

Steinschlaguntersuchungen zur Ermittlung vertikaler Sicherheitsabstände in der Schifffahrt

UNIV.-PROF. DR.-ING. THEODOR STROBL; DIPL.-ING. MARKUS SCHMAUTZ
LEHRSTUHL UND VERSUCHSANSTALT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT,
TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Aufgabenstellung

Durch den Schraubstrahl und daraus entstehende Wirbel werden Kies- und Steinkörner von der Schiffsschraube angesaugt und verursachen je nach ihrer Größe erheblichen Schaden an Propeller und Düse. Bild 1 zeigt die Schraube des Versuchsschiffes MS Main nach den

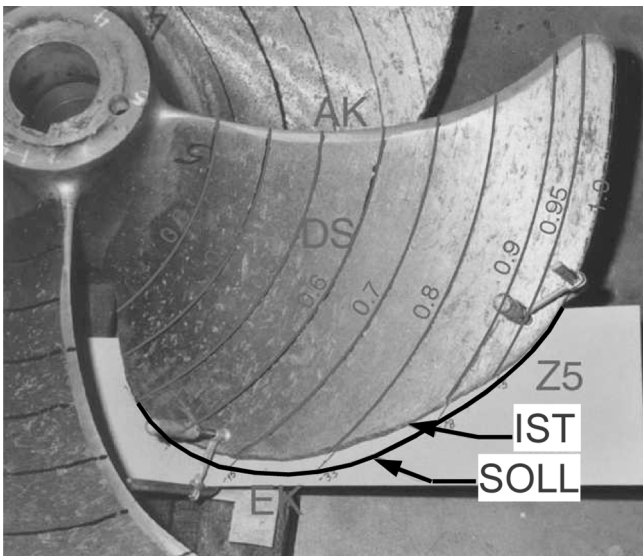


Bild 1: Schraube des Versuchsschiffes MS Main nach den Versuchsfahrten

Versuchsfahrten (IST). Deutlich zu erkennen ist die starke Beschädigung der Schraube mit einem maximalen Verlust gegenüber der ursprünglichen Größe (SOLL) von 33 mm.

Im Rahmen der „Modellversuche zum Ansaugverhalten von Steinen“ in der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau in Duisburg (VBD) und der „Naturversuche Sohldeckwerk“ wurde durch ein spezielles Mess- und Auswerteverfahren eine Zuordnung der auf die Schiffsschraube aufgetroffenen Kies- und Steinkörner zu definierten Korn-

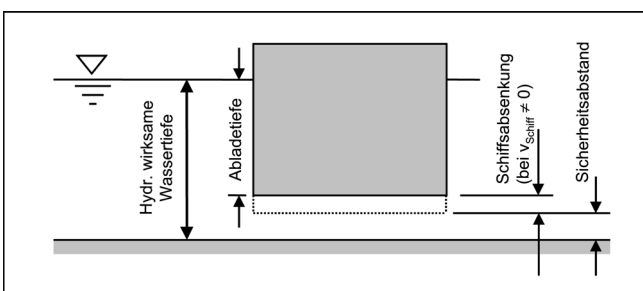


Bild 2: Definition des Sicherheitsabstandes

größenklassen ermöglicht. Unter Einbeziehung weiterer Messdaten, wie Flottwassertiefe, Schiffsgeschwindigkeit und eingesetzter Leistung, kann eine Aussage hinsichtlich des erforderlichen Sicherheitsabstandes getroffen werden (siehe Bild 2 zur Definition des Sicherheitsabstandes).

Mess- und Auswerteprinzip

Die Auswertung und damit Einteilung der aufgetroffenen Körner beruht auf einer **Vergleichsanalyse** der durch Kies- und Steinschlagereignisse induzierten Schwingungen der Struktur Schiffsschraube, Welle und Lager.

Der durch den Stoßprozess hervorgerufene Impulseintrag führt zu einer Schwingungsantwort des Systems. Diese kann als Überlagerung einzelner Eigenschwingungen (mit bestimmten Eigenfrequenzen) interpretiert werden, deren Amplituden je nach aufgetroffener Korngröße unterschiedliche Werte annehmen. Bei der Auswertung werden die nachfolgend aufgelisteten Parameter der während einer Versuchsfahrt angeregten Schwingungen mit den Parametern von Referenzsignalen verglichen. Im Einzelnen sind dies:

- Größe des Energieeintrags beim Stoß (in Form der Energiedichte), (siehe Bild 3)
- Abklingzeitkurve der Schwingung (siehe Bild 3)
- Frequenzsignatur der Schwingung (siehe Bild 4)

Das Schwingungsverhalten der Welle wird über einen Beschleunigungsaufnehmer aufgezeichnet, der sich zwischen zwei Lagerblöcken zwischen Getriebe und Propeller befindet.

