

Meereswissenschaftliche Berichte

Marine Science Reports



No. 103 2017

Der ozeanographische Messmast auf der Darßer
Schwelle - die Entwicklungsgeschichte eines unikalen
ozeanographischen Fernmess-Systems

Wolfgang Matthäus, Siegfried Krüger & Hardo Seehase

"Meereswissenschaftliche Berichte" veröffentlichen Monographien und Ergebnisberichte von Mitarbeitern des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung Warnemünde und ihren Kooperationspartnern. Die Hefte erscheinen in unregelmäßiger Folge und in fortlaufender Nummerierung. Für den Inhalt sind allein die Autoren verantwortlich.

"Marine Science Reports" publishes monographs and data reports written by scientists of the Leibniz-Institute for Baltic Sea Research Warnemünde and their co-workers. Volumes are published at irregular intervals and numbered consecutively. The content is entirely in the responsibility of the authors.

Schriftleitung: Dr. Norbert Wasmund
(norbert.wasmund@io-warnemuende.de)

Die elektronische Version ist verfügbar unter / The electronic version is available on:
<http://www.io-warnemuende.de/meereswissenschaftliche-berichte.html>



© Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 International. Mit dieser Lizenz sind die Verbreitung und das Teilen erlaubt unter den Bedingungen: Namensnennung - Nichtkommerziell - Keine Bearbeitung.

© This work is distributed under the Creative Commons License which permits to copy and redistribute the material in any medium or format, requiring attribution to the original author, but no derivatives and no commercial use is allowed, see:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

ISSN 2195-657X

Dieser Artikel wird zitiert als / This paper should be cited as:

Wolfgang Matthäus¹, Siegfried Krüger¹, Hardo Seehase²: Der ozeanographische Messmast auf der Darßer Schwelle – die Entwicklungsgeschichte eines unikalen ozeanographischen Fernmess-Systems.
Meereswiss. Ber., Warnemünde, 103 (2017),
doi:10.12754/msr-2017-0103.

Adressen der Autoren:

¹ Leibniz Institute for Baltic Sea Research (IOW), Seestrasse 15, D-18119 Rostock-Warnemünde, Germany

² Am Kirchenplatz 9, D-18119 Warnemünde, Germany

E-mail des verantwortlichen Autors: wolfgang.matthaeus@io-warnemuende.de

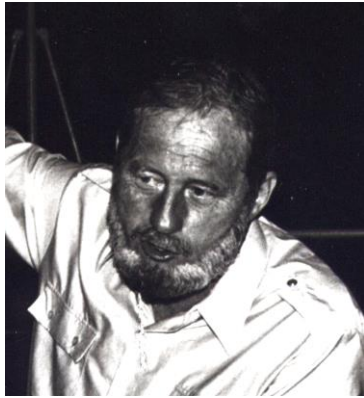
Der ozeanographische Messmast auf der Darßer Schwelle – die Entwicklungsgeschichte eines unikalen ozeanographischen Fernmess-Systems

WOLFGANG MATTHÄUS, SIEGFRIED KRÜGER und HARDO SEEHASE

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Widmung	4
Kurzfassung	5
Abstract	6
1. Einleitung	7
2. Hintergrund der Entwicklung	8
3. Entwicklung, Konstruktion und Erprobung eines neuartigen Geräteträgers für die Ozeanographie im Institut für Meereskunde in den 1980er Jahren	10
3.1 Das Konzept eines mobilen abgespannten Messmastes	10
3.2 Erprobungen des Entwicklungsmusters	15
3.3 Die erste Dauererprobung auf der Darßer Schwelle	22
4. Das Institut für Ostseeforschung und die erste Generation des Warnemünder Gelenkmastes als MARNET-Station	25
4.1 Die Empfehlungen des Wissenschaftsrates zur Messtechnik	25
4.2 Die erste Generation des Messmastes	27
5. Die zweite Generation und das neue Energieversorgungs- und Messkonzept	32
6. Die dritte und aktuelle Generation des modularen Gelenkmastes	40
7. Dauerbetrieb, Generalüberholungen und Weiterentwicklungen ab 2000	49
8. Schlussbetrachtungen	52
Zusammenfassung	54
Summary	56
Danksagung	59
Literatur	59
Archivunterlagen	63

Dieser Beitrag ist den folgenden, maßgeblich an der Entwicklung des unikalen ozeanographischen Messmastes „Darßer Schwelle“ beteiligten Mitarbeitern gewidmet



Dr. FRIEDRICH MÖCKEL
(IfM: 1962-1991)



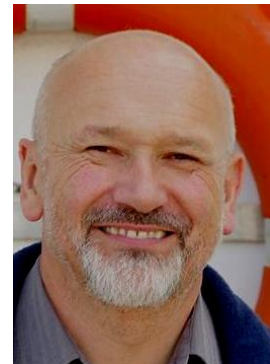
Dipl.-Ing. (FH) HARDO SEEHASE
(IfM/IOW: 1966-2004)



Dipl.-Ing. KLAUS-PETER WLOST
(IfM/IOW: 1975-2015)



Dr.-Ing. KLAUS STRIGGOW
(IfM/IOW: 1961-1992)



Dipl.-Ing. SIEGFRIED KRÜGER
(IfM/IOW: seit 1976)



Techn. Ass. MIKE SOMMER
(IOW: seit 1996)

Dipl.-Ing. WOLFGANG ROEDER
(IfM/IOW: 1973-2016)

Kurzfassung

Anfang der 1980er Jahre nahm das Institut für Meereskunde (IfM) der Akademie der Wissenschaften der DDR in Warnemünde die Entwicklung eines unikalen Messmastes als Geräteträger für vollautomatische Hochseemessstationen auf, um in den relativ flachen Bereichen der küstenfernen westlichen Ostsee ozeanographische und meteorologische Grundgrößen kontinuierlich messen zu können. Die Geschichte dieses innovativen Instrumententrägers wird ausführlich beschrieben, vom Prototyp bis hin zum heutigen Standard-Messmast, der dauerhaft im Rahmen des deutschen Umweltüberwachungs-Messnetzes MARNET auf der Darßer Schwelle (westliche Ostsee) im Einsatz ist.

Der in den Jahren bis 1988 entwickelte Prototyp des auftriebsgetragenen Warnemünder Messmastes bestand aus einem schweren Fuß mit Kreuzgelenk, an dem schwimmfähige flutbare Rohrsektionen mit abgestuften Durchmessern in Form eines Mastes befestigt waren. Die obere Rohrsektion war für Speicherbatterien zur Energieversorgung vorgesehen und trug eine aus dem Wasser herausragende Arbeitsplattform, auf der Datenerfassungs- und Aufbereitungselektronik, Datenspeicher, meteorologische Sensoren, Datenübertragungseinrichtungen und Antennen sowie Solarmodule und Windgeneratoren untergebracht werden konnten. Aufbauend auf Erprobungsmustern vom Ende der 1980er Jahre konnten die Entwicklungen nach der Wiedervereinigung Deutschlands weitergeführt werden. Ab 1992 wurde der Messmast im neuen Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) auf der Basis einer Verwaltungsvereinbarung mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) zu einem dauerhaften Geräteträgersystem weiterentwickelt und in den Dauerbetrieb gebracht. Heute betreibt und wartet das IOW auf der Darßer Schwelle bereits die dritte Generation dieses Messmastes. Die Station arbeitet vollautomatisch im Langzeitbetrieb ohne größere Konstruktions- und wetterbedingte Ausfälle. Im 10-Minutentakt gemessene Daten werden stündlich über Satellit und Funktelefon übermittelt. Die Messsysteme werden alle 1 - 2 Monate gewartet. Etwa alle 10 Jahre wird der Geräteträger einer Generalüberholung unterzogen. Die Mess- und Datenübertragungseinrichtungen sowie die Energieversorgung auf der Basis von Solar- und Windenergie werden ständig weiterentwickelt. Die MARNET-Station „Darßer Schwelle“ gehört seit nunmehr 25 Jahren zu den zuverlässigsten Offshore-Messstationen mit Datenfernübertragung im europäischen Raum und ermöglicht eine kontinuierliche Beobachtung und Beurteilung eines wesentlichen Teils der Austauschvorgänge in der südlichen Ostsee mit entscheidenden Auswirkungen auf das Ökosystem der Ostsee.

Abstract

In the beginning of the 1980s, the Institute of Marine Research in Warnemünde (IfM) of the Academy of Sciences of the GDR started the development a unique measuring mast for unattended oceanographic and meteorological off-shore stations to measure basic oceanographic and meteorological parameters in the relatively shallow sea areas of the Baltic Sea continuously. The history of this innovative multi-equipment carrier is described in detail, from the prototype to the present standard version, which is permanently in operation in the framework of the German Marine Monitoring Network MARNET at the Darss Sill (western Baltic Sea).

The prototype of the buoyancy carried measuring mast designed in the years until 1988 consisted of a heavy bottom weight with a universal joint to which floatable aluminium tube modules with different diameters were attached in the form of a mast. The upper tube module was designed to carry batteries for power supply and to carry a working platform above the sea surface, where data collection-, processing- and storage equipment, meteorological sensors, data transmission units and antennas could be installed as well as solar modules and wind generators. Based on test prototype versions from the end of the 1980s these developments could be continued after the German reunification. From 1992 onwards, the measuring pile was developed to a sustainable instrumentation carrier system and taken into permanent operation by the Leibniz Institute for Baltic Sea research (IOW) by contract with the Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH). At present, IOW operates already the third generation of this articulated mast at the Darss Sill. The station works fully automatically on a long term basis, without essential interruptions by construction faults and weather conditions. Data collected every 10 minutes are transmitted hourly via satellite and mobile phone. The measurement systems are maintained every 1 – 2 month. Approximately every 10 years general repairs are carried out for the whole instrumentation carrier. The measuring systems, data transmission units and energy supply systems are continuously further developed. In the meantime the MARNET Station “Darss Sill” belongs to the most reliable off-shore measuring stations with remote data transmission in Europe and enables a continuous observation and assessment of the most important part of the exchange processes in the western Baltic with relevant influence on the ecosystem of the Baltic Sea.

1. Einleitung

Im Jahre 1973 fand die Konferenz über Sicherheit und Zusammenarbeit in Europa (KSZE) in Helsinki statt, vor allem auf Initiative des Warschauer Paktes. In der Schlussakte der KSZE von 1975 wurde auch eine Zusammenarbeit im Bereich von Wissenschaft und Umwelt vereinbart. Bereits 1974 war zwischen den damals sieben Ostseeanrainern die „Konvention über den Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes“¹ in Helsinki unterzeichnet worden, die dann 1980 in Kraft trat. Im Rahmen dieser als Helsinki-Konvention bekannten Übereinkunft wurde in Artikel 16(3) die Überwachung der Meeresumwelt des Ostseegebietes vereinbart:

“The Contracting Parties undertake ... to co-operate in developing inter-comparable observation methods,... and in establishing complementary or joint programmes for monitoring.” (HELCOM 1993; S. 8).

Unmittelbar nach der Unterzeichnung 1974 begann bereits eine Interim-Kommission mit der Arbeit im Sinne der Konvention u. a. mit der Aufgabe

„...to develop co-operative monitoring programmes on the basis of current national monitoring activities and the data submitted by the Signatory States,...“ (HELCOM 1979; Appendix 1).

Im März 1979 starteten die Vertragsparteien der Helsinki Konvention die erste Phase des koordinierten Ostsee-Überwachungsprogramms (Baltic Monitoring Programme, BMP) (HELCOM, 1981).

Zunächst erfolgte die Überwachung der Ostsee überwiegend durch regelmäßige, international abgestimmte Messfahrten der Forschungsschiffe der Ostseeanliegerstaaten, was aber sehr personal- und kostenintensiv ist. Parallel dazu erfolgten verschiedene Entwicklungen stabilisierter Messgeräteträger mit automatischen Messanlagen zur Erfassung ozeanographischer und meteorologischer Daten im bzw. über dem Meer. Als Geräteträger kamen verankerte Messbojen, Driftbojen, Halbttaucher oder auch auf dem Meeresboden stehende Messmasten in Frage.

Bereits in der 2. Hälfte der 1950er Jahre wurde für das Hydro-Meteorologische Institut in Warnemünde – dem Vorläufer des Instituts für Meereskunde (IfM) – ein Prototyp einer fernmessenden ozeanographischen Boje als Geräteträger gebaut und erprobt, deren

¹ Der komplette Text des Übereinkommens vom 22. März 1974 ist im Bundesgesetzblatt veröffentlicht (BGBl., 1979).

Entwicklung aber vor allem wegen fehlender wirtschaftlicher und technischer Möglichkeiten in der damaligen DDR nicht erfolgreich zu Ende gebracht werden konnte (MATTHÄUS 2011). Anfang der 1970er Jahre hatte das Institut für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR eine Verankerung für den Einsatz in Flachwassergebieten entwickelt (MÜLLER 1974), die ab Februar 1973 die kontinuierliche Messung der Strömung auf der Darßer Schwelle in mehreren Tiefenniveaus ermöglichte (FRANCKE 1982, 1983). Ende der 1970er Jahre begann das IfM dann mit der Entwicklung von Konzepten für komplexere ozeanographische Messstationen. Anfang der 1980er Jahre entwickelte sich daraus ein neues Projekt zur Etablierung eines so genannten Fernmesssystems, um im flachen Wasser der offenen westlichen Ostsee ozeanographische und meteorologische Grundgrößen kontinuierlich messen zu können. Damit begann auch die Entwicklung des unikalen Warnemünder Gelenkmastes mit besonderer Eignung für flachere, hochvariable aber weitestgehend gezeitenfreie Seegebiete.

Am Meeresboden gelenkig befestigte Türme waren in der Offshore-Meerestechnik zur Gewinnung von Erdöl und Erdgas aus tieferen Meeresbereichen bekannt (CLAUSS et al. 1988). Im Jahre 1959 entwickelte der Kieler Ozeanograph WOLFGANG KRAUSS (1931 – 2009) einen Beobachtungsmast aus beweglichen Teilstücken zur Messung von Temperatur und Strömung in Schelfmeeren (KRAUSS 1960), der sich aber nicht für einen permanenten Einsatz zur Umweltüberwachung eignete. Ozeanographische Forschungsplattformen gab es in Europa bereits in den 1970er Jahren in der Nordsee (Deutschland, Niederlande), im Schwarzen Meer (UdSSR, Bulgarien) und in der Adria (Italien) (DOLEZALEK 1992). Eine der dauerhaftesten Messtürme war die deutsche Forschungsplattform „Nordsee“, die von 1975 bis 1993 rund 75 km nordwestlich von Helgoland auf 30 m Wassertiefe stand (SALZMANN et al. 1975; VICTOR et al. 1975). Derartige Groß-Plattformen waren für eine permanente Umweltüberwachung aber zu aufwändig und zu teuer. Es fehlten seinerzeit einfache, leicht hantierbare, kostengünstige autonome Bojensysteme und Messmasten für die Anwendung in der Ozeanographie.

2. Hintergrund der Entwicklung

In Vorbereitung auf die Zusammenarbeit im Rahmen der Helsinki-Konvention hatte das Institut für Meereskunde in Warnemünde im Jahre 1977 von der Akademie der Wissenschaften den Auftrag bekommen, eine Konzeption für ein „Autonomes ozeanographisches Flachwasser-Messsystem“ für das der DDR-Küste vorgelagerte Seegebiet mit Tiefen von 20 bis 80 m zu erarbeiten.² Es sollte der Überwachung der Umwelt und der Forschung dienen, aber auch für operative Dienste und als Bestandteil multinationaler Messnetze zur Verfügung stehen (IOW 1978; IOW 1979).

² Dank der Umsicht von Dr. FRIEDRICH MÖCKEL sind zahlreiche Unterlagen zur Entwicklungsgeschichte des Fern-Mess-Systems FMS 80 aus den Jahren 1977 bis 1986 erhalten geblieben (IOW 1986,1).

Die technischen Möglichkeiten der DDR zur Entwicklung und zum Bau eines geeigneten Geräteträgers waren begrenzt und die benötigten Anlagen weit unter den für eine Lösung durch kommerzielle Betriebe notwendigen Stückzahlen. So wurde 1978/79 im IfM Warnemünde von dem Physiker Dr. FRIEDRICH MÖCKEL³ unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. WOLFGANG ROEDER⁴ und Ing. HARDO SEEHASE⁵ sowie in Zusammenarbeit mit dem Institut für Meteorologie und Wasserwirtschaft (IMGW) in Gdynia/Polen ein Lösungsvorschlag erarbeitet (IOW 1979; MÖCKEL 1982). Dipl.-Ing. SIEGFRIED KRÜGER⁶ vertrat dabei seinerzeit insbesondere die Sensorik, unter anderem mit der Entwicklung von Sauerstoff- (KRÜGER & FRANCKE 1982; KRÜGER, 1982; IOW 1982,1) und Leitfähigkeitssensoren (RUICKOLDT & KRÜGER 1988) sowie mechanischer und magnetischer Richtungssensoren für Geräteträger, Wind- und Strömungsmesser (KRÜGER 1987).

Erste Lösungsvorschläge gingen von einer seegangsstabilisierten, verankerten Großboje SAMOS als Geräteträger aus, die seit 1977 auf der Gdańsker Werft unter der Regie des IMGW entwickelt wurde (IOW 1977; RÓZDZYŃSKI 1978). Das System war für eine Nutzung im Zeitraum 1985-2000 vorgesehen. Nachdem im Jahre 1980 ein Pflichtenheft aufgestellt wurde (IOW 1980) sollte ab August 1981 die erste anderthalbjährige Erprobungsphase beginnen (IOW 1981). Nach Besichtigung der Boje im Juni und November 1982 zeigte sich, dass die Boje nur mit Einschränkungen und nachträglichen Umbauten für die Belange des IfM nutzbar war. Durch eine Havarie, die zum Untergang des Prototyps der Großboje führte, zerschlug sich schließlich die Lösung mit der SAMOS-Boje, zumal notwendige Änderungen zu teuer und zu aufwändig geworden wären (s. auch Matthäus 2015) und Lieferschwierigkeiten der Werft auftraten (IOW 1985,1).

³ Dr. FRIEDRICH MÖCKEL (1919 – 1993) studierte von 1946 bis 1950 Physik und Mathematik an der Universität Leipzig und war von 1950 bis 1962 als Physiker an Entwicklungsstellen der Nachrichten- und Messgeräteindustrie in Leipzig tätig. Von 1962 bis 1984 leitete er die Messgeräteentwicklung im Institut für Meereskunde Warnemünde. Über das Leben von Dr. FRIEDRICH MÖCKEL und sein Wirken für die Meeresforschungstechnik s. STRIGGOW (1992) und MATTHÄUS (2009, 2015).

⁴ Dipl.-Ing. WOLFGANG ROEDER (*1951) hat an der Sektion Technische Elektronik der Universität Rostock von 1969 bis 1973 „Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik“ mit der Spezialisierung auf Regelungs- und Automatisierungstechnik studiert. Er hat als Forschungsingenieur von 1973 bis 1991 in der Arbeitsgruppe „Messwesen“ des IfM und von 1992 bis 2016 als Teamleiter MARNET in der Arbeitsgruppe „Messtechnik“ des IOW gearbeitet.

⁵ Dipl.-Ing. (FH) HARDO SEEHASE (*1941) hat 1967 an der Ingenieurschule für Schifftechnik in Warnemünde den „Ingenieur für Allgemeinen Maschinenbau“ erworben. Er war von 1966 bis 2004 im IfM/IOW tätig, hat dabei u.a. maßgeblich alle Entwicklungsstufen des Messmastes betreut, die späteren konstruktiven Arbeiten bei Fertigung und Wartung bis zu seinem Ausscheiden geleitet und auch noch bei der Generalüberholung 2012/2013 beratend mitgewirkt.

⁶ Dipl.-Ing. SIEGFRIED KRÜGER (*1954) hat an der Sektion Technische Elektronik der Universität Rostock von 1972 bis 1976 „Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik“ mit der Spezialisierung auf Mess- und Regelungstechnik studiert. Er hat von 1976 bis 1990 als Entwicklungsingenieur in der Arbeitsgruppe „Messwesen“ des IfM gearbeitet und ist seit 1992 als Leiter der Arbeitsgruppe „Messtechnik“ im IOW tätig. Er hat dabei u.a. die Entwicklungen des IOW-MARNET-Teils insgesamt und vor allem die der 2. und 3. Generation des Warnemünder Messmastes wesentlich vorangetrieben.

3. Entwicklung, Konstruktion und Erprobung eines neuartigen Geräteträgers für die Ozeanographie im Institut für Meereskunde in den 1980er Jahren

3.1 Das Konzept eines mobilen abgespannten Messmastes

Die Idee zum Bau eines ozeanographischen Geräteträgers aus einem verspannten Leichtbaumast, der aus kleinen handlichen Einheiten zusammengesetzt werden konnte, geht auf den ersten Leiter der Messgeräteentwicklung im IfM, Dr. FRIEDRICH MÖCKEL zurück (Abb. 1). Im Jahre 1981 beschritten er und der Ingenieur HARDO SEEHASE nach Scheitern der ursprünglich vorgesehenen Nutzung der SAMOS-Boje diesen neuen Weg. Sie begannen im Rahmen des konzipierten Flachwasser-Messsystems FMS 80 mit der Entwicklung eines derartigen Mastes als Geräteträger für ozeanographische Messstationen.⁷ In den flachen Gewässern der westlichen Ostsee, in der eine starke thermohaline Schichtung vorherrscht, ist beim Einsatz von Messbojen der Einfluss der Wellenbewegung auf die Messdaten ohnehin nur schwierig zu eliminieren. Um die notwendige Entkopplung von den Auswirkungen der Oberflächenwellen zu erreichen, wurde eine selbstschwimmende, schleppfähige Konstruktion angestrebt, die auf dem Meeresboden abgestellt werden konnte.⁸

Das erste Konzept sah einen mobilen abgespannten Mast mit einem leichten Ständer vor, der sich mit wenig Last gerade selbst trägt. Der Mast aus geschlossenen, schwimmfähigen Aluminium-Rohrsektionen sollte für 15 - 30 m Wassertiefe ausgelegt werden und an einem Gelenkfuß auf dem Meeresboden stehen. Er war für eine relativ leichte Nutzlast (ca. 350 kg) konzipiert. An Land sollten die Mast-Module auf üblichen Klein-Lastkraftwagen transportierbar sein. Auf See sollte der Mast nahezu komplett montiert schleppfähig und mit kleinen Schiffen ohne schweres Hebezeug hantierbar sein. Bei Gefahren (z.B. Eisbildung) sollte er leicht geborgen oder am Meeresgrund abgelegt werden können.

Die erste Erwähnung des Messmastes geht auf das Jahr 1982 zurück (IOW 1982,3). Im Rahmen eines Ingenieurpraktikums wurden umfangreiche Berechnungen der nötigen Eigenschaften der Rohrsegmente, der Flanschverbindungen sowie der Abspannseile für den Messmast vorgenommen. Die erste Skizze des geplanten Messmastes zeigt Abb. 2. Die weiteren Entwicklungen und Konstruktionen führte Ing. HARDO SEEHASE aus (s. Abb. 3), der in den darauf folgenden Jahren auch für den Bau und die Erprobung des gesamten Geräteträgers verantwortlich war.

⁷ Parallel dazu wurde die Möglichkeit des Aufbaus einer kabelgebundenen ozeanographischen Messstation in unmittelbarer Nähe des IfM als Vorstufe für vollautomatische Messstationen geprüft. Als Standort wurde eine Position im Küstenbereich westlich von Warnemünde auf 5 m Wassertiefe vorgeschlagen und als Grundausrüstung die Sensorgruppe der Ozeanologischen Messkette OM 75 (s. Fußnote 10) ins Auge gefasst (IOW 1982,2).

⁸ Es gab auch Überlegungen zu einem driftenden Messmast als Geräteträger (s. IOW 1988,2; Abb. 5.2).



Abb. 1: Dr. FRIEDRICH MÖCKEL (etwa 1975), Spiritus rector des ozeanographischen Messmastes, Leiter der Messgeräteentwicklung im Institut für Meereskunde Warnemünde von 1962 bis 1984 (Foto: I. MÖCKEL).

Fig. 1: Dr. FRIEDRICH MÖCKEL (about 1975), guiding spirit of the oceanographic measuring mast, head of the department for instrument development in the Institute of Marine Research in Warnemünde between 1962 and 1984 (Photo: I. MÖCKEL).

