

FISCHEREITECHNIK

Gegenüberstellung von mathematisch-physikalischer Modellierung und Messungen an geschleppten fischereitechnischen Systemen

Otto Gabriel, Institut für Fischereitechnik und Fischqualität, Hamburg
Gerd Niedzwiedz, Universität Rostock, Institut für Maritime Systeme und Strömungstechnik

Im Zusammenhang mit einem neu zu konzipierenden geschleppten fischereitechnischen System (Schleppnetz, UW-Beobachtungsträger o. ä.), aber auch mit der Vermessung eines bereits existierenden und getesteten entsteht häufig die Frage nach der Vorhersagbarkeit seines praktischen Einsatzverhaltens in Abhängigkeit von einer Reihe von möglichen Parametern. Diesen Einfluss messtechnisch zu erfassen, erfordert ein zeit- und kostenaufwendiges Erprobungsprogramm, das in den meisten Fällen nur begrenzt umsetzbar ist. Deshalb wurden in der Vergangenheit verschiedene mathematisch-physikalische Modelle solcher Systeme mit der Möglichkeit einer komplexen Berechnung entworfen. Ihr Wert bestimmt sich jedoch stets aus einer entsprechenden praktischen Verifizierung.

Im Rahmen der 222. Reise von FFS „Walther Herwig III“ im November 2000 wurden in Kooperation des Instituts für Fischereitechnik und Fischqualität mit der Universität Rostock, wo solche Modelle entwickelt und programmiert werden, vergleichende Untersuchungen an zwei konkreten und praktisch relevanten Systemen durchgeführt und bewertet. Dabei handelte es sich um ein pelagisches Schleppnetz für den Heringsfang und die geschleppte UW-Fernsehanlage des Instituts für Fischereitechnik und Fischqualität.

Für das pelagische Schleppnetz PSN 205, das auf FFS „Walther Herwig III“ als Standardnetz für Kontrollfänge bei der hydroakustischen Bestandseinschätzung eingesetzt wird (Abbildung 1), war für favorisierte Einsatzparameter bereits während einer früheren Reise eine fangtechnische Vermessung durchgeführt worden (Rehme 1998). Die Frage weiterer Systemveränderungen (zum Beispiel Variation der Zusatzlänge, des Auftriebs an der Headleine, des Gewichts am Grundtau, Einstellung verschiedener Scherbreiten infolge anderer Scherbretter oder Scherbretteinstellungen) konnte dabei aus Zeitgründen nur teilweise beantwortet werden. Andere eventuell auftretende Fragen wie die nach der Netzform und der Einstellungsverteilung wurden mangels nicht verfügbarer bzw. einsetzbarer UW-Beobachtungstechnik

gar nicht erst angegangen. Deshalb sollte dieses Geschirr einer nochmaligen Vermessung und Beobachtung sowie einer gegenüberstellenden mathematisch-physikalischen Modellierung unterzogen werden.

Comparison between mathematical-physical modeling and measurements at towed technical systems for fishery research

When drafting a new model of a towed technical system for fisheries (trawl, towed TV gear or similar), and also when measuring an existing and already tested system it is not easy to foresee of practical behaviour, which depends of various parameters. The measuring programme for recording all data needs a lot of time and money, and also has some limitations. Therefore we developed for such systems mathematical-physical models, which allow a complex calculation. Their real value, however, results only from practical verification. During the cruise no. 222 of "Walther Herwig III" in November 2000 comparative investigations for 2 concrete systems were carried out. This was done in cooperation with the University in Rostock, where such models are being developed and computerized. One of the systems measured was a pelagic herring trawl and the other one the towed TV gear for underwater observations of the Institute for Fishery Technology and Fish Quality. The correspondence between model calculation and measurements was very high for both systems.

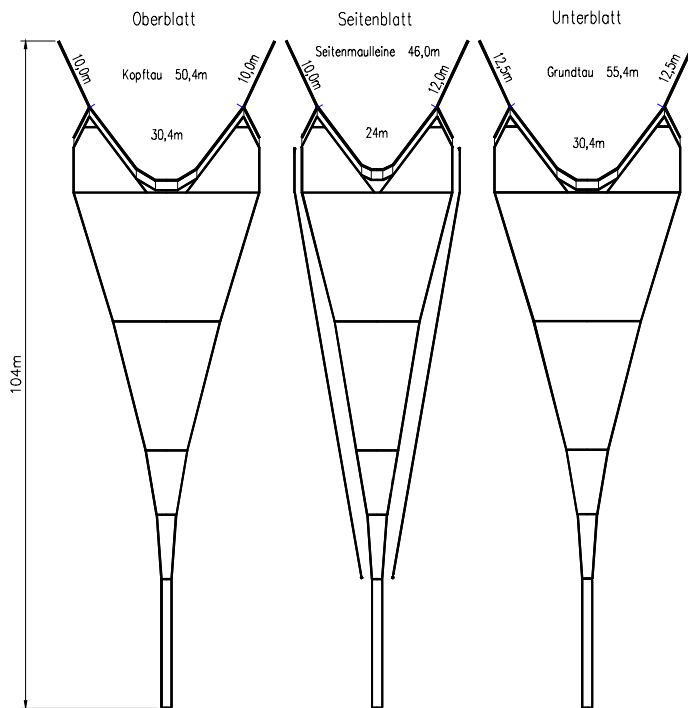


Abbildung 1: Netzzeichnung des Heringsschleppnetzes PSN 205
Net construction of pelagic herring trawl PSN 205

Der zweite diesbezüglich angestrebte Systemvergleich während dieser Reise bezieht sich auf das institutseigene UW-Beobachtungssystem (TV-Schlitten, Abbildung 2, vgl. auch Lange und Steinberg 1991), für das ein neues, bisher nicht erprobtes Schleppkabel verwendet wurde und das speziell in geringen und damit hinsichtlich des möglichen Kabeldurchhangs kritischen Wassertiefen eingesetzt werden sollte. Von Interesse waren neben der Durchhangsform auch die Ermittlung des Aussteuerbereichs bei Variation der Schleppgeschwindigkeit, Kabellänge und Rotordrehzahlen. Dazu war eine experimentelle Bestimmung der hydrodynamischen Widerstandskraft und der aus dem Flettnerprinzip resultierenden hydrodynamischen Auftriebs-, Abtriebs- und Querkräfte erforderlich. Außerdem sollte mit den ermittelten Anfangskräften am Kabel unter Zugrundelegung der maximal möglichen Schlittenkräfte nach oben, unten, zur Seite und diagonal nach oben bzw. unten eine Nachrechnung der durch Messung nicht erfassten Bereiche erfolgen.

