SYSTEME AUTOMATISCH ARBEITENDER MESS-STATIONEN IM MEER MIT DATENFERNÜBERTRAGUNG

Abschlußbericht A2

Thema:

Vorschläge für Tauchbojensysteme

Bearbeitung:

ERNO Raumfahrttechnik GmbH

September 1969

Verantwortlicher Projektleiter: P. Bauer

Hinweis:

Die Arbeiten wurden im Rahmen einer Systemstudie im Auftrag des Deutschen Hydrographischen Instituts (Vertrag Nr. 606/69 A 41) durchgeführt.

Die Systemstudie wurde in Zusammenarbeit der Firmen

Brown, Boveri & Cie., Mannheim
Dornier-System GmbH, Friedrichshafen
ERNO Raumfahrttechnik GmbH, Bremen
C. Plath, Hamburg
Standard Elektrik Lorenz AG, Stuttgart

unter der Systemführung von Dornier-System GmbH ausgearbeitet.

An der Ausarbeitung des Abschlußberichtes A2 waren beteiligt:

H. Engelmann

H. Wolters

H.H. Förster
Hannemann
Hartenstein
Horn
Jacob
Jenssen
Kasüschke
Klimek
Krömer
Mebus
Schmitz
Stamatopoulos
Timm
Weimar
Will

Inhaltsverzeichnis

		Seite:
1.	Einleitung	A2/1
2.	Zusammenfassung	A2/2
3.	Funktionsprogramme	A2/8
4.	Systeme ohne Schwimmkörper	A2/25
4.1	Spezifikation	A2/26
4.2	Tauchkörper	A2/34
4.2.1	Konfiguration	A2/37
4.2.2	Leistungsberechnung	A2/57
4.2.3	Hydrodynamischer Antrieb	A2/69
4.2.4	Hydrostatischer Antrieb	A2/74
4.2.5	Programmgeber	A2/83
4.2.6	Mechanischer Hindernissucher	A2/92
4.2.7	Akustischer Hindernissucher	A2/95
4.2.8	Einrichtung zur Kabeltrennung	A2/99
4.2.9	Positionsbefeuerung	A2/103
4.2.10	Einrichtung zur Notrufauslösung	A2/105
4.2.11	Materialauswahl	A2/108
4.2.12	Energieversorgung	A2/111
4.2.13	Stabilisierung	A2/113
4.2.14	Dynamik	A2/122
4.3	Bodengerät	A2/144
4.3.1	Konfiguration	A2/144
4.3.2	Ankerteil	A2/145
4.3.3	Geräteaufsatz	A2/145
4.3.4	Windenantrieb	A2/148
4.3.5	Materialauswahl	A2/151
4.3.6	Energieversorgung	A2/152
4.4	Zwischenkörper	A2/154
4.4.1	Konfiguration	A2/155
4.4.2	Materialauswahl	A2/156
4.5	Fesselung	A2/158
4.6	Fortschrittliche Technologien	A2/168
4.6.1	Meerwasseranalyse durch Neutronenaktivierung	A2/168
4.6.2	Datenübertragung mittels Satelliten	A2/175
4.7	Systemvorschläge	A2/203
4.7.1	System bis 50 m Einsatztiefe	A2/205
4.7.2	System bis 200 m Einsatztiefe	A2/210
4.7.3	System bis 1.200 m Einsatztiefe	A2/213
4.8	Aussetzung und Wartung	A2/216
4.9	Kosten- und Entwicklungsplan	A2/227

		Seite:
5.	Systeme mit Schwimmkörper	A2/232
5.1	Spezifikation	A2/233
5.2	Tauchkörper	A2/236
5.2.1	Konfiguration	A2/237
5.2.2	Hydrodynamischer Antrieb	A2/248
5.2.3	Windenantrieb	A2/253
5.2.4	Programmgeber	A2/255
5.2.5	Einrichtung zur Kabeltrennung	A2/256
5.2.6	Materialauswahl	A2/257
5.2.7	Energieversorgung	A2/263
5.2.8	Stabilisierung	A2/264
5.3	Ballastgewicht	A2/266
5.4	Fesselung	A2/269
5.5	Systemvorschläge	A2/270
5.5.1	Tauchkörper mit Eigenantrieb	A2/270
5.5.2	Tauchkörper mit Windenantrieb	A2/273
5.5.3	Mehrfachmeßebenen mit Windenantrieb	A2/275
5.6	Systemauswahl	A2/278
5.7	Kosten- und Entwicklungsplan	A2/280
6.	Vorschläge für Vertiefungsuntersuchungen	A2/283
7.	Literaturangaben	A2/285

1. Einleitung:

Mit dem vorliegenden Bericht findet die Studie über "Systeme automatisch arbeitender Meßstationen im Meer mit Datenfernübertragung" ihren Abschluß.

Aufbauend auf die vorläufigen Ergebnisse des Zwischenberichtes B2 wurden aus einer Vielzahl von Versionen zwei verschiedene Bojenkonzepte näher untersucht. Dabei handelt es sich:

a) um Meßsysteme ohne Schwimmkörper und

b) um Meßsysteme mit Schwimmkörper.

Bei den Systemen a) dreht es sich um gefesselte Tauchbojen während b) aus Oberflächenbojen (siehe Bericht A1 der Firma Dornier-System GmbH) mit darunter vertikal beweglichen Meßebenen bestehen.Beide Systeme können entweder mit einem Eigenantrieb oder mit einer Winde in Bewegung gesetzt werden. Sie sind so aufgebaut, daß sie durch Hinzufügen bzw. Fortlassen einiger Baugruppen jedem Funktionsprogramm ohne weiteren Entwicklungsaufwand leicht angepaßt werden können.

Diese Konzeption wirft viele neue technische Probleme auf und erfordert moderne Technologien, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch bereits als durchaus beherrschbar bezeichnet werden können. Sie bietet aber auch die Chance, in bisher weitgehend unbetretenes Neuland vorzudringen und damit auf dem Meßbojensektor richtungsweisend zu wirken. Die Hindernisse, die sich jeder Neuentwicklung anfänglich in den Weg stellen, sollten deshalb nicht dazu führen, bei einem Großprojekt wie die automatisch arbeitenden Meßstationen im Meer von vornherein zu sehr auf hergebrachte und konventionelle technische Lösungen zurückzugreifen.

Unter diesem Gesichtspunkt wird besonders in dem Kapitel 4.6.1 "Meerwasseranalyse durch Neutronenaktivierung" auf sehr interessante Möglichkeiten hingewiesen, die im Rahmen dieser Studie jedoch nicht in aller Breite und Tiefe untersucht werden konnten.

