

**Untersuchung der mechanischen Beanspruchungen
und Effekte an Unterwasser-Signalleitungen vor, während
und nach dem Ausspülen aus Unterwasserfahrzeugen**

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

Ulf Buhlmann

aus Bremen

Hamburg 2014

Tag der mündlichen Prüfung: 29. August 2014

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Hendrik Rothe

2. Gutachter: Univ.-Prof. a.D. Dr.-Ing. Kurt Nixdorff

Schriftenreihe Laboratorium Mess- und Informationstechnik

Band 9/2014

Ulf Buhlmann

**Untersuchung der mechanischen Beanspruchungen
und Effekte an Unterwasser-Signalleitungen vor,
während und nach dem Ausspülen aus
Unterwasserfahrzeugen**

Shaker Verlag
Aachen 2014

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Hamburg, Helmut-Schmidt-Univ., Diss., 2014

Copyright Shaker Verlag 2014

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3127-0

ISSN 1613-4427

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

I Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im privaten Bereich nach meiner über 40-jährigen Berufstätigkeit bei der Firma ATLAS ELEKTRONIK GmbH in Wedel (Holstein).

Mein Dank gilt an erster Stelle dem Inhaber des Lehrstuhls für Mess- und Informationstechnik, Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Hendrik Rothe. Er zeigte sich von Anfang an sehr interessiert an dem vorgeschlagenen Arbeitsthema, ermutigte mich deutlich, eine Dissertationsschrift über dieses Thema zu erarbeiten und unterstützte mich auf angenehme Art in konstruktiven Gesprächen. Herrn Univ.-Prof. a.D. Dr.-Ing. Kurt Nixdorff danke ich für die Übernahme des Koreferats sowie die vielen nützlichen Hinweise und Denkanstöße.

Den Mitarbeitern des Lehrstuhls Dr.-Ing. Cornelius Hahlweg und Dr.-Ing. André Brahmann danke ich für aufschlussreiche Diskussionen.

Meinen ehemaligen Vorgesetzten, Kollegen und Mitarbeitern Kai Pelzer, Axel Brenner, Hermann Niermann, Uwe Reimers, Dr. Gerhard Kuper, Peter Horn, Walter Ebeling, Horst-Peter Salwetke, Norbert Slotta, Bernd Streiter, van Welzen, Dirk Fuhrmann, Harald Marzahl sowie Axel Rietz / Fa. NEXANS danke ich für die technische Unterstützung, Proben, Hinweise sowie Erinnerungen.

Schließlich möchte ich mich bei meiner Frau Jutta, meinen Kindern, meinen Enkeln sowie meinen Freunden bedanken, die mir während dieser Arbeit Zeit und Rückhalt gaben.

Ulf Buhlmann

II Kurzfassung

„Untersuchung der mechanischen Beanspruchungen und Effekte an Unterwasser-Signalleitungen vor, während und nach dem Ausspulen aus Unterwasserfahrzeugen“

1. Thema und Zielsetzung / Motivation

Im zivilen und im militärischen Bereich werden unbemannte Unterwasserfahrzeuge (UWFs) für Forschungs-, Erkundungs- und Arbeitsaufgaben in See erfolgreich eingesetzt. Einige UWF-Varianten – besonders Torpedos – sind während ihrer Mission mit der Startplattform (Unter- oder Überwasserschiff) mit Signalleitungen (SL) für den Datenverkehr zur Lenkung und zum Informationsaustausch verbunden.

Die SL erfährt vor, während und nach dem Ausspulen aus dem UWF verschiedenartige mechanische Beanspruchungen und Effekte, die nicht immer umfassend geklärt sind. In der einschlägigen veröffentlichten Literatur – Hersteller, Verarbeiter, Anwender (zivil und militärisch), wissenschaftliche und militärische Institutionen – werden dazu kaum Angaben gemacht.