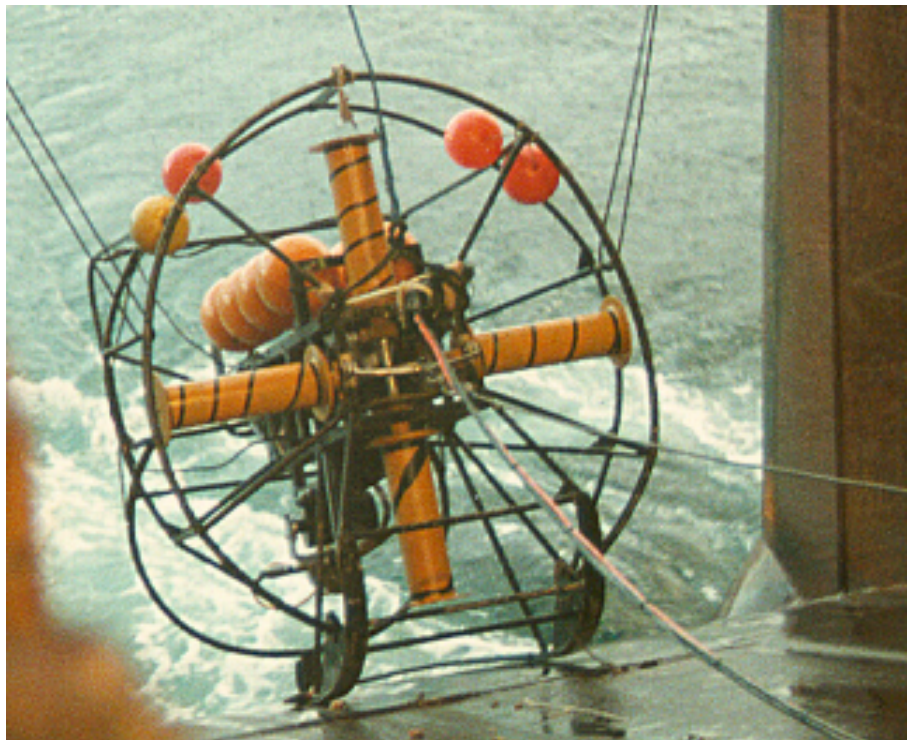


Abbildung 2: TV-Schlitten und Unterwasserbeobachtungssystem des Institut für Fischereitechnik und Fischqualität
Towed TV-gear for underwater observations of the Institute for Fishery Technology and Fish Quality

Daraus ableitbare Arbeitsdiagramme können insbesondere dem weniger geübten Operator eine wertvolle Arbeitshilfe sein.

Grundlagen, Methoden und Werkzeuge

Fischereitechnische Systeme, wie oben beschrieben, sind aus ingenieurtechnischer Sicht Strukturen, deren Elemente (= Maschenschenkel, Trossenabschnitte) eine vernachlässigbare Eigensteifigkeit aufweisen und die im Wesentlichen durch Strömungskräfte und Eigengewicht belastet sind. Man spricht von „Fadenzugsystemen“.

Die dafür an der Universität Rostock entwickelten Berechnungsverfahren zielen einerseits auf den mathematisch-physikalisch determinierten Entwurf von Netzmänteln ab, andererseits haben sich für praktische Belange Nachrechnungsverfahren als sehr nützlich erwiesen. Hierbei wird ausgehend von einer konkret vorliegenden Konstruktion die Form und Belastung dieser Systeme ermittelt bzw. es können nach konstruktiven Veränderungen die entsprechenden technischen Konsequenzen deutlich gemacht werden.

Eine grundlegende Modellierungsmethode bei der Nachrechnung biegeschlaffer, strömungsbelasteter und schwerer Zugsysteme stellt die Diskretisierung des realen Systems dar. Im Unterschied zur aus der Strukturmechanik bekannten Finite Elemente Methode (FEM) sind die zu berechnenden Strukturen nicht aus fiktiven, einfach geformten Grundbausteinen aufgebaut, sondern durch schlanke Zugstäbe gekennzeichnet, die miteinander verknüpft Einzel- oder Mehrleinsysteme (Netze) bilden. Die Zugstäbe haben endliche Abmessungen; der Diskretisierungsgrad (Anzahl der Unterteilungen einer real vorhandenen Trosse bzw. eines Maschenschenkels) leitet sich aus der vorgegebenen Konstruktion ab. Ein an der Universität Rostock entwickeltes spezielles mathematisches Verfahren zur iterativen Lösung der aufzustellenden Knotenkraft- und Geometriegleichungen (Leitzke 1981) verlangt klein bleibende formabhängige äußere Kräfte und damit genügend kleine Elemente. Hieran ist unter Umständen die Konvergenzfähigkeit des Verfahrens geknüpft.

Die Beachtung dieser die Lösung zum Teil wesentlich beeinflussenden Bedingungen setzt beim Anwender der Verfahren ein gewisses Maß an Erfahrung und Kreativität voraus. In den letzten Jahren ist es gelungen, neben der eigentlichen effizienteren Programmierung der Berechnungsalgorithmen (numerische Lösung großer, schwach besetzter Gleichungssysteme, vgl. auch Pevestorf 1995) eine Reihe von weiteren Softwarewerkzeugen zu schaffen, die diesen Prozess begleiten und unterstützen können.

Für schwere, hydrodynamisch belastete Einzelleinen (z. B. Kurrleinen, Echsondenkabel, Schlepprossen für die Meeresforschung) wurde das Programm KAB-KURR entwickelt (Niedzwiedz 1991). Es erlaubt die Nachrechnung von Form und Zugkraftverlauf der automatisiert diskretisierten Einzelleine unter Berücksichtigung verschiedenster Aufgabenstellungen:

- bekannte Anfangskraftkomponenten am unteren Leinenende oder
- bekannter Endkraftkomponenten am oberen Leinenende oder
- bekanntem Abstand der Leinenendpunkte

Die Leinenart bzw. ihre Oberflächenstruktur bedingen entsprechende hydrodynamische Kräfte. Für KAB-KURR wurden dafür Berechnungsansätze programmiert, deren Grundlage früher angestellte experimentelle Untersuchungen an Kurrleinen- und Fadenmodellen bildeten (u.a. Stengel und Fischer 1968; Hahlbeck 1976). Selbst der Reibungseinfluss von auf dem Meeresboden schleifenden Trossen ist kalkulierbar (vgl. Beispielrechnungen für Agassiz-Trawl von Niedzwiedz 1999 unter Verwendung von Reibungsbeiwerten von Richter 1998).