Die Einzelteile von drei Funktionsmustern sollten nach Skizzen im Volkseigenen Betrieb (VEB) Schiffswerft Rechlin⁹ in den Jahren 1984/1985 gebaut werden.

Der Bau konnte nur in Etappen unter Nutzung von Kooperationspartnern realisiert werden und war in erheblichem Maße von Materiallieferungen und den freien Kapazitäten in der Schiffswerft abhängig. Die in der DDR stets schwierige Materialsituation und die zur Verfügung gestellten Finanzmittel erlaubten lediglich ein schrittweises Vorgehen. So gelang es nur durch häufige Erprobungen und damit verbundene Umbauten, dieses Konzept nach und nach weiter zu entwickeln, um eine hinreichende Standsicherheit zu erreichen. Anfang 1983 wurde das bis dahin erreichte Konzept offiziell akzeptiert und bestätigt, das notwendige Material konnte aber erst 1984 geliefert werden und der Bau konnte beginnen. Im selben Jahr wurden Rohrständler und Mastfuß eines Funktionsmusters, Anfang 1985 die Arbeitsbühne fertig gestellt und die erste Montage im April 1985 im Tonnenhof Stralsund vorgenommen (s. Abb. 3).

⁹ VEB Schiffswerft Rechlin/Müritz. Die Werft gehörte zum Kombinat Schiffbau der DDR mit Hauptsitz in Rostock und war auf den Bau von kleinen Aluminiumschiffen spezialisiert.

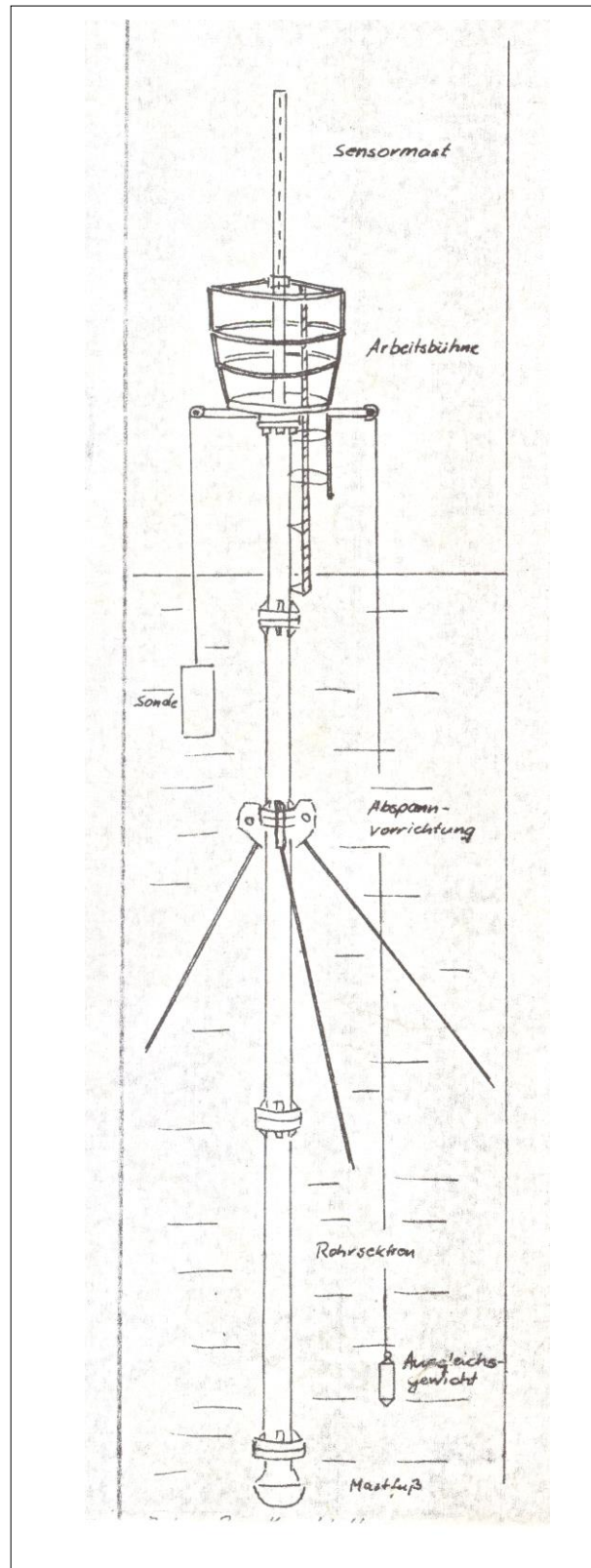


Abb. 2: Erste Skizze des geplanten Messmastes aus dem Jahre 1982 (aus IOW 1982,3).

Fig. 2: First sketch of the intended measuring mast from 1982 (from IOW 1982,3).



Abb.3: Ingenieur HARDO SEEHASE bei der Montage des Messmast-Prototyps auf dem Tonnenhof Stralsund im April 1985 (Foto: H. SEEHASE).

Fig. 3: Engineer HARDO SEEHASE during the assembling of the measuring mast prototype at the buoy yard of Stralsund in 1985 (Photo: H. SEEHASE).

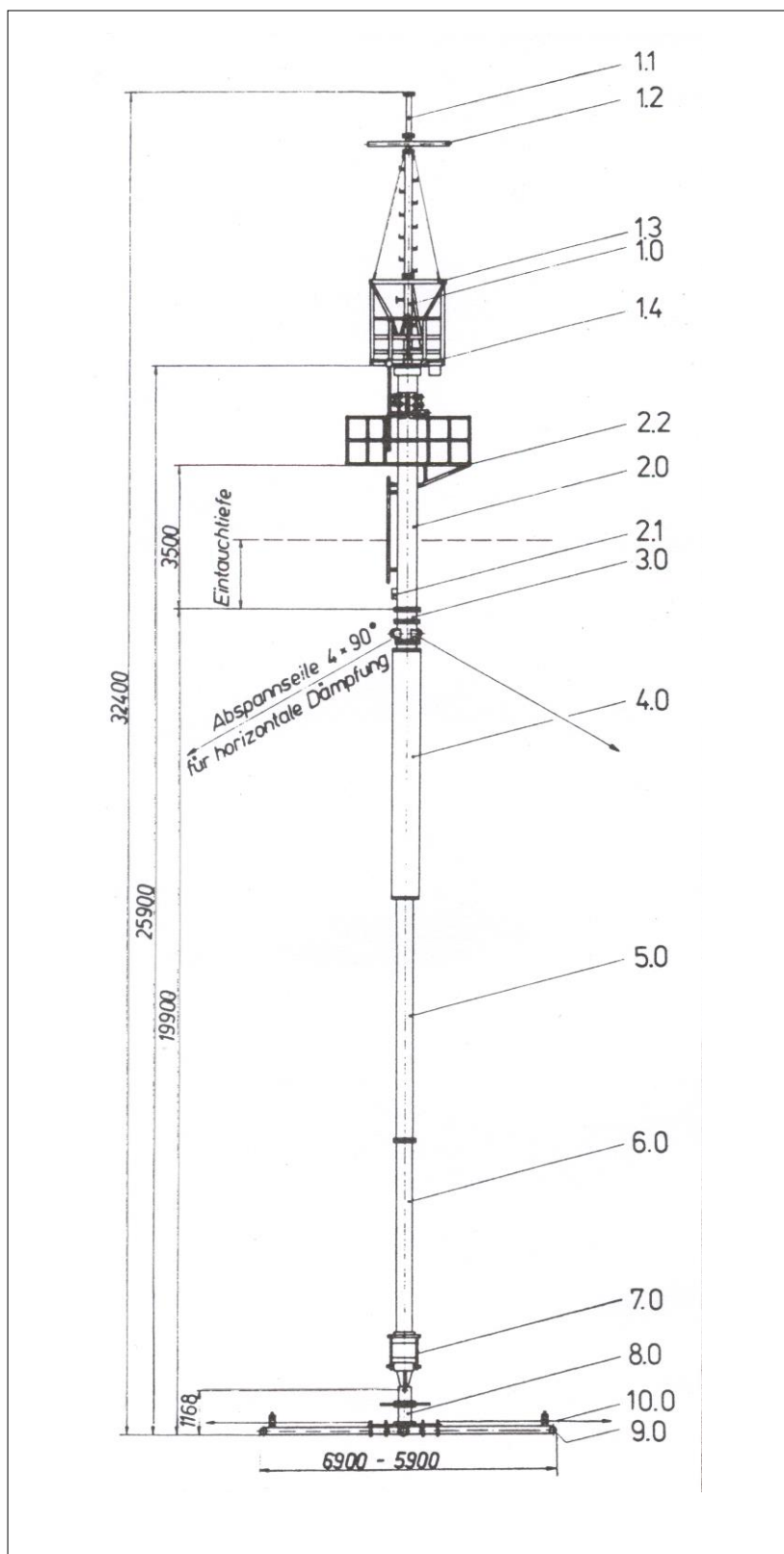


Abb. 4: Schema und Abmessungen des Entwicklungsmusters von 1986 (aus IOW 1988,2; Kennblatt 1988).

Fig. 4: Scheme and dimensions of the measuring mast prototype from 1986 (from IOW 1988,2; Engineering specification 1988).

Die Grundbausteine der ersten Variante des Stationsmastes waren einzeln schwimmfähige, flutbare Rohrsektionen von 6 m Länge und zwischen 0,3 - 0,7 m Durchmesser aus einer Aluminium-Magnesium-Legierung (AlMg 3), die über Flansche miteinander verschraubt wurden (Abb. 3 und 4). Als Bodenbefestigung des Mastes diente ein ballastierter Fuß mit Kreuzgelenk (Abb. 5). Der durch die einzelnen Sektionen erzeugte Gesamtauftrieb trug eine Plattform mit Ausrüstung oberhalb der Wasseroberfläche. Die oberste Sektion war gleichzeitig als wasserdichter Instrumentenbehälter ausgebildet, der zur Unterbringung von Batterien, Datenerfassungs- und Aufbereitungselektronik, Datenspeichern, Anlagesteuerung usw. geeignet war. Diese Sektion war von der darauf montierten Arbeitsbühne über einen abnehmbaren Deckel zugänglich. Die Arbeitsbühne war wiederum mit einem Gerätemast für meteorologische Sensoren und Antennen sowie mit Rohrstützen zur Montage von Auslegern für CTD-Sonden, Lastenaufzüge, Solarmodule und Windgeneratoren ausgestattet. Dieser Prototyp des Stationsmastes wurde auf Position noch durch vier zusätzliche Seile nebst Saugankern um den Fuß herum am Meeresboden verspannt, um Pendelbewegungen durch Strömung, Wind und Seegang sowie eine eventuelle Abdrift abzufangen.

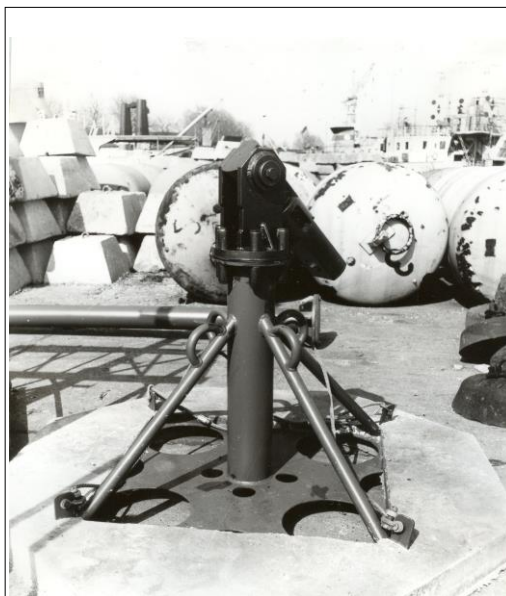


Abb. 5: Erste Variante der Fußplatte (2,1 m Durchmesser und 850 kg, Al-Skelett, Betonring) mit Kreuzgelenk aus dem Jahre 1985 (aus IOW 1985,1).

Fig. 5: First version of the bottom plate (diameter: 2.1 m; weight: 850 kg; Al-frame and concrete ring) with universal joint from 1985 (from IOW 1985,1).

3.2 Erprobungen des Entwicklungsmusters

Im April 1985 wurde die Technologie zum Auslegen des selbstaufrichtenden, kardanisch am Meeresgrund verankerten Messmastes anhand des in Originalgröße realisierten Entwicklungsmusters erstmals getestet (Abb. 6) und eine längere Ständerprobung in der Tromper Wiek vor der Insel Rügen durchgeführt (IOW 1985,2). Der Transport der Module

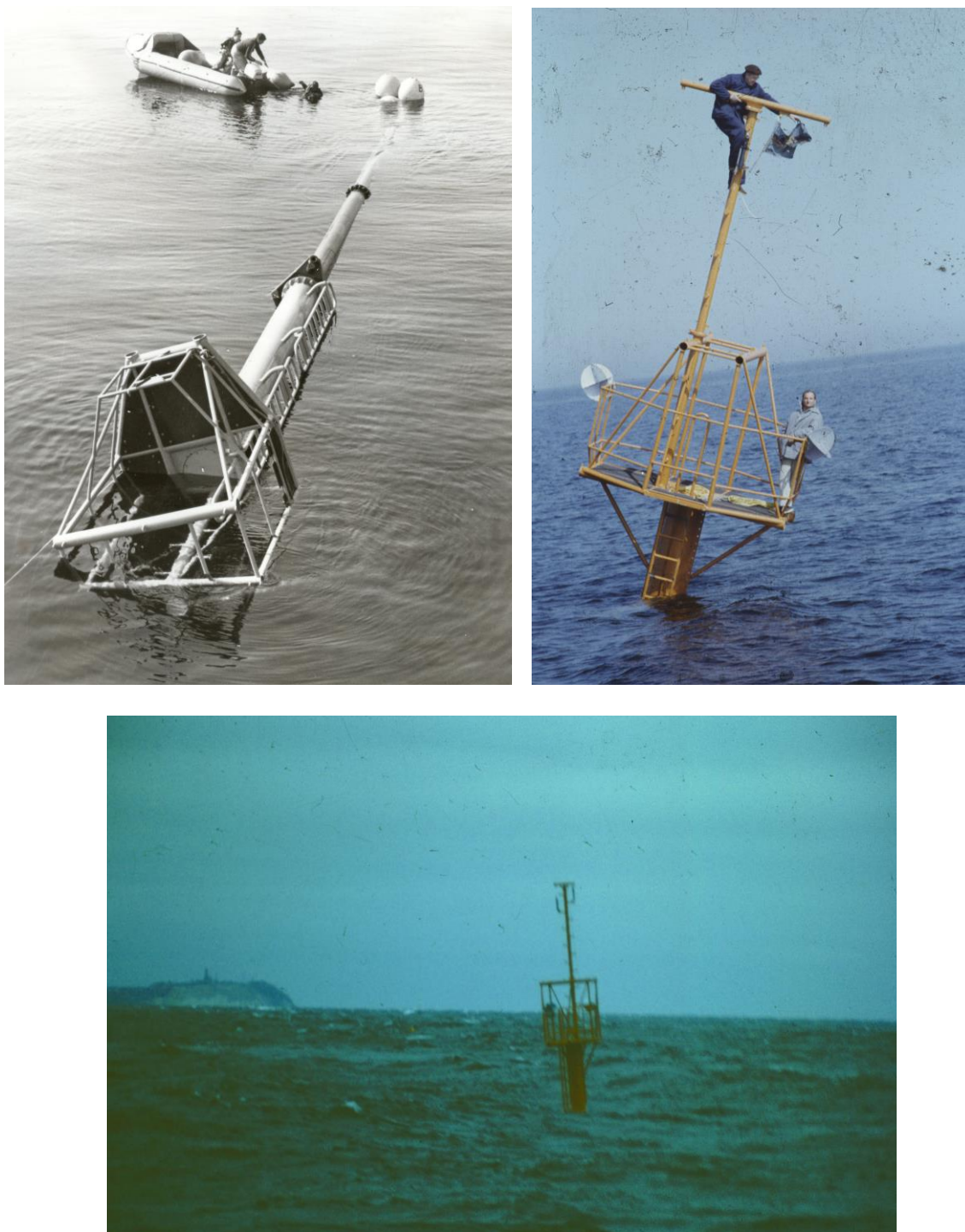


Abb. 6: Erprobung der Technologie zum Ausbringen und Aufrichten des Mastes unter Mitwirkung von Forschungstauchern im April 1985 in der Tromper Wiek vor der Insel Rügen (aus IOW 1985,1), das Hissen der Flagge (rechts) und der Mast im Seegang (unten) (Fotos: H. SEEHASE).

Fig. 6: Testing of the deployment and installation technology of the oceanographic mast with assistance of research divers in the Tromper Bay off Rügen Island in April 1985 (from IOW 1985,1), flying of the flag (right) and the mast under rough sea conditions (below) (Photos: H. SEEHASE).

zum Schiff konnte mit dem relativ kleinen institutseigenen Pritschenwagen von Typ „Barkas“ realisiert werden, der mit einem entsprechenden Anhänger ausgerüstet wurde (Abb. 7). In Teilen zusammengebaut wurde der Mast dann auf ein Schiff verladen (Abb. 8 und 9), zum Testgebiet transportiert und anschließend vor Ort vollständig montiert. Auch komplette Transporte auf einem Schiff oder das Schleppen von vormontierten Mastteilen waren vorgesehen (s. Abb. 12).

Das Entwicklungsmuster entsprach den Erwartungen hinsichtlich Abmessungen, Gewichten, Schwimmfähigkeit und Hantierbarkeit. Zwischen April und September 1985 wurde eine erste mehrmonatige Erprobung des Stationsmastes auf 19 m Wassertiefe auf sandigem Grund wiederum in der Tromper Wiek durchgeführt und erfolgreich abgeschlossen (IOW 1985,1; Abb. 10). Die Station sollte anschließend vorrangig mit den Messwandlern bestückt werden, die für die als Ozeanologische Messkette OM 75¹⁰ bezeichnete CTD-Sonde entwickelt worden waren (MÖCKEL 1982). Darüber hinaus wurde der Bau einer neuen profilierenden CTD-Sonde in Angriff genommen, die am Messmast Profile von Temperatur, Leitfähigkeit, Schallgeschwindigkeit und Strömung messen sollte (s. Matthäus 2015, 2016). Die Datenübertragung vom Mast sollte automatisch über mikroprozessorgesteuerte Echtzeitlemetrie erfolgen (MÖCKEL & SEEHASE 1986; IOW 1985,3; IOW-MT 1986,1; IOW 1986,2; IOW 1986,3). Für die Energieversorgung waren Bleiakumulatoren vorgesehen. Es wurden auch erste Experimente mit Solarzellen zur Nachladung der Batterien eingeleitet, die von der Firma Siemens beschafft worden waren (W. ROEDER, pers. Mitt., 2014). In einem Kennblatt aus dem Jahre 1985 sind alle Details des entwickelten Geräteträgers für das geplante Fern-Mess-Systems FMS 80 zusammengestellt (IOW 1985,4). Im Mai 1986 legte MÖCKEL den Abschlussbericht¹¹ zum Entwicklungsstand des Fern-Mess-Systems FMS 80 (IOW 1986,2) einschließlich einer Vorschrift für Aufstellung und Abbau des Mastes (IOW 1986,4) vor. Ein Ablaufplan vom Juli 1986 listet die weiteren Entwicklungsschritte der Flachwasserstation bis 1990 auf und weist auf die Probleme bei der Weiterentwicklung hin (IOW 1986,5).

Im Juni 1986 wurde der Mast erstmals kurzzeitig probeweise auf der Darßer Schwelle aufgestellt (IOW 1986,6), im August 1986 wieder abgebaut und anschließend auf der Neptun-Werft in Rostock demontiert, da mit der derzeitigen Konfiguration keine weiteren Erprobungen sinnvoll erschienen. Der konstruktive Aufbau und die Erprobungsergebnisse wurden 1986 veröffentlicht (MÖCKEL & SEEHASE 1986)

¹⁰ Die Ozeanologische Messkette OM 75 war eine in den 1970er und 1980er Jahren im Institut für Meereskunde Warnemünde entwickelte, kabelgebundene und durch frei programmierbare Prozessrechner gesteuerte Multisonde zur Messung von Vertikalprofilen verschiedener Parameter im Meer (MÖCKEL 1980; STRIGGOW & MÖCKEL 1989).

¹¹ Der Abschlussbericht vom 30. Mai 1986 liegt nur in einem Exemplar vor. Aus einer beigefügten Anmerkung geht hervor, dass der Bericht nicht bestätigt und nicht zur Vorstellung, Diskussion und Verteilung freigegeben wurde. In von MÖCKEL vorbereiteten Stichworten zur Verteidigung rechtfertigt er den Entwicklungsaufwand in Millionenhöhe vor allem mit der vielseitigen, langjährigen Nutzung für Forschung [IfM] sowie im Rahmen von Katastrophen- und Umweltschutz [HELCOM, IGOSS] (IOW 1986,7).



Abb. 7: Transport des Entwicklungsmusters zur Insel Dänholm bei Stralsund mit einem Trailer und dem institutseigenen Pritschenwagen vom Typ „Barkas“ im April 1985 (Foto: I. MÖCKEL).

Fig. 7: Transport of the mast prototype to Dänholm Island near Stralsund in April 1985 using a trailer and the pickup minivan type “Barkas” owned by the Institute (Photo: I. MÖCKEL).

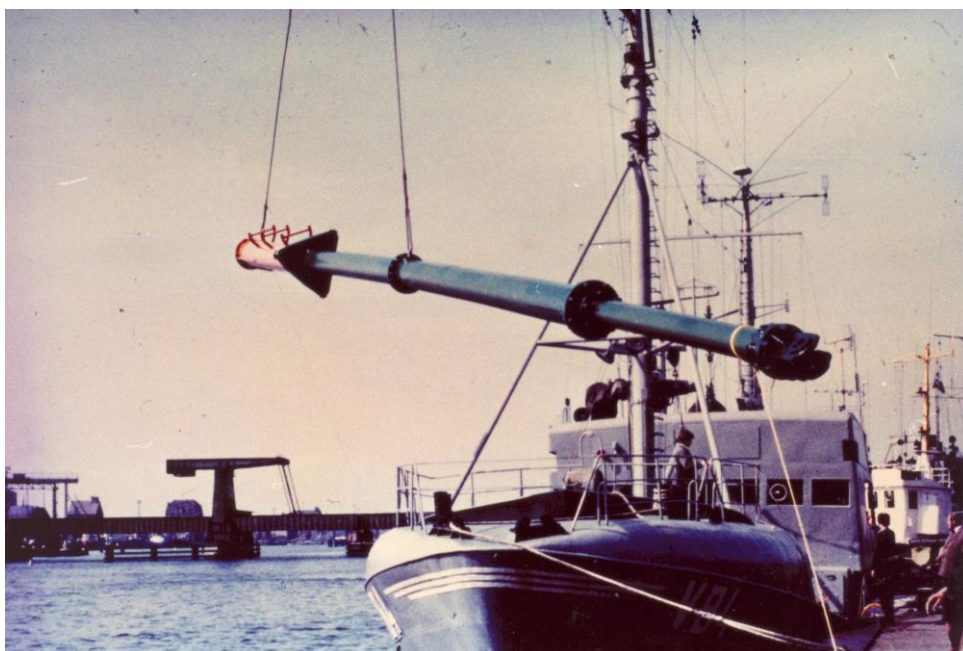


Abb. 8: Verladung des Messmastes im Hafen der Insel Dänholm auf das Marineschiff MS „V 84“ im April 1985 (Foto: I. MÖCKEL).

Fig. 8: Loading of the measuring mast in the Dänholm Island harbour onto of the Navy vessel “V 84” in April 1985 (Photo: I. MÖCKEL).

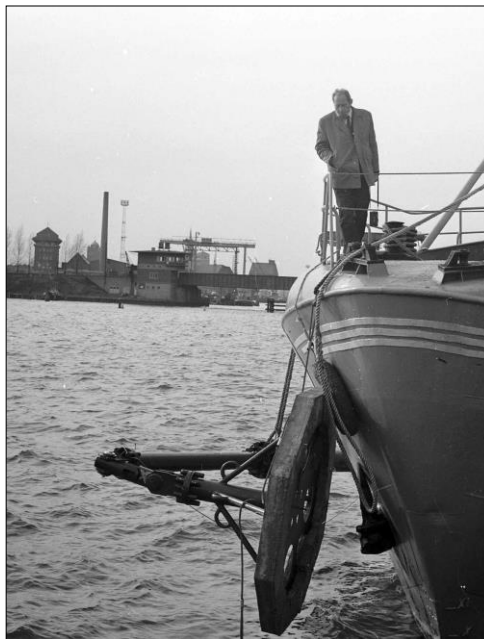


Abb. 9: Kritischer Blick von Dr. MÖCKEL auf den Fuß des am MS „V 84“ befestigten Messmastes im April 1985 (Foto: H. SEEHASE).