2. Zusammenfassung

Die vorliegenden Untersuchungen über Tauchbojensysteme als Teilaufgabe der Studie "Systeme automatisch arbeitender Meßstationen im Meer mit Datenfernübertragung" hatten das Ziel, unter Zugrundelegung des neusten Standes der Technik Vorschläge für ein fortschrittliches Tauchbojenkonzept zu erarbeiten.

Die Aufgabe eines solchen automatisch arbeitenden Meßsystems besteht darin, ozeanographische und meteorologische Messungen in einer solchen zeitlichen und räumlichen Aufeinanderfolge durchzuführen, daß alle gewünschten Meßwerte in genügender Anzahl und Dichte vorliegen und damit ein hinreichend genaues Zustandsbild des untersuchten Seegebietes entsteht.

Zur Lösung dieser Aufgabe wurden von der ERNO Raumfahrttechnik GmbH umfangreiche Untersuchungen durchgeführt und die Ergebnisse in zwei Berichten, im Zwischenbericht B2 und im Abschlußbericht A2 vorgelegt.

Im Zwischenbericht B2 wurden Untersuchungen über die verschiedensten Tauchbojensysteme durchgeführt, die technischen Einzelprobleme geordnet, gegliedert und übersichtlich dargestellt sowie die verschiedensten Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt und verglichen. Der Abschlußbericht A2 der Vorschläge für Tauchbojenkonzepte aufzeigt, schließt sich inhaltlich und logisch an die Ergebnisse des Zwischenberichtes B2 an.

Die technische Realisierung einer solchen Boje stellt eine derart komplexe Aufgabe dar, daß es sich als notwendig ergab, die Vielzahl der sich anbietenden Lösungswege systematisch zu untersuchen um ein brauchbares Konzept vorschlagen zu können.

Es wurden aus der Vielzahl der Möglichkeiten zwei sich grundsätzlich unterscheidende Systeme herausgestellt und zwar

-Systeme ohne Schwimmkörper

-Systeme mit Schwimmkörper

die im Abschlußbericht A2 nach der im Abb. 2.-1 dargestellten Systematik näher untersucht wurden.

Wie die Ergebnisse dieses Berichtes zeigen, stehen einer Realisierung derartiger Bojensysteme keine unüberwindlichen technischen Schwierigkeiten entgegen.

2.1 Systeme ohne Schwimmkörper

Nach der gründlichen Vorarbeit im Zwischenbericht B2 hatten sich einige Systeme als besonders attraktiv herauskristallisiert. Es sei auf die Versionen I, IV, VI und IX im Zwischenbericht B2 verwiesen. Später angestellte Untersuchungen haben es möglich gemacht, die hervorragenden Merkmale von I, IV und VI zu einem einzigen Operationsprinzip zu kombinieren: dem Aufbau nach dem Baukastenprinzip. Nur auf diese Weise ist es möglich, zu einem akzeptablen Preis neueste Technik zu realisieren, die zur Zeit auch in einschlägiger Literatur ihresgleichen sucht. Das Baukastenprinzip schafft handfeste Vorteile, die besonders im frühen Stadium der Erprobung, nicht zuletzt aber in der entscheidenden langen Zeit des Einsatzes zum Tragen kommen.

Die Erprobung ist eine Zeit voller Überraschungen und Schwierigkeiten. Vom Entwurf bis zum Prototyp sind viele Probleme zu lösen, die nur mit einer soliden und überzeugenden Vorplanung bewältigt werden können. Nur so lassen sich die Kosten in Grenzen halten.

Die Erprobung bedingt:

- -Unterteilen des Gesamtsystems in geschlossene Entwicklungsblöcke;
- -Anbringen von Nahtstellen, so daß die Erprobung mit einem einfachen System beginnen kann;
- -struktureller Aufbau des endgültigen Systems aus dem einfachen System durch Hinzufügen von Baueinheiten.

ERNO

Vorschläge für Tauchbojensysteme

Abschlußbericht A2

- Funktionsprogramme
  - Normalprogramme: 50m | 200m | 1200m
  - Notprogramme: Systemstörung | Hindernis | Seegang
- Systeme ohne Schwimmkörper
  - Tauchkörper
  - Bodengerät
  - Zwischenkörper
  - Fesselung
- Systeme mit Schwimmkörper
  - Schwimmkörper
  - Tauchkörper
  - Ballastgewicht
  - Fesselung

Komponentenuntersuchungen (ohne Schwimmkörper)

- Hydrodynamischer Antrieb
- Hydrostatischer Antrieb
- Windenantrieb
- Antennenmast
- Isotopenbatterie
- Geräteaufsatz (Bodengerät)
- Ankerteil
- Programmgeber
- Steuer- und Regeleinrichtungen
- Mechan. Hindernissucher
- Akustischer Hindernissucher
- Positionsbefeuerung
- Einrichtung zur Kabeltrennung
- Einrichtung zur Notrufauslösung
- Speicherbatterie
- Ozeanogr. Meßgerätesatz
- Meteorolog. Meßgerätesatz
- Datenspeicherungs- u. Übertragungseinrichtg.

Systemuntersuchungen (ohne Schwimmkörper)

- Konfiguration
- Stabilisierung
- Kinematik
- Materialauswahl
- Energieversorgung
- Meerwasseranalyse d. Neutronenaktiv.
- Datenübertr. mittels Satelliten

Systemuntersuchungen (mit Schwimmkörper)

- Konfiguration
- Stabilisierung
- Materialauswahl
- Energieversorgung
- Meerwasseranalyse d. Neutronenaktiv.
- Datenübertragung mittels Satelliten

Komponentenuntersuchungen (mit Schwimmkörper)

- Hydrodynamischer Antrieb
- Windenantrieb
- Speicherbatterie
- Programmgeber
- Steuer- und Regeleinrichtungen
- Einrichtung zur Kabeltrennung
- Ozeanogr. Meßgerätesatz
- Datenspeicherungs- u. Übertragungseinrichtg.

Systemvorschläge (ohne Schwimmkörper)

- System bis 50m Einsatztiefe
- System bis 200m Einsatztiefe
- System bis 1200m Einsatztiefe

Aussetzung und Wartung

Kosten- und Entwicklungsplan

Systemvorschläge (mit Schwimmkörper)

- Tauchkörper mit Eigenantrieb
- Tauchkörper mit Windenantrieb
- Mehrfachmeßebenen mit Windenantrieb

Systemauswahl

Aussetzung und Wartung

Kosten- und Entwicklungsplan

Vorschläge für Vertiefungsuntersuchungen

SYSTEMATIK DES ABSCHLUSSBERICHTES A2

Abb. 2.-1

Für den Einsatz wurde verwirklicht:

- -Unterteilung des Gesamtsystems in Baugruppen, die sich zu einer Flachwasserversion mit Einsatz in der Deutschen Bucht zusammenfügen lassen;
- -systemeigene Flexibilität die ein Versetzen des Standorts an einen anderen Platz in der Deutschen Bucht gewährleistet;
- -Erweiterung der Flachwasserversion durch Einfügen von Erweiterungssektionen, um das System für den Einsatz in tieferen Gewässern umzurüsten;
- -Ausbaufähigkeit für Einsätze in tiefen atlantischen Gewässern.