Netzartige Systeme haben eine wesentlich kompliziertere Struktur als Einzelleinen. Hinzu kommt, dass sie im Gegensatz zur Schlepptrosse zumeist aus unterschiedlichsten Materialien aufgebaut sind. Bei Schleppnetzen sind das klein- und großmaschige Netzteile kombiniert mit Chemiefaser- bzw. Drahttauwerk mit teilweise extrem unterschiedlichen Materialeigenschaften. Neben den äußeren hydrodynamischen Kräften (vgl. auch Kruse 1979 und Bednorz 1989), deren Größe und Richtung bei gegebenem Material insbesondere von der räumlichen Lage des jeweiligen Elements abhängig ist, können darüber hinaus punktuell wirkende konstante Gewicht- oder Auftriebskräfte, aber auch vom Betrag her große formabhängige Scherkräfte auftreten. Jedes Netz zeichnet sich durch eine spezifische Konstruktion aus, die sich in einer individuellen Art der Verknüpfung der Elemente untereinander widerspiegelt.

Im Gegensatz zur Einzelleine, wo die Struktur des zu bildenden Gleichungssystems relativ einfach vorhersagbar ist, gehört zu jeder Netzkonstruktion ein einzigartiges Gleichungssystem. Das Aufstellen dieses aus mehreren tausend Gleichungen bestehenden, inhomogenen und nichtlinearen Gleichungssystems stellte noch bis vor einigen Jahren den zeitlichen Hauptanteil des Modellierungs- und Berechnungsprozesses für Schleppnetze dar. Inzwischen übernimmt das Programmsystem ROPENETCALCULATOR (RNC, Hopp und Niedzwiedz 1998) einen Großteil der anfallenden und zumeist von Routine geprägten Arbeiten, so dass innerhalb nur weniger Stunden Variantenrechnungen für Schleppnetze

(Form und Belastung als Funktion von Schleppgeschwindigkeit, Bestückung, Vorgeschirrkonstruktion u. a.) erstellbar sind. Zyklusartig sind die Auswirkungen schrittweiser konstruktiver Veränderungen in der Netzkonstruktion simulierbar.

Liegen Netzkonstruktionen mit sehr vielen Einzelementen vor (Schleppnetze können ca. 10^6 aufweisen), ist es naheliegend, entweder in Ersatzelementen mehrere reale Einzelemente zusammenzufassen oder ein Netzsystem aus mehreren Teilsystemen aufzubauen und durch bestimmte Schnittparameter miteinander zu verknüpfen. Auch derartige Vorgehensweisen werden mit RNC unterstützt. So besteht die Möglichkeit, selbst große Schleppnetze auf PC-Technik berechnen zu können und damit mobil in Abwesenheit von Superrechentchnik theoretische Ergebnisse für praxisrelevante Einsatzfälle verfügbar zu haben. Die mit Bordmitteln gewonnenen technischen Informationen über die Arbeit des Schleppnetzes können auf diesem Weg hilfreich ergänzt werden.

Das Programm KABKURR und das System RNC waren auf der PC-Technik des FFS „Walther Herwig III“ während der 222. Reise installier- und nutzbar, so dass die oben beschriebenen Aufgaben, die Nachrechnung des Aussteuerbereiches des TV-Schlittens und die Simulation von Form, Belastung und Beanspruchung des pelagischen Heringsschleppnetzes PSN 205 auf See gelöst werden konnten.

Nachrechnung des pelagischen Heringsschleppnetzes PSN 205

Ausgehend von der technischen Dokumentation für das PSN 205, insbesondere den vorliegenden Netzzeichnungen und dem Bericht über die Schleppnetzerprobung (Rehme 1998) wurde das Schleppnetz in die beiden Teilsysteme Vor- und Achternetz unterteilt und entsprechend modelliert.

Achternetzmodellierung

Das Achternetz umfasste die Netzringe mit den Maschenlängen 50, 80, 160, 200 und 400mm. Die Netzfahndurchmesser wurden aus den Materialangaben berechnet (Gabriel und Schmidt 1973).

Die vereinfachte Nachrechnung des Achternetzes als Rotationsmantel (Schumacher 1976) ergab einen zu erwartenden Steertdurchmesser von $d_0 = 0,90$ m, einen Steertwiderstand von $F_{w_{steert}} = 3994$ N und eine Anfangsmascheneinstellung für das Achternetz von $u_{10} = 0,5$.

Zur Übergabe der Schnittkräfte an das Vornetz erfolgte die Unterteilung jedes Netzringes in 102 Segmente (= Anzahl modellierter Ersatzmaschen über den Um-

fang des gesamten Vornetzes). Die aus 4 fiktiven Maschenschenkeln bestehenden Ersatzmaschen stehen stellvertretend für einen konkreten Netztauchschnitt des Achternetzes, dessen hydrodynamische Belastung aus experimentellen Untersuchungen an Netzmodellen (u.a. Kruse 1979, Bednorz 1989) bekannt ist.

Vornetzmodellierung

Die nicht zum Achternetz gehörigen Netzteile waren Bestandteil der Vornetzmodellierung. Auch die Jäger und Brettlander des Vorgeschirres wurden zu diesem Schleppnetzteil hinzugerechnet.

Bei großmaschigen pelagischen Vornetzen ist es zumeist möglich, alle Vornetzelemente in ihrer wahren Länge zu berücksichtigen und so die reale Konstruktion nachzurechnen. Die Anzahl der Elemente im Vornetz des PSN 205 überstieg jedoch die Elementanzahl, die mit einem PC berechenbar ist. Demzufolge war es erforderlich, auch im Vornetz Ersatzmaschen zu bilden. Die vollständigen Ersatzmaschen umfassen jeweils 5×5 Originalmaschen. Die Ersatzmaschenschenkel verlaufen parallel zu den realen Maschenschenkeln. Zur Einhaltung der Ähnlichkeit der hydrodynamischen Belastung ist die Bedingung $d/a = \text{idem}$ erforderlich, so dass sich daraus die Durchmesser der Ersatzzugelemente ergeben (= $5 \times$ Originalschenkel Durchmesser). Die übrigen Vornetzelemente (Maulleinenabschnitte, Kettenelemente, Vorgeschirrelemente) wurden aus der Netzzeichnung übernommen. Die angegebene Auftriebsmittelverteilung erfolgte ebenfalls auf Basis vorliegender technischer Unterlagen.

Unter der Voraussetzung, dass sich das Schleppnetz symmetrisch zur x-z-Ebene ($x =$ Richtung der Schleppgeschwindigkeit, $z =$ Richtung entgegen der Erdbeschleunigung) einstellt, war es erlaubt, die zu erwartende Vornetzsymmetrie zu nutzen; der Rechenaufwand ist reduzierbar, indem nur eine Vornetzhälfte berechnet wird (Halbierung der Elementezahl).