Fig. 9: Dr. F. MÖCKEL looks critically at the bottom mount of the mast with the universal joint fastened outboard of the Navy vessel “V 84” (Photo: H. SEEHASE).

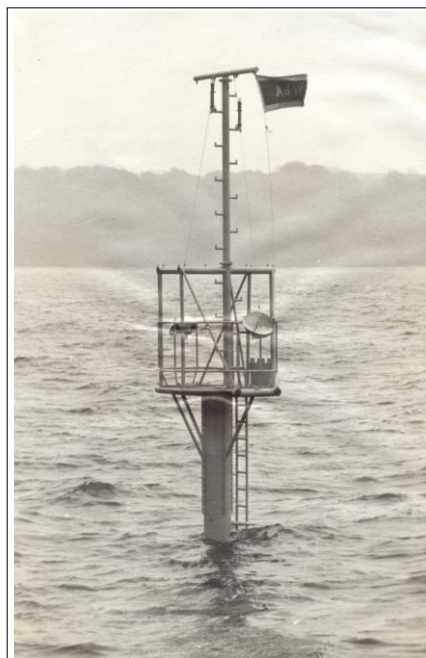


Abb. 10: Erfolgreiche fünfmonatige Erprobung des Messmastes unter Einsatzbedingungen in der Tromper Wiek von April bis September 1985 (aus IOW 1985,1).

Fig. 10: Five months successful test of the measuring mast under field conditions in the Tromper Bay between April and September 1985 (from IOW 1985,1).

Bereits im Juli 1984 war die Leitung der Geräteentwicklung am IfM von Dipl.-Ing. KLAUS-PETER WLOST¹² übernommen worden. Er legte im Ergebnis der bisherigen Erprobungen Ende 1986 ein überarbeitetes Konzept für das komplexe automatische Messsystem FMS 80 vor. Dieses basierte auf dem bis dahin entwickelten Messmast als Geräteträger für Flachwasserstationen und war vorrangig auf eine Installation im Seegebiet der Darßer Schwelle ausgelegt (IOW 1986,3). Die seinerzeit verfügbare Sensorik und der auf dem Messmast zu installierende Steuerrechner waren allerdings noch nicht wirklich einsatzbereit und hatten vor allem noch einen zu hohen Energieverbrauch, so dass die Mess-, Datenverarbeitungs- und Übertragungstechnik auf dem Messmast ohnehin nur wenige Tage einsatzbereit gewesen wäre (W. ROEDER, pers. Mitt., 2014). Es wurde die Entwicklung einer multivalent nutzbaren Sensorperipherik mit frequenzanaloger Signalübertragung und geringerem Energieverbrauch notwendig, die von KRÜGER Ende 1985 in Angriff genommen wurde (IOW-MT 1987,1; IOW-MT 1987,2). Wegen Problemen in der Produktion auf der Schiffswerft Rechlin, fehlender Finanzmittel und Materialschwierigkeiten ruhten die Entwicklungs- und Erprobungsarbeiten am Geräteträger zeitweilig, die Arbeiten am Gesamtkonzept wurden aber weitergeführt.

Auf der Werft in Rechlin sollten drei komplette Masten gefertigt und bis Ende 1987 ausgeliefert werden. Die Fertigung musste über das Kombinat Schiffbau der DDR, zu dem die Schiffswerft Rechlin gehörte, mit Unterstützung der Volksmarine in das laufende Produktions-Programm eingeordnet werden. Entsprechend liefen die Arbeiten, die neben den Planaufgaben durchgeführt werden mussten, sowohl in Rechlin als auch bei Kooperationspartnern nur sehr schwerfällig und mit erheblichen Schwierigkeiten weiter. Der erste komplette Mast stand erst 1988 zur Verfügung und die Erprobungen konnten wieder aufgenommen werden (IOW 1988,1).

Als permanenter Standort wurde jetzt erstmalig der ozeanographisch sensible Bereich der Darßer Schwelle zwischen der Halbinsel Fischland-Darß-Zingst und den dänischen Inseln Falster und Møn gewählt (Abb. 11). Diese untermeerische Schwelle stellt neben der Drogden Schwelle im Öresund das letzte, entscheidende Hindernis für das Eindringen von salz- und sauerstoffreichem Nordseewasser in die Ostsee dar. Dabei nimmt die Darßer Schwelle eine Schlüsselstellung im Austauschgeschehen ein, denn über sie erfolgen etwa drei Viertel des gesamten Wasseraustausches. Hinzu kam, dass das Institut für Meereskunde bereits 1973 begonnen hatte, am östlichen Hang der Darßer Schwelle auf 21 m Wassertiefe eine permanente Verankerung für Strömungsmessungen aufzubauen und damit nahezu kontinuierlich Strömungsmessungen mit selbstregistrierenden Strömungsmessern durchführte (FRANCKE 1982, 1983).

¹² Dipl.-Ing. KLAUS-PETER WLOST (*1950) hat an der Sektion Technische Elektronik der Universität Rostock von 1971 bis 1975 „Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik“ mit der Spezialisierung auf Schaltungstechnik studiert. Er hat als Forschungsingenieur von 1975 bis 1991 in der Arbeitsgruppe „Messwesen“ des IfM und diese von 1984 bis 1990 geleitet. Von 1992 bis 2015 arbeitete er als Hauptverantwortlicher für Informationstechnik in der Arbeitsgruppe „Messtechnik“ des IOW. Er führte konzeptionelle Arbeiten zur Schaffung des Flachwasser-Meßsystems FMS-80 durch und entwickelte wesentliche Teile des Konzeptes für die Informations- und Datenverarbeitung der MARNET-Messnetz-Stationen des IOW.

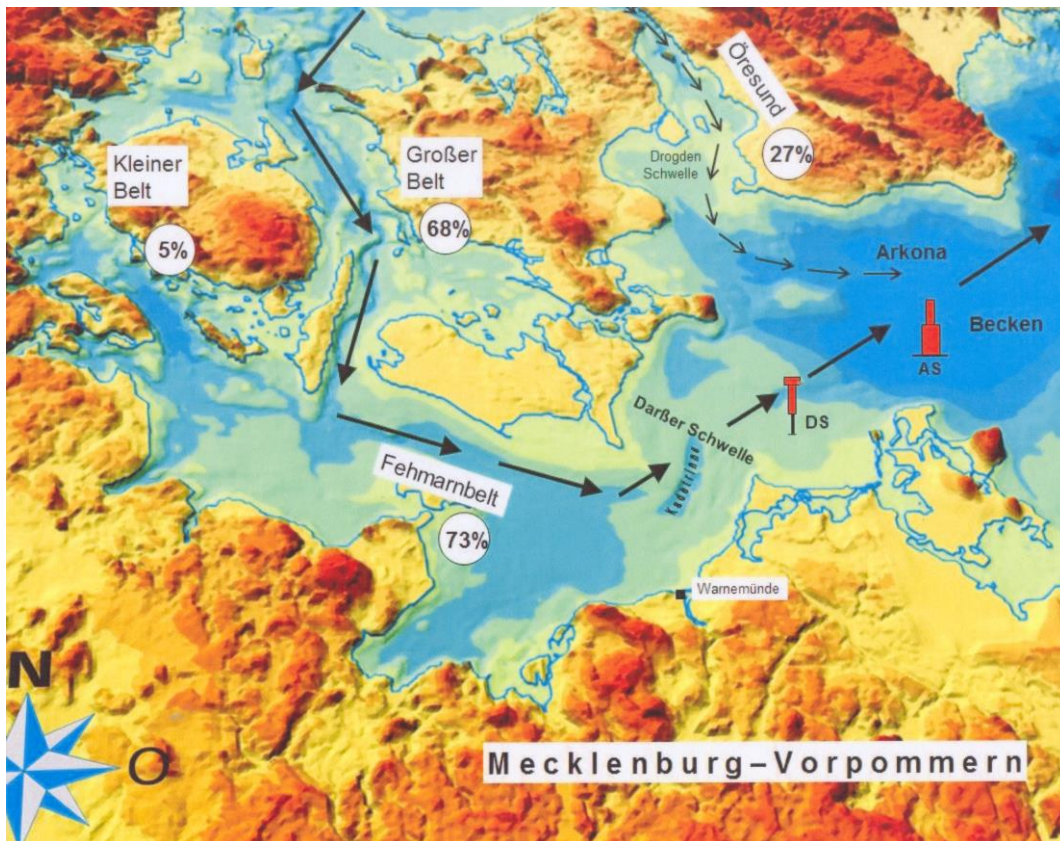


Abb. 11: Die Topographie der westlichen Ostsee mit der Darßer Schwellen sowie den Positionen der MARNET-Stationen Messmast „Darßer Schwellen“ (DS) und der Halbtaucherboje „Arkona-See“ (AS). Die Pfeile zeigen die Ausbreitungsrichtung von einströmendem salz- und sauerstoffreichem Wasser; die Ziffern geben die prozentualen Anteile der Meerengen am Wasseraustausch zwischen Nord- und Ostsee an (aus MATTHÄUS 2011/2012).

Fig. 11: The topography of the western Baltic including the Darss Sill and the positions of the MARNET stations measuring mast “Darss Sill” (DS) and the spar buoy “Arkona-Sea” (AS). Arrows illustrate the propagation of inflowing highly saline and oxygenated water, figures indicate the percentage of water exchange between the North Sea and the Baltic across the Danish Straits (from MATTHÄUS 2011/2012).

Insgesamt fanden 1988 sieben Fahrten mit dem Hebeschiff (HS) „Polar“ zwischen April und Dezember statt,¹³ um die Technologie des Ausbringens des Geräteträgers zu verifizieren, die Erprobung und Kontrolle der einzelnen Baugruppen durchzuführen und weitere Verbesserungen des Instrumententrägers zu erreichen (IOW 1988,1). Bereits 1988 wurde eine Flutung des unteren Teils des Mastes (18 m) auf der Darßer Schwellen aufgrund schlechter Wetterbedingungen erforderlich (IOW 1988,1; IOW 1988,3), der dann im April 1989 wieder geborgen wurde (IOW 1989).

¹³ Neben dem Hebeschiff „Polar“ war zeitweise auch der Tonnenleger „Buk“ des Seehydrographischen Dienstes und das Marineschiff „V 84“ an den Arbeiten auf See beteiligt.

Das Konzept des leichten abgespannten Gelenkmastes stieß im Dauerbetrieb bei stärkeren Seegangs- und Windbelastungen an seine Grenzen und die Abspannungen brachen immer wieder. Nun setzte eine entscheidende Weiterentwicklung des Mastkonzeptes zum völlig selbsttragenden Messmast ein. Stärkere Rohrsektionen aus dem bis dahin verfügbaren Bestand für die vorgesehenen drei Masten wurden so verändert und angepasst, dass sich ein vollständig selbsttragendes und auftriebsstabilisiertes hydrostatisches System ergab einschließlich einer mehrere Meter über die Wasseroberfläche hinaus ragenden einfachen Geräteplattform mit angemessener Nutzlast. Diese Lösung zeigte sehr vielversprechende Erprobungsergebnisse. Die ursprünglich vorgesehene Verspannung des Mastes zur Dämpfung von Pendelbewegungen blieb noch als Option erhalten. Nach Einarbeitung aller Erprobungsergebnisse von 1988 wurden die Unterlagen für einen Serienbau fertig gestellt und an die Schiffswerft Rechlin übergeben (IOW 1988,1; IOW-MT 1990,1). Alle Modifikationen aus den Erprobungen von 1985 und 1988 wurden in einem neuen Kennblatt zusammengefasst (IOW 1988,2; IOW-MT 1990,1). Eigenschaften, Aufbau und Transportvarianten des entwickelten Messmastes wurden als Perspektive für den Aufbau eines permanenten Messnetzes automatisch registrierender Stationen in der westlichen Ostsee öffentlich gemacht (SEEHASE 1990).

Darßer Schwelle und Kadet Rinne gehören zu den am stärksten befahrenen Seegebieten der Ostsee. So traten zu Beginn der Testphase im Jahre 1988 erhebliche Schäden am Mast durch unbekannte Fahrzeuge auf, auch an zusätzlichen Markierungsbojen, die schrittweise eingeführt worden waren (IOW 1988,1; IOW 1988,3). Erst vollständige, durch die Schifffahrtsämter bereitgestellte sog. Kardinal-Schutzbojensysteme entspannten die Situation.

3.3 Die erste Dauererprobung auf der Darßer Schwelle

Von April 1989 bis Januar 1991 lief dann über 19 Monate die erste große Dauererprobung des verbesserten Entwicklungsmusters auf der Darßer Schwelle (Abb. 12) und eine Eignung des Messmastkonzeptes auch im rauen Alltagsbetrieb konnte nachgewiesen werden (SEEHASE, 1991; IOW-MT 1990,1; IOW-MT 1990,2). Mitte 1990 endete die Zusammenarbeit mit der Schiffswerft Rechlin und die noch verbliebenen Module und Ersatzteile wurden ans IfM ausgeliefert (IOW-MT 1990,2). Damit standen dem IfM und dem späteren Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) ein einsatzbereiter Prototyp zur Nutzung als Geräteträger für ozeanographische Dauermessungen bei Wassertiefen von 20-30 m sowie zahlreiche Ersatzteile zur Verfügung (Abb. 13).



Abb. 12: Transport des Entwicklungsmusters des verbesserten Gelenkmastes in komplettem Bauzustand auf Hebeschiff „Polar“ im Jahre 1989 aus dem damaligen Schnellboothafen am Darßer Ort zum Auslegen auf der Darßer Schwelle (Fotos: H. SEEHASE).

Fig. 12: Transport of the complete prototype model of the improved articulated mast on board of vessel „Polar“ from Darsser Ort harbour to the deployment site at the Darss Sill in 1989 (Photos: H. SEEHASE).

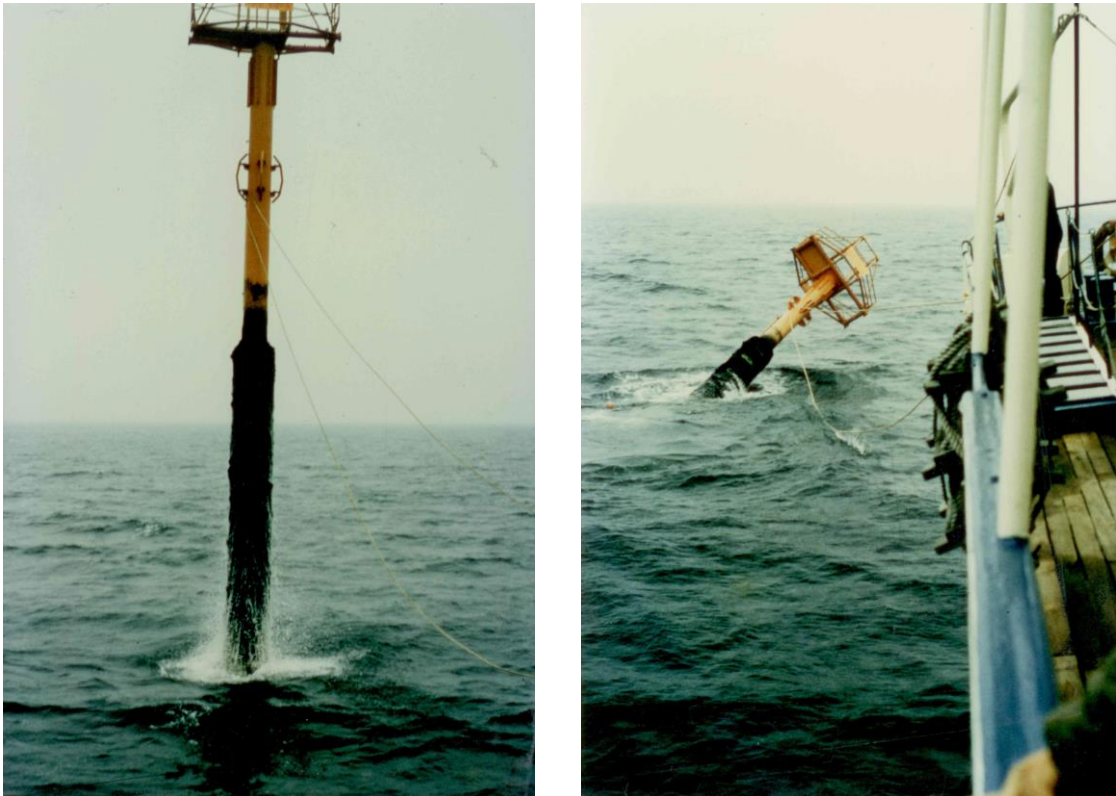


Abb. 13: Der Prototyp des Warnemünder ozeanographischen Messmastes bei der Bergung nach 19-monatigem Dauertest auf der Darßer Schwelle im Januar 1991 (Fotos: W. ROEDER).

Fig. 13: The prototype of the Warnemünde oceanographic measuring mast is recovered after a 19 months long-term test at the Darss Sill in January 1991 (Photos: W. ROEDER).

In den Jahren 1990/91 leitete der Physiker Dr.-Ing. Klaus Striggow¹⁴ die neu gegründete Abteilung „Entwicklungslabor Meeresforschungstechnik“ des IfM, die sich aus einem Messelektroniklabor, einem Prüf- und Kalibrierlabor und der feinmechanischen Werkstatt zusammensetzte. Unter seiner Leitung wurde die Entwicklung und Erprobung des Messmastes weitergeführt (IOW-MT 1990,2; IOW-MT 1990,3; IOW-MT 1990,4; IOW-MT 1991,1). STRIGGOW, ROEDER und WLOST stellten im Zusammenhang mit den Gründungsverhandlungen für das spätere IOW im Auftrage des damaligen Institutsdirektors, Prof. Dr. DIETER LANGE,¹⁵ die Geräteentwicklungen des IfM, insbesondere das geplante Fernmesssystem FMS 80 einschließlich des Messmastes (IOW 1986,3; Seehase 1990), im Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) vor (K.-P. WLOST, pers. Mitt., 2016).

¹⁴ Dr.-Ing. KLAUS STRIGGOW (*1934) hat an der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock von 1952 bis 1957 Physik studiert und promovierte 1973 an der Technischen Fakultät der Universität. Er arbeitete von 1961 bis 1991 im IfM und 1992 im IOW in verschiedenen Bereichen an messtechnischen Problemen.

¹⁵ Prof. Dr. DIETER LANGE (*1938) leitete ab 1978 die meeresgeologische Forschung am Institut für Meereskunde und war ab 1982 stellvertretender und 1990/91 Institutsdirektor.

Daraufhin wurden bereits vor Gründung des IOW in Abstimmung mit dem BSH im Jahre 1990 erste konzeptionelle Vorstellungen zum Aufbau eines unbemannten Messnetzes in der Ostsee entwickelt. Dabei waren auch die Untersuchungen zur Flachwassersonde (IOW-MT 1986,2), zu ozeanographischen Datenerfassungssystemen (IOW-MT 1990,5) und Messwandlern (IOW-MT 1990,6) wichtige Voraussetzungen für die Entwicklung der heutigen IOW-MARNET-Systeme. Trotz vieler politischer, wirtschaftlicher und finanzieller Schwierigkeiten wurde Ende 1991 aus Modulen des eingelagerten Entwicklungsbestandes eine neue Variante, die erste Generation eines vollständig auftriebsgetragenen Messmastes aufgebaut (s. Abb. 19a), und für eine weitere umfangreiche Dauererprobung auf der Darßer Schwelle verankert (K.-P. WLOST, pers. Mitt., 2015).

Dadurch und durch die mehr als 10-jährigen Vorarbeiten des IfM Warnemünde auf diesem Gebiet konnten das grundlegende Konzept eines ozeanographischen Fernmesssystems vor der mecklenburg-vorpommerschen Ostseeküste sowie das unikale Konzept des selbsttragenden Warnemünder Messmastes in das 1992 gegründete Institut für Ostseeforschung (später Leibniz-Institut für Ostseeforschung) einfließen.

4. Das Institut für Ostseeforschung und die erste Generation des Warnemünder Gelenkmastes als MARNET-Station

4.1 Die Empfehlungen des Wissenschaftsrates zur Messtechnik

Mit der Wiedervereinigung Deutschlands wurde der Wissenschaftsrat beauftragt, auch die Leistungsfähigkeit des Instituts für Meereskunde in Warnemünde zu bewerten und Vorschläge für eine mögliche Einordnung in die deutsche Meeresforschung zu machen. Bereits in den allgemeinen Gesichtspunkten stellte der Wissenschaftsrat fest, dass

„...das Institut für Meereskunde ... in enger Zusammenarbeit mit Einrichtungen der Ressortforschung bzw. mit Aufsichtsbehörden Vorsorgeforschung [betrieb], ... die ... auf einer beträchtlichen eigenen Grundlagenforschung beruhte.“ (WISSENSCHAFTSRAT 1992, S. 12).

In seiner Beurteilung aus dem Jahre 1991 würdigte er die Messtechnik in der physikalischen Meeresforschung des IfM:

„Die notwendigen Meßgeräte sind zum großen Teil im Institut entwickelt worden, und die Meßtechnik ist vielfach mit der westdeutscher Forschungsinstitute konkurrenzfähig.“ (WISSENSCHAFTSRAT 1992, S. 73).
 „Die Kompetenz des technischen Personals ist vielfach ausgezeichnet, was sich beispielsweise in hervorragenden Entwicklungen der Meeresforschungstechnik niederschlug.“ (WISSENSCHAFTSRAT 1992, S. 76).

Der Wissenschaftsrat empfahl, die bewährte Verbindung auch unter den Bedingungen eines freien Marktes zu erhalten, um im zu bildenden Institut für Ostseeforschung zukunftsfähige meeresmesstechnische Entwicklungslinien anwendungsorientiert und unter Nutzung moderner kommerzieller Forschungstechnik weiterzuführen. Das Gründungskomitee des IOW entwarf 1991 das wissenschaftliche Konzept des neuen Instituts, richtete eine Sektion „Physikalische Ozeanographie und Messtechnik“ ein und berücksichtigte damit die vom Wissenschaftsrat erkannte Bedeutung einer messtechnischen Arbeitsgruppe für das neue Institut.

Mit der Gründung des Institutes übertrug das im vereinigten Deutschland für die Überwachung der Meeresumwelt zuständige Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung die wesentlichen nationalen Monitoringaufgaben in der Ostsee folgerichtig an das IOW, in dem jahrzehntelange Erfahrungen bei der Überwachung und Zustandseinschätzung der Ostsee im internationalen Verbund mit allen Ostseeanrainern vorlagen (MATTHÄUS et al. 2008). Im Vorfeld dieser Vereinbarung hatte das „Entwicklungslabor Meeresforschungstechnik“ des IfM noch Ende 1991 den Aufbau eines ersten Mess- und Energieversorgungssystems mit dem zuvor auf der Darßer Schwelle ausgebrachten Gelenkmast in Angriff genommen (IOW-MT 1990,3; IOW-MT 1991,1).

Bereits auf der ersten Personalversammlung des IOW am 6. Januar 1992 betonte der Gründungsdirektor Prof. Dr. GOTTHILF HEMPEL:¹⁶

„Die Messtechnik-Gruppe kann Beiträge für an Ostseeverhältnisse angepasste Überwachungstechnologie und für Standards der Meeresmeßtechnik leisten“ (IOW 1992,1; S. 3).

In der Dokumentation zur Einweihung des IOW heißt es dazu ausführlicher:

„Die Arbeitsgruppe ozeanographische Messtechnik ... sichert den Einsatz der im Institut verfügbaren Messtechnik, führt Anpassungen neuer Systeme an die speziellen Bedingungen der Ostsee durch, betreibt ein Kalibrierlabor und leistet Beiträge für das Monitoring-Meßnetz.“ (IOW 1992,2; S. 10).

¹⁶ Prof. Dr. GOTTHILF HEMPEL (*1929) war Gründungsdirektor und Direktor des IOW von 1992 bis 1997 (Matthäus, 2012/2013). Als Vorsitzender der Arbeitsgruppe „Geo- und Kosmoswissenschaften“ des Wissenschaftsrates zur Begutachtung der außeruniversitären Forschungseinrichtungen in der ehemaligen DDR befürwortete er den Erhalt einer an deutschen Meeresforschungsinstituten nicht üblichen Messtechnikgruppe im IOW und förderte als Direktor die Arbeitsgruppe „Messtechnik“ als interdisziplinäres Bindeglied zwischen den Sektionen zur Entwicklung und Applikation von Meeresmesstechnik für die Grundlagenforschung und Umweltüberwachung unter den speziellen Bedingungen der Ostsee.