Durch diese Operationsprinzipien ist gewährleistet, daß sich von der Erprobung bis zum Einsatz eine durchschaubare, logische Linie zieht, die niemals zu irgendeinem Zeitpunkt die Entwicklung in eine technologische Sackgasse führt.

Das Tauchbojensystem setzt sich aus vier Baugruppen zusammen, die einzeln wieder in Sektionen aufgeteilt sind:

1. Tauchkörper
2. Bodengerät
3. Zwischenkörper
4. Fesselung

Der Tauchkörper als Mittelpunkt gliedert sich in die Sektionen:

1. Mast
2. Auftrieb
3. Ergänzung
4. Batterie- und Elektronik
5. Antrieb
6. Stabilisierungskörper

Die anderen Baugruppen sind in ähnlicher Weise gegliedert (siehe Abb. 4.1 -1) und sollen an dieser Stelle nicht besonders aufgeführt werden.

Alle Sektionen sind einer eingehenden Untersuchung unterzogen worden.

Für den Mast ergab sich, ihn aus seewasserbeständigem Aluminium in zwei Ausführungen herzustellen. Die Flachwasserversion benötigt nicht einen genau so langen Mast wie die Tiefwasserversion. Die meteorologischen Sensoren befinden sich an Auslegern, die durch einen Mechanismus aus- und eingefahren werden. Die ursprüngliche Problematik des Schutzes der Sensoren gegen Seewasser, die zur Einführung eines verschiebbaren Schutzzylinders führte, ist durch einen Fortschritt auf dem Gebiet der Sensortechnik behoben. Es werden nunmehr Sensoren angeboten, die seewasserbeständig und druckfest sind. Der einfachen Wartung wegen sind auch die ozeanographischen Sensoren im Mast installiert, ebenso Antenne und Hindernissucher.

Der Auftriebserzeuger arbeitet pneumatisch mit einem Kompressor, der im aufgetauchtem Zustand Luft ansaugt die in Flaschen unter Druck gespeichert wird. Sie steht zur Verdrängung von Ballastwasser zur Verfügung. Für die Tiefwasserversion ist der Ballastraum (Flutungsraum) durch das Einfügen eines Ergänzungsteils vergrößert.

Der Antrieb ist hydrodynamisch mit Hilfe zweier gegenläufiger Propeller. Alle empfindlichen Teile sind druckgekapselt und seewasserfest. Die Motorleistung wurde derart optimiert, daß ein vernünftiges Verhältnis zwischen Leistungsbedarf und Fahrgeschwindigkeit erreicht wurde.

Eine Eigentümlichkeit der Flachwasserversion sind die Stabilisierungsausleger, die den Einsatz in flachen Gewässern erleichtern. Sie entfallen bei der Tiefwasserversion, die wegen ihrer großen Länge hinreichend stabilisiert ist, um ein

exaktes Messen unter Wasser ohne Nebeneffekte zu ermöglichen.

2.2 Systeme mit Schwimmkörper

Es ist der Versuch unternommen worden, die reine Oberflächenboje und die reine Tauchboje zu einem System zu kombinieren, Die Untersuchungen erstreckten sich auf Oberflächenbojen mit:

- -einfachen Meßgeräteträger mit Windenantrieb
- -Mehrfachmeßebenen mit Windenantrieb
- -Tauchkörper mit Eigenantrieb.

Auch hier war angestrebt, das Baukastenprinzip zu verwirklichen.

Die Auswertung ergab jedoch,daß der Einsatz dieser Kompromißsysteme wenig sinnvoll ist. Bis zu Wassertiefen von 100 m läßt sich ein einfacher Meßgeräteträger mit Windenantrieb noch einsetzen. Für größere Tiefen allerdings führt die Entwicklung in eine Sackgasse. Die Oberflächenboje ist nicht genügend vom Wellengang entkoppelt und überträgt Eigenbewegung auf die Sensoren, so daß eindeutige Messungen nicht mehr möglich sind.

Im ganzen gesehen erscheint das reine Tauchbojensystem als die aussichtsreichste Entwicklungsrichtung auf dem Gebiet der automatischen Meßstationen im Meer. Das Konzept verkörpert moderne Technologie und verschafft dem Betreiber einen deutlichen Vorsprung in der internationalen Ozeanographie.