Die in formatierter Form zusammengestellten Eingabedaten lassen Veränderungen folgender Parameter für Variantenrechnungen zu, ohne dass die Knotenkraft- oder Maschengleichungen verändert werden müssen:

- Scherbreite
- Schleppgeschwindigkeit
- Gewicht im unteren Flügel
- Auftriebskräfte an der Headleine
- Materialien (Länge, Durchmesser, Gewicht im Wasser)

Die Scherbreite wurde als bekannt vorausgesetzt (Rehme 1998). Sie ließe sich prinzipiell auch errechnen. Dazu müssten allerdings die hydrodynamischen Kräfte und Momente des verwendeten Scherbrettes als Funktionen

des Anstell- und Trimmwinkels vorliegen, was hier nicht der Fall war.

Rechenergebnisse und Vergleich mit Messungen

In nachfolgender Tabelle sind die an Bord ausgeführten Beispielrechnungen mit variierten Eingabe- und einigen Ergebnisdaten aufgelistet.

Dabei bedeuten:

- SB = vorgegebene Scherbreite
- HN = berechnete Netzöffnungshöhe zwischen den Busenmitten des Ober- und Unterblattes
- v = vorgegebene Schleppgeschwindigkeit
- bsp = berechneter Flügelspitzenabstand Oberblatt
- GS = vorgegebenes Gewicht im unteren Flügel

$F_{w_{acht}}$, $F_{w_{vor}}$ = berechnete hydrodynamische Widerstände des Achter- und Vornetzes

Nr.	SB [m]	v [m/s]	GS [N]	HN [m]	bsp [m]	$F_{w_{acht}}$ [N]	$F_{w_{vor}}$ [N]	Zeichnungsname
1	90	1,75	500	13,4	27,3	39130	2x3173	PSN_205
2	90	1,75	200	12,8	27,2	39069	2x3143	PSN_205°
3	90	2	200	11,5	27,4	48590	2x4027	PSN_205b
4	90	2	500	12,0	27,4	48850	2x4054	PSN_205c
5	60	2	500	13,9	20,8	39332	2x3194	PSN_205d
6	60	2	200	13,7	20,8	38562	2x3170	PSN_205e
7	50	2	200	15,2	17,9	35471	2x3139	PSN_205f
8	40	2	200	16,9	14,9	32451	2x3150	PSN_205g
9	60	2	200	12,5	20,9	36176	2x3065	PSN_205h

(Bei Rechnung Nr. 9 kamen nur 50 % des sonst zuvor verwendeten Auftriebes an der Headleine zur Anwendung.) Bei allen Rechnungen wurde von Jagerlängen $L_j = 80 \text{ m} + 19,5 \text{ m} = 99,5 \text{ m}$ ausgegangen.

Interessant und wichtig zur Beurteilung der Qualität der Rechenergebnisse ist ein Vergleich mit Parametern aus dem Messbericht von Rehme. Die dort ermittelten Schleppnetzdaten Netztiefe, Scherbreite, Öffnungshöhe und Flügelspitzenabstand b_s bei einer Schleppgeschwindigkeit von $v = 4 \text{ kn}$ wurden für den Kurrleinenlängenbereich $L_k = 100 \dots 800 \text{ m}$ in Arbeitsdiagrammen zusammengefasst.

Der Einsatz des PSN 205 während der 222. Reise von FFS „Walther Herwig III“ erfolgte am 9.11.2000 im Seegebiet Stolpebank bei Wassertiefen zwischen 70 und 80 m und Schleppgeschwindigkeiten von 3,5 bis 4,5 kn. Die gefierte Kurrleinenlänge betrug maximal 200 m.

Der Einsatz hatte zum Ziel, die aus dem Messbericht bekannten Parameter unter leicht veränderten Einsatz-

bedingungen zu bestätigen. Leider waren aus technischen Gründen nur die Netztiefe und Netzöffnungshöhe messbar.

Bei der Schleppgeschwindigkeit von 4 kn lag die Netzöffnungshöhe im Bereich von 11,5 m ($L_k = 200 \text{ m}$) bis 15,3m ($L_k = 100 \text{ m}$); sie entsprach damit nicht ganz dem im Messbericht ausgewiesenen Bereich (12 bis 13 m). Ursache könnten abweichende Scherbreiten sein. Nach dem Messbericht stellte sich bei 100 m Kurrleinenlänge bereits eine Scherbreite von ca. 65 m ein, während über die Vermessung des Spreizwinkels zwischen den (100 m langen) Kurrleinen die Scherbreite an Bord von FFS „WH III“ diesmal nur 52 m ermittelt wurden. Stellt man jetzt die theoretisch berechnete Netzöffnungshöhe $HN = 13,7 - 15,2 \text{ m}$ des Scherbreitenbereiches $SB = 50 \text{ bis } 60 \text{ m}$ der im Messbericht ausgewiesenen und der am 9. 11. 2000 selbst beobachteten gegenüber, so ist bei allen zu berücksichtigenden Messfehlern eine gute Übereinstimmung bei diesem wichtigen vertikalen Netzöffnungsparameter zwischen theoretischen und praktischen Ergebnis festzustellen.

Zur Beurteilung der theoretisch ermittelten horizontalen Netzöffnung kann auf das Arbeitsdiagramm aus dem Messbericht zurückgegriffen werden, welches den Zusammenhang zwischen horizontalem Flügelspitzenabstand b_{sp} , Scherbreite SB und Jagerlänge L_j (inklusive Brettstander) darstellt. Im Scherbreitenbereich 50 bis 60 m ermittelte Rehme $b_{sp} = 17,8 \text{ bis } 20,1 \text{ m}$. Wird nun die berechnete Netzform mit Hilfe des RNC visualisiert und die y-z-Ansicht in einem geeigneten Bildauswertesystem dargestellt, welches eine Vermessung der Abstände beliebiger räumlicher Punkte erlaubt (z. B. AutoCAD), ergibt sich ein theoretischer Spitzenabstand für den genannten Scherbreitenbereich von 17,9 bis 20,8 m, also lediglich Abweichungen im Dezimeterbereich.

Übereinstimmende geometrische Abstände sind bei sonst gleichen Bedingungen ein Indikator dafür, dass auch die berechneten hydrodynamischen Widerstände von den real auftretenden nicht in Größenordnungen abweichen können. Insgesamt dürfte also davon auszugehen sein, dass die Rechenergebnisse ein brauchbares Abbild der sich real einstellenden Kräfte und anderer Parameter darstellen, obwohl weitere Messergebnisse nicht genutzt werden konnten.