Im Rahmen der dem IOW übertragenen Aufgaben des Ostsee-Monitorings für die Bundesrepublik Deutschland

„...erfolgt der schrittweise Aufbau und die Inbetriebnahme eines Messnetzes automatisch registrierender Stationen in der Mecklenburger Bucht, auf der Darßer Schwelle, in der Arkonasee und auf der Oderbank.“
(IOW 1992,2; S. 14).

Damit war die Weiterentwicklung des Messmastes grundsätzlich im Programm der Arbeitsgruppe „Messtechnik“ verankert.

4.2 Die erste Generation des Messmastes

Das BSH hatte mit der deutschen Vereinigung auch den Auftrag bekommen, das bereits in der Nordsee und bis zum Fehmarnbelt in der Ostsee vorhandene Umweltmessnetz automatischer Hochseestationen mit Datenfernübertragung (später **MAR**ines Umwelt-mess**NETZ**, **MARNET**) in der westlichen Ostsee weiter auszubauen. Das Warnemünder FMS 80-Konzept und die vorhandenen, guten Erprobungsergebnisse sowie die allgemeinen, auch international gewürdigten Leistungen der Warnemünder Meeresmesstechnik über Jahrzehnte trotz politischer Abschottung hatten beim Wissenschaftsrat Anerkennung gefunden (s. Abschnitt 4.1). Das hatte bei den Gründungsverhandlungen für das IOW insbesondere das BSH überzeugen können, das Warnemünder Messnetzkonzept insgesamt sowie das Messmast-System speziell als einen möglichen Geräteträger zu übernehmen.

Im Arbeitsrahmen zur ersten Verwaltungsvereinbarung zwischen dem BSH und dem IOW vom 9. Januar 1992 heißt es:

„Das bereits in der Deutschen Bucht und der westlichen Ostsee bestehende Netz automatisch registrierender Dauermeßstationen wird auf das Meeresgebiet vor der Küste des Landes Mecklenburg-Vorpommern ausgeweitet. Dazu werden folgende Aufgaben ausgeführt:

- Stufenweise Aufbau eines Messnetzes mit insgesamt vier Stationen...
- Erprobungs- und operationeller Betrieb der Stationen sowie deren Wartung und Reparatur;
- Ausrüstung der Geräteträger mit Datenerfassungs- und -übertragungsanlagen, Sensoren (Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit, Strömungsrichtung und -geschwindigkeit, Sauerstoffgehalt, Wasserstand und meteorologische Meßgrößen...) und Hilfseinrichtungen“ (IOW 1992,3; Anlage 1, S. 4/5).

Mit der Gründung des IOW wurde ein leistungsfähiger Kern der Mitarbeiter des früheren „Entwicklungslabors Meeresforschungstechnik“ des IfM übernommen und als eigen-

ständige Abteilung/Arbeitsgruppe in die Sektion „Physikalische Ozeanographie und Messtechnik“ integriert. Im März 1992 übernahm Dipl.-Ing. SIEGFRIED KRÜGER den Aufbau und die Leitung dieser Arbeitsgruppe mit insgesamt neun Ingenieuren und Technikern.

Als Hauptarbeitslinien wurden festgelegt:

1. Schiffsgebundene CTD-Unterwassersondensysteme;
2. Schiffsgebundene Datenerfassungs- und Assistentsysteme;
3. Automatische Messstationen und Umweltmessnetze;
4. Ozeanographische Sensorik und Kalibriertechnologien.

Dem Komplex „Automatische Messstationen und Umweltmessnetze“ wurde dabei eine besondere Bedeutung beigemessen, so dass er mit vier Personalstellen aus dem BSH-finanzierten Budget besetzt werden konnte. Neben SIEGFRIED KRÜGER übernahm WOLFGANG ROEDER die Leitung des operativen MARNET-Komplexes mit HARDO SEEHASE als Meerestechnik-Ingenieur und Konstrukteur an seiner Seite. KLAUS-PETER WLOST übernahm die Leitung aller Entwicklungen und Applikationen informationstechnischer Systeme, auch für MARNET (s. Abb. 16). Das im September 1991 ausgebrachte Messmast-System (IOW-MT 1990,3; IOW-MT 1991,1) wurde zur ersten MARNET-Station „Darßer Schwelle“ (s. Abb. 19a). Es bildete die Basis für die Entwicklung der ersten IOW-MARNET-Mess-, Datenspeicher- und Übertragungssysteme und war letztlich bis Januar 1993 im Einsatz. Damit konnten wesentliche Entwicklungsarbeiten der Warnemünder Meeresmesstechnik, auch am ozeanographischen Messmast, nach der Wiedervereinigung Deutschlands in einem nahezu nahtlosen Übergang direkt durch die Schüler und Mitarbeiter von F. MÖCKEL, die Dipl.-Ingenieure S. KRÜGER, W. ROEDER, K.-P. WLOST und H. SEEHASE weitergeführt werden.¹⁷

Mit der Wiedervereinigung und der Integration in die BSH-Überwachungsprogramme hatten sich insbesondere viele neue technische Möglichkeiten eröffnet. Die inzwischen verfügbaren, weitaus moderneren Sensoren und Messsysteme, leistungsstärkere und energiesparendere Elektronik und Informationstechnik sowie effizientere Batterien, Solarzellen und kleine Windgeneratoren brachten weiteren Fortschritt und ermöglichten den Entwurf eines neuartigen, mehrstufigen Mess-, Datenspeicher- und Übertragungskonzeptes sowie eines mehrgliedrigen Energieversorgungssystems auf der Basis alternativer Energien (IOW-MT 1994,1).

¹⁷ Die Arbeitsgruppe „Messtechnik“ des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung Warnemünde hat umfangreiche Unterlagen zur Entwicklung des ozeanographischen Messmastes nach 1992 aufbewahrt, die uns zur Auswertung zur Verfügung standen.

Bereits im Mai 1992 konnte dem BSH dieses Ausrüstungskonzept mit neuartigen Sensoren (intelligente, selbstspeichernde Sonden und Datenlogger) sowie äußerst energiesparenden, mehrgliedrigen Prozessor- und Datenspeichern vorgelegt werden (Abb. 14). Für die Energieversorgung wurde ein dreigliedriges Umweltenergieversorgungskonzept auf der Basis von Hochleistungsakkumulatoren, Solar- und Windenergie entwickelt (KRÜGER et al. 1992).

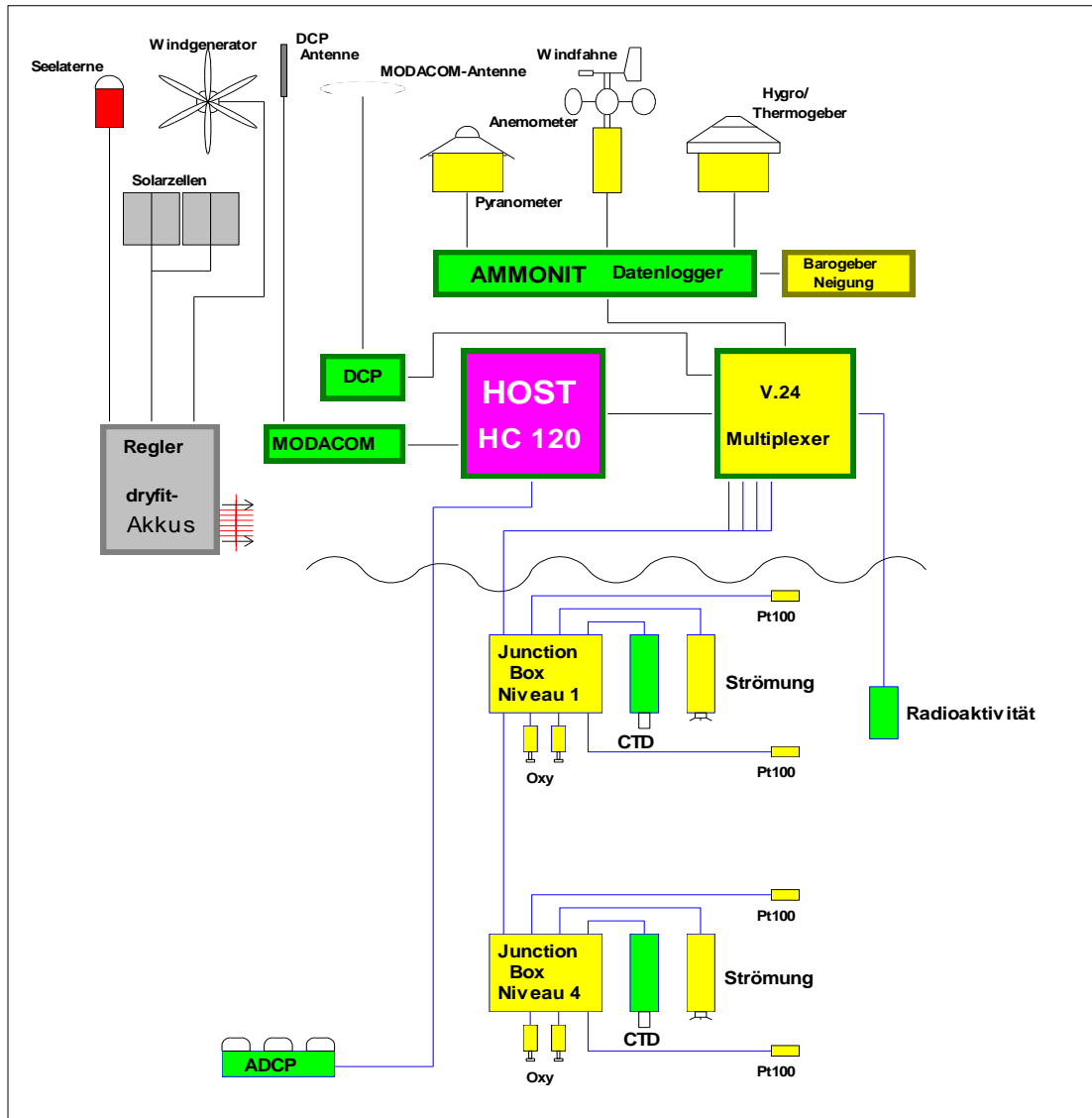


Abb. 14: Ausrüstungskonzept für den Messmast „Darßer Schwelle“ aus dem Jahre 1992/93 einschließlich Umwelt-Energieversorgungssystem (aus KRÜGER et al. 1995).

Fig. 14: Sketch of the instrumentation concept for the measuring mast “Darss Sill” from the year 1992/93 including an environmental energy supply system (from KRÜGER et al. 1995).

Auf der Grundlage eines aktuellen Zwischenberichtes zu den mehrjährigen Erprobungen des Messmastes auf der Darßer Schwelle aus dem Jahre 1992 (W. ROEDER & K.-P. WLOST, pers. Mitt., 2016), und der ersten Ergebnisse nach der Inbetriebnahme von Teil-Messausrüstungen auf dem weiterhin betriebsfähigen Messmast des Warnemünder Fern-Mess-Systems FMS 80 von 1991 fand dann im September 1992 im IOW ein umfangreiches Statusseminar mit Vertretern des BSH, des GKSS-Forschungszentrums Geesthacht, STN Atlas-Elektronik Bremen (MERMAID)¹⁸ und des Projektträgers Jülich (PTJ) statt. Im Ergebnis dieses Seminars konnte sich das IOW mit seinem schlanken Konzept des auftriebsgetragenen modularen Messmastes mit alternativer Energieversorgung und modularem, energiesparendem Mikrorechnersystem für die Station „Darßer Schwelle“ gegen die inzwischen veralteten Technologien auf den bisher vom BSH betriebenen Monitoringstationen (IOW-MT 1978) und gegen die neuen, aber äußerst aufwendigen MERMAID-Technologien (MERMAID, 1991, 1994) durchsetzen. Nicht zuletzt auch aus Kostengründen fand das IOW-Konzept in Dipl.-Met. DIETER KOHNKE,¹⁹ Dipl.-Phys. FRITZ HOLZKAMM²⁰ und Dr. DETLEV MACHOCZEK²¹ entscheidende Fürsprecher im BSH, so dass sich das BSH gemeinsam mit dem IOW für die Weiternutzung des vollständig auftriebsgetragenen Warnemünder Gelenkmastes als Geräteträger für die MARNET-Station „Darßer Schwelle“ entschied. Noch im Herbst 1992 konnten ein erstes Solar- und Batteriesystem, erste Sensoren und ein Datenloggersystem auf dem Mast „Darßer Schwelle“ in Betrieb genommen werden, zunächst noch mit off-line-Datenspeicherung (KRÜGER et al. 1992).

¹⁸ MERMAID = **M**arine **E**nvironmental **R**emote-controlled **M**easuring **A**nd **I**ntegrated **D**etection System: Gemeinsames Projekt wissenschaftlicher und industrieller Partner aus Deutschland, Frankreich, Norwegen und Kanada im Rahmen des EUREKA-Projektes EUROMAR zur Entwicklung eines Ästuar- und Küstenüberwachungssystems.

¹⁹ Direktor und Professor Dipl.-Met. DIETER KOHNKE (DHI/BSH: 1966-2003) hat 1966 bis 1983 den Aufbau und Betrieb des Deutschen Ozeanographischen Datenzentrums (DOD) beim Deutschen Hydrographischen Institut (DHI) in Hamburg, seit 1990 Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), geleitet. Ab 1984 war er Leiter des Referats „Meereskundliche Querschnittsaufgaben“ im BSH und war mit dem Ausbau des deutschen Marinen Umweltmessnetzes MARNET in Nord- und Ostsee befasst. Seit Beginn der 1990er Jahre hat Kohnke in leitender Funktion in mehreren Kommissionen der Zwischenstaatlichen Ozeanographischen Kommission (IOC) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) an der Planung und dem Aufbau des Global Ocean Observing System (GOOS) mitgearbeitet.

²⁰ Dipl.-Phys. FRITZ HOLZKAMM (DHI/BSH: 1970-2002) war ab 1970 für ozeanographische Messsysteme und -methoden und das automatische ozeanographische Messnetz des DHI bzw. BSH in Nord- und Ostsee verantwortlich und hat das Sachgebiet später auch geleitet.

²¹ Dr. DETLEV MACHOCZEK (DHI/BSH seit 1987) beschäftigt sich im BSH mit der Aufbereitung der Messnetzdaten, wobei die Umsetzung der Rohwerte in physikalische Daten und die damit verbundenen Probleme sowie die Verifizierung dieser Werte einen Schwerpunkt bilden.

Damit war die erste IOW-MARNET-Station auf der Basis des selbsttragenden Warnemünder Gelenkmastes der ersten Generation in Betrieb (s. Abb. 19a). Allerdings deuteten sich bei der Auswertung der Daten der Dauererprobung 1990/91 und der ersten Messungen mit Teilen des neuen Datenerfassungssystems bereits im Herbst 1992 einige Probleme mit der bisherigen Dimensionierung des Geräteträgers an. Es traten je nach Wetter und Seegang immer wieder einzelne, sehr starke Neigungen des Gelenkmastes auf und an der Plattform sowie an äußeren Plattformteilen wurden Beschädigungen durch Seeschlag registriert.

Es zeigte sich, dass das System für die Verhältnisse in der westlichen Ostsee statisch und seegangsdynamisch noch nicht weit genug entwickelt und erprobt worden war. Zwar lagen Abschätzungen der statischen Neigung durch seitliche Anströmung und Windangriff vor (IOW-MT 1991,2), es fehlten aber Berechnungen bzw. Tests des tatsächlichen Schwingverhaltens und der Eigenperiode der im Wasser stehenden Gesamtkonstruktion unter Berücksichtigung der konkreten Seegangsverhältnisse und Wasserstände in der westlichen Ostsee.

Anfang 1993 kam es dann durch extreme Seegangs- und Windbelastungen zu einer Havarie des Mastes der ersten, vollständig auftriebsgetragenen Generation. Im Januar 1993 waren innerhalb von 10 Tagen drei Orkane mit maximalen Windgeschwindigkeiten von 40 m/s über die westliche Ostsee hinweg gezogen. Der Mast brach um den 25. Januar herum zwischen oberer Auftriebssektion und Oberflächensektion, die die Plattform trägt. Oberflächensektion und Plattform wurden in die Arkonasee getrieben und konnten vor Rügen nahezu unbeschädigt geborgen und durch FS „A. v. Humboldt“ nach Rostock gebracht werden. Der Rest sank an der Darßer Schwelle auf den Meeresboden und konnte später mit Hilfe des BSH sowie des Wasserstraßen- und Schifffahrtsamtes Stralsund²² geborgen sowie nach Rostock überführt werden.

Ursache der Havarie waren Schwächen der nicht system- und seegangstheoretisch fundierten Gesamtkonstruktion. Außerdem lag die obere Hauptauftriebssektion nur ca. 1,5 m unter und die Plattform lediglich 3 m über Mittelwasser (vgl. auch Abb. 19a). Da im Seegebiet der Darßer Schwelle bei Stürmen signifikante Wellenhöhen bis 4 m durchaus normal sind (SCHMAGER 1979), musste die Hauptauftriebssektion teilweise frei fallen, während die Wellenkämme in den Plattformbereich hineinschlugen, vor allem bei niedrigerem Wasserstand und stärkeren, strömungsbedingten Neigungen. Diese Belastungen im Seegang bei Extremwetter hatten zum systematischen Lockern der mehrere Zentimeter dicken Flanschschrauben zwischen Hauptauftriebs- und Oberflächensektion geführt, bis diese letztlich abreißen mussten.

²² Das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Stralsund, speziell Dipl.-Ing. DIRK BERGER, hat bei der Gestaltung der IOW-Messfelder um die IOW-MARNET-Stationen sowie bei den notwendigen schifffahrtsamtlichen Genehmigungsverfahren einschließlich Schutzbetonung und Amtshilfe in besonderen Fällen wertvolle Unterstützung gegeben.

5. Die zweite Generation und das neue Energieversorgungs- und Messkonzept

Bereits 1991/92 hatten ROEDER, SEEHASE und KRÜGER Versuche zur Untersuchung der Eigenschwingungen des derzeit vorhandenen Messmastes durchgeführt (Abb. 15; s. auch Krüger et al. 1992), die letztlich eine Eigenperiode von rund 15 s ergaben (s. auch IOW-MT 1993). Nachträgliche detaillierte Auswertungen der Aufrichtversuche zeigten aber auch, dass der Messmast generell noch relativ stark bei der ersten Harmonischen seiner Eigenschwingungen reagiert, also in der Dimensionierung von 1991 auf Anregungen mit Periodendauern von 7 - 8 Sekunden.

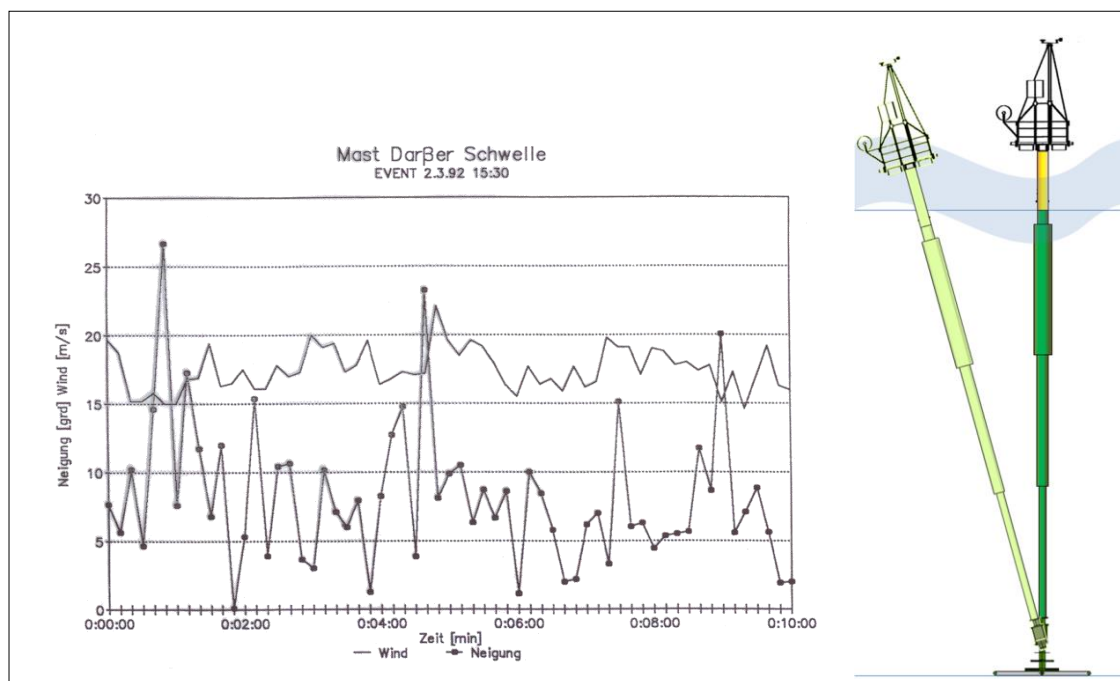


Abb. 15: Stochastische Neigungen des Gelenkmastes der 1. Generation bei Starkwind (Daten / Zeichnung: W. ROEDER/S. KRÜGER).

Fig. 15: Stochastic inclinations of the measuring mast of the 1st generation during strong winds (Data / drawing: W. ROEDER/S. KRÜGER).

Der Seegang in der westlichen Ostsee hat bei Periodendauern 7 - 9 Sekunden seine höchste Energie, womit sich dann die stochastisch auftretenden Einzel-Resonanzen dieses Mastes bei starkem Seegang erklären ließen. Das Gelenkmastkonzept war also nochmals – insbesondere in seiner Gesamtausführung – zu überprüfen und die Anwender erneut zu überzeugen, dass das Warnemünder Konzept bei richtiger Dimensionierung für die Position „Darßer Schwelle“ und die dort herrschenden Randbedingungen – auch im Winter – besser geeignet ist. Maßverhältnisse, Tragfähigkeit und Schwingverhalten mussten deutlich angepasst bzw. verbessert und die Anlage zudem den nun geltenden Richtlinien der bundesdeutschen Wasser- und Schifffahrtsämter angeglichen werden, einschließlich Kennzeichnungen und der Integration einer Technologie zur Bergung bzw. zum Schutz bei



Abb. 16: Dipl.-Ing. KLAUS-PETER WLOST bei der Arbeit an Konzepten der Informations- und Datenverarbeitung der MARNET-Stationen (Foto: M. SOMMER).

Fig. 16: Dipl.-Ing. KLAUS-PETER WLOST at work on concepts of the information and data processing for the MARNET stations (Photo: M. SOMMER).



Abb. 17: Dipl.-Ing. WOLFGANG ROEDER bei der Entfernung von Eis am Messmast „Darßer Schwelle“ (Foto: M. SOMMER).

Fig. 17: Dipl.-Ing. WOLFGANG ROEDER during the removing of the ice layer from the measuring mast “Darss Sill” (Photo: M. SOMMER)

Eisgang. Dazu gehörte auch eine Möglichkeit, das im Winter durch Spritzwasser entstehende Eis an der Oberflächensektion zu entfernen (manuell und mit Heißwasser-Hochdruckreinigern, Abb. 17).

Zur Abschätzung aller wesentlichen auftretenden Auf- und Abtriebe sowie der seitlichen Anströmkräfte unter und über Wasser entwickelten KRÜGER und ROEDER zunächst ein erweitertes Finite-Elemente-Modell für die gesamte Mastkonstruktion (Abb. 18). Dieses Modell berücksichtigte die vollständige Geometrie der konkreten Konstruktion, die einzelnen Massen und Auftriebe aller Mastsegmente in ihren geometrischen Zentren vom Drehpunkt des Kreuzgelenkes bis hin zu den Elementen über Wasser – jeweils vertikal wirkend – sowie die horizontalen Anströmkräfte durch seitliche Anströmung unter Wasser und den seitlichen Windangriff über Wasser. Unter Verwendung typischer Strömungswiderstands-Koeffizienten für die einzelnen Segmentformen (Auftriebsrohre als Zylindersegmente und Plattformbereich als Kugelsegment) sowie der tatsächlichen Dichtewerte der strömenden Medien (Seewasser und Luft) simuliert das Modell den Gleichgewichtszustand aller Drehmomente gegenüber dem Drehpunkt des Kreuzgelenkes und damit die Auslenkungen der konkreten Konstruktion bei verschiedensten Auslegungen der einzelnen Segmente, unterschiedlichsten Nutzlasten sowie bei verschiedenen Strömungs- und Windbelastungen.