Kalibrierung

Grundlage für die Auswertung sind sorgfältig durchgeführte Kalibrierungen, mit denen die Referenzsignale erzeugt werden. Material definierter Größe und definierten Gewichtes wird bei bekannten Drehzahlen in den Tunnel vor die Schraube gebracht. Die beim Auftreffen der Körner auf die Schraube entstehenden Signale werden mittels des Messsystems aufgezeichnet und dienen als Referenzwerte, die eine Zuordnung der aufgetroffenen Kies- und Steinkörner zu definierten Größenklassen erlauben.

Sowohl bei den Modell- als auch bei den Naturversuchen wurden spezielle Kalibriervorrichtungen an die Versuchsschiffe angebracht, die eine kontrollierte Zugabe von Körnern gewährleisten (siehe Bilder 5 und 6).

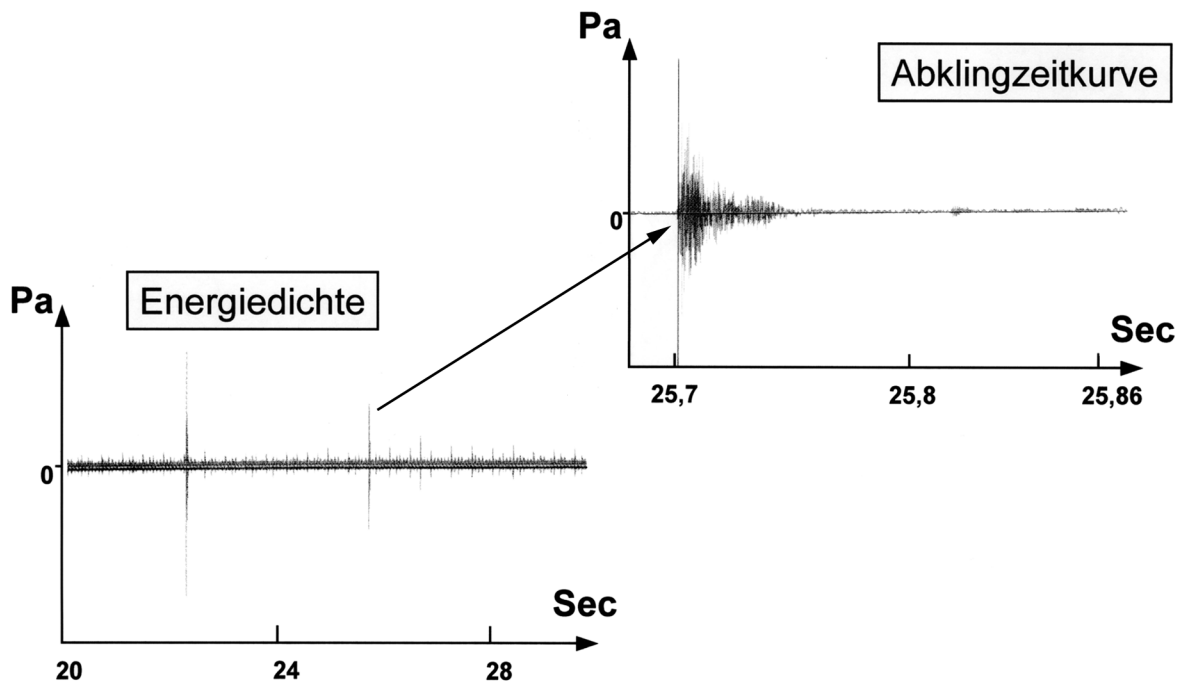


Bild 3: Energiedichteaufzeichnung mehrerer verschieden großer Kies- und Steinkörner mit Abklingzeitkurve eines Schlagereignisses (starke zeitliche Streckung der Zeitachse)