In einer theoretischen und gegebenenfalls experimentellen Klärung und Untersuchung dieser mechanischen Beanspruchungen und Effekte liegt nach Auffassung des Verfassers durchaus Optimierungspotential.

Bei der hier betrachteten UWF-SL handelt es sich um eine bifilare Leitung aus zwei Kupferleitern in einer Polyethylen-Isolierung mit den Maßen: $D_{Cu} \approx 0,3$ mm, $H_{SL} \approx 0,8$ mm, $B_{SL} \approx 1,3$ mm und $L_{SL} \leq 30$ km. Die UWF-Geschwindigkeit kann 50 kn¹⁾ und mehr betragen, die Geschwindigkeit der Startplattform (Unter- oder Überwasserschiff) ist in der Regel erheblich geringer.

2. Aufgabenstellung

Ermittlung der mechanischen Beanspruchungen und Effekte, die eine SL vor, während und nach dem Ausspulen aus dem UWF und ggf. aus der Startplattform erfährt.

Umfassende und systematische Klärung / Untersuchung (theoretisch und gegebenenfalls experimentell) dieser Beanspruchungen und Effekte. Besonders werden Beanspruchungen und Effekte untersucht, die sich beim Ausspulen aus dem UWF und aus der Startplattform sowie danach durch maritime Einwirkungen ergeben.

Ermittlung / Darstellung der Konsequenzen, die aus den Untersuchungen resultieren.

¹⁾ kn = Knoten, Geschwindigkeitsmaß in der Seefahrt (1 kn = 1 Seemeile/h = 1,852 km/h)

3. Methoden / Quellen

Für die verschiedenen „SL-Lebensphasen“ wie Herstellung der SL, Wickeln der SL-Spulen, Transport und Lagerung, Montage sowie während und nach der Mission werden die bekannten und denkbaren mechanischen Beanspruchungen und Effekte ermittelt und analysiert. Die Ergebnisse werden mit den SL-Sollwerten verglichen. Für ggf. kritische Ergebnisse werden Reduktionsmaßnahmen bezüglich der Machbarkeit beurteilt und Konsequenzen aufgezeigt.

Die Informationsübertragung über die SL sowie die Auswirkung der mechanischen Beanspruchungen und Effekte auf diese Informationsübertragung werden in dieser Arbeit nicht besonders behandelt.

Wesentliche Quellen für die Bearbeitung des Themas sind die durchgeführten nationalen und internationalen Arbeiten sowie Erfahrungen des Verfassers während seiner über 40-jährigen beruflichen Tätigkeit im Bereich von Unterwasserwaffen.

4. Ergebnisse

Darstellung sämtlicher auf die SL wirkenden mechanischen Beanspruchungen und Effekte vor, während und nach dem Ausspulen aus UWFs / Startplattformen sowie ihrer Analyse und damit Ermöglichung weiterer – soweit erforderlich – theoretischer / experimenteller Bearbeitungen.

Klärung extremer SL-Beanspruchungen und -Effekte sowie Ermittlung und Begründung geeigneter Abhilfemaßnahmen soweit erforderlich.

Der Gewinn der Arbeit wird in der umfassenden Untersuchung und Klärung bisher unzureichend erkannter oder unbekannter mechanischer Beanspruchungen und Effekte der SL gesehen.

5. Ausblick

Die Ergebnisse der Themenbearbeitung sollen die mechanischen Beanspruchungen und Effekte von SL vor, während und nach dem Ausspulen aus UWFs / Startplattformen soweit klären, dass ggf. eine technische Optimierung möglich und damit die erforderliche Erfolgswahrscheinlichkeit von UWF-Missionen gesichert oder gar gesteigert wird.

Weiterhin wird die mögliche – zumindest teilweise – Übertragbarkeit der Arbeitsergebnisse auf neuere SL-Entwicklungen und -Einsätze, wie z.B. Glasfaserleitungen, aufgezeigt.