3. Funktionsprogramme

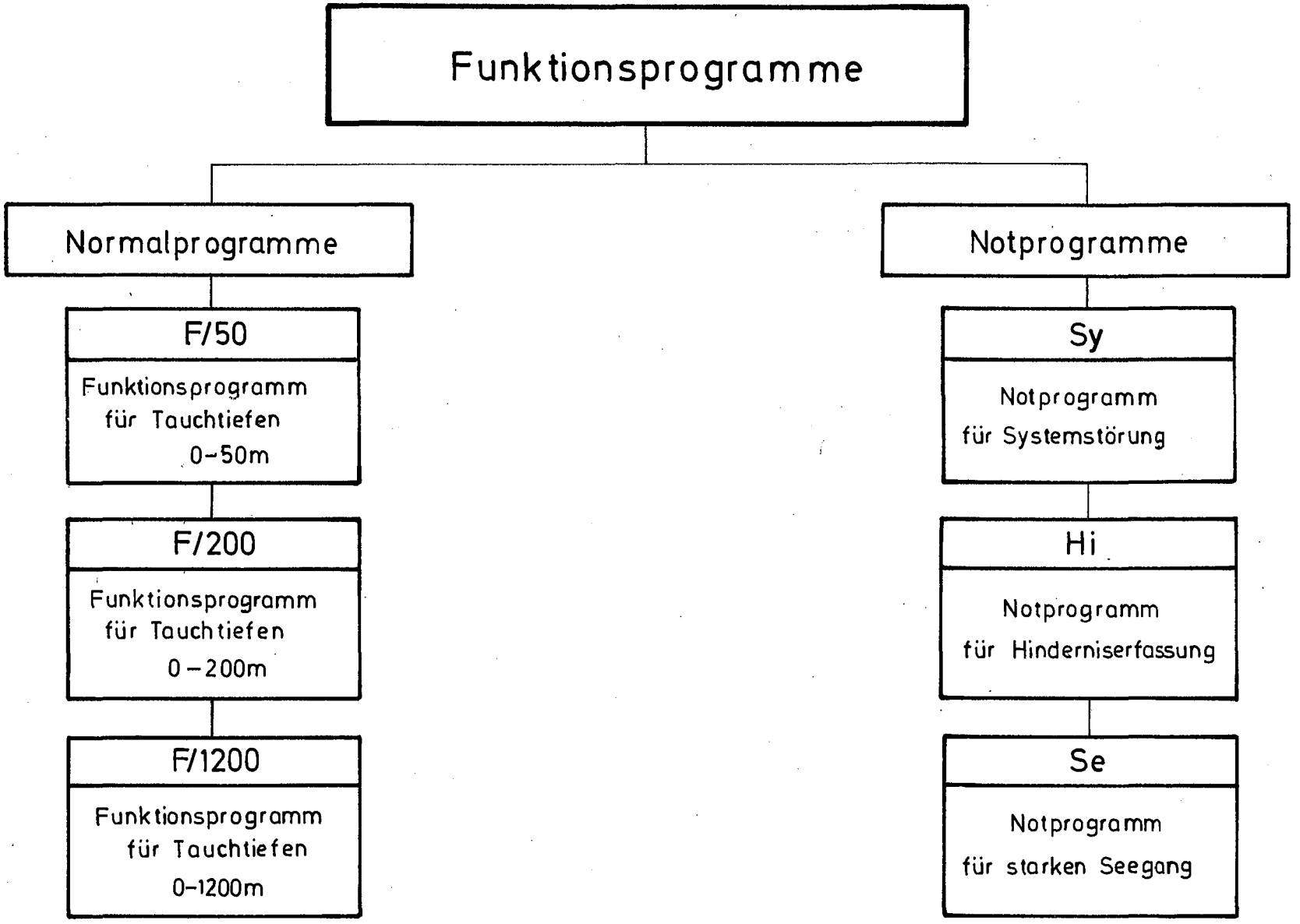
3.1 Normalprogramme:

Für die vorgeschlagenen Tauchbojenversionen wurden Funktionsprogramme für Tauchtiefen bis 50 m, bis 200 m und bis 1.200 m ausgewählt, die folgende gemeinsame Merkmale aufweisen:

- kontinuierlicher Abstieg,
- relativ lange Liegezeit auf der tiefsten Tauchstufe,
- Messungen während des gestuften Aufstiegs,
- relativ kurze Verweilzeit an der Wasseroberfläche.

Diese 3 Programme F/50, F/200 und F/1.200 (Abb. 3.-1) sind Varationen der im Zwischenbericht B2 mit $P_3/50$, $P_3/200$ und $P_3/1.200$ bezeichneten Funktionsprogramme und wurden so aufgebaut, daß die Meßsequenz des Programms für geringere Tiefen in dem Programm für die jeweils größere Tiefe enthalten ist.
Damit werden Vereinheitlichungen für die Datenspeicherung und -übertragung ermöglicht und es stehen bei den verschiedenen Programmen vergleichbare Werte zur Verfügung. Der kontinuierliche Abstieg erfolgt bei den 3 Programmen mit der gleichen konstanten Geschwindigkeit. Die anschließende Liegezeit von mehreren Stunden auf der tiefsten Tauchstufe ermöglicht das Aufladen einer Pufferbatterie. 15 Minuten vor Beginn des Aufstiegs erfolgen auf der tiefsten Tauchstufe und am Bodengerät die ersten ozeanographischen Messungen. Dadurch, daß Messungen nur beim Aufstieg durchgeführt werden, konnte gegenüber den meisten im Zwischenbericht B2 enthaltenen Funktionsprogrammen eine Reduktion der anfallenden Datenmenge erzielt werden, ohne gleichzeitig eine wesentliche Einbuße an Aussagewert hinnehmen zu müssen. Ein weiterer Vorteil der Messungen während des Aufstiegs ist die weitgehende Vermeidung von Wirbeln an den im Bojenoberteil angeordneten Meßgeräten.

Während der Verweilzeit an der Meeresoberfläche (30 Min.) erfolgen bei den Versionen ohne Schwimmkörper die meteoro-



Systematik der Funktionsprogramme

Abb. 3.-1

logischen Messungen und die Datenübertragung. Diese Funktionen sind bei den Versionen mit Schwimmkörper dagegen nicht unbedingt an den Auftauchrhythmus des Tauchkörpers gebunden. Bei diesen Versionen befindet sich die Primärenergiequelle im Schimmkörper, so daß sich zwecks Aufladung einer Pufferbatterie die Verweilzeiten an der Oberfläche auf Kosten der Liegezeiten auf der tiefsten Tauchstufe erheblich verlängern.

Alle Programme sind weitgehend variabel und gestatten damit eine optimale Anpassung an die jeweilige Meßaufgabe. Die Anzahl der Tauchfahrten wurde wie folgt angenommen:

Funktionsprogramm F/50: 4 Tauchzyklen/Tag
Funktionsprogramm F/200: 3 Tauchzyklen/Tag
Funktionsprogramm F/1.200: 2 Tauchzyklen/Tag

Dabei werden entsprechend der jeweiligen Ereignisfolge die nachstehenden Messungen durchgeführt:

Meßprogramm A: Ausgelöst durch einen Druckgeber werden während des Aufstiegs alle 30 cm folgende Parameter gemessen:

A_1 Druck
A_2 Temperatur
A_3 Temperaturgradient
A_4 Salzgehalt (elektr. Leitfähigkeit)

Meßprogramm B: Auf den einzelnen Tiefenstufen erfolgt die Messung von:

B_1 Druck
B_2 Temperatur
B_3 Temperaturgradient
B_4 Salzgehalt (elektr. Leitfähigkeit)
B_5 Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit (15 Min.)
B_6 O_2-Gehalt

Meßprogramm C: In einer Tiefe von 40 m während des Aufstiegs wird zusätzlich über einen Zeitraum von 30 Min. eine Wellenmessung durchgeführt:

C_1 Wellenhöhe (Amplitude)
C_2 Wellenlänge (Frequenz)
C_3 Wellenrichtung

Meßprogramm D: Mit einem gesondert im Bodengerät untergebrachten Meßgerätesatz werden in der Verankerungsebene folgende Messungen durchgeführt:

D_1 Druck (Gezeitenhub)
D_2 Temperatur
D_3 Temperaturgradient
D_4 Salzgehalt (elektr. Leitfähigkeit)
D_5 Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit (15 Min.)
D_6 O_2- Gehalt

Meßprogramm E: Bei aufgetauchter Boje werden die folgenden meteorologischen Parameter gemessen:

E_1 Luftdruck
E_2 Lufttemperatur
E_3 Windrichtung
E_4 Windgeschwindigkeit

Im folgenden werden die 3 Funktionsprogramme im einzelnen dargestellt.