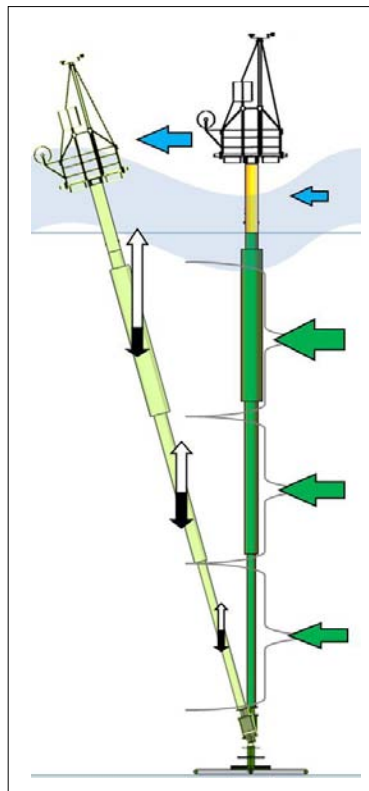


Abb. 18: Finite-Elemente-Modell der ersten Generation des Warnemünder Gelenkmastes (Zeichnung: S. KRÜGER/W. ROEDER).

Fig. 18: Finite-element-model for the 1st generation of the Warnemünde measuring mast (Drawing: S. KRÜGER/W. ROEDER).

Mit Hilfe des Modells ließen sich nun auch die Gesamt-Massenträgheitsmomente und die maximalen Aufrichtmomente unterschiedlichster Konstruktionen vergleichen. So konnte in kurzer Zeit auf der Basis vorhandener Rohrsektionen mit größeren Durchmessern und leichten Veränderungen weiterer vorhandener Systemteile ein deutlich tragfähigerer Messmast der zweiten Generation entworfen werden (s. Abb. 19b).

Genutzt wurden dafür ein noch vorhandener Mastfuß mit Kreuzgelenk und neuer Bleiplattenballastierung, eine vorhandene Rohrsektion mit 0,45 m Durchmesser (gekürzt

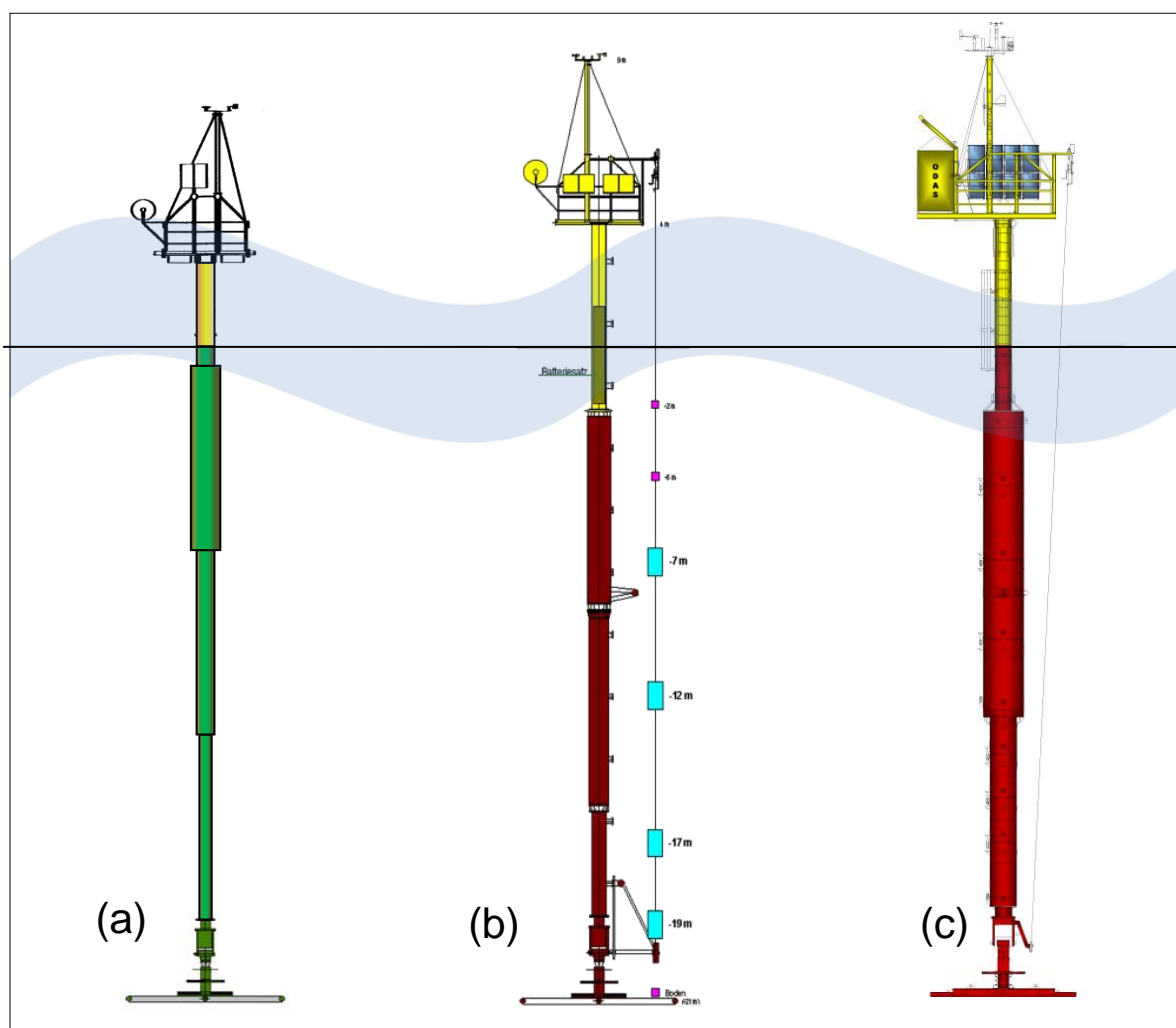


Abb. 19: Die drei Generationen des Warnemünder Gelenkmastes: a) Erste Generation (1991-1993); b) Zweite Generation (1993-2000); c) Dritte Generation (ab 2000) (Schemata: S. KRÜGER/W. ROEDER/H. SEEHASE).

Fig. 19: The three generations of the Warnemünder articulated measuring mast: a) 1st generation (1991-1993); b) 2nd generation (1993-2000); c) 3rd generation (from 2000 onwards) (Schemes: S. KRÜGER/W. ROEDER/H. SEEHASE).

auf 3,4 m), eine vorhandene Rohrsektion mit 0,63 m Durchmesser (6,4 m lang), eine vorhandene Rohrsektion mit 0,74 m Durchmesser (6,4 m lang), die bisherige Oberflächensektion mit 0,45 m Durchmesser (6 m lang) und eine baugleiche Bühnen-/Plattformkonstruktion wie die bisherige (s. Abb. 19b). Mit diesem Aufbau ließen sich nicht alle Anforderungen vollends erfüllen, aber das maximale Auftriebsmoment konnte auf das rund 2,5-fache und das Massenträgheitsmoment um ca. 25 % erhöht werden. Im Jahre 1997 informierte Krüger über die neuen IOW-Messstationen (KRÜGER 1997a) und erläuterte in einer Übersicht über die Meeresmesstechnik im IOW auch den Stand der Entwicklung der MARNET-Stationen (KRÜGER 1997b).

Die Tabelle auf Seite 44 zeigt die wichtigsten statischen Parameter des Gelenkmastes der 1. und 2. Generation auf der Basis des Finite-Elemente-Modells im Vergleich.

Der Entwurf für den neuen Mast wurde erstmals mit der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Hamburg abgestimmt und letztlich durch BSH und BAW für den Bau freigegeben. Dieser Mast der 2. Generation konnte nach einem beschränkten Ausschreibungsverfahren durch die Rostocker Firma **RO**stocker **SO**nder**M**aschinen und **An**lagenbau (ROSOMA) innerhalb weniger Monate ausbringfertig aufgebaut werden, mit direkter finanzieller Unterstützung des BSH, des IOW und der damaligen Reederei Baltic Marine Services (BMS; gehörte seinerzeit zur RF Reedereigemeinschaft Forschungsschiffahrt Bremerhaven und betreute das Forschungsschiff „Professor Albrecht Penck“ des IOW). HARDO SEEHASE übernahm alle Neukonstruktionen und die Bauleitung. Da in der westlichen Ostsee im Winter doch gelegentlich Eisgang auftreten kann, wurden als besondere Neuerung an allen Auftriebs-Sektionen Flutventile eingeführt, sodass der Mast bei gefährlichem Eisgang teilweise geflutet und mit Kranunterstützung auf den Meeresboden abgesenkt werden konnte.

Gleichzeitig erfolgte durch die Arbeitsgruppe „Messtechnik“ bis zum Herbst 1993 die Entwicklung und Qualifizierung des ersten kompletten Energieversorgungssystems sowie des ersten kompletten Datenerfassungssystems mit Datenfernübertragung für die zukünftigen Messstationen des IOW.

Das neue Ausrüstungskonzept basierte grundsätzlich auf verteilten Energie-Ressourcen (Solar- und Windgeneratoren in Kombination mit einem großen Hauptakkumulatorensystem und zusätzlichen Stützbatterien in einzelnen Loggern und Messgeräten), verteilter Intelligenz (Prozessoren und Zeitsteuerungen auf der Plattform sowie in einzelnen Loggern und intelligenten Messgeräten) sowie mehrfach verteilter, redundanter Datenspeicherung. Auch die Datenübertragung wurde redundant mit Mehrfachsystemen ausgelegt. Das Gesamtsystem und die Teilsysteme arbeiteten mit strengen Wach- und Schlafzyklen zur Energieeinsparung. Die einzelnen programmierbaren Zeittaktregime konnten den lokalen ozeanographischen Zeitskalen der zu überwachenden Prozesse angepasst werden. Details und erste Messergebnisse sind in einer Dokumentation zusammengefasst (IOW-MT 1995).



Abb. 20: Die zweite Generation des Messmastes aus dem Herbst 1993 an der Pier des Fischereihafens in Rostock bei der Vorbereitung zum Transport auf dem Vermessungs- und Forschungsschiff „Gauss“ (Fotos: W. ROEDER).

Fig. 20: The 2nd generation of the measuring mast assembled in the fishing harbour of Rostock in autumn 1993 in preparation for the transportation on board of the surveying and research vessel “Gauss” of the Federal Maritime and Hydrographic Agency (Photos: W. ROEDER).

Anfang Oktober 1993 lag der neue Gelenkmast der zweiten Generation vollständig montiert an der Pier des Fischereihafens in Rostock-Marienehe (Abb. 20). Das Forschungs- und Vermessungsschiff „Gauss“ des BSH übernahm den Seetransport und die Ausbringung vor Ort. Das IOW-Forschungsschiff „A. v. Humboldt“ begleitete die Ausbringung und ermöglichte erste Inspektionen und Ausrüstungen. So konnte der neue Mast am 12. Oktober 1993 erfolgreich auf der angestammten Position auf der Darßer Schwelle gesetzt werden.

Die weitere Ausrüstung erfolgte bis Anfang November mit Hilfe der beiden IOW-Forschungsschiffe „Professor Albrecht Penck“ und „A. v. Humboldt“ und seit 16. November 1993 war die Station auf Sendung, d. h. erste ozeanographische und meteorologische Messwerte sowie Betriebsdaten wurden stündlich per Satellit an die BSH-Datenbank in Hamburg und über das damalige Wissenschaftsnetz ans IOW übertragen (KRÜGER et al. 1995).

Die Havarie 1993 (s. Abschnitt 4.2) hatte nachträglich noch einmal zu einer Diskussion über die Tauglichkeit des Gelenkmast-Konzeptes als geeignetem Geräteträger für MARNET geführt.

Das EUROMAR Office berief 1994 eine Gutachtertagung zum Systemvergleich EUROMAR MERMAID und Messmast „Darßer Schwelle“ nach Warnemünde ein, auf der KRÜGER, ROEDER und WLOST die Messstation „Darßer Schwelle“ vorstellten (s. auch IOW-MT 1994,2; IOW-MT 1994,3). Das Gutachten im Ergebnis der Beratung bestätigte

„...den IOW-Mast als kleines, leichtes und flexibles System, das nach Sensorbestückung und Datenmanagement ganz auf den Bedarf des BSH zugeschnitten ist ... ein auftriebsgetragener modularer Flachwassermast mit Kreuzgelenkbodenverankerung als Geräteträger für Meeresüberwachungsaufgaben [ist] noch nirgends eingesetzt worden und stellt damit eine nicht unbedeutende Innovation dar... Das IOW-System erscheint ... für die speziellen Aufgaben des Messmastes *eine geniale Lösung* und *leistet genau das Notwendige für die aktuelle Bestückung des Mastes.*“ (IOW-MT 1994,4; S. 1/2).

Damit war der Weg für weitere Entwicklungen des Warnemünder Messmastes und des IOW-Datenmanagementsystems endgültig geebnet.

Gemeinsam von BSH, GKSS, IOW und STN Atlas Elektronik wurden zunächst eine Konzeption zur „Systemzusammenführung von BSH-Meßnetz, IOW-Meßstationen und EUROMAR-MAPONET“ (IOW-MT 1994,5) und eine „Aktualisierte Spezifikation und Kostenabschätzung“ für das „Stationäre Umweltmessnetz Nord- und Ostsee“ (IOW-MT 1994,6) erarbeitet. Der modulare Messmast „Darßer Schwelle“ und das schlanke IOW-Datenmanagementsystem wurden dabei als fester Bestandteil übernommen und die Zusammenführung, insbesondere mit den aktuellen BSH-Datenübertragungs- und Datenbanksystemen festgelegt (IOW-MT 1994,2).

Parallel wurde dennoch zusammen mit führenden Meerestechnikern weiter am Gelenkmast-Konzept gefeilt (s. Abschnitt 6). Da der Messmast der zweiten Generation aus vorhandenen Teilen aufgebaut worden war und Unsicherheiten bezüglich der verwendeten Materialien nicht auszuschließen waren, wurde bereits 1994 ein kompletter Neubau angedacht. Er sollte noch besser an die Seegangsverhältnisse des Seegebietes der westlichen Ostsee angepasst werden, deutlich mehr Plattformlast aufnehmen können und nach etwa acht Jahren den Messmast der zweiten Generation ablösen. Ein gemeinsames Projekt der Technischen Universität (TU) Berlin mit dem IOW sollte diese Neuentwicklung unterstützen (IOW-MT 1994,7).

Das IOW-Team hatte wenig Spielraum für zusätzliche Projektarbeit und nahm über die nächsten zwei Jahre Schritt für Schritt alle sechs geplanten Messhorizonte auf dem Messmast „Darßer Schwelle“ in Betrieb. Dazu kamen ein Radioaktivitäts-Messsystem vom BSH in 7 m Tiefe, neue Sauerstoffsensoren in 7 und 19 m sowie erste aufrecht messende, akustische Profilstrommesser (ADCP),²³ die umgehend und weitestgehend hardware-unabhängig in die aktuellen Datenflüsse integriert wurden.

Das BSH drängte entsprechend der eng gefassten gemeinsamen Arbeitspläne und der Verwaltungsvereinbarung zwischen BSH und IOW folgerichtig darauf, dass der Aufbau des weiteren IOW-Messnetzes vor der Küste Mecklenburg-Vorpommerns mit den Stationen „Oder-Bank“ (Diskus-Boje; Inbetriebnahme 1996, s. KRÜGER et al. 2003) und „Arkona-See“ (Halbtaucher-Boje; Planungsbeginn 1997, Inbetriebnahme 2002) zügig vorangetrieben werden konnte. Dauerbetrieb und Neuaufbau nahmen das IOW-Team voll in Anspruch. Das Projekt mit der TU Berlin musste also zunächst zurück gestellt werden. Der neue Gelenkmast der 2. Generation stand äußerst zuverlässig. Die Neigungen waren auch bei schwersten Wetterbedingungen unkritisch. Mit dem neuen Messmast fanden auch die später hinzukommenden IOW-Stationen Eingang in das BOOS- und EuroGOOS-System²⁴ sowie in das im Jahre 2000 herausgegebene internationale Handbuch für Meerestechnik (KRÜGER 2000).

²³ ADCP = **A**coustic **D**oppler **C**urrent **P**rofiler = Akustischer Profil-Strommesser.

²⁴ BOOS = **B**altic **O**perational **O**ceanographic **S**ystem; EuroGOOS = **E**uropean **G**lobal **O**cean **O**bserving **S**ystem.

Im Februar 1996 war tatsächlich die technisch vorbereitete Absenkung des Mastes auf den Meeresboden wegen Eisgangs über der Darßer Schwelle notwendig geworden. Bevor sich Kompakteis bildete, wurde der Messmast nach Entfernen der Messtechnik Anfang Februar durch Fluten der Hauptauftriebssektionen auf den Meeresboden gelegt (IOW 1996) und überwinterte dort bis Ende Mai (KRÜGER 1997b; MATTHÄUS et al. 1997). Nach Wiederaufrichtung durch Ausblasen mit Pressluft und Wiederbestückung mit Energieversorgungseinrichtungen und Messtechnik arbeitete die Station weiterhin mit der gewohnten Zuverlässigkeit. Selbst den schweren Orkan „Anatol“ Anfang Dezember 1999 mit Windböen von mehr als 40 m/s, bei dem fast die gesamte Messtechnik und die äußeren Energieversorgungseinrichtungen beschädigt wurden, überstand der Geräteträger unbeschadet.

6. Die dritte und aktuelle Generation des modularen Gelenkmastes

Da der Mast der zweiten Generation nicht allen Anforderungen, insbesondere auch nicht den für geplante, zukünftige Ausrüstungen (Nutzlast), gerecht werden konnte, wurde im IOW bereits bei seinem Entwurf eine dritte Generation angedacht. Das BSH, die BAW und die TU Berlin unterstützten diese Ansätze unmittelbar mit dem Ziel eines vollständigen Neubaus bis Ende der 1990er Jahre, mit mehr Aufrichtmoment, noch höher gelegener, größerer Plattform, einer Eigenperiode von >26 s und einem isolierten Container für die Messtechnik.

Die ersten Entwürfe für den Warnemünder Gelenkmast der dritten und bis heute bestehenden Generation gehen auf das Jahr 1994 zurück. Mit Unterstützung von Prof. Dr. GÜNTHER CLAUSS (TU Berlin)²⁵ hatte KRÜGER mit dem eigenen Finite-Elemente-Modell eine nochmals verstärkte Variante des Gelenkmastes mit nur noch zwei, allerdings deutlich verstärkten Hauptauftriebssektionen entworfen und berechnet (s. Abb. 19c). Die BAW nahm diese Entwürfe im Jahre 1996 auf und Dipl.-Ing. BERND GARBER²⁶ legte auf dieser Basis im Juni 1997 einen ersten Entwurf einer Bauvorschrift vor.

Der Entwurf wurde in allen Details zwischen BAW, IOW und BSH abgestimmt und durch das BSH in die Ausschreibung gegeben (IOW-MT 1997). Noch im Herbst 1997 erhielt die Rostocker Firma ROSOMA den Zuschlag und ein Neubau konnte beginnen (Abb. 21). SEEHASE übernahm wieder wesentliche Teilkonstruktionen, die Konstruktionsbegleitung und die gesamte Bauaufsicht bei ROSOMA (IOW-MT 2001), zeitweilig direkt vor Ort unterstützt von GARBER.

²⁵ Prof. Dr.-Ing. GÜNTHER CLAUSS (*1939) studierte Physik an den Technischen Universitäten in München und Berlin. Er war von 1973 bis 2008 im Institut für Schiffs- und Meerestechnik der TU Berlin auf dem Forschungsgebiet Meerestechnik tätig. Er beschäftigte sich mit der Dynamik maritimer Systeme, Schwerpunkt: Entwurf und Hydromechanik von meerestechnischen Konstruktionen.

²⁶ Dipl.-Ing. BERND GARBER, Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg.

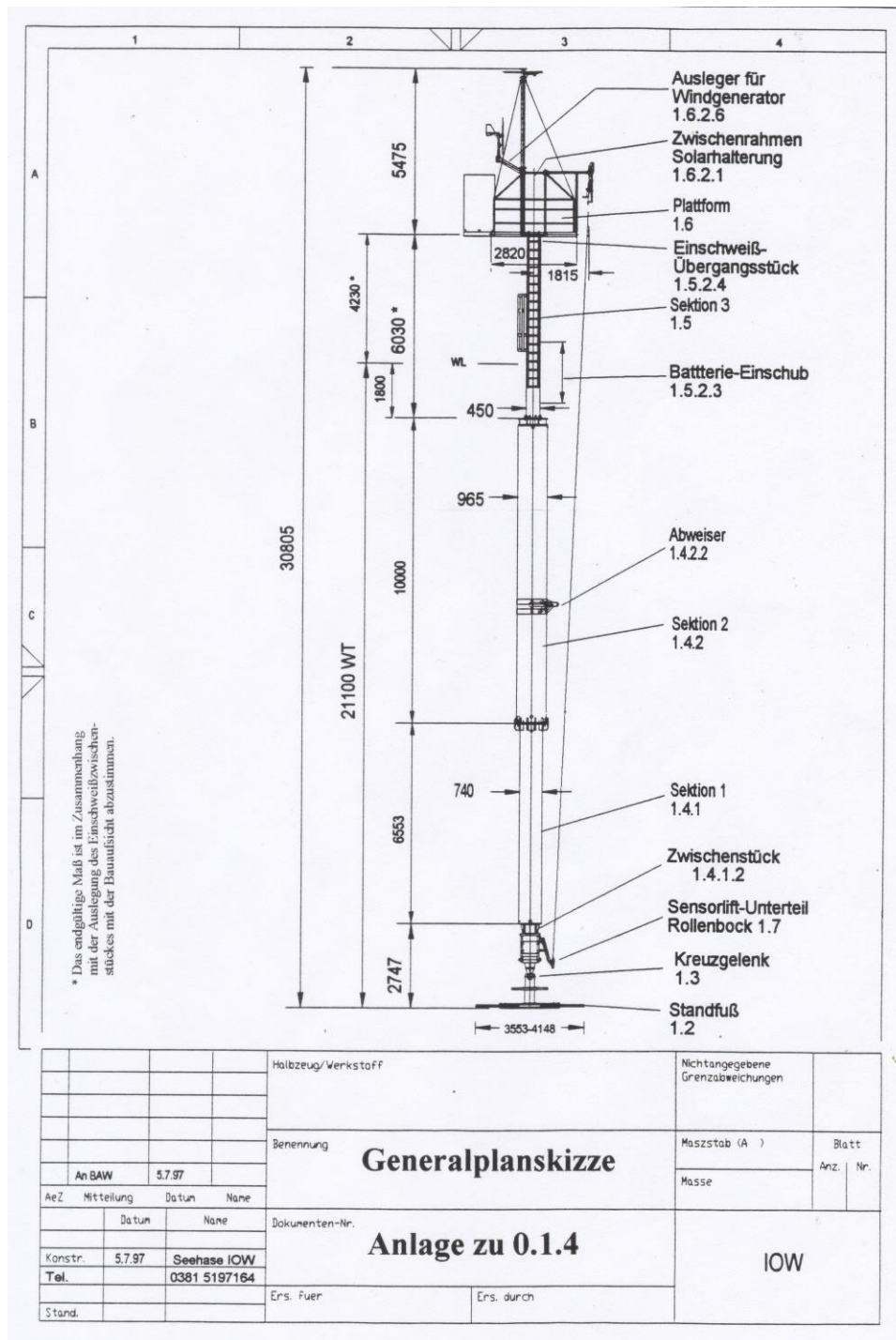


Abb. 21: Schema und Abmessungen des Gelenkmastes der 3. Generation (H. SEEHASE aus IOW-MT 1997).

Fig. 21: Scheme and dimensions of the measuring mast of the 3rd generation (H. SEEHASE from IOW-MT 1997).