Die Abbildungen der Schleppnetzgeometrie (3-Seiten-Ansichten) (z. B. Abbildung 3) könnten weitere Geometrieänderungen bei Variation von technischen Parametern zeigen (die entsprechenden Zeichnungen liegen bei den Autoren vor). Sie zeugen von der Möglichkeit, umfangreichere Abstandsmessungen im Vornetz vornehmen zu können. Damit verfügt der Nutzer über ein leistungsfähiges Instrumentarium zur Auswertung

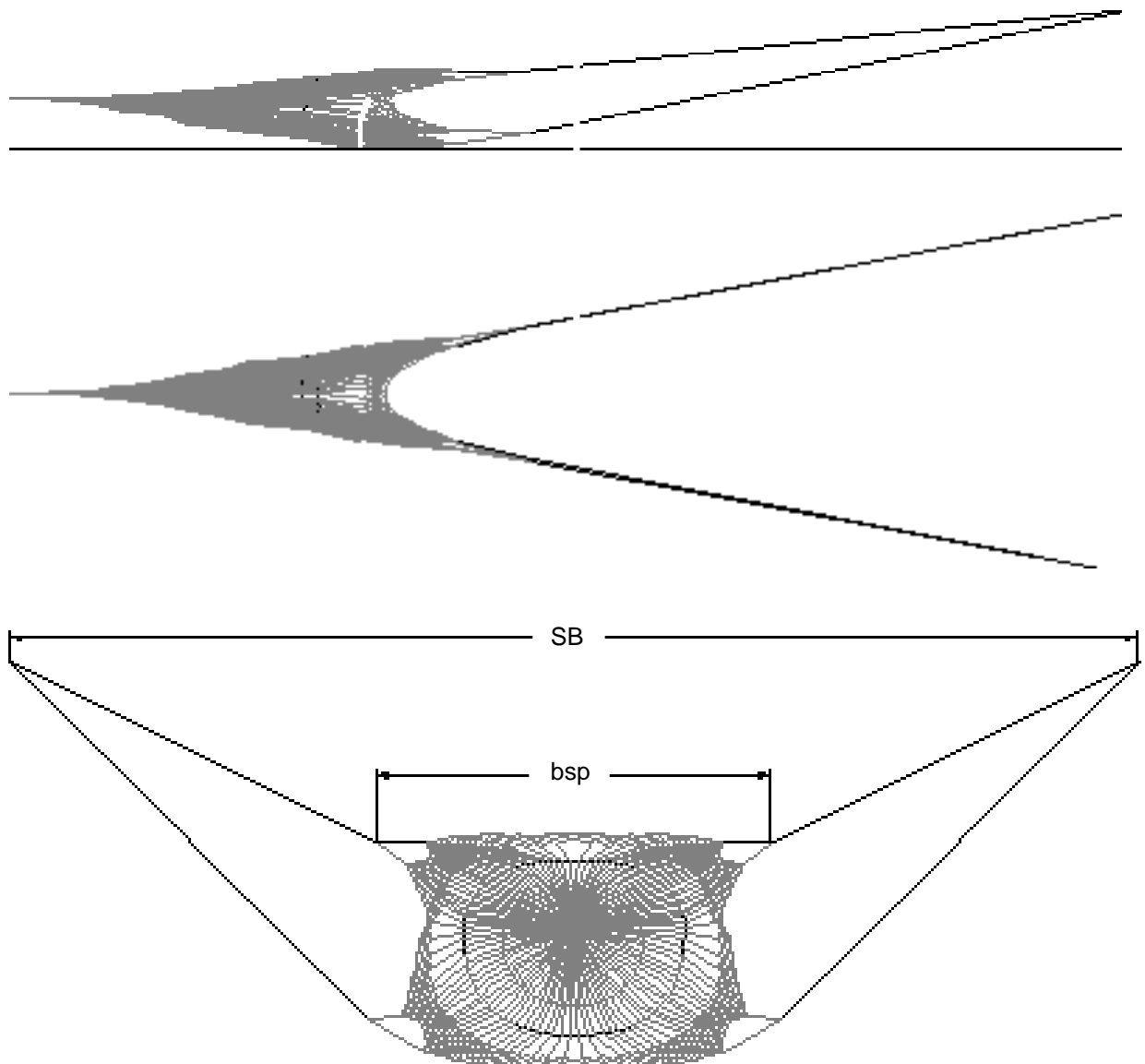


Abbildung 3: Berechnete Schleppnetzgeometrie in 3 Ansichten (Variante PSN 205 h).
Calculated trawl geometry in 3 views (variant PSN 205 h).

der eingestellten Schleppnetzform. Deutlich sichtbare Sprünge in der Netzkontur zwischen Achter- und Vornetz sind dadurch bedingt, dass die Übereinstimmung der Form nur in bestimmten Toleranzen erforderlich ist; werden sie erreicht, kann die Iteration der Schnittstellenparameter beendet werden, da mit erheblich mehr Rechenaufwand keine qualitativ verbesserten Ergebnisse für das Vornetz zu erreichen sind.

In den Originalabbildungen der berechneten Schleppnetzformen sind die Elemente farbig dargestellt. Die Farbe jedes Elementes steht stellvertretend für einen Zugkraftbereich, so dass damit auch Informationen über die Beanspruchungsverteilung im Schleppnetz gegeben

werden können. Dabei würde auffallen, dass die Zugbeanspruchung der oberen Jäger offensichtlich höher ist als die der unteren Jäger. Abstandsmessungen in den Ergebniszeichnungen zeigten, dass die Büsenmitte des Oberblattes um ca. 1 m vor der Büsenmitte des Unterblattes (projiziert in die x-y-Ebene) liegt. Als mögliche Ursache kommt der um 2 m längere untere Flügelstropp des Seitenblattes in Frage.

Nachrechnung des Aussteuerbereiches des TV-Schlittens

Der TV-Schlitten ist eine Stahlkonstruktion zur Aufnahme der UW-Beobachtungstechnik. Er wird im Pelagial

ohne Grundberührung an einem Schleppkabel durchs Wasser gezogen, welches gleichzeitig als Video-, Messdaten- und Energieüberträger dient. Das Gewicht des Schleppkabels im Wasser und seine hydrodynamischen Kräfte während des Schleppens im Zusammenspiel mit dem Gewicht sowie den passiven und aktiven Strömungskräften des TV-Schlittens selbst bedingt für jede gefierte Kabellänge bei gegebener Schleppgeschwindigkeit einen möglichen Aussteuerbereich. Das Wissen um diesen Aussteuerbereich ist wichtig für bestimmte Aufgaben bei der Beobachtung von Fanggeräten (z. B. Arbeit der Scherbretter).

Methodisches Vorgehen zur Bestimmung der hydrodynamischen Schlitten-Charakteristik

Die Ausgangssituation bestand darin, dass über die hydrodynamischen Eigenschaften des TV-Schlittens keinerlei Informationen vorlagen. Einzig zum Schleppkabel waren aus einem Datenblatt der Lieferfirma folgende mechanischen Parameter bekannt:

- Kabeldurchmesser: $d = 31 \pm 0,5 \text{ mm}$
- Gewicht in Luft: $qL = 1324 \text{ kg/km}$
- Gewicht in Seewasser: $qW = 550 \text{ kg/km} \approx 5,5 \text{ N/m}$
- Bruchlast: $FB = 17 \text{ KN}$

Mit diesen Kabeldaten sind zwar Form und Zugkraft des ohne Anhang geschleppten Kabels berechenbar, nicht jedoch der Einfluss des TV-Schlittens. Eine theoretische Abschätzung der hydrodynamischen Kräfte des geschleppten Anhangs ist nicht möglich. Sein Aufbau ist zu kompliziert als dass sein Widerstand aus Messungen an einem geometrisch einfacheren Gebilde abgeleitet werden könnte. Die nach dem Flettnerprinzip erzeugten hydrodynamischen Querkräfte sind theoretisch bestenfalls grob abschätzbar, da die ungestörte Zuströmung der Rotoren (infolge ihrer achterlichen Anordnung) nicht gegeben ist.