Funktionsprogramm F/50:

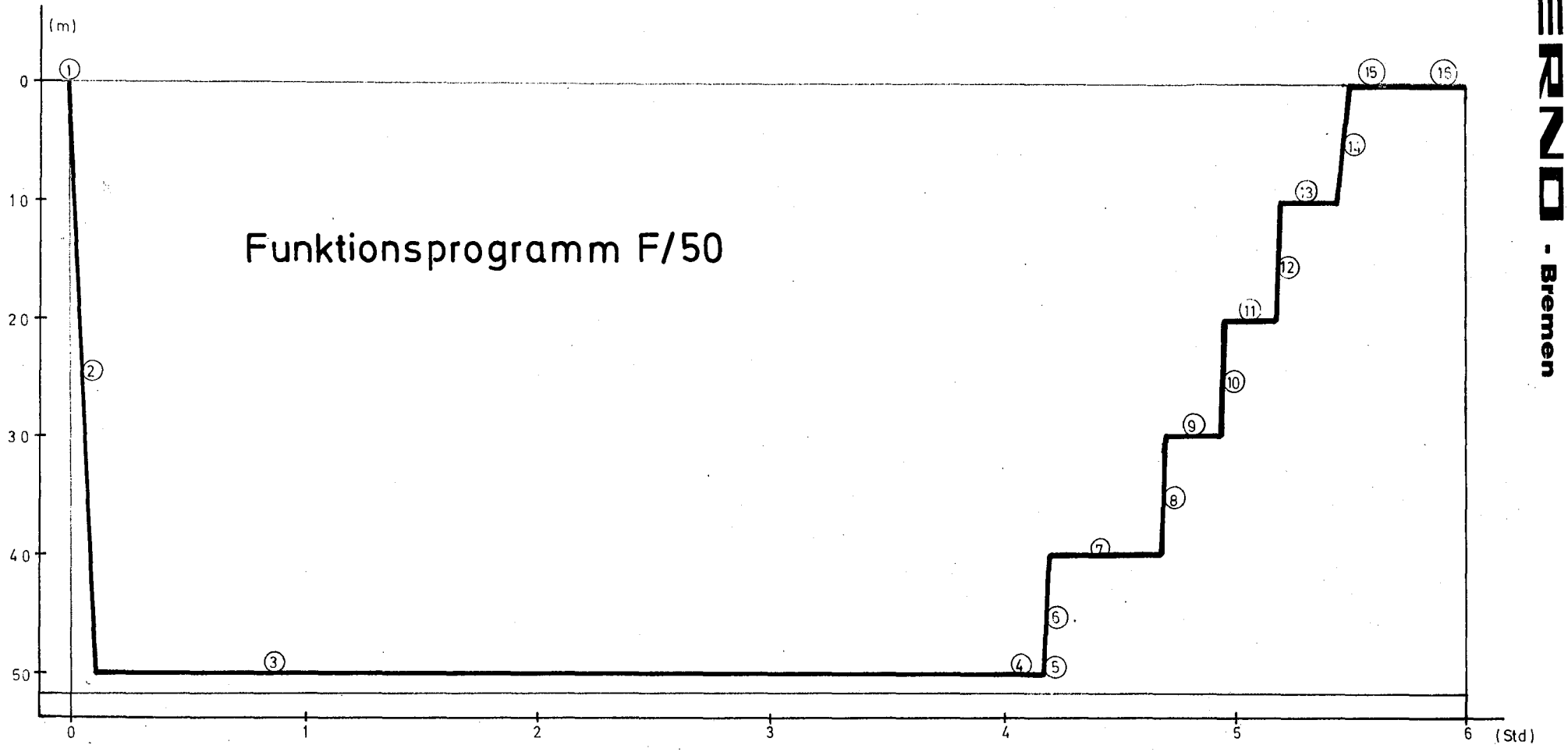
Die Zeit für 1 Tauchzyklus beträgt 6 Stunden, die Liegezeit auf der tiefsten Tauchstufe (Ruhestellung) 4 Stunden und 7,1 Min. Die genaue Ereignisfolge kann der Tab. F/50 entnommen werden.

Funktionsprogramm F/200:

Die Zeit für 1 Tauchzyklus beträgt 8 Stunden, die Liegezeit (Ruhestellung) 3 Stunden und 49,1 Min. Die genaue Ereignisfolge kann der Tab. F/200 entnommen werden.

Funktionsprogramm F/1.200:

Die Zeit für 1 Tauchzyklus beträgt 12 Stunden, die Liegezeit (Ruhestellung) 4 Stunden und 34,1 Min. Die genaue Ereignisfolge kann der Tab. F/1.200 entnommen werden.


Funktionsprogramm F/50
(m)
0
10
20
30
40
50
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
0
1
2
3
4
5
6
(Std)

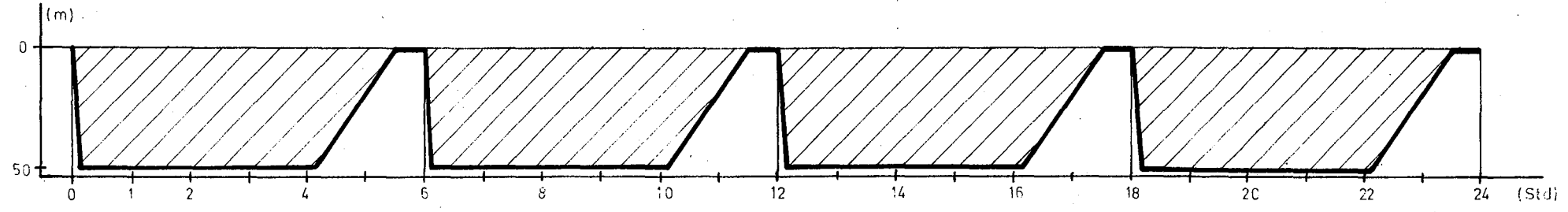

(m)
0
50
0
1
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
(Std)

Abb. 3.-2

Funktionsprogramm F/50

Pos.	Tiefe (m)	Fahrzeit (sec)	mittlere Geschwindigk. (m/sec)	Haltezeit (min)	Meß-pro-gramm	Ereignis
1	0	-	-	-	-	Kommando "Tauchen"
2	0-50	180	0,278	-	-	
3	50	-	-	232,1	-	Ruhestel-lung
4	50	-	-	15	B+D	
5	50	-	-	-	-	Kommando "Aufstieg"
6	50-40	36	0,278	-	A	
7	40	-	-	30	B+C	
8	40-30	36	0,278	-	A	
9	30	-	-	15	B	
10	30-20	36	0,278	-	A	
11	20	-	-	15	B	Hindernis-suche
12	20-10	36	0,278	-	A	
13	10	-	-	15	B	
14	10-0	150	0,0666	-	A	
15	0	-	-	15	B+E	
16	0	-	-	15	-	Datenüber-tragung