II Abstract

„Investigation of mechanical Stresses and Effects at Underwater Communication Wires before, during and after the uncoiling out of Underwater-Vehicles”

1. Subject and Objective / Motivation

As well in civil as in military sectors unmanned underwater vehicles (UVs) are successfully applied for research, exploration and work activities. Some UV-variants – especially torpedoes – are connected with their launching vessels by communication wires (CWs) for data exchange and guidance purposes, they perform satisfactorily.

Before, during and after uncoiling out of an UV the CW obtains various mechanical stresses and effects, which are not always completely defined. Within the relevant publications – by producers, civilian and military user, scientific and military institutions – one can hardly find any corresponding indication.

Due to the understanding of the author a theoretical and if necessary experimental clarification and analysis of the mechanical CW-stresses and -effects include a certain optimization potential.

The here analyzed CW is a two-core copper cable with a polyethylene insulation of the following dimensions:

- conductor diameter: $\approx 0,3$ mm,
- CW-height: $\approx 0,8$ mm,
- CW-width: $\approx 1,3$ mm,
- CW-length: ≤ 30 km,
- UV-velocity: > 50 kn.

The UV-speed may be 50 kn and more, the speed of the launching vessel normally is far lower

2. Objective

Determination of the mechanical stresses and effects a CW experiences before, during and after uncoiling out of an UV or a launching vessel / launching platform. Complete and systematic clarification / analysis (theoretically and if necessary experimentally) of these stresses and effects. Stresses and effects are especially analyzed if they result by the uncoiling out of the UV, the launching vessel or by marine influences.

Determination / presentation of the consequences which result by the investigation.

3. Methods / Sources

For the various CW life-spans like production, winding of coils, transportation, storage, installation and mission, the known and thinkable mechanical stresses and effects are determined and analyzed. The results are compared with the nominal values. For critical results reduction measures are determined related to their feasibility, the consequences are shown.

The information transmission via the CW and the consequences of the mechanical stresses and effects to this transmission are not dealt in particular in this thesis.

Essential sources for the handling of this issue are the performed national and international activities and gained experiences of the author during his over 40 years activities in the field of underwater weapons.

4. Results

Exposition of all mechanical stresses and effects acting on the CW before, during and after the uncoiling out of the UV / launching vessel as well as their analysis and thereby enabling of further – so far as necessary – theoretical / experimental activities.

Clarification of extreme CW-stresses and -effects as well as determination and explanation of appropriate corrective actions if necessary.

The benefit of this process is seen by the widespread analysis and clarification of until now insufficient or unknown mechanical stresses and effects of the CW.

5. Outlook

The results of this thesis shall clarify the mechanical stresses and effects of CWs before, during and after the uncoiling out of UVs / launching vessels to the extent, that a technical optimization is possible and thereby the required success probability of UV-missions can be ensured or perhaps be improved.

Furthermore the possible – at least partially – transferability of these results to new CW-developments and -missions, e.g. glass fiber CWs, will be shown.

III Inhaltsverzeichnis

I.	Vorwort (u.a. Danksagungen)	S.	iii
II.	Kurzfassung	S.	v
II.	Abstract	S.	vii
III.	Inhaltsverzeichnis	S.	ix
1	Einleitung		1
1.1	Einführung in das Fachgebiet	S.	1
1.2	Einordnung der Arbeit	S.	2
1.3	Darlegung des Problems	S.	2
1.4	Motivation für die Problemlösung	S.	3
2	Stand der Technik (historisch / aktuell) und Sachstandsanalyse		5
2.1	Historischer Sachstand (ca. 1860 – ca. 1900)	S.	5
2.2	Historischer Sachstand (ca. 1900 – ca. 1945)	S.	16
2.3	Aktueller Sachstand (ca. ab 1945)	S.	22
2.3.1	Internationales und nationales Vorgehen	S.	22
2.3.2	Nationale Voruntersuchungen und Entwicklungen nach 1945	S.	24
2.3.3	Art und Stärke der Signalleitung	S.	32
2.3.4	Wickelverfahren für Signalleitungs-Einsatzspulen	S.	34
2.3.5	Verhalten von Unterwasserfahrzeugen bei Riss der Signalleitung	S.	36
2.4	Sachstandsanalyse (# 19)	S.	38
2.4.1	Anforderungen, Funktion und Leistungsdaten der Signalleitung	S.	38