Auch für den neuen Mast konnten zur Kostenreduzierung noch einige vorhandene Teile aus dem Entwicklungsbestand des IfM/IOW genutzt werden, wie vorhandene Standfüße und Kreuzgelenkteile, verbunden mit einem neuen Kreuzteil aus nicht rostendem Stahl und neuer hermetisch gekapselter Bleiballastierung (Abb. 22). Für die untere Auftriebssektion über dem Fußgelenk wurde eine vorhandene Rohrsektion mit 0,74 m Durchmesser genutzt, aber alle Schweißungen sowie Endflansche überarbeitet und die neuen Flutventile ergänzt. Die Hauptauftriebssektion mit 10,2 m Länge und 1,1 m Durchmesser nebst Flutventilen (s. Abb. 25 und 27) wurde völlig neu gefertigt. Als obere Auftriebs- und Batteriesektion fand wiederum eine vorhandene Rohrsektion Verwendung, deren Schweißungen ebenfalls nach neuestem technischem Standard überarbeitet wurden (u.a. Schweißbadsicherungen). Auch für die modulare Messplattform konnten weitestgehend vorhandene Strukturteile verwendet werden, ebenfalls verstärkt und für den seitlichen Anbau eines zusätzlichen geschlossenen Messgerätecontainers vorbereitet. Der neu entwickelte, geschlossene Messcontainer (s. Abb. 26, 28 und 29) wurde als schwimmfähige, aber begehbare Box in Aluminium-Kunststoff-Sandwich-Leichtbautechnik gestaltet. Ein drehbarer, per Hand bedienbarer Lastenkrane und neue Sensorlifträger sowie neue Solar- und Windgeneratorhalterungen wurden direkt in die Plattformkonstruktion integriert (s. Abb. 26).



Abb. 22: Mastfuß mit Auslegerplatten (10,7 t; Bleiballast im Standfuß: 4,8 t) und Kreuzgelenk (580 kg) beim Auslegen des Gelenkmastes der 3. Generation am 28. September 2000 (aus IOW-MT 2001).

Fig. 22: Bottom plate with extension boards (10.7 tonnes; lead dead weight in the foot plate: 4.8 tonnes) and universal joint (580 kg) during the deployment of the articulated mast of the 3rd generation on 28 September 2000 (from IOW-MT 2001).



Abb. 23: Endmontage und Vermessungen der dritten Generation des Messmastes im Juni 2000 auf der Pier des BSH in Rostock (Fotos: S. KRÜGER/W. ROEDER/M. SOMMER).

Fig. 23: Final assembly and determination of the current measures of the 3rd generation of the measuring mast at the BSH pier in Rostock in June 2000 (Photos: S. KRÜGER/W. ROEDER/M. SOMMER).

Alle diese Neu- und Umbauten erstreckten sich bis Ende 1999, so dass Anfang 2000 alle in der Bauvorschrift vorgeschriebenen Teilabnahmen beginnen konnten. Gemeinsam mit der BAW wurden spezielle Testprozeduren für einzelne Baugruppen und das Gesamtsystem entwickelt, durchgeführt und in Teilabnahmeprotokollen schriftlich dokumentiert, insbesondere für die Rohrsektionen, die Baugruppen Mastfuß und Kreuzgelenk mit Rutschkupplung, Bühne und Ausleger, Hebegeschirr und Ausrüstung. Nach einem festgelegten Plan wurden zudem Druckprüfungen der geschlossenen Einzelsektionen sowie stichprobenartig spezielle Röntgen-, Ultraschall- sowie Farb-Rissprüfungen durchgeführt und dokumentiert, um die erforderlichen Festigkeiten aller Systemteile über Jahre sicherzustellen.

Bereits Ende 1999 war das BSH in Rostock um Amtshilfe bezüglich der Bereitstellung einer Endmontagefläche auf seinem Gelände im Bereich der ehemaligen Neptunwerft Rostock gebeten worden. Diese Montagefläche stand dem IOW ab Anfang 2000 zur Verfügung. Ab Mai 2000 wurden alle vorgeprüften Baugruppen durch die Firma ROSOMA dorthin angeliefert und zur Endmontage, zur abschließenden Vermessung und zur Endabnahme vorbereitet (Abb. 23). Die betriebsfertige Endmontage konnte Ende August 2000 abgeschlossen werden. Nach einem mit der BAW abgestimmten Montage-Endabnahmeprotokoll (IOW-MT 2000,1) erfolgte dann am 25. September 2000 die Übernahme des betriebsfertigen Messmastes der dritten Generation durch das IOW im Auftrage des BSH (IOW-MT 2000,2).

Tabelle: Die wichtigsten statischen Parameter der drei Generationen des Gelenkmastes auf der Basis des Finite-Elemente-Modells im Vergleich (Nutzlast inklusive Plattform bei der 1. und 2. Generation jeweils 1 t, bei der 3. Generation 1,5 t).

Table: Comparison of the most important statical parameters of the three generations of the articulated mast on the basis of the finite-element-model (payload including platform of the 1st and 2nd generation 1 tonne each, of the 3rd generation 1.5 tonnes).

Gelenkmast-version	Maximales Aufrichtmoment	Massenträgheitsmoment	Bodendruck	Maximale Neigung*
1. Generation	200 kNm	510 kNm	19,6 kNm	30,5 °
2. Generation	530 kNm	675 kNm	20,1 kNm	15,3 °
3. Generation	575 kNm	830 kNm	22,7 kNm	13,9 °

* bei Winddruck mit 30 m/s auf den Überwasserbereich und seitlicher Anströmung mit 0,9 m/s unter Wasser über die gesamte Wassersäule in gleicher Richtung; das Aufrichtmoment bestimmt im Wesentlichen die Neigung im Auftriebs- und Strömungsfeld und das Massenträgheitsmoment gegenüber dem Drehpunkt die Eigenfrequenz des Systems.

Die abschließenden Verwiegungs- und Vermessungsergebnisse wurden nochmals mit dem Finite-Elemente-Modell sowie unabhängig durch die BAW und die Ingenieurgesellschaft Nord in Bremen überprüft. Für das Gesamtsystem bestätigte sich, dass die

„Anforderungen an die Standlage des Austauschgelenkmastes sehr gut erfüllt [werden]. Die Neigungen bei Schlechtwetter fallen insgesamt günstiger aus [als erwartet]. Es sind in bestimmtem Umfang größere Nutzlasten möglich. In der Tauchlage [Sonderfall bei Eisgang] werden die Anforderungen ausreichend erfüllt...“ (IOW-MT 2000,3; S. 1),

wenn ganz bestimmte Kammern zu 100% geflutet werden (Richtigstellung anhand des IOW-Modells).

Nach Vorlage der abschließenden Protokolle und rechnerischen Nachweise zur zu erwartenden Stand- und Tauchlage sowie kleinen Nachbesserungen, z.B. bei den Tiefgangsmarken und beim Farbanstrich, stand dem Austausch des Mastes auf der Darßer Schwelle gegen die dritte Generation nun nichts mehr im Wege.

Die obige Tabelle zeigt die wichtigsten statischen Parameter des Mastes der 3. Generation auf der Basis des Finite-Elemente-Modells im Vergleich mit denen der 1. und 2. Generation.

Der neue Gelenkmast lag mit seiner Gesamtmasse bei rund 12 t (an Luft) und konnte somit nicht mehr mit den Forschungsschiffen des IOW oder des BSH ausgebracht werden. Deshalb war noch während der Fertigstellung Mitte 2000 durch das IOW ein beschränktes Ausschreibungsverfahren für den Komplettaustausch des Messmastes „Darßer Schwelle“ durch ein Offshore-Bergungsunternehmen eingeleitet worden. Der BALTIC Taucherei- und Bergungsbetrieb Rostock GmbH reichte das günstigste und verlässlichste Angebot ein, sodass das BSH noch Anfang September 2000 den Auftrag vergeben konnte.

Die BALTIC-Taucherei mietete dann im Firmenverbund einen Großponton mit Kran sowie Schlepperkapazitäten an und organisierte mit eigenem Personal und Berufstauchern die gesamten Ladevorgänge, Transporte, das fachgerechte Setzen des neuen sowie die Herausnahme des alten Mastes. Die gesamte Aktion mit der BALTIC-Taucherei konnte am 28. September 2000 unter Anleitung von ROEDER, SEEHASE und Dipl.-Ing. (FH) ANDREAS HILDEBRANDT erfolgreich abgeschlossen werden (Abb. 25). Das begleitende IOW-Forschungsschiff „Professor Albrecht Penck“ verblieb mit der IOW-MARNET-Arbeitsgruppe bis zum nächsten Tag vor Ort, sodass noch die notwendige erste Ausrüstung des neuen Mastes mit Batterieeinschub, Verkabelung sowie ODAS-Beleuchtung erfolgen konnte (Abb. 24).



Abb. 24: Forschungsschiff „Professor Albrecht Penck“ am Messmast „Darßer Schwelle“ im September 2000 (Foto: H. SEEHASE).

Fig. 24: Research vessel „Professor Albrecht Penck“ near the oceanographic measuring mast „Darss Sill“ in September 2000 (Photo: H. SEEHASE).



Abb. 25: Ausbringung des Messmastes der 3. Generation durch den BALTIC Taucherei- und Bergungsbetrieb Rostock von einem gemieteten Großponton mit Schwerlastkran am 28. September 2000. Im Hintergrund oben links der alte Messmast der 2. Generation aus dem Jahre 1993 (Fotos: S. KRÜGER/W. ROEDER/M. SOMMER).

Fig. 25: Deployment of the measuring mast of the 3rd generation on 28 September 2000, carried out by the BALTIC Diver and Salvage Company Rostock by means of a leased pontoon and a heavy duty crane. In the background (above left), you can see the old mast of the 2nd generation from 1993 (Photos: S. KRÜGER/W. ROEDER/M. SOMMER).

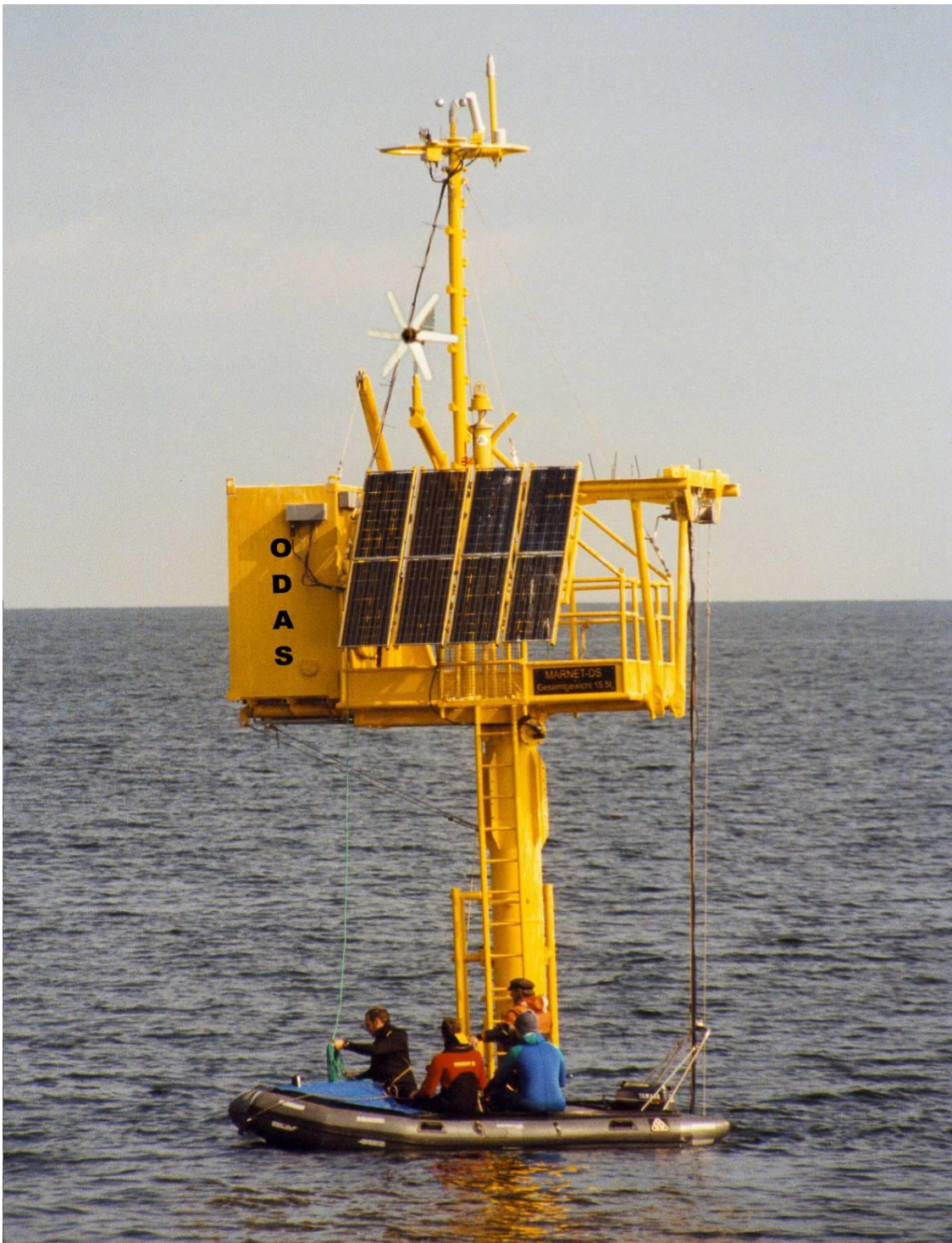


Abb. 26: Der Messmast „Darßer Schwelle“ der dritten Generation vollständig ausgerüstet im April 2001 auf der Darßer Schwelle (Foto: W. ROEDER/M. SOMMER).

Fig. 26: The completely equipped articulated measuring mast of the 3rd generation at the Darss Sill in April 2001 (Photo: W. ROEDER/M. SOMMER).

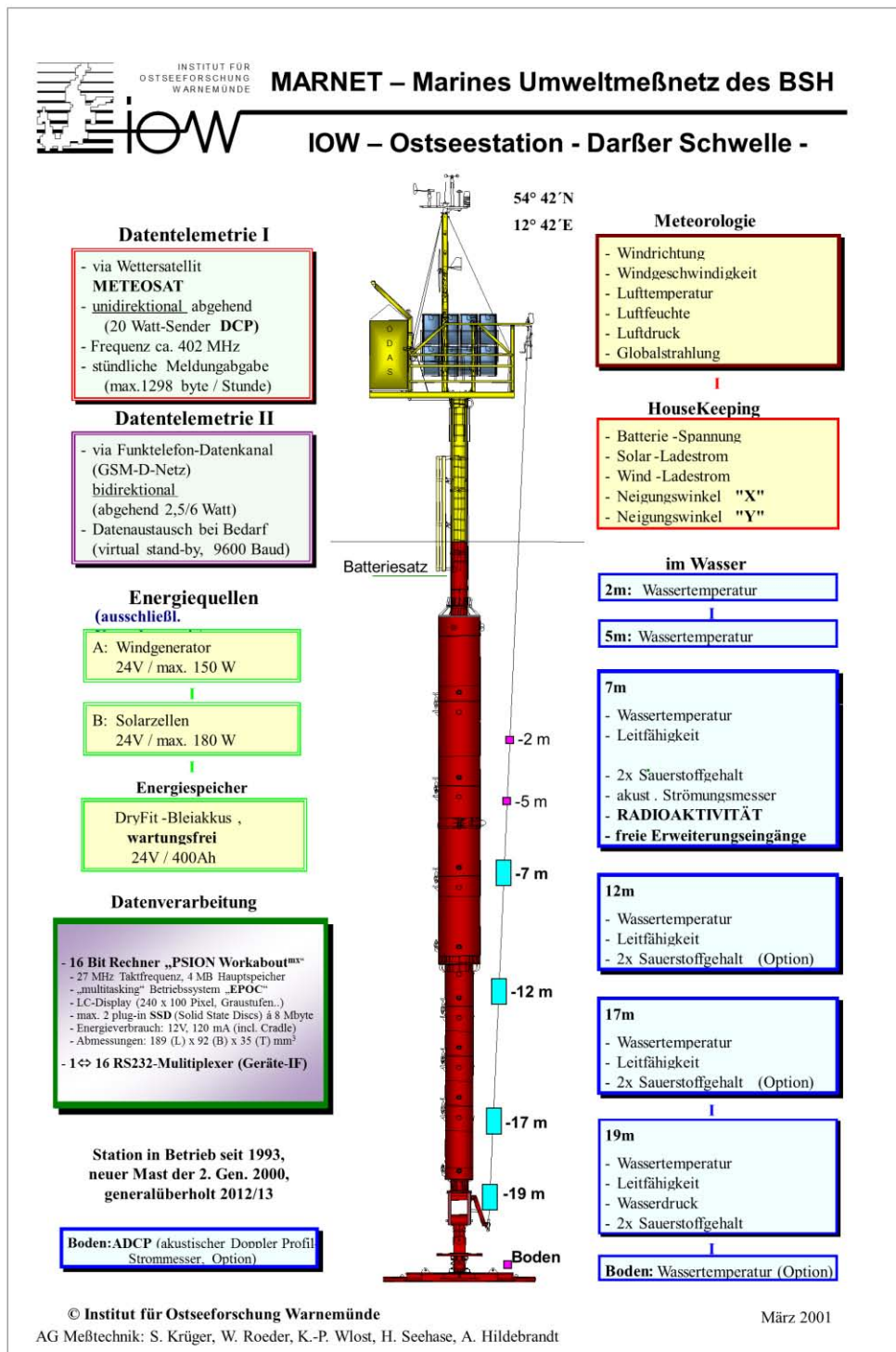


Abb. 27: Schema der 3. Generation des ozeanographischen Messmastes „Darßer Schwelle“ mit Angaben zu den gemessenen ozeanographischen und meteorologischen Parametern sowie zur Energieversorgung und Datenerfassungs-, Aufbereitungs- und Übertragungstechnik.

Fig. 27: Scheme of the 3rd generation of the oceanographic measuring mast „Darss Sill“ including information on the measured oceanographic and meteorological parameters, the power supply and the data collection, processing and transmission systems.

Der alte Mast wurde nach Rostock überführt und später in Teilen dem Deutschen Meeresmuseum Stralsund für die maritime Ausstellung im Nautineum auf der Insel Dänholm zur Verfügung gestellt. Der neue Mast der 3. Generation sollte nun für die nächsten elf Jahre auf seiner angestammten Position ($54^{\circ} 42'N$, $12^{\circ} 42'E$) als eine der wichtigsten Stationen für die Beobachtung des Wasseraustausches zwischen Nord- und Ostsee verbleiben.

Die weitere Ausrüstung mit neuem Messcontainer sowie komplettem Energieversorgungs- und Messsystem erfolgte schrittweise bis Februar 2001 und wurde immer wieder durch Schlechtwetter verzögert. Ab Anfang März war die neue Station vollständig auf Sendung (Abb. 26). Gleichzeitig wurden alle Begleitunterlagen sowie eine komplette Baubeschreibung unter der Leitung von SEEHASE abgeschlossen (IOW-MT 2001). Damit war auch eine neue Generation des energiesparenden Warnemünder Mess-, Energieversorgungs- und Datenübertragungssystems mit verteilten Ressourcen im Dauerbetrieb.

Der aktuelle Messmast der 3. Generation ist inklusive Antennen und Meteorologiering rund 32 m hoch und kann eine Plattform inklusive Nutzlast mit mehr als 1500 kg tragen (Abb. 27). Neben sechs meteorologischen Parametern (Windrichtung und -geschwindigkeit, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck und Globalstrahlung) werden die Wassertemperatur in sieben Tiefen, die Leitfähigkeit in sechs Tiefen, der Sauerstoffgehalt sowie Trübung und Fluoreszenz in zwei Tiefen und die Strömung mittels eines akustischen Profilströmungsmessers mit akustischer Datenübertragung gemessen. Die Energieversorgung mittels Bleiakkumulatoren, gespeist durch Solar- und Windenergie hat sich weiterhin sehr gut bewährt. Die Daten werden im 10-Minutentakt sowohl in den Einzelgeräten und auf dem Mast gespeichert, als auch zusätzlich stündlich über den METEOSAT-Wettersatellit sowie über Funktelefon-Daten-Telemetrie übertragen.

7. Dauerbetrieb, Generalüberholungen und Weiterentwicklungen ab 2000

Der ozeanographische Messmast „Darßer Schwelle“ hat seit seiner Inbetriebnahme im Jahre 2000 alle schweren Witterungsbedingungen schadlos überstanden. Äußerst selten kam es zu Beschädigungen an Plattformausrüstungen und Unterwassergeräten, die im Rahmen der etwa zweimonatlichen Wartungsfahrten behoben werden konnten. Nach etwa zehn Jahren sollte auch die Station „Darßer Schwelle“ entsprechend der üblichen Wartungsperioden der anderen MARNET-Stationen planmäßig einer Generalüberholung unterzogen werden. Zur Überwachung der Stand- und Betriebssicherheit werden durch die Wartungsteams etwa alle zwei Jahre Taucherinspektionen durch professionelle oder Forschungstaucher organisiert, so auch im Juli 2011 am Mast. Die Forschungstaucher des IOW entdeckten dabei gefährliche Risse in den Aluminiumwangen des Mastfußes, die die untere Kreuzgelenkachse halten. Somit drohte das Kreuzgelenk aus den Fußwangen auszubrechen und dem Auftrieb nicht mehr zu widerstehen. Diese Wangen waren bei dem

Neuaufbau 2000 aus Kostengründen nicht mehr – wie eigentlich geplant – durch Edelstahlwangen ersetzt worden.

Mit Unterstützung des BSH wurde umgehend eine Sicherung des Kreuzgelenkes durch die bewährte Firma BALTIC-Taucher mit zusätzlichen Stahlverschraubungen realisiert und eine unmittelbare Herausnahme des Mastes zur Generalüberholung für Ende 2011 vorbereitet. Nach Abbergen aller Ausrüstungen wurde der Mast dann am 21. November 2011 durch BALTIC-Taucher aufgenommen und komplett in den Rostocker Fischereihafen verbracht. Umgehend begannen Reinigungsarbeiten, Inspektionen und Ausschreibungsvorbereitungen. In einem begrenzten Ausschreibungsverfahren erhielt der bewährte BALTIC-Tauchereibetrieb Rostock zusammen mit der Firma ROSOMA im Unterauftrag den Zuschlag für den Gesamtauftrag „Generalüberholung und Wiederausbringung“. Anfang Januar 2012 wurden mit Unterstützung der BAW weitere Inspektionen und Materialprüfungen durchgeführt. Die Bauaufsicht oblag diesmal KRÜGER, ROEDER und Dipl.-Ing. ERIK STOHR (IOW seit 2009). Auch SEEHASE verfolgte nach nunmehr zehn Jahren im Ruhestand mit großem Engagement alle Arbeiten und beriet tatkräftig.

Letztlich wurden neben der allgemeinen Generalüberholung die plattformtragende Oberflächensektion neu gefertigt, da sie Risse aufwies und vor allem das Kreuzgelenk mit Edelstahlwangen und zusätzlichen Ölvorräten ausgerüstet, da es sich festgesetzt und dann die Aluminiumwangen ausgerieben hatte. Die Fußbrutschkupplung wurde mit einer Edelstahlplatte verstärkt. Alle übrigen Teile konnten aufgearbeitet und für weitere zehn Jahre freigegeben werden. Nach Realisierung einiger Erweiterungen an den Sensorliften, Messgeräteabweisern und einer Verstärkung des Meteorologieringes konnte der komplette Mast dann Anfang 2013 wieder betriebsfertig im Anhalt an die Abnahmeunterlagen von 2001 abgenommen werden. Die Ausbringung wurde von der Firma BALTIC-Taucher für Juni 2013 vorbereitet. Die Übernahme auf ein angemietetes dänisches Kranschiff erfolgte am 1. Juli 2013 und die Ausbringung vor Ort dann am darauf folgenden Tag (Abb. 28).

Die weiteren Ausrüstungen erfolgten im August/September 2013, so dass die Station im Oktober wieder vollständig in Betrieb gehen konnte. Der jetzt noch robustere Messmast kann nach der erfolgten Generalüberholung voraussichtlich weitere zehn Jahre im Einsatz bleiben und erreicht dann mit 20 Jahren die Grenznutzungsdauer von typischen meeresmesstechnischen Großbojen.



Abb. 28: Beladung und Ausbringung des generalüberholten Messmastes der dritten Generation durch den BALTIC Taucherei- und Bergungsbetrieb von einem dänischen Kranschiff aus sowie seine Erstausrüstung im Juli 2013 (Fotos: S. KRÜGER/W. ROEDER/M. SOMMER).