Unter Beachtung dieser Ausgangssituation wurde unter Zuhilfenahme von Methoden aus der Systemidentifikation folgender Lösungsweg gewählt:

1. Berechenbar ist die Kabelform immer dann, wenn die Anfangskräfte bekannt sind. Ohne geschleppten Anhang sind alle Anfangskraftkomponenten Null; es sind die y- und z-Komponenten der Anfangskraft Null, wenn der Schlitten im Wasser schwebend hydrostatisch ausgetrimmt ist und alle Rotoren stillstehen. Im letzteren Fall kann davon ausgegangen werden, dass die veränderte Kabelform im Vergleich zum Schleppen ohne Anhang einzig auf die Wirkung des hydrodynamischen Schlitten-Widerstandes zurückzuführen ist. Gelingt es, durch zielgerichtete Variation der Kabelanfangskraftkomponente F_x den theoretischen Kabelanfangspunkt auf die als Messwert vorliegende Tiefe des UW-Beobachtungssystems zu bringen, ist F_x bestimmbar.
2. Das in 1. beschriebene Verfahren sollte im praktisch relevanten Geschwindigkeitsbereich des TV-Schlittens mehrfach wiederholt werden, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass sein hydrodynamischer Widerstandsbeiwert geschwindigkeitsunabhängig ist.
3. Bei jetzt als bekannt voraussetzendem hydrodynamischem Schlitten-Widerstand kann durch Einschalten der Horizontal-Rotoren eine Veränderung des Tiefenhorizontes und durch Einschalten der Vertikalrotoren ein seitliches Auswandern bezogen auf die Schiffslängsachse erzeugt und mit Bordmitteln gemessen werden. Wird nun angenommen, dass durch das Einschalten der Rotoren die Lage des TV-Schlittens bezüglich der Anströmrichtung unveränderlich bleibt, können dann analog zur Widerstandsbestimmung die erforderlichen Vertikal- und Horizontal-

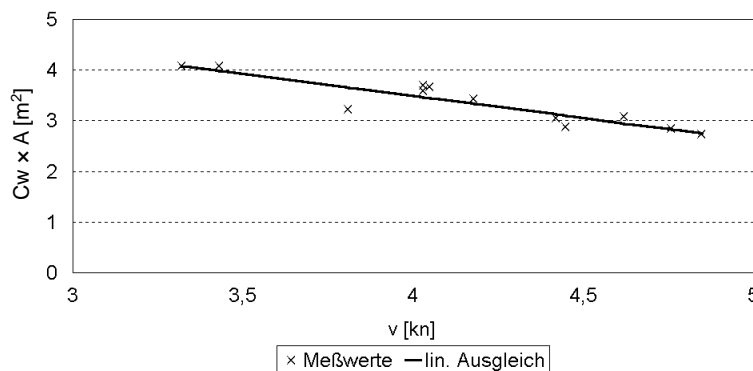


Abbildung 4: Geschwindigkeitsabhängigkeit des durch die wirksame TV-Schlittenfläche dimensionsbehafteten hydrodynamischen Widerstandsbeiwertes $C_w \times A$.

Drag coefficient $C_w \times A$ for the TV-gear as function of the towing speed.

- kräfte am Kabelanfang berechnet werden, die genau zu den gemessenen Aussteuerungen geführt haben.
4. Sind die erzeugbaren y- und z-Komponenten der Kabelanfangskraft (zugeordnet zu den Rotordrehzahlen) zusätzlich zum hydrodynamischen Widerstand bekannt, können jetzt unter Zuhilfenahme dieser Anfangskraftkomponenten für beliebige Kabellängen und Rotordrehzahlen Kabelformberechnungen durchgeführt werden. Eine Analyse der berechneten Kabelform kann Hinweise darauf geben, bei welchen Wassertiefen unter Umständen die Gefahr des Kabelauflegens auf den Boden gegeben ist. Werden in entsprechenden Diagrammen die in die y-z-Ebene projizierten Positionen des Kabelanfangspunktes bei verschiedenen Rotordrehzahlen, gegebener Kabellänge und Schleppgeschwindigkeit miteinander verbunden, entsteht der Aussteuerbereich des TV-Schlittens.

Bordmessungen und Rechenergebnisse

Das erforderliche Messprogramm wurde am 8. 11. 2000 auf der Stolpebank (ca. 55°18' N, 17°0' E) bei Wassertiefen zwischen 70 m bis 84 m durchgeführt. Der Wind führte mit 4 bis 5 Bft zu einem leichten Verdriften des Schiffes, so dass sicherheitshalber die Ablage des TV-Schlittens sowohl nach Steuerbord als auch nach Backbord gemessen wurde, um durch Mittelwertbildung diesen und weitere Fehler infolge eventuell vorhandener Wasserströmungen kompensieren zu können.

Die hydrostatische Austarierung des TV-Schlittens gelang mit 8 großen und 4 kleinen Auftriebskugeln aus dem Bordbestand. Zur Bestimmung der hydrodynamischen

Schlitten-Widerstandskraft wurden bei stillstehenden Rotoren im Geschwindigkeitsbereich von 3,5 kn bis 4,7 kn und bei Kabellängen von 300, 400 und 460 m insgesamt 18 Tiefenmessungen durchgeführt. Für diese Messungen war dann mit Hilfe von KABKURR die entsprechende Kabelanfangskraft F_x zu ermitteln.

Ausgehend von der bekannten Formel für den hydrodynamischen Widerstand

$$F_{x,y,z} = C_{w,q,a} \times r/2 \times v^2 \times A$$

lässt sich der Widerstandsbeiwert C_w multipliziert mit der unbekanntem angeströmten Fläche A ermitteln und in einem Diagramm (Abbildung 4) auftragen. Es wird deutlich, dass im betrachteten Geschwindigkeitsbereich der Beiwert C_w nicht konstant, sondern geschwindigkeitsabhängig ist. Aus diesem Grund wurde mittels einer linearen Regression folgende funktionale Abhängigkeit ermittelt:

$$C_w \times A [m^2] = 6,99 - 0,8749 \times v [kn]$$

Zur Ermittlung der Auftriebs- und Querkräfte wurden im gleichen Geschwindigkeitsbereich die Rotoren mit einer angezeigten Frequenz von 50 Hz entweder getrennt mit horizontaler oder vertikaler Aussteuerung, oder auch kombiniert betrieben. Insgesamt 75 Kabelanfangspositionen wurden bei verschiedenen Geschwindigkeiten und den angegebenen Kabellängen gemessen. Zur Ermittlung der gefierten Kabellänge waren im Abstand von 20 m Marken gesetzt.