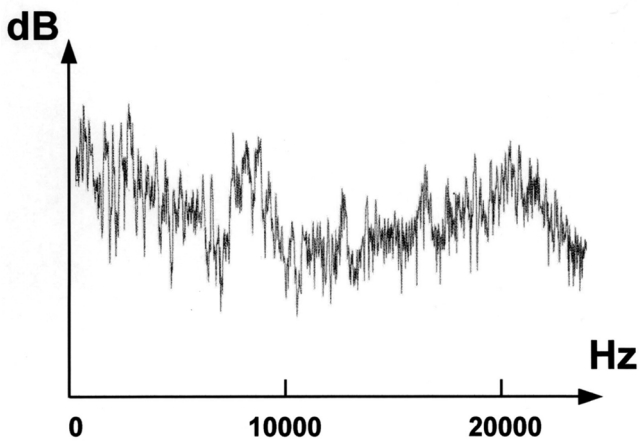


Bild 4: Frequenzsignatur eines Kornes der Korngröße IV



Bild 5: Konstruktion zur Kalibrierung an der Mon Desir



Bild 6: Konstruktion zur Kalibrierung an der MS Main

Auf Basis der Kalibrierdaten wurde eine Auswertung hinsichtlich der Trefferhäufigkeiten der beim „Naturversuch Sohldeckwerk“ eingesetzten Schiffe MS Main (Einschrauber) und Mon Desir (Zweischrauber) durchgeführt (siehe Bild 7).

Naturversuche

Zur Einteilung des Sohlmaterials wurden vom Arbeitsteam FAHRDYNAMIK sechs Korngrößenklassen definiert ohne eine Unterscheidung zwischen Deckwerks-

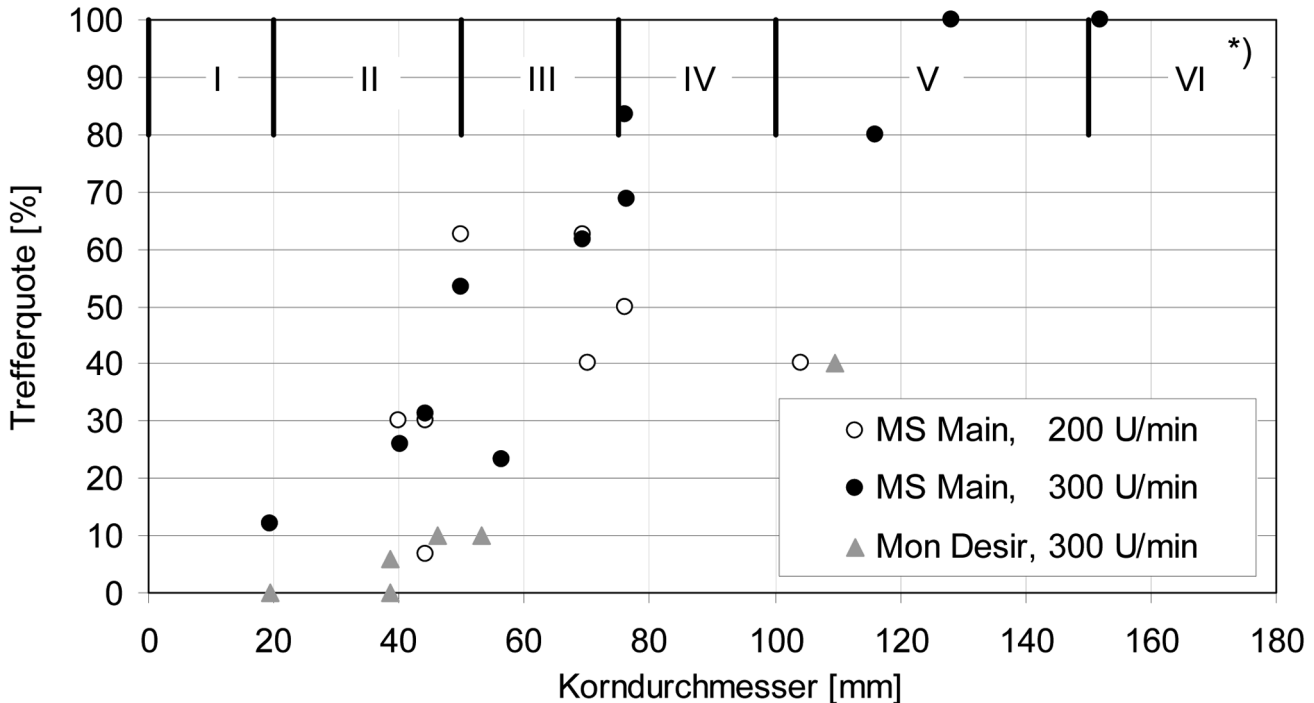


Bild 7: Kalibrierungen an MS Main und Mon Desir, Trefferstatistik
* Definition der Korngrößenklassen nach Tabelle 2

Als „Trefferquote“ wird dabei bezeichnet:

$$\text{Trefferquote} = \frac{\text{Anzahl der von der Schraube getroffenen, registrierten Kies- /Steinkörner}}{\text{Anzahl der zugegebenen Kies- /Steinkörner}} \cdot 100[\%]$$

Die Trefferquoten nehmen mit der Kies- bzw. Steinmasse und der Schraubendrehzahl zu und liegen bei der MS Main deutlich höher als bei der Mon Desir.