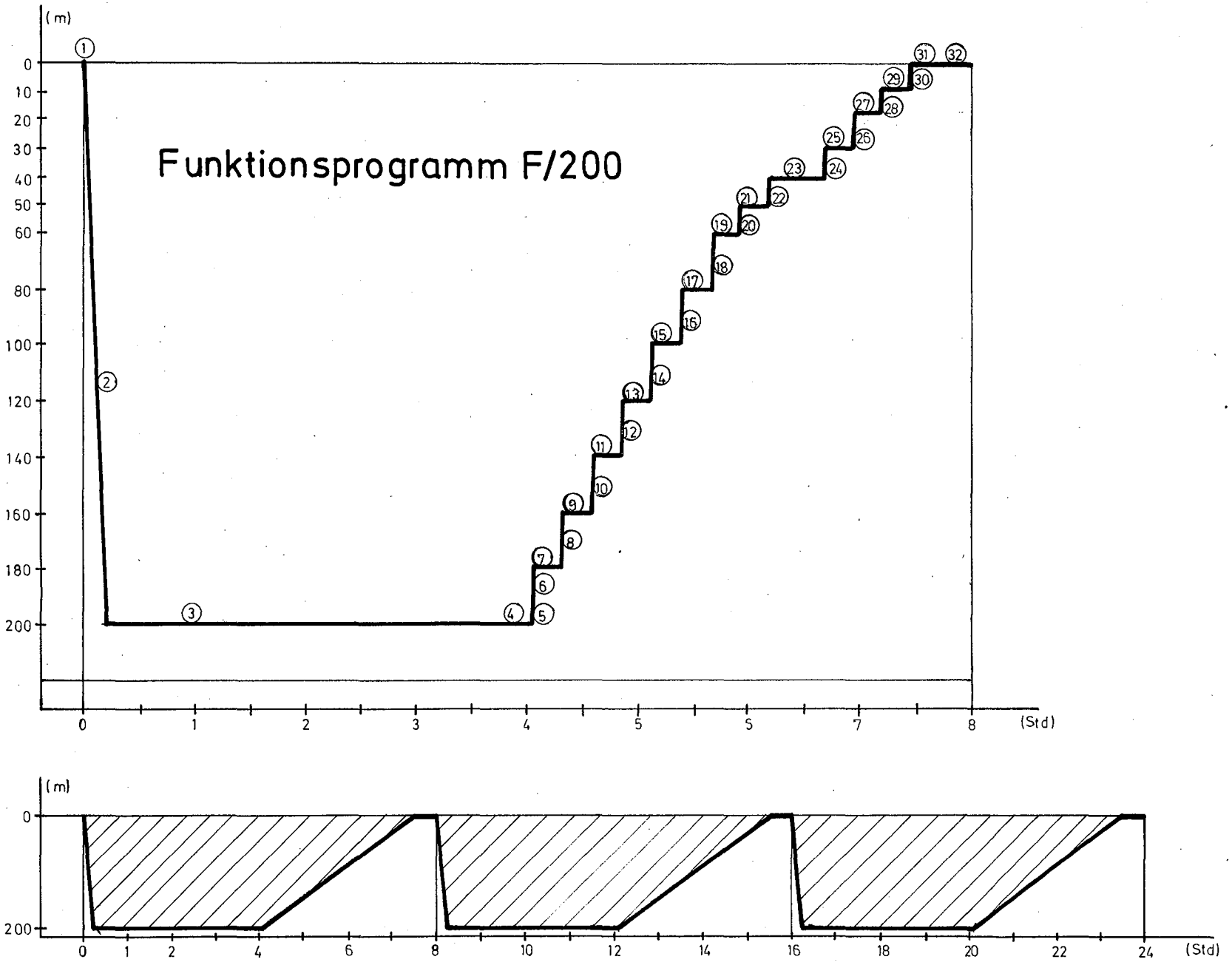

Funktionsprogramm F/200
(m)
0
10
20
30
40
50
60
80
100
120
140
160
180
200
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
0
1
2
3
4
5
5
7
8
(Std)
(m)
0
200
0
1
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
(Std)