Eine Geschwindigkeitsabhängigkeit der Auftriebs- und Querkräfte ließ sich im betrachteten Geschwindigkeits-

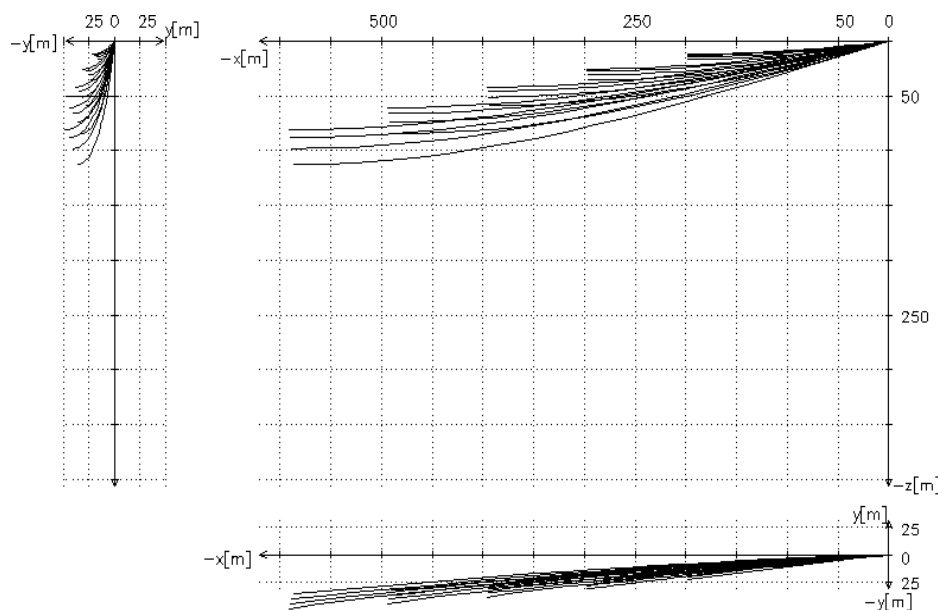


Abbildung 5: Berechnete Kabelformen für Kabellängen von 200 bis 600 m, Schleppgeschwindigkeiten von 2,5 - 5 kn und maximaler seitlicher Aussteuerung.

Calculated cable lengths of 200 to 600 m, towing speeds from 2,5 to 5 kn and maximum side steering out.

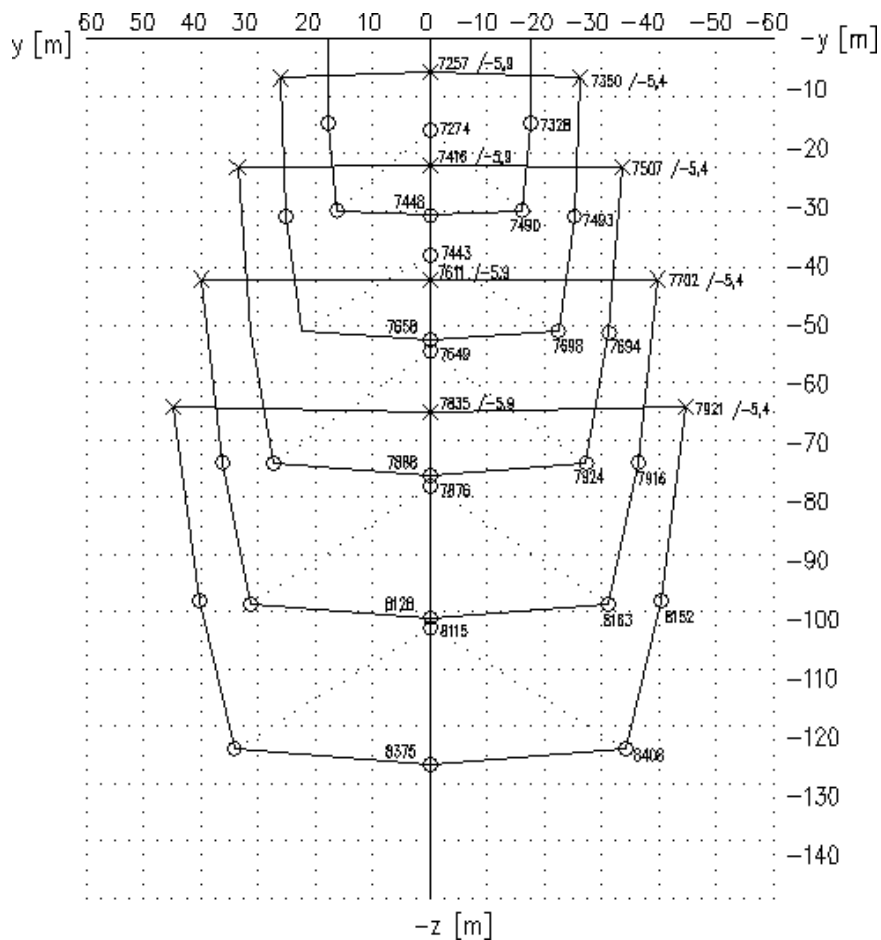


Abbildung 6: Berechneter Aussteuerbereich des TV-Schlittens bei $v = 4$ kn und Kabellängen zwischen 200 und 600 m.

Calculated steering reach of the TV-gear for $v = 4$ kn and cable lengths between 200 and 600 m.

bereich nicht eindeutig feststellen. Die Mittelwertbildung führte zu

$$Ca \times A = Cq \times A = 0,327 \text{ m}^2.$$

Damit ergeben sich die für den TV-Schlitten zugrundeliegenden hydrodynamischen Widerstände und Auftriebskräfte (angenommene Wasserdichte = 1020 kg/m^3):

v [kn]	F_w [N]	$F_z; F_y$ [N] (Maximalwerte)
3,5	6135	510
4,0	7120	666
4,5	7882	843
5,0	8337	1040

Variantenrechnungen mit dem Programm KABKURR ergaben die in Abbildung 5 beispielhaft dargestellten Kabelformen. Die durch Verbindung der Kabelanfangspunktpositionen entstehende Fläche unterhalb der y-Achse ist der erreichbare Auslenkbereich (Abbildung 6). Der Positionspunkt ohne seitliche Auslenkung knapp unterhalb der mittleren Tiefe (zwischen maximaler Aussteuer-

ung nach oben und nach unten) stellt die Schlittentiefe ohne Rotorbewegung dar ($F_q = F_a = 0N$).