Fig. 28: Loading and deployment of the reconstructed measuring mast of the 3rd generation by the BALTIC Diver and Salvage Company Rostock with the help of a Danish tower crane vessel and the installation of the basic equipment in July 2013 (Photos: S. KRÜGER/W. ROEDER/M. SOMMER).

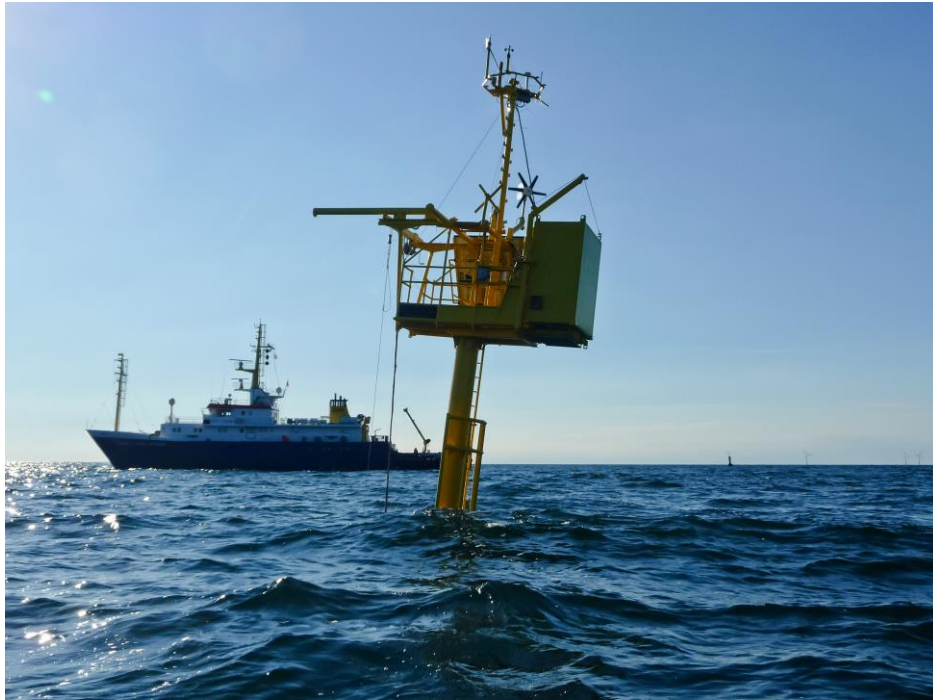


Abb. 29: IOW-Forschungsschiff „Elisabeth Mann Borgese“ am Messmast „Darßer Schwelle“, seit 2011 auch im Einsatz für den permanenten Betrieb der IOW-MARNET-Stationen (Foto: M. SOMMER).

Fig. 29: IOW research vessel „Elisabeth Mann Borgese“ near the measuring mast “Darss Sill”, since 2011 also in service for the permanent operation of the IOW MARNET stations (Photo: M. SOMMER).

8. Schlussbetrachtungen

Im Sommer 2015 wurde der ozeanographische Messmast der 3. Generation durch Forschungstaucher inspiziert und in sehr gutem Zustand vorgefunden. Viele Unterwasser- und Überwasserschraubverbindungen mussten nach offensichtlichen Setzungen nachgezogen werden, so dass dem angestrebten Ziel von weiteren sieben bis acht Betriebsjahren aus derzeitiger Sicht nichts im Wege steht. Diese Konstruktion hat die schwersten Orkane in den letzten Jahren – darunter den Orkan „Xaver“ im Dezember 2013 – schadlos überstanden und die Energieversorgungs-, Mess- und Datenübertragungssysteme gehören derzeit zu den zuverlässigsten nicht nur im MARNET sondern im gesamten Nord- und Ostseeraum. Eine ganz besondere Rolle haben der Messmast „Darßer Schwelle“, aber auch die übrigen vom IOW betreuten Messstationen

des MARNET „Arkona-See“ und „Oder-Bank“ sowie „FINO 2 MT“²⁷ auf der Forschungsplattform FINO 2 in der Ostsee bei der Erkennung und Beurteilung der jüngsten großen Salzwassereinströme in die Ostsee gespielt (FEISTEL et al. 2003; MOHRHOLZ et al. 2015).

Die IfM/IOW-Entwicklung kam in den 1990er Jahren auch für den Überwachungsmast eines künstlichen Riffs in der Ostsee westlich von Warnemünde (NIEDZWIEDZ 2000) sowie nach 2000 im Adriatischen Meer durch das Instituto Talassografico di Trieste/Italien zur Anwendung.

An den seeseitigen Arbeiten am ozeanographischen Messmast sowie insbesondere bei den Wartungsarbeiten und Inspektionen des eigentlichen Geräteträgers und der Sensorik waren in den vergangenen Jahrzehnten vor allem die Forschungsschiffe „Professor Albrecht Penck“ (s. Abb. 24) bis zu seiner Außerdienststellung im Jahre 2010²⁸ und seitdem die „Elisabeth Mann Borgese“ (Abb. 29) erfolgreich im Einsatz.

Mit den permanent messenden IOW-MARNET-Stationen wirken die innovativen Arbeiten von Dr. FRIEDRICH MÖCKEL aus den 1980er Jahren in besonderer Weise bis in die heutige Zeit nach, nicht zuletzt durch die seit 1992 weitergeführten Entwicklungsarbeiten seiner ehemaligen Schüler aus dem Institut für Meereskunde Warnemünde in der Arbeitsgruppe „Messtechnik“ des Leibniz-Institutes für Ostseeforschung in Warnemünde.

²⁷ Das IOW führt zusammen mit dem BSH seit 2013 auf der im Jahre 2007 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie in der südwestlichen Ostsee errichteten Forschungsplattform FINO 2 ozeanographische Messungen durch.

²⁸ Neben den genannten Mitarbeitern des IfM/IOW haben sich OTFRIED ALBRECHT (1941 – 2011), von 1983 bis 2004 Kapitän der „Professor Albrecht Penck“, als Schiffsführer sowie als Forschungstaucher und UWE SCHOLZ (* 1956), ab 2004 Kapitän der „Penck“ und ab 2011 Kapitän der „Elisabeth Mann Borgese“, um die Errichtung, Erprobung und Wartung des ozeanographischen Messmastes verdient gemacht.

Zusammenfassung

Die Ostsee ist als Randmeer des nördlichen Atlantiks gleichzeitig das größte Brackwassermeer der Erde. Durch die sehr schmalen und flachen Verbindungen über die Dänischen Meerengen zur Nordsee ergibt sich nur ein eingeschränkter, aber hochvariabler Wasseraustausch mit dem Weltmeer. Die Beobachtung und Überwachung der ozeanographischen Verhältnisse vor der deutschen Ostseeküste gestalten sich deshalb schwierig, insbesondere durch die hohe Variabilität in Raum und Zeit. Allein mit Forschungs- und Überwachungsschiffen ist es kaum möglich, synoptische Messungen der hydrographischen Verteilungs- und Schichtungsverhältnisse zu gewinnen. Insbesondere die Beobachtung der für die Ostsee sehr wichtigen, kurzzeitigen Salzwassereinströmen sowie größerer Salzwassereinbrüche gelingt nur in der Kombination möglichst vieler Schiffsmessungen mit Satellitendaten und Echtzeitmessungen durch automatische Messstationen sowie Verankerungen an ausgewählten, besonders repräsentativen Positionen.

Deshalb begann das Institut für Meereskunde (IfM) der Akademie der Wissenschaften der DDR in Warnemünde bereits Anfang der 1980er Jahre mit der Entwicklung eines Fernmesssystems und speziell eines unikalen Messmastes, um im flacheren Wasser der küstenfernen westlichen Ostsee ozeanographische und meteorologische Grundgrößen kontinuierlich messen und die Daten in Echtzeit übertragen zu können. Die Geschichte dieses innovativen Instrumententrägers vom Prototyp zum Standard-Messmast auf der Darßer Schwelle im Rahmen des deutschen Marinen Umweltmessnetzes MARNET wird im Beitrag detailliert beschrieben.

Nachdem in der Einleitung der Anlass für die Entwicklung eines ozeanographischen Messmastes durch das IfM kurz dargestellt wird, geht es im 2. Abschnitt um die Hintergründe der Entwicklung.

Im 3. Abschnitt werden das Konzept, die Konstruktion und die Erprobung des zunächst als mobiler, durch Seile abgespannter Mast mit einem leichten Standfuß entwickelten Prototyps detailliert beschrieben. Das 1986 entwickelte Muster des Warnemünder Messmastes bestand aus einem schweren Fuß mit Kreuzgelenk am Meeresboden, an dem schwimmfähige flutbare Rohresektionen unterschiedlichen Durchmessers als Auftriebsselemente bis über die Oberfläche hinaus in Form eines Mastes aneinandergereiht waren. Die obere Rohrsektion diente als Batteriesektion und trug eine Arbeitsplattform über der Wasseroberfläche. Die Gesamtkonstruktion war prinzipiell auftriebsgetragen, aber zunächst noch mit Hilfe von drei Verankerungen abgespannt, zur Dämpfung von Pendelbewegungen. Auf der Plattform sollten Sensoren, Sensorlifte, Datenerfassungs- und Aufbereitungsanlagen, Datenspeicher, Datenübertragungseinrichtungen sowie Solarmodule und Windgeneratoren untergebracht werden. Ständerproben und eine mehrmonatige Auslegung des Messmastes in der Tromper Wiek (Rügen) im Jahre 1985 sowie eine kurzzeitige probeweise Auslegung auf der Darßer Schwelle verliefen erfolgreich. Allerdings brachen immer wieder die zusätzlichen Verspannungen. Die erste große

Dauererprobung eines verstärkten, völlig selbsttragenden Prototyps auf der Darßer Schwelle von April 1989 bis Januar 1991 zeigte die Eignung dieses Messmastkonzeptes auch im rauen Alltagsbetrieb.

Im 4. Abschnitt wird die weitere Entwicklung dieser ersten Generation des vollständig auftriebsgetragenen Warnemünder Gelenkmastes nach der Wiedervereinigung Deutschlands im Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) behandelt. In enger Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) in Hamburg entwickelte die neue Abteilung Meeresmesstechnik des IOW ab 1992 den Messmast zur ersten festen Dauermessstation „Darßer Schwelle“ des deutschen Umweltmessnetzes in Nord- und Ostsee (MARNET). Zunächst wurden neue Mess-, Datenspeicher- und Übertragungssysteme entwickelt und auf dem vorhandenen Mast installiert.

Aufgrund von Beschädigungen durch starke Stürme, Strömung und Seegang wurden weitere Entwicklungen zur Erhöhung der Standsicherheit und Stabilität des Geräteträgers notwendig. Diese führten zur zweiten Generation des vollständig auftriebsgetragenen Warnemünder Gelenkmastes, die in Abschnitt 5 dargestellt wird. Maßverhältnisse, Tragfähigkeit und Tiefpassverhalten gegenüber dem Seegang wurden deutlich besser an die tatsächlichen Seegangs- und Strömungsverhältnisse in diesem Seegebiet angepasst, um auch unter ungünstigsten Wetterbedingungen die Standsicherheit und Betriebszuverlässigkeit zu gewährleisten. Ein neues Ausrüstungskonzept auf der Basis verteilter Energie-Ressourcen (Solar- und Windgeneratoren in Kombination mit einem großen Hauptakkumulatorensystem und zusätzlichen Stützbatterien in einzelnen Loggern und Messgeräten), verteilter Intelligenz (Prozessoren und Zeitsteuerungen auf der Plattform sowie in einzelnen Loggern und intelligenten Messgeräten) sowie mehrfach verteilter, redundanter Datenspeicherung wurde eingeführt. Ab November 1993 wurden die ersten ozeanographischen und meteorologische Messwerte sowie Betriebsdaten stündlich per Satellit an die BSH-Datenbank in Hamburg und über das damalige Wissenschaftsnetz ans IOW übertragen.

Im Abschnitt 6 wird die weitere Entwicklung des Geräteträgers zur dritten, bis heute bestehenden Generation beschrieben, deren erste Entwürfe bereits auf das Jahr 1994 zurückgehen. Die Gesamtkonstruktion wurde vereinfacht, nochmals verstärkt und noch oszillationssicherer gestaltet. Die Neubauten erstreckten sich bis Ende 1999. Dieser noch robustere Gelenkmast liegt mit seiner Gesamtmasse bei rund 12 t und wurde erstmalig im September 2000 mithilfe eines Großpontons mit Schwerlastkran ausgebracht, unter Nutzung von regional verfügbaren Schlepperkapazitäten. Anfang März 2001 war diese neue Station komplett ausgerüstet und auf Sendung.

Der Messmast der 3. Generation ist inklusive Antennen und Meteorologiering rund 32 m hoch und kann eine Plattform inklusive Nutzlast mit mehr als 1500 kg tragen. Die Neigungen liegen auch bei ungünstigstem Wetter kaum über 10 Grad. Neben sechs meteorologischen Parametern (Windrichtung und -geschwindigkeit, Lufttemperatur,

Luftfeuchte, Luftdruck und Globalstrahlung) werden mit Messgeräten an speziellen Liften die Wassertemperatur in sieben Tiefen, die Leitfähigkeit in sechs Tiefen, der Sauerstoffgehalt sowie Trübung und Fluoreszenz in zwei Tiefen und ein hochauflösendes Strömungsprofil mittels eines seitlich am Boden abgesetzten akustischen Doppler-Profilströmungsmessers mit akustischer Datenübertragung zum Mast gemessen.

Im 7. Abschnitt werden Dauerbetrieb, Generalüberholungen und Weiterentwicklungen ab 2000 beschrieben. Nach 10-jährigem Dauerbetrieb und Schäden im Fußbereich wurde die Station Ende 2011 generalüberholt. Die plattformtragende Oberflächensektion wurde neu gefertigt, das Kreuzgelenk verstärkt und überholt, alle übrigen Teile aufgearbeitet und für weitere zehn Jahre freigegeben. Im Juli 2013 wurde der überholte Gelenkmast erneut ausgelegt und die Station „Darßer Schwelle“ ging im Oktober wieder vollständig in Betrieb.

Der Warnemünder Messmast wurde von den Anfängen im Jahre 1981 über 20 Jahre zu einem dauerhaften und zuverlässigen Geräteträgersystem entwickelt und ist heute fester Bestandteil des deutschen Marinen Umweltmessnetzes in Nord- und Ostsee. Inzwischen betreibt das IOW im Auftrag des BSH zwei weitere vollautomatische Messstationen mit Echtzeitdatenübertragung im Arkonabecken (Halbtaucher-Boje) und an der Oder-Bank (Diskus-Boje). Die IOW-MARNET-Stationen gehören zu den zuverlässigsten im europäischen Raum und ermöglichen eine kontinuierliche Beobachtung und Beurteilung aller wesentlichen Austauschvorgänge in der südlichen Ostsee mit entscheidenden Auswirkungen auf das Ökosystem der Ostsee.

Summary

As a marginal sea of the North Atlantic Ocean, the Baltic Sea is even the world's largest brackish sea area. Caused by the very narrow and shallow connections via the Danish straits to the North Sea there is a limited but highly variable water exchange with the World Ocean. Especially because of the high variability in space and time observation and monitoring of the oceanographic conditions along the German Baltic coast is difficult. With research and surveying vessels only, it is hardly possible to gain synoptic measurements of the hydrographic distribution and stratification. In particular, the assessments of the very important short term salt water intrusions as well as of so called major Baltic inflows are successful only by a combination of as many shipboard measurements with satellite data and real time measurements by automatic measurement stations and moorings at selected particularly representative locations.

That is the reason why the Institute for Marine Research (IfM) of the Academy of Sciences of the GDR in Warnemünde began with the development of a remote measurement system and especially of a unique measurement tower already at the beginning of the 1980s, to measure continuously basic oceanographic and meteorological parameters in the more shallow western Baltic Sea and to transmit data in real time. The history of this innovative

instrumentation carrier from the prototype to the today's standard measuring mast on the Darss Sill in the framework of the German Marine Monitoring Network MARNET is described in this contribution in detail.

After the occasion for the development of an oceanographic measuring mast by the IfM is presented briefly in the introduction the second chapter describes the background of the development.

In the third chapter, the concept, design and testing of the prototype initially thought as a mobile wired mast with a lightweight foot are described in detail. The model of the Warnemünde measuring mast developed until 1986 contained a heavy foot with a universal joint at the seabed, to which floating floodable tube sections with different diameters were connected, strung in the shape of a mast and erecting the upper part above the sea surface. The upper tube section served as battery section and carried a working platform above the sea surface. The overall structure was generally buoyancy carried but initially wired with three anchors to damp down pendulum motions. On the platform, sensors, sensor lifts, data collection and processing equipment, data storage and data transmission facilities as well as solar modules and wind generators should be installed. Deployment trials and a longer deployment of the mast over several months at the Tromper Wiek (Island of Rügen) in 1985 as well as a short trial at the Darss Sill were carried out successfully, but the ropes of additional wired anchoring were breaking again and again. The first long term testing of an enforced, completely buoyancy carried prototype on the Darss Sill from April 1989 until January 1991 qualified the measuring mast concept even for rough everyday operation.

In chapter 4, the further development of this first generation of the completely buoyancy carried Warnemünde articulated mast is discussed which started in the Institute for Baltic Sea Research after the unification of Germany. From 1992 onwards, the new instrumentation department of IOW in close co-operation with the Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH) in Hamburg developed the measuring mast to the first permanent fixed station "Darss Sill" of the MARNET network in the North Sea and Baltic. First of all, new measuring, data storage and transmission systems were developed and installed on the existing mast.

As a result of structural damages by heavy storms, currents and waves further developments for the improvement of the structural safety and stability became essential. They led to the second generation of the completely buoyancy carried Warnemünde articulated mast which is discussed in chapter 5. Measures, bearing capacity and low pass characteristics against wave movements were seriously improved and better adapted to the real sea state and currents in the actual sea area to ensure structural safety and operational reliability even under worst weather conditions. A new instrumentation concept based on distributed energy resources (solar and wind generators in combination with a large accumulator set and backup batteries in data loggers and sensors), distributed intelligence (processors and timing controllers on the platform as well as in individual loggers and smart measuring instruments) and distributed redundant data storage were introduced.

Since November 1993, first oceanographic and meteorological measurements and housekeeping data were transmitted via satellite to the BSH database in Hamburg and to IOW via the science net of the time being.

In chapter 6, the further development of the instrumentation carrier to the third, until today existing generation is discussed. First drafts step back already to 1994. The overall design was simplified, enforced again and configured again more oscillation safe. Then construction lasted until 1999. This again more robust articulated mast has an overall mass of approximately 12 t and was deployed in September 2000 with the help of a large pontoon and a heavy-duty crane as well of regional tug capacity. Beginning of March 2001, this new station was completely equipped and on air.

The measuring mast of the third generation is approximately 32 m high, including antennas and meteorology carrier. He can carry a platform with a payload of 1500 kg. The inclination angles are very rarely above 10°. Six meteorological parameters (wind direction and velocity, air temperature, humidity, air pressure and global solar radiation) are measured. With smart instruments hanging on special lifts, water temperature is measured at seven under water levels, conductivity at six levels, oxygen, turbidity and fluorescence in two levels as well as a high resolution water current profile with a separate bottom mounted Acoustic Doppler Current Profiler and acoustic data transmission to the mast are observed.

Continuous working, maintenance and further developments from 2000 onwards are described in chapter 7. After ten years of continuous operation, the measuring mast had to be recovered and reconstructed due to damages at the universal joint. In July 2013, the reconstructed oceanographic mast was again installed and the station “Darss Sill” runs from October onwards.

The Warnemünde measuring mast became an enduring and reliable measuring system of the German Marine Monitoring Network of BSH and IOW in the North Sea and the Baltic. In the meantime, IOW operates on behalf of BSH two other fully automatic stations in the Arkona Basin (spar buoy) and near the Oder Bank (discus buoy). The IOW-MARNET-stations belong to the most reliable marine monitoring stations in Europe and enable the continuous observation and assessment of all relevant water exchange processes in the southern Baltic with influence on the ecosystem of the Baltic Sea.

Danksagung

Den Dipl.-Ingenieuren WOLFGANG ROEDER und KLAUS-PETER WLOST sind wir für zahlreiche Hinweise und Informationen dankbar. Bedanken möchten wir uns auch bei Frau INGEBORG MÖCKEL (1927 – 2014), WOLFGANG ROEDER und dem technischen Assistenten MIKE SOMMER, die uns viele Fotos zur Verfügung gestellt haben. Bei Dr. DETLEV MACHOCZEK (BSH Hamburg) bedanken wir uns für Informationen über die Mitarbeiter des BSH, die in den 1990er Jahren das IOW-Konzept für die Ostsee-Stationen des Marinen Umwelt-Messnetzes MARNET, insbesondere des Messmastes, gefördert haben. Das Leibniz-Institut für Ostseeforschung hat unsere Recherchen durch die Bereitstellung aller vorhandenen Archivmaterialien wohlwollend unterstützt. Dem Direktor des IOW, Prof. Dr. ULRICH BATHMANN, danken wir die Möglichkeit, unsere Forschungsergebnisse in den „Meereswissenschaftlichen Berichten/Marine Science Reports“ des IOW publizieren zu können.

Literatur

- BGBL., 1979: Übereinkommen über den Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebiets. – Bundesgesetzblatt, Teil II, Nr. 50 vom 5. 12. 1979, 1230-1281.
- CLAUSS, G., LEHMANN, E., ÖSTERGAARD, C., 1988: Meerestechnische Konstruktionen. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, 1-559.
- DOLEZALEK, H., 1992: Oceanographic research towers in European waters. – Office of Naval Research, European Office, ONR Europe Rep., **92-7-R**, 1-25.
- FEISTEL, R., NAUSCH, G., MATTHÄUS, W., HAGEN, E., 2003: Temporal and spatial evolution of the Baltic deep water renewal in spring 2003. – *Oceanologia*, **45**, 623-642.
- FRANCKE, E., 1982: Bojenstation „Darßer Schwelle“. – *Seewirtschaft*, **14**, 300-303.
- FRANCKE, E., 1983: Ergebnisse langzeitiger Strömungsmessungen in der Deckschicht des Seegebietes der Darßer Schwelle. – *Beitr. Meereskunde*, Berlin, **48**, 23-45.
- HELCOM, 1979: Joint activities of the Baltic Sea states within the framework of the convention on the protection of the marine environment of the Baltic Sea area 1974-1978. – *Baltic Sea Environm. Proc.*, **1**, 1-14, 4 Appendices.
- HELCOM, 1981: Report of the Interim Commission (IC) to the Baltic Marine Environment Protection Commission. – *Baltic Sea Environm. Proc.*, **2**, 1-36.

- HELCOM, 1993: Convention on the protection of the marine environment of the Baltic Sea area, 1974 (Helsinki Convention). Helsinki, 1-27.
- KRAUSS, W., 1960: Hydrographische Messungen mit einem Beobachtungsmast in der Ostsee. – Kieler Meeresforsch., **16**, 13-27.
- KRÜGER, S., 1982: Anwendung des VCO-Hybridschaltkreises 81-13. – Radio-Fernsehen-Elektronik, **31(8)**, 515-516.
- KRÜGER, S., 1987: Vorrichtung zur Messung der horizontalen Komponenten eines Magnetfeldes. – Patentschrift, DDR-Wirtschaftspatent DD 250 782 A1: 1-4.
- KRÜGER, S., 1997a: Die neuen IOW Meßstationen in der Ostsee als Bestandteil des Marinen Umweltmessnetzes des BSH. – IOW Aufbaubericht 1992 – 1996, Warnemünde 1997, 102-106.
- KRÜGER, S., 1997b: Meeresmesstechnik im Institut für Ostseeforschung Warnemünde. – Mitt. Dt. Gesell. Meeresforsch., **3/1997**, 23-29.
- KRÜGER, S., 2000: Basic shipboard instrumentation and fixed automatic stations for monitoring in the Baltic Sea. In: EL-HAWARY, F. (Ed.), The Ocean Engineering Handbook. CRC Press: Boca Raton, 52-61.
- KRÜGER, S., FRANCKE, E., 1982: Erste Applikationsergebnisse mit einem in der DDR entwickelten in situ-Sauerstoffsensoren mit frequenzanalogem Ausgang. – Beitr. Meereskunde, Berlin, **46**, 13-21.
- KRÜGER, S., ROEDER, W., WLOST, K.-P., 1992: The Maststation of the IOW on the „Darss Sill“, the first station of the new German Baltic Measuring Net. – Proc. 18th Conf. Baltic Oceanographers, St. Petersburg, Russia, 23 – 27 November 1992, Vol. **1**, 267-276.
- KRÜGER, S., WLOST, K.-P., ROEDER, W., 1995: Die neuen automatischen Meßstationen des Instituts für Ostseeforschung als Bestandteil des Stationären Umweltmeßnetzes Nord- und Ostsee. – Technik zur Nutzung und Erhaltung aquatischer Lebensräume: 3. Interdisziplinäres Kolloquium "Der Ingenieur und seine Umwelt", Rostock. Universität Rostock, 53-61.
- KRÜGER, S., ROEDER, W., WLOST, K.-P., 2003: Baltic stations Darss Sill and Oder Bank. In: DAHLIN, H., DYBERN, B., PETERSON, S. (Eds.), Proc. Baltic Marine Science Conf., Roenne, Denmark, 22-26 October 1996. ICES Coop. Res. Rep., **257**, 198-203.
- MATTHÄUS, W., 2009: Zur Geschichte der Entwicklung ozeanographischer Messtechnik in den Warnemünder Meeresforschungseinrichtungen. – Histor.-meereskd. Jahrb. = Histor.-Oceanogr. Yearb., **15**, 7-52.