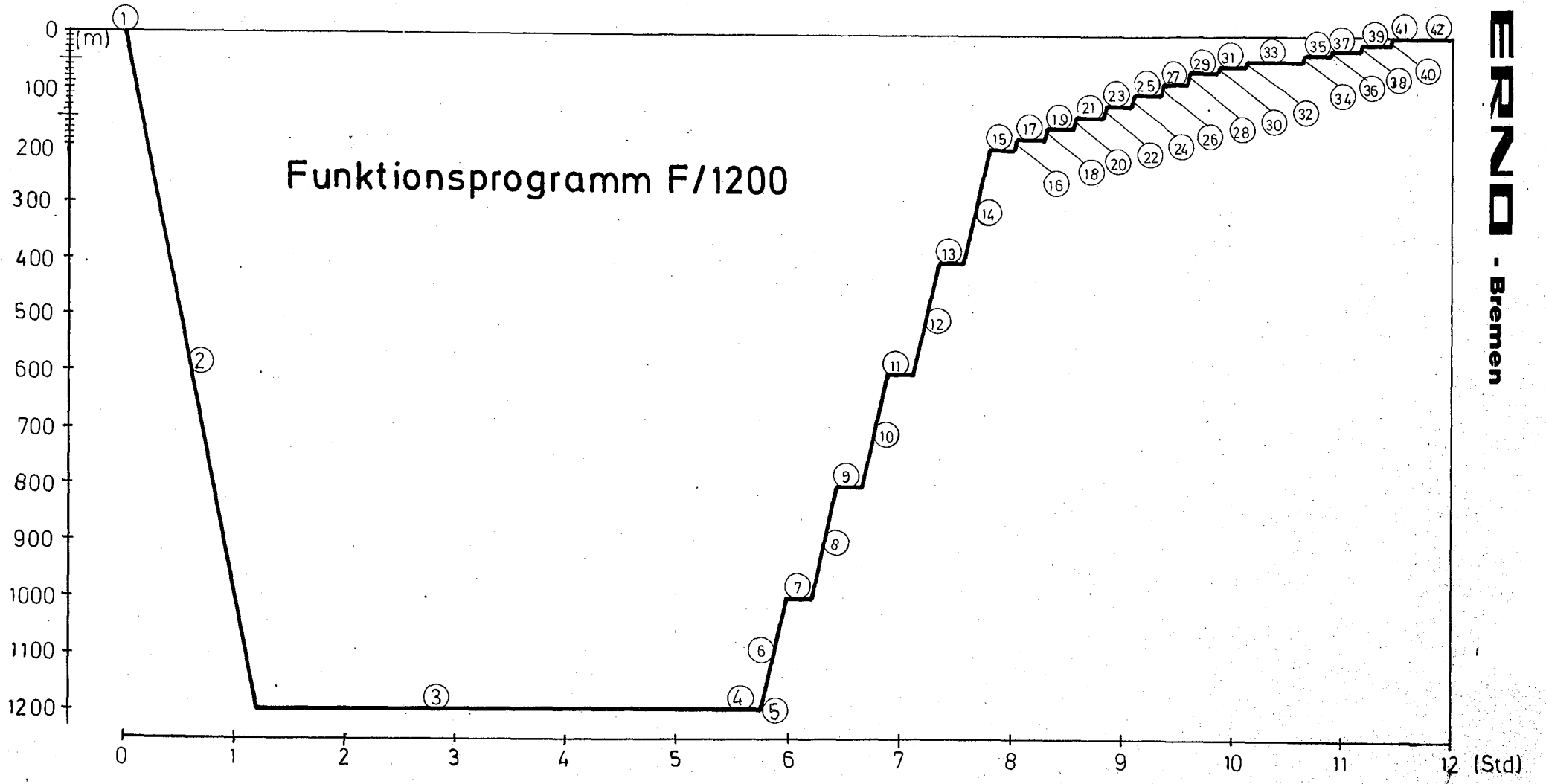
Abb. 3.- 3

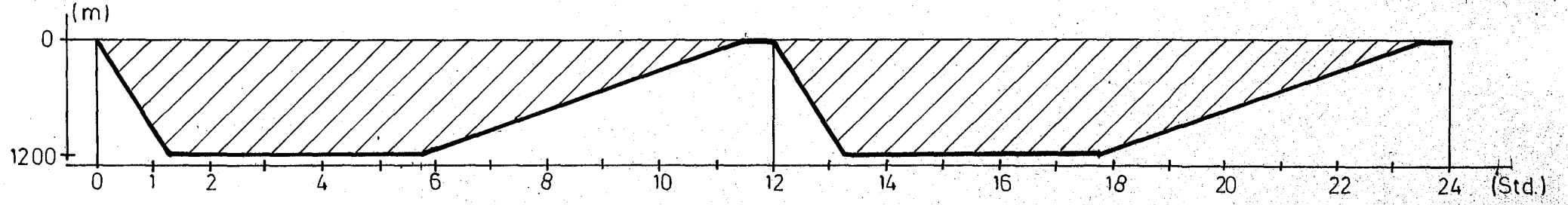
Funktionsprogramm F/200

Pos.	Tiefe (m)	Fahrzeit (sec)	mittlere Geschwindigk. (m/sec)	Haltezeit (min)	Meß-programm	Ereignis
1	0	-	-	-	-	Kommando "Tauchen"
2	0-200	720	0,278	-	-	
3	200	-	-	214,1	-	Ruhestell-ung
4	200	-	-	15	B+D	
5	200	-	-	-	-	Kommando "Aufstieg"
6	200-180	72	0,278	-	-	
7	180	-	-	15	B	
8	180-160	72	0,278	-	-	
9	160	-	-	15	B	
10	160-140	72	0,278	-	-	
11	140	-	-	15	B	
12	140-120	72	0,278	-	-	
13	120	-	-	15	B	
14	120-100	72	0,278	-	-	
15	100	-	-	15	B	
16	100-80	72	0,278	-	-	
17	80	-	-	15	B	
18	80-60	72	0,278	-	A	
19	60	-	-	15	B	
20	60-50	36	0,278	-	A	
21	50	-	-	15	B	
22	50-40	36	0,278	-	A	

Funktionsprogramm F/200

Pos.	Tiefe	Fahrzeit	mittlere Geschwindigk.	Haltezeit	Meß-progra	Ereignis
23	40	-	-	30	B+C	
24	40-30	36	0,278	-	A	
25	30	-	-	15	B	
26	30-20	36	0,278	-	A	
27	20	-	-	15	B	Hindernis-suche
28	20-10	36	0,278	-	A	
29	10	-	-	15	B	
30	10-0	150	0,0666	-	A	
31	0	-	-	15	B+E	
32	0	-	-	15	-	Datenüber-tragung





ERNO - Bremen

A 2/17

Abb. 3.-4

Funktionsprogramm F/1200

Pos.	Tiefe (m)	Fahrzeit (sec)	mittlere Geschwindigk. (m/sec)	Haltezeit (min)	Meß-programm	Ereignis
1	0	-	-	-	-	Kommando "Tauchen"
2	0-1200	4320	0,278	-	-	
3	1200	-	-	259,1	-	Ruhestel-lung
4	1200	-	-	15	B+D	
5	1200	-	-	-	-	Kommando "Aufstieg"
6	1200-1000	720	0,278	-	-	
7	1000	-	-	15	B	
8	1000-800	720	0,278	-	-	
9	800	-	-	15	B	
10	800 - 600	720	0,278	-	-	
11	600	-	-	15	B	
12	600 - 400	720	0,278	-	-	
13	400	-	-	15	B	
14	400 - 200	720	0,278	-	-	
15	200	-	-	15	B	
16	200 - 180	72	0,278	-	-	
17	180	-	-	15	B	
18	180 - 160	72	0,278	-	-	
19	160	-	-	15	B	
20	160 - 140	72	0,278	-	-	
21	140	-	-	15	B	
22	140 - 120	72	0,278	-	-	
23	120	-	-	15	B	

Pos.	Tiefe (m)	Fahrzeit (sec)	mittlere Geschwindigk. (m/sec)	Haltezeit (min)	Meß-programm	Ereignis
24	120 - 100	72	0,278	-	-	
25	100	-	-	15	B	
26	100 - 80	72	0,278	-	A	
27	80	-	-	15	B	
28	80 - 60	72	0,278	-	A	
29	60	-	-	15	B	
30	60 - 50	36	0,278	-	A	
31	50	-	-	15	B	
32	50 - 40	36	0,278	-	A	
33	40	-	-	30	B+C	
34	40 - 30	36	0,278	-	A	
35	30	-	-	15	B	
36	30 - 20	36	0,278	-	A	
37	20	-	-	15	B	Hindernis-suche
38	20 - 10	36	0,278	-	A	
39	10	-	-	15	B	
40	10 - 0	150	0,0666	-	A	
41	0	-	-	15	B+E	
42	0	-	-	15	-	Datenüber-tragung

3.2 Notprogramme:

Für den Fall, daß die planmäßige Durchführung des Funktionsprogrammes durch Störeinflüsse verhindert wird, wurden sogen. Notprogramme aufgestellt, die sich selbsttätig auslösen und damit erreichen, daß in kritischen Situationen

- das Bojensystem nicht zerstört wird bzw. verlorengeht und
- der Verlust von Meßdaten minimal bleibt.