2.4.2	Signalleitung im Gesamtsystem Unterwasserfahrzeug	S. 40
2.4.3	Zu untersuchende Beanspruchungen / Effekte der Signalleitung	S. 45
3	Präzisierung der Aufgabenstellung / Ziel der Arbeit	47
3.1	Feststellung / Ermittlung der Basisdaten der Signalleitung	S. 47
3.2	Ermittlung von Art / Größe der mechanischen Beanspruchungen ... (B) und Effekte (E) der Signalleitung	S. 47
3.3	Analyse und ggf. Reduzierung / Beseitigung der mechanischen Beanspruchungen und Effekte der Signalleitung	S. 49
3.4	Konsequenzen / Ausblick	S. 49
4	Theoretische Untersuchungen	51
4.1	Ermittlung der Basisdaten der Signalleitung	S. 51
4.1.1	Aufbau und Abmessungen	S. 51
4.1.2	Materialien	S. 53
4.1.3	Spez. Werte (Gewichte, Volumina, Untertrieb) für UWF-SL (TS10).....	S. 54
4.1.4	Zugfestigkeit (gemessen / berechnet) für TS10-SL und für TS30-SL	S. 55
4.1.5	Sinkgeschwindigkeit in Seewasser.....	S. 58
4.1.6	Reformations-Widerstand (elastisch / plastisch und nur elastisch)	S. 58
4.2	Ermittlung bekannter und denkbarer mechanischer	S. 61
	Beanspruchungen und Effekte der Signalleitung / SL-Spulen	
4.2.1	Während der Herstellung der SL und der SL-Produktionsspulen	S. 61
4.2.2	Während des Wickelns der SL-Einsatzspulen	S. 62
4.2.3	Beim Handhaben, Verpacken, Lagern und Transportieren	S. 63
4.2.4	Während der Montage der SL-Einsatzspulen in Unterwasserfahrzeug ... und in Kassette für Startplattform	S. 63

4.2.5	Während der Prüfung von Unterwasserfahrzeug und Startplattform vor Start des UWF	S. 64
4.2.6	Während des Starts des Unterwasserfahrzeugs	S. 65
4.2.7	Beanspruchungen / Effekte während der UWF-Mission	S. 66
4.2.8	Beanspruchungen / Effekte nach Beendigung der UWF-Mission	S. 68
4.2.9	Zusammenfassung und Ausblick auf weiteres Vorgehen	S. 71
4.3	Theoretische Untersuchung der ermittelten mechanischen Beanspruchungen und Effekte der Signalleitung	S. 74
4.3.1	Theoretische Untersuchung der Beanspruchungen B1: Zug, Reibung und Druck	S. 74
4.3.1.1	Während der Herstellung der SL und der SL-Produktionsspulen	S. 75
4.3.1.2	Während des Wickelns der SL-Einsatzspulen	S. 75
4.3.1.3	Während der Montage der B-Spule in die Kassette und der TS30-SL in den Rüssel	S. 75
4.3.1.4	Durch die Start-Beschleunigung des UWF	S. 78
4.3.1.5	Während Mission durch Bewegungen des UWF / der Startplattform	S. 79
4.3.1.6	Luftunterdruck beim Lufttransport und beim Schnorcheln der Startplattform, Wasserdruck beim Absinken sowie bei Anströmung der SL während der UWF-Mission	S. 94
4.3.1.7	Durch Quer-Anströmung der an Hindernissen verhakten SL	S. 101
4.3.2	Theoretische Untersuchung der Beanspruchungen B2: Vibration, Schock, Feuchte, Druck und auch Temperatur, also durch die sogenannten Umweltbeanspruchungen	S. 103
4.3.2.1	Durch Handhabung, Verpackung, Lagerung und Transport der SL-Einsatzspulen	S. 103
4.3.2.2	Temperatur-Beanspruchungen während der SL-Herstellung	S. 104
4.3.2.3	Temperatur-Beanspruchungen beim Sinken der SL im Seewasser	S. 105