- MATTHÄUS, W., 2011: Die ozeanographische Messboje des Warnemünder Instituts für Meereskunde – die erste deutsche Entwicklung zur Umweltüberwachung der Ostsee? – *Histor.-meereskd. Jahrb. = Histor.-Oceanogr. Yearb.*, **17**, 117-126.
- MATTHÄUS, W., 2011/2012: Die Darßer Schwelle – das ozeanographische Tor zur Ostsee. – *Tidingsbringer – ein Warnemünder Bäderjournal*, **16**, 74-76.
- MATTHÄUS, W., 2012/2013: 20 Jahre Institut für Ostseeforschung – 60 Jahre Meeresforschung in Warnemünde. – *Tidingsbringer – ein Warnemünder Bäderjournal*, **17**, 116-120.
- MATTHÄUS, W., 2015: Dr. Friedrich Möckel (1919 – 1993) und die Meeresforschungstechnik in der DDR. In: Friedrich Möckel (1919 – 1993) und Rudolf Schemainda (1921 – 1987) – zwei Warnemünder Meeresforscher. – *Meereswiss. Ber./Mar. Sci. Rep.*, Warnemünde, **95**, 7-58. DOI: 10.12754/msr-2015-0095.
- MATTHÄUS, W., 2016: Friedrich Möckel (1919 – 1993) – Pionier der Meeresforschungstechnik in der DDR. – *Histor.-meereskd. Jahrb. = Histor.-Oceanogr. Yearb.*, **21**, 17-52.
- MATTHÄUS, W., NEHRING, D., LASS, H. U., NAUSCH, G., NAGEL, K., SIEGEL, H., 1997: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1996. – *Meereswiss. Ber./Mar. Sci. Rep.*, Warnemünde, **24**, 1-49. DOI: 10.12754/msr-1997-0024.
- MATTHÄUS, W., NEHRING, D., BROSIN, H.-J., HAGEN, E., LASS, H. U., 2008: The history of long-term observations in Warnemünde. In: FEISTEL, R., NAUSCH, G., WASMUND, N. (Eds.), *State and evolution of the Baltic Sea, 1952-2005: a detailed 50-year survey of meteorology and climate, physics, chemistry, biology and marine environment*. John Wiley & Sons, Hoboken. New Jersey, 45-57.
- MERMAID, 1991: EUROMAR-Projekt 'MERMAID' (Phase 1). (EUREKA-Projekt EU 417). KruppAtlas Elektronik GmbH Bremen, Abschlussbericht, 1-92.
- MERMAID, 1994: EUROMAR-Projekt 'MERMAID' (Phase 2). Entwicklung eines fernsteuerbaren modularen Messsystems zur ereignisabhängigen Probenahme und in-situ Analyse von Schadstoffen in Ästuar- und Küstengewässern. – *STN Atlas Elektronik GmbH Bremen, Abschlussbericht*, 1-30.
- MÖCKEL, F., 1980: Die ozeanologische Meßkette OM 75, eine universelle Datenerfassungsanlage für Forschungsschiffe. – *Beitr. Meereskunde*, Berlin, **43**, 5-14.
- MÖCKEL, F., 1982: Project of a hydro-meteorological, shallow water measuring system (FMS 80), using buoys with a VHF radio telemetering link. – *Beitr. Meereskunde*, Berlin, **46**, 57-62.

- MÖCKEL, F., SEEHASE, H., 1986: Transportabler Mast für automatische, hydro-meteorologische Stationen. – *Seewirtschaft*, **18**, 450-451.
- MOHRHOLZ, V., NAUMANN, M., NAUSCH, G., KRÜGER, S., GRÄWE, U., 2015: Fresh oxygen for the Baltic Sea – an exceptional saline inflow after a decade of stagnation. – *Journal of Marine Systems*, **148**, 152-166. DOI: [org/10.1016/j.jmarsys.2015.03.005](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2015.03.005).
- MÜLLER, G., 1974: Über den Einsatz der Flachwasser-Bojenstation “Schelf 73”. – *Seewirtschaft*, **6**, 563–565.
- NIEDZWIEDZ, G., 2000: Design, building and running of a scientific measuring station for the investigation of artificial reefs in the region of the outer coast of Mecklenburg-Vorpommern. In: PASCHEN, M., KÖPNICK, W., NIEDZWIEDZ, G., RICHTER, U., WINKEL, H.-J. (Eds.), *Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. – Proc. 4th Intern. Workshop on Methods for the Development and Evaluation of Maritime Technologies (DEMAT’99)*, 3 – 6 November 1999, Rostock. Neuer Hochschulschriftenverlag. Rostock, 257-269.
- RÓZDŻYŃSKI, K., 1978: The function and technical requirements of the SAMOS-Type Baltic autonomous measuring station (in poln.). – *Metrologia Morska (2)*, Polska Akademia Nauk, *Studia i Materiały Oceanologiczne*, **23**, 27-34.
- RUICKOLDT, J., KRÜGER, S., 1988: Induktives Leitfähigkeitsmeßsystem. – Patentschrift, DDR-Wirtschaftspatent DD 261 438 A1: 1-4.
- SALZMANN, H., KNABE, S., LONGREE, W.-D., BURMEISTER, P., JENNRICH, W., MEINS, U., VIEREGGE, J., KIRCHHOFF, W., VICTOR, H., 1975: Meß- und Erprobungsplattform im deutschen Nordseeschelf. – *Meerestechnik - Marine Technology*, **6**, 161-170.
- SCHMAGER, G., 1979: Atlas zur Ermittlung der Wellenhöhen in der südlichen Ostsee. Seehydrographischer Dienst der DDR, Rostock, Nr. 8740, 1-115.
- SEEHASE, H., 1990: Transportabler Flachwassermast für den Aufbau hydrometeorologischer Stationen. – Transferstelle Meerestechnik Bremen, Rundbrief **8**, 24-27.
- SEEHASE, H., 1991: Ergebnisbericht über den Einsatz eines Flachwassermastes in einer Wassertiefe von 20 m in der Ostsee im Gebiet der Darßer Schwelle. – Transferstelle Meerestechnik Bremen, Rundbrief **11**, 16-17.
- STRIGGOW, K., 1992: Friedrich Möckel – Laudatio. – *Mitt. Dt. Gesell. Meeresforsch.*, **1/1992**, 21-24.
- STRIGGOW, K., MÖCKEL, F., 1989: Grundlagen, Aufbau und Anwendungen der CTD-Sonde. – *Messen-Steuern-Regeln*, **32**, 123-128.

VICTOR, H., KIRCHHOFF, W., SALZMANN, H., 1975: Forschungsplattform „Nordsee“ - Meßstation und Erprobungsstation. Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt (GKSS) & Ingenieurgesellschaft Meerestechnik + Seebau (IMS), Geesthacht & Hamburg, 1-28.

WISSENSCHAFTSRAT, 1992: Stellungnahmen zu den außeruniversitären Forschungseinrichtungen in der ehemaligen DDR auf dem Gebiet der Geo- und Kosmoswissenschaften. II.5: Institut für Meereskunde, Warnemünde (Mecklenburg-Vorpommern). Köln 1992, 69-82.

Archivunterlagen

Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

IOW 1977: RÓZDZYŃSKI, K., Die Funktion und technischen Grundsätze der autonomen Ostsee-Mess-Station des Typs „SAMOS“. Forschungsbericht, Maritime Abteilung des Instituts für Meteorologie und Wasserwirtschaft, Gdynia 1977, 85 S. IOW-Archiv, Karton 55, Nr. 1977/064.

IOW 1978: BROSIN, H.-J., MÖCKEL, F., Aufgabenstellung für ein autonomes ozeanologisches (Flachwasser-) Meß-System, welches in der Perspektive als Grundlage für ein Meßnetz zur Überwachung der Ostsee geeignet ist. Studie, Institut für Meereskunde, Warnemünde 1978, 17 S. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/001.

IOW 1979: MÖCKEL, F., ROEDER, W., SEEHASE, H., Lösungsweg für den Aufbau eines autonomen ozeanologischen (Flachwasser-) Meß-Systems als Entscheidungsgrundlage für die Schaffung eines nationalen Messnetzes zur Überwachung ausgewählter Flachwasserbereiche der Ostsee nach 1980. Institut für Meereskunde, Warnemünde 1979, 26 S. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/001 (s. auch Karton 55, Nr. 1979/012) .

IOW 1980: MÖCKEL, F., Pflichtenheft Flachwasser-Meß-System FMS 80. Institut für Meereskunde, Warnemünde, 15. 6. 1980, 15 S. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/001.

IOW 1981: RÓZDZYŃSKI, K., MÖCKEL, F., Arbeitsberatung zum Thema SAMOS-BOJE vom 30. 6. – 1. 7. 1981 in Gdynia/Gdańsk. Protokoll, Gdynia, 1. 7. 1981, 2 S. IOW-Archiv, Karton 46, Nr. 1981/018.

IOW 1982,1: KRÜGER, S., GÜNTHER, A., SPIEGEL, K., Tauchende Sauerstoffsonde für Ozeanologie. Entwicklungsbericht, Institut für Meereskunde, Warnemünde, September 1982, 62 S. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/001.

- IOW 1982,2: FRANCKE, E., MÖCKEL, F., Ozeanographische Station Warnemünde. Studie, Institut für Meereskunde, Warnemünde, Dezember 1982, 17 S. IOW-Archiv, Karton 37, Nr. 1988/081.
- IOW 1982,3: LEYH, W., Mast für hydro-meteorologische Flachwasserstationen. Ingenieurpraktikum, Praktikumsbeleg, Institut für Meereskunde, Warnemünde 1982, 54 S. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/001.
- IOW 1985,1: SEEHASE, H., Entwicklungsbericht FMS 80 Mast für hydro-meteorologische Flachwasserstation. Institut für Meereskunde, Warnemünde, Oktober 1985, 20 S. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/001.
- IOW 1985,2: SEEHASE, H., Fern-Meß-System FMS 80 – Mast für hydro-meteorologische Flachwasserstation. Bericht über Standerprobung April 1985. Institut für Meereskunde, Warnemünde, 9 S. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/001.
- IOW 1985,3: WILL, H., Telemetriesystem für automatische hydrometeorologische Stationen. Universität Rostock, Sektion Technische Elektronik, Ingenieur-Abschlußbericht, postgraduales Studium, Warnemünde, 20. 11. 1985, 46 S. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/001.
- IOW 1985,4: MÖCKEL, F., Kennblatt Fern-Mess-System FMS 80. Institut für Meereskunde, Warnemünde, 12. 8. 1985, 24 S. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/001.
- IOW 1986,1: MÖCKEL, F., Ordner mit Unterlagen zur Entwicklung des Fern-Meß-Systems FMS 80 von 1977 bis Juni 1986. Institut für Meereskunde, Warnemünde, November 1986. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/001.
- IOW 1986,2: MÖCKEL, F., Fern-Mess-System FMS 80 – Flachwasserstation, unbemannt mit Echtzeit-Datentelemetrie und mikroprozessorgesteuerter Erfassung hydro-meteorologischer Daten. Abschlussbericht, Institut für Meereskunde, Warnemünde, 30. 5. 1986, 38 S. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/055.
- IOW 1986,3: WLOST, K.-P., FMS 80: Komplexes automatisches Meßsystem – Flachwasserstation mit Echtzeit-Datentelemetrie und mikrorechnergestützter Erfassung hydro-meteorologischer Daten. Forschungsbericht, Institut für Meereskunde, Warnemünde, 6. Juli 1986, 54 S. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/005.
- IOW 1986,4: MÖCKEL, F., FMS 80 – Mast: Bauvorschrift Aufstellen und Abbau. Institut für Meereskunde, Warnemünde, 24. 6. 1986. 6 S. IOW-Archiv, Karton 58, Nr. 1986/055.
- IOW 1986,5: FMS 80 – Flachwasserstation. Ablaufplan, Juli 1986. 3 S. IOW-Archiv, Karton 37, Nr. 1988/081.

- IOW 1986,6: Fahrtbericht FS „Professor Albrecht Penck“, 1986. IOW-Fahrtarchiv, Nr. 8/402/86 vom 3. 7. 1986.
- IOW 1986,7: MÖCKEL, F., FMS 80 – Flachwasserstation. Thesen und Stichworte zur Verteidigung des Berichts A1 v. 30. 5. 86. 1 S. IOW-Archiv, Karton 37, Nr. 1988/081.
- IOW 1988,1: SEEHASE, H., Erprobungsbericht 1988 Flachwassermast. Institut für Meereskunde, Warnemünde, Januar 1989. 15 S. IOW-Archiv, Karton 59, Nr. 1988/066.
- IOW 1988,2: Kennblatt FMS 80 – Mast für unbemannte hydro-meteorologische Stationen. Institut für Meereskunde, Warnemünde, Dezember 1988. 10 S. IOW-Archiv, Karton 59, Nr. 1988/008.
- IOW 1988,3: Fahrtbericht HS „Polar“, 1988. IOW-Fahrtarchiv, Nr. 23c/402/88 vom 22. 12. 1988.
- IOW 1989: Fahrtbericht HS „Polar“, 1989. IOW-Fahrtarchiv, Nr. 17/402/89 vom 24. 4. 1989.
- IOW 1992,1: HEMPEL, G., Vortragsnotizen. Personalversammlung Institut für Ostseeforschung, Warnemünde, 6. 1. 1992, 8 S.
- IOW 1992,2: Dokumentation zur Einweihung, 28. Februar 1992. Institut für Ostseeforschung Warnemünde, 1-26.
- IOW 1992,3: Verwaltungsvereinbarung über die Durchführung meereskundlicher Aufgaben vor der Küste des Landes Mecklenburg-Vorpommern. Hamburg, 9. Januar 1992. 2 S. und 2 Anlagen.
- IOW 1996: Fahrtbericht FS „Professor Albrecht Penck“, 1996. IOW-Fahrtarchiv, Nr. 40/96/24 vom 12. 02. 1996.

***Arbeitsgruppe Messtechnik des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung
Warnemünde (IOW-MT)***

- IOW-MT 1978: ECKENER, U., GOVAERS, S., JÜRGENSMAYER, W., KLAGES, W., MÜLLER, H., WAGNER H. (Dornier System Friedrichshafen), VEMNO - Vorentwicklung Messnetz Nord-/Ostsee – Abschlußbericht Erprobung. 28. 3. 1978, 94 S.
- IOW-MT 1986,1: WILL, H., FMS 80 – Telemetrieinheit. Entwicklungsbericht, Institut für Meereskunde, Warnemünde, Januar 1986. 25 S.

- IOW-MT 1986,2: ROEDER, W., Flachwasserstation FMS 80 – Flachwassersonde FWS.
Forschungsbericht, Institut für Meereskunde, Warnemünde, 30. September 1986. 29 S.
- IOW-MT 1987,1: Sensor-Peripherik-Bausteinsystem SPS 86. Technisches Kennblatt, 10 S.
Anwenderdokumentation, 12 S. Zentraler Wissenschaftlicher Gerätebau Potsdam &
Institut für Meereskunde Warnemünde der AdW, Januar 1987.
- IOW-MT 1987,2: KRÜGER, S., FMS 80 – Meßwandler für die Ozeanographie.
Entwicklungsbericht, Institut für Meereskunde, Warnemünde, Oktober 1987. 35 S.
- IOW-MT 1990,1: SEEHASE, H., Erprobungsbericht 1989 – Geräteträger FMS 80 Mast für
hydroakustische Flachwasserstation. Institut für Meereskunde, Rostock-
Warnemünde, Januar 1990, 11 S.
- IOW-MT 1990,2: Jahresbericht 1990, Kapitel Meeresforschungstechnik vom 25. 1. 1991.
Institut für Meereskunde Warnemünde, Entwicklungslabor Meeresforschungstechnik,
8 S. AG Messtechnik, Ordner ELMFT: Pläne, Berichte.
- IOW-MT 1990,3: Arbeitsplan 1991 zur Wahrnehmung meereswissenschaftlicher Aufgaben
vor der Küste des Landes Mecklenburg-Vorpommern durch das Institut für
Meereskunde, Warnemünde, für das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie,
Hamburg. Institut für Meereskunde, Warnemünde, 29. 11. 1990, 7 S. und 6 Anlagen.
AG Messtechnik, Ordner: Ostsee-Meßnetz.
- IOW-MT 1990,4: WLOST, K.-P., Aktennotiz, Telefonat mit ME
(Meerestechnik/Elektronik)/Trappenkamp am 22. 6. 1990. Institut für Meereskunde,
AG Messwesen, Warnemünde, 25. 6. 1990. 2 S.
- IOW-MT 1990,5: WLOST, K.-P., SCHILLING, G., WEINREBEN, S., HILDEBRANDT, A., WILL, H.,
Modifizierung, Fertigung und Inbetriebnahme komplexer Ausrüstung für
ozeanologische Datenerfassungssysteme. Abschlußbericht FMS 80, ozeanologische
Datenerfassungssysteme, Ozeanologische Meßkette OM 87. Institut für
Meereskunde, Warnemünde, 30. 11. 1990. 10 S.
- IOW-MT 1990,6: KRÜGER, S., TW 90 – ein neuer Temperaturmesswandler für die
Ozeanographie. Forschungsbericht, Institut für Meereskunde, Warnemünde, Oktober
1990. 17 S. und 4 Anlagen.
- IOW-MT 1991,1: Aufbau des Ostsee-Meßnetzes (Tätigkeitsbericht für das 1. Halbjahr 1991)
vom 13. 06. 1991. Institut für Meereskunde Warnemünde, Entwicklungslabor
Meeresforschungstechnik, 2 S. AG Messtechnik, Ordner: Ostsee-Meßnetz.

- IOW-MT 1991,2: STRIGGOW, K., SEEHASE, H., ROEDER, W., Untersuchungen zur Stabilität eines selbstaufrichtenden starren Mastes. Institut für Meereskunde Warnemünde, Entwicklungslabor Meeresforschungstechnik, 18. 12. 1991. 9 S.
- IOW-MT 1993: KRÜGER, S., ROEDER, W., Arbeitsunterlagen und Diagramme zu Untersuchungen anhand eines XLS Finite-Elemente-Modells. Institut für Ostseeforschung, Warnemünde 1993. 6 Diagramme.
- IOW-MT 1994,1: WLOST, K.-P., ROEDER, W., KRÜGER, S., Netz automatischer Meßstationen. 1. Zielstellung und Konzept des ozeanologischen Meßnetzes. Institut für Ostseeforschung Warnemünde, 27. April 1994. 2 S.
- IOW-MT 1994,2: Thesen zur vergleichenden Wertung des MERMAID-Systems und der Automatischen Meßstation „Darßer Schwelle“. Institut für Ostseeforschung, AG Messtechnik, Warnemünde, März 1994, 2 S.
- IOW-MT 1994,3: KRÜGER, S., Kurze Arbeitsinformationen zur Nachbereitung der Begutachtung der Meßstation „Darßer Schwelle“ vom 28. 4. 94. Maße des Mastes, Strömungsverhältnisse „Darßer Schwelle“, Seegangsverhältnisse südliche Ostsee, Versuch einer Kostenübersicht.
- IOW-MT 1994,4: Gemeinsame gutachterliche Stellungnahme zum Systemvergleich MERMAID – Meßpfahl „Darßer Schwelle“. EUROMAR-Office, Geesthacht, 8. 6. 1994, 3 S.
- IOW-MT 1994,5: BSH, GKSS, IOW, STN Atlas Elektronik: Systemzusammenführung BSH-Meßnetz, IOW-Meßstationen, EUROMAR MAPONET- Zielstellungsplan. 21. September 1994, 6 S.
- IOW-MT 1994,6: BSH, GKSS, IOW, STN Atlas Elektronik: Stationäres Umweltmessnetz Nord- und Ostsee – Aktualisierte Spezifikation und Kostenabschätzung, 15. Oktober 1994, 16 S.
- IOW-MT 1994,7: CLAUSS, G., Analyse der Einsatzgrenzen und hydrodynamische Optimierung von Gelenkmasten als Geräteträger für die Meeresforschung. Vorschlag für ein Verbundprojekt mit dem IOW (S. Krüger, W. Roeder, K.-P. Wlost), Berlin, 6. Mai 1994. Anschreiben und 3 S.
- IOW-MT 1995: KRÜGER, S., ROEDER, W., WLOST, K.-P., SEEHASE, H., Short documentation German Baltic station „Darss Sill“. Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Instrumentation Group, Warnemünde 1995. 7 S.

- IOW-MT 1997: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Außenstelle Küste, Abteilung Maschinenwesen: Bauvorschrift (BV) für den Bau und die betriebsfertige Lieferung einer Messstation für das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) (Meßstation Darßer Schwelle), Projekt 7616. 9. Juli 1997. 27 S. und diverse Anlagen mit Konstruktionsunterlagen von H. Seehase.
- IOW-MT 2000,1: LADENTHIN, C. (ROSOMA), KRÜGER, S., SEEHASE, H., Montage Endabnahme für die betriebsfertige Ablieferung des Ersatzmastes für die MARNET-Station „Darßer Schwelle“ zum Betrieb durch das Institut für Ostseeforschung in Warnemünde. 6. September 2000. 4 S.
- IOW-MT 2000,2: LADENTHIN, C. (ROSOMA), KRÜGER, S., SEEHASE, H., Übernahmeprotokoll für die betriebsfertige Ablieferung des Ersatzmastes für die MARNET-Station „Darßer Schwelle“ zum Betrieb durch das Institut für Ostseeforschung in Warnemünde. 25. September 2000. 1 S.
- IOW-MT 2000,3: LADENTHIN, C. (ROSOMA), KRÜGER, S., SEEHASE, H., Abschließende Berechnung der Stand- und Tauchlage des Ersatzmastes für die MARNET-Station „Darßer Schwelle“ zum Betrieb durch das Institut für Ostseeforschung in Warnemünde. In Ordner: Montage-Endabnahme für die betriebsfertige Ablieferung des Ersatzmastes für die MARNET-Station „Darßer Schwelle II“ zum Betrieb durch das Institut für Ostseeforschung in Warnemünde, Rostock, 25. September 2000. 1 S. Anlagen S. 2-20.
- IOW-MT 2001: Dipl.-Ing. PETER (Fa. ROSOMA), Dipl.-Ing. H. SEEHASE (IOW), Baubeschreibung des Geräteträgers Gelenkmast, eingerichtet für das Seegebiet der Darßer Schwelle im Auftrage des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie. Neuer Mast abgesetzt am 28. September 2000, Ausgabe der Unterlagen: 5. März 2001. 36 S. und diverse Anlagen.

Matthäus, W.; Krüger, S.; Seehase, H.:

The Warnemünde Articulated Measuring Mast at the Darss Sill - the history of a unique instrumentation carrier for remote oceanographic measurements.

CONTENT

Dedication

Abstract

1. Introduction

2. Background of the development

3. Idea, design and testing of a unique oceanographic instrumentation carrier in the Institute of Marine Research in Warnemünde during the 1980s

4. The Institute for Baltic Sea Research and the first generation of the Warnemünde Articulated Measuring Mast as MARNET station "Darss Sill"

5. The second enforced generation of the articulated mast with a new power supply and measuring concept

6. The third and current generation of the Warnemünde Articulated Measuring Mast

7. Continuous operation, maintenance and further developments from 2000 onwards

8. Final considerations

Summary

Acknowledgements

References

Archival sources