Modellversuche

In den Modellversuchen wurde die in Tabelle 1 dargestellte Bandbreite an fahrdynamischen Parametern untersucht. Dabei konnten erste Erkenntnisse über die erforderlichen Sicherheitsabstände gewonnen werden, die Eingang in die Planung der Naturversuche fanden. Als kritische Fahrmanöver stellten sich die Stoppfahrten gefolgt von den Bergfahrten bzw. den Trossenzugfahrten (Anfahrbedingungen) heraus. Der geringste Sohlabstand wird bei den Talfahrten benötigt.

material und natürlichem Flusskies vorzunehmen (siehe Tabelle 2 und Bild 8).

Bei den Naturversuchen wurden sowohl Fahrten über der natürlichen Kiesohle (sog. Nebenfahrrinne) als auch über der Deckwerksstrecke, wahlweise als GMS, Spargel- oder Koppelverband, durchgeführt (siehe Tabelle 3). Der Bereich der von den Versuchsfahrten erfassten Korndurchmesser des Sohlmaterials reicht damit von kleiner als 20 mm bis zu 200 mm.

		GMS (Einschrauber)		GMS (Zweischrauber)		Koppelverband (Zweischrauber)	
		NW	MW	NW	MW	NW	MW
Ebene Sohle	Bergfahrt	x		x	x	x	
	Talfahrt	x		x	x	x	
	Trossenzugversuche	x		x		x	
	Stoppen	x		x		x	
Unebene Sohle	Bergfahrt			x	x		
	Talfahrt			x	x		
	Trossenzugversuche			x			
	Stoppen			x			

Tabelle 1: Zusammenstellung der im Modell durchgeführten Fahrten

Klasse	Bezeichnung	Korndurchmesser [mm]
I	Kieskorn	$d \leq 20$
II	Kieskorn	$20 < d \leq 50$
III	Kieskorn/Steinkorn	$50 < d \leq 75$
IV	Steinkorn	$75 < d \leq 100$
V	Steinkorn	$100 < d \leq 150$
VI	Steinkorn	$d > 150$

Tabelle 2: Einteilung in Korngrößenklassen für Kiessohle und Deckwerk
(Bezeichnung in Anlehnung an DIN 4022)

	MS Main (Einschrauber)		Mon Desir (Zweischrauber)	
	Deckwerk	Nebenfahrrinne	Deckwerk	Nebenfahrrinne
Warten	x	x	x	x
Anfahren	x	x	x	x
Überfahrt zu Berg	x	x	x	x
Überfahrt zu Tal			x	
Mulde zu Berg	x		x	
Mulde zu Tal			x	
Stoppen			x	

Tabelle 3: Zusammenstellung der in den Naturversuchen durchgeführten Fahrten mit Steinschlagmessungen



Bild 8: Korngrößenklassen IV und VI, exemplarisch

Ergebnisse

Folgende Erkenntnisse lassen sich qualitativ formulieren:

- Das Ansaugen von Kies- und Steinkörnern ist vom vorhandenen Schiffstyp abhängig. Die Anzahl der Schrauben, die Schiffs- und speziell die Tunnelgeometrie beeinflussen das Ansaugverhalten stark. Sowohl bei den Kalibrierversuchen als auch bei den Naturversuchen wurden bei dem Zweischauber Mon Desir wesentlich weniger Steinschlagereignisse festgestellt als bei dem Einschrauber MS Main. Eine Begründung für das unterschiedliche Ansaugverhalten bei den Versuchsfahrten kann anhand der Bilder 5 und 6 gegeben werden. Während die Schiffsgeometrie der Mon Desir in der Hauptsache ein seitliches Ansaugen des Wassers bewirkt, wird durch die „Schürze“ im Tunnelbereich der MS Main ein Großteil des Wassers von unten zur Schraube bewegt und somit ein Ansaugen von Körnern begünstigt.

- Mit Steigerung der eingesetzten Leistung bzw. bei geringerer Überfahrungs geschwindigkeit nimmt die Ansaugtendenz zu.

Unter Einbeziehung der bei allen Fahrten gemessenen Flottwassertiefen wurde **der erforderliche Sicherheitsabstand** zur Vermeidung des Ansaugens von Sohlmaterial der Körnung 50/200 mm zu **80 - 100 cm** ermittelt.