4.3.3	Theoretische Untersuchung der Beanspruchungen B3: Elektrische Prüfungen (Widerstand, Isolation, Wellendämpfung und Symmetrie)	S. 105
4.3.4	Theoretische Untersuchung des Effektes E1: Kurzzeitige / dauernde Unterbrechung der Signal- / Datenübertragung	S. 106
4.3.4.1	Suche und Erklärung der Signal- / Datenübertragungs-Störungen	S. 106
4.3.4.2	SL-Beanspruchungen durch „Fischbiss“	S. 110
4.3.4.3	Maßnahmen gegen „Fischbiss“-Auswirkungen	S. 105
4.3.4.4	Erklärung zur „Beißeinigung“ der Fische in die absinkende SL	S. 117
4.3.4.5	Bemerkungen zur „Elektrofischerei“	S. 121
4.3.5	Theoretische Untersuchung des Effektes E2: Beeinflussung des akustischen Eigenstörpegels des UWF	S. 126
4.3.5.1	Abschätzung SL-verursachter Kavitation im UWF	S. 127
4.3.5.2	Prüfung auf höhere lokale Geschwindigkeiten im UWF	S. 129
4.3.5.3	Prüfung auf Kavitation durch höhere Geschwindigkeiten im UWF	S. 132
4.3.6	Theoretische Untersuchung des Effektes E3: Beeinflussung der Strömungsrichtung im UWF-Führungsrohr.	S. 133
4.3.7	Theoretische Untersuchung des Effektes E4: Beeinflussung des UWF-Schwerpunktes / -Trimmomentes	S. 137
4.4	Zusammenfassung der Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen der mechanischen Beanspruchungen und Effekte der Signalleitung	S. 138
4.4.1	Beanspruchungen B1: Zug, Reibung und Druck	S. 138
4.4.2	Beanspruchungen B2: Vibration, Schock, Feuchte, Druck / Unter- druck, Temperaturen, Salz-Sprühnebel u. Pilz- befall, sogenannte Umwelt-Beanspruchungen	S. 139

4.4.3	Beanspruchungen B3: Elektrische Prüfungen auf Widerstand, Iso- lation, Wellendämpfung und Symmetrie S. 140
4.4.4	Effekt E1: Kurzzeitige / dauernde Störung bzw. Unterbrechung der Signal- / Datenübertragung	... S. 140
4.4.5	Effekt E2: Beeinflussung des akustischen UWF-Eigenstörpegels S. 145
4.4.6	Effekt E3: Beeinflussung Strömungsrichtung im UWF-Führungsrohr	... S.145
4.4.7	Effekt E4: Beeinflussung UWF-Schwerpunkt / -Trimmmoment S.146
4.5	Begründung für weiterführende, experimentelle Untersuchungen..	S. 146
	ausgewählter Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen	
4.5.1	Durchgeführte experimentelle Untersuchungen S. 146
4.5.2	Noch durchzuführende experimentelle Untersuchungen S. 147
5	Experimentelle Untersuchungen	149
5.1	Experimentell zu untersuchender Effekt E1 S. 149
5.2	Versuchstechnik S. 149
5.3	Versuchsdurchführung und Ergebnisse S. 150
5.4	Auswertung und Zusammenfassung S. 156
6	Gesamtzusammenfassung	157
7	Konsequenzen / Ausblick	161

8	Literatur- und Quellenverzeichnis	167
9	Anhang	171
9.1	Symbole	S. 171
9.2	Abkürzungen	S. 174
9.3	Abbildungs-Verzeichnis	S. 178
9.4	Tabellen	S. 183
	Lebenslauf	193