An jedem berechneten Punkt wurde ergänzend die maximale Kabelzugkraft [N] und gegebenenfalls der tiefste Punkt des Kabels bezüglich der Schlittentiefe aufgetragen (ohne Angabe ist der untere Kabelpunkt gleichzeitig der tiefste Kabelpunkt).

Beispiel:

Die Angabe 7507/-5,4 bedeutet, dass die maximale Kabelzugkraft an der Wasseroberfläche 7507N beträgt und der TV-Schlitten sich 5,4 m über dem tiefsten Punkt des Kabels befindet.

Die Kabelzugkraft im Block ergibt sich entsprechend der Beziehungen für die Kettenlinie näherungsweise durch Addition der berechneten Zugkraft an der Wasseroberfläche mit $qL \times H$ ($qL =$ Gewicht des Kabelmeters an Luft = $13N/m$, $H =$ Blockhöhe über Wasseroberfläche = $6,5 \text{ m}$) = $84,5N$.

Diskussion der Ergebnisse

Die hier gezeigten Ergebnisse zur Nachrechnung eines pelagischen Schleppnetzes und zur Ermittlung des Aussteuerbereiches eines geschleppten UW-Beobachtungssystems wurden innerhalb weniger Tage während der 222. Forschungsreise von FFS „Walther Herwig III“ ausschließlich unter Benutzung der an Bord vorhandenen Mess- und Rechentechnik erarbeitet.

Die Ergebnisse konnten somit noch vor Ort mit den anwesenden Wissenschaftlern diskutiert und ausgewertet werden. Gezielte Beobachtungen beim praktischen Einsatz der berechneten Systeme bestätigten zumeist eindrucksvoll die gute Übereinstimmung mit der theoretischen Voraussage und Simulation. In den wenigen Fällen auffälliger Differenzen waren die Ursachen in fehlerhaften Eingabedaten zu suchen und schnell gefunden. Die Daten waren durch eine sofortige Nachprüfung ohne Zeitverlust noch an Bord korrigier- und die Rechnung wiederholbar.

Ergänzend zu den mit entsprechendem Aufwand immer nur begrenzt möglichen Fanggerätevermessungen sind durch die unmittelbare Anwendung theoretischer Methoden und Rechenverfahren zusätzliche Aussagen möglich, die derzeit mit keiner anderen preiswerten Methode zu erreichen sind. Dem Ingenieur steht damit ein Handwerkszeug zur Verfügung, welches zur wesentlichen Verbesserung der technischen Bewertung derartiger Systeme beitragen kann. Ob jedoch die berechnete Form des strömungsbelasteten Systems aus dem Blickwinkel der Fanggerätefängigkeit bzw. der Selektivität besser oder eher schlechter geeignet ist, kann aus den Rechenergebnissen nicht unmittelbar abgeleitet werden. Dazu bedarf es weiterer (interdisziplinärer) wissenschaftlicher Arbeit insbesondere zum Fischverhalten.

Zitierte Literatur

- Bednorz, M.: Beitrag zur hydrodynamischen Belastung von Netztuchen bei kleinen Anstellwinkeln. Dissertation A, Universität Rostock, 1989.
- Gabriel, O.; Schmidt, H.: Experimentelle und rechnerische Bestimmung des Durchmessers von Netzfäden. *Seewirtschaft* 5(11): 854–856, 1973.
- Hahlbeck, W. H.: Die Bewegungsgleichung eines ideal biegsamen, undehnbaren, strömungsbelasteten schweren Fadens bei räumlicher ungleichförmiger Bewegung und ihre Lösung für ein Modell eines pelagischen 1-Schiff-Schleppnetzsystems. Dissertation A, Universität Rostock, 1976.
- Kruse, W.: Beitrag zur Bestimmung von Widerstand und Auftrieb ebener Netztücher. Dissertation A, Universität Rostock, 1979.
- Lange, K.; Steinberg, R.: Einsatz ferngesteuerter Fernsehkameras zur Beobachtung an Schleppnetzen. *Jb. der Schiffbau-techn. Gesellsch.* 85: 39–46, 1991
- Leitzke, H.: Netze, Leinen, Leinensysteme – ein neues Berechnungsverfahren. *Schiffbauforschung* 20 (1): 224–230, 1981.
- Leitzke, H.: Berechnung von Form und Kräften biegeschlaffer, räumlicher Zugsysteme. Dissertation B (Dr.-Ing. habil.), Universität Rostock, 1983.
- Niedzwiedz, G.: Neue theoretische und experimentelle Aspekte bei der Ermittlung von Form und Belastung angeströmter, ideal biegsamer Fäden, Seile, Trossen und Rohre. Vortrag und Script für das Internationale Schiffstechnische Symposium 1991 an der Universität Rostock, Fachbereich Maschinenbau und Schiffstechnik, Sektion F (unveröffentlicht).
- Niedzwiedz, G.: Berechnung der Kabelform und -belastung des Schleppkabels für das Agassiz-Trawl. Auftragsrechnung für die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2000 (unveröffentlicht).
- Niedzwiedz, G., Hopp, M.: New methods and results in calculation of flexible, reticulated systems loaded by hydrodynamic and discrete forces and the own weight of the elements. Proceedings for the International Workshop dedicated to Hydrodynamic aspects of fishing gears, 1–3 October, 1997, Lorient, France.
- Niedzwiedz, G., Hopp, M.: Rope and net calculations applied to problems in marine engineering and fisheries research. *Arch. Fish. Mar. Res.* 46(2): 125–138, 1998.
- Pevestorf, A.: Implementierung und Testen eines Berechnungsmoduls für biegeschlaffe Systeme auf leistungsfähiger Workstation bzw. Großrechentechnik. Projektarbeit, Universität Rostock, Institut für Schiffbau und Meerestechnik, 1995.
- Rehme, W.: Fangtechnische Untersuchungen PSN 205. In: E. Götze „Bericht über die 196. Reise von „Walther Herwig III“ 1998“, Bundesforschungsanstalt für Fischerei (unveröffentlicht).
- Richter, U.: Beitrag zur Untersuchung des Bodenwiderstandes geschleppter zylinderförmiger Elemente an Luft und in ruhenden Flüssigkeiten. Dissertation A, Universität Rostock, 1996.
- Schumacher, W.: Untersuchungen zum statischen und dynamischen Verhalten des Fanggerätes Schleppnetz unter besonderer Berücksichtigung der Scherkörper. Dissertation A, Universität Rostock, 1974.
- Stengel, H., Fischer, A.: Ergebnisse von Untersuchungen an geknoteten Netztüchern aus gedrehten Polyamidfäden. *Fischereiforschung* 6(3): 45–59, 1968.