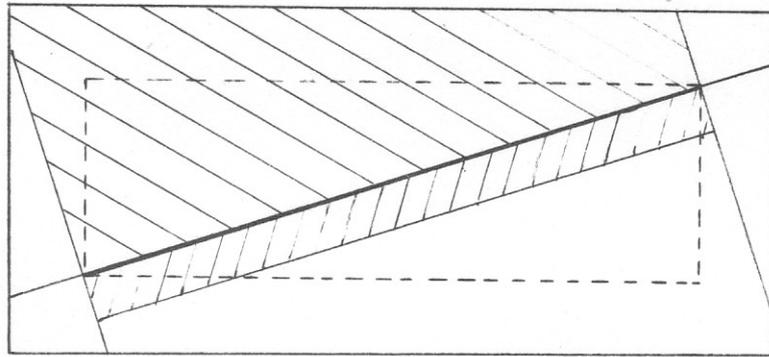


Abbildung 21: Eingegrenzter Bereich der Pierkräfte

Während mit dem bisherigen Modell nur konkave Pierkonfigurationen zu simulieren waren, können nun auch konvexe Pieranlagen realistisch nachgebildet werden.

6.3 Modellierung der Schiffshaut

Die Beschreibung der Schiffshaut durch 5 Punkte ist für die Simulation der Wechselwirkung mit Pierkonfigurationen, die konvexe Ecken enthalten, nicht ausreichend.

Es werden zu den bisherigen 5 Punkten weitere eingeführt, um eine genauere Beschreibung der Schiffshaut zu erhalten.

$(-ASHLNG/2,0)$ Achtersteven
 $(ASHLNG-ASHBRT/2)/2,-ASHBRT/4)$ Bug
 $(ASHLNG-ASHBRT/2)/2, ASHBRT/4)$
 $((ASHLNG-ASHBRT)/2-n*(ASHLNG-ASHBRT/2)/12,$
 $-ASHBRT/2)$ Seiten
 $((ASHLNG-ASHBRT)/2-n*(ASHLNG-ASHBRT/2)/12,$
 $ASHBRT/2)$
 wo $n = 1, \dots, 12$



Abbildung 22: Modell der Schiffshaut

	FACHHOCHSCHULE HAMBURG FACHBEREICH SEEFAHRT	Mai 85
	Die Pier	S. 38
	H. Stoltenberg. W. Scheuermann	