Es kann unterschieden werden zwischen:

a) Systemstörungen (z. B. Kabelriss, Energieausfall, Versagen des Antriebes)

und

b) Störungen durch die Umwelt (Hindernisse an der Auftauchstelle, zu hoher Seegang).

Notprogramm Sy:

Dieses Programm wird ausgelöst, sobald sich eine Störung im System bemerkbar macht. Dabei erfolgt unabhängig von dem jeweiligen Standort (Abstieg, Ruhestellung am Boden, Aufstieg) ein sofortiges Auftauchen der Boje zur Oberfläche. Dieser Vorgang ist schematisch in Abb. 3.-5 dargestellt. An der Meeresoberfläche kann dann ein Schiff den Austausch bzw. die Reparatur der Boje vornehmen.

Notprogramm Hi:

Beim Aufstieg von 20 m Tiefe bis zur Oberfläche erfolgt eine kontinuierliche Hindernissuche. Wird dabei ein Hindernis erfaßt, so wird das Notprogramm Hi ausgelöst und die Boje taucht auf eine Tiefe von 20 m ab, wo sie 10 Min. verweilt um dann erneut bei gleichzeitiger Hindernissuche auf-

zusteigen. Wird auch hierbei wieder ein Hindernis erfaßt, wiederholt sich der Abtauch- und Verweilvorgang. Dieses kann einige Male hintereinander erfolgen. Wird dadurch das Auftauchen jedoch so lange verzögert, daß der Termin für die Datenübertragung (z. B. mittels Satelliten) nicht mehr eingehalten werden kann, so wird automatisch ein neuer Tauchzyklus lt. Funktionsprogramm eingeleitet (siehe Abb. 3.-6).

Notprogramm Se:

Beim Aufstieg erfolgt in einer Tiefe von 40 m u. a. die Messung der Wellenhöhe. Falls die gemessenen Werte einen für die Boje im aufgetauchten Zustand zulässigen Höchstwert überschreiten, wird nach Beendigung der Messung ein erneuter Tauchzyklus lt. Funktionsprogramm eingeleitet (siehe Abb. 3.-7), so daß die Boje je nach dem verwendeten Funktionsprogramm erst 6 - 12 Stunden später wieder auftaucht.

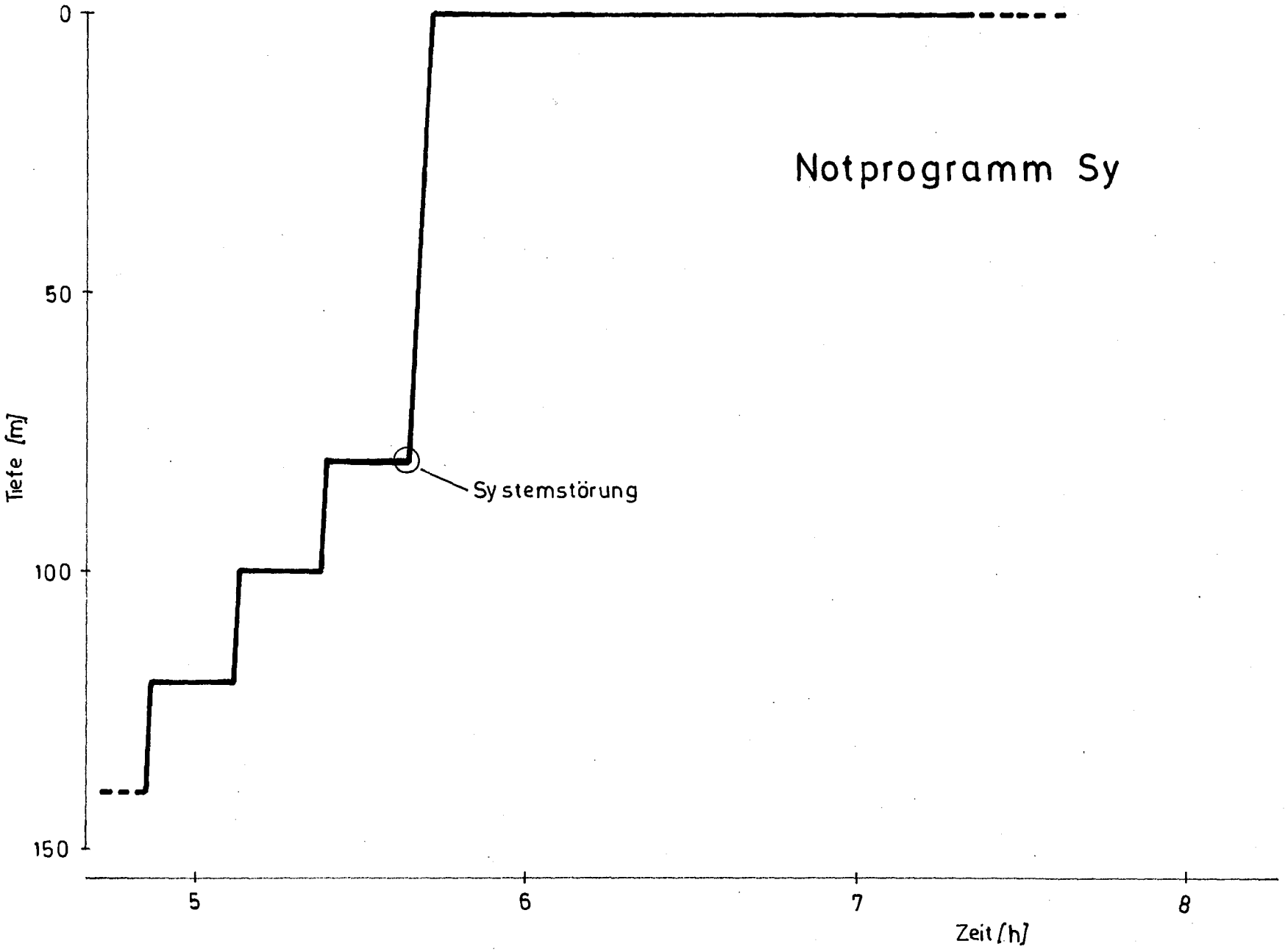

Notprogramm Sy
0
50
100
150
Tiefe [m]
Systemstörung
5
6
7
8
Zeit [h]

Abb. 3. – 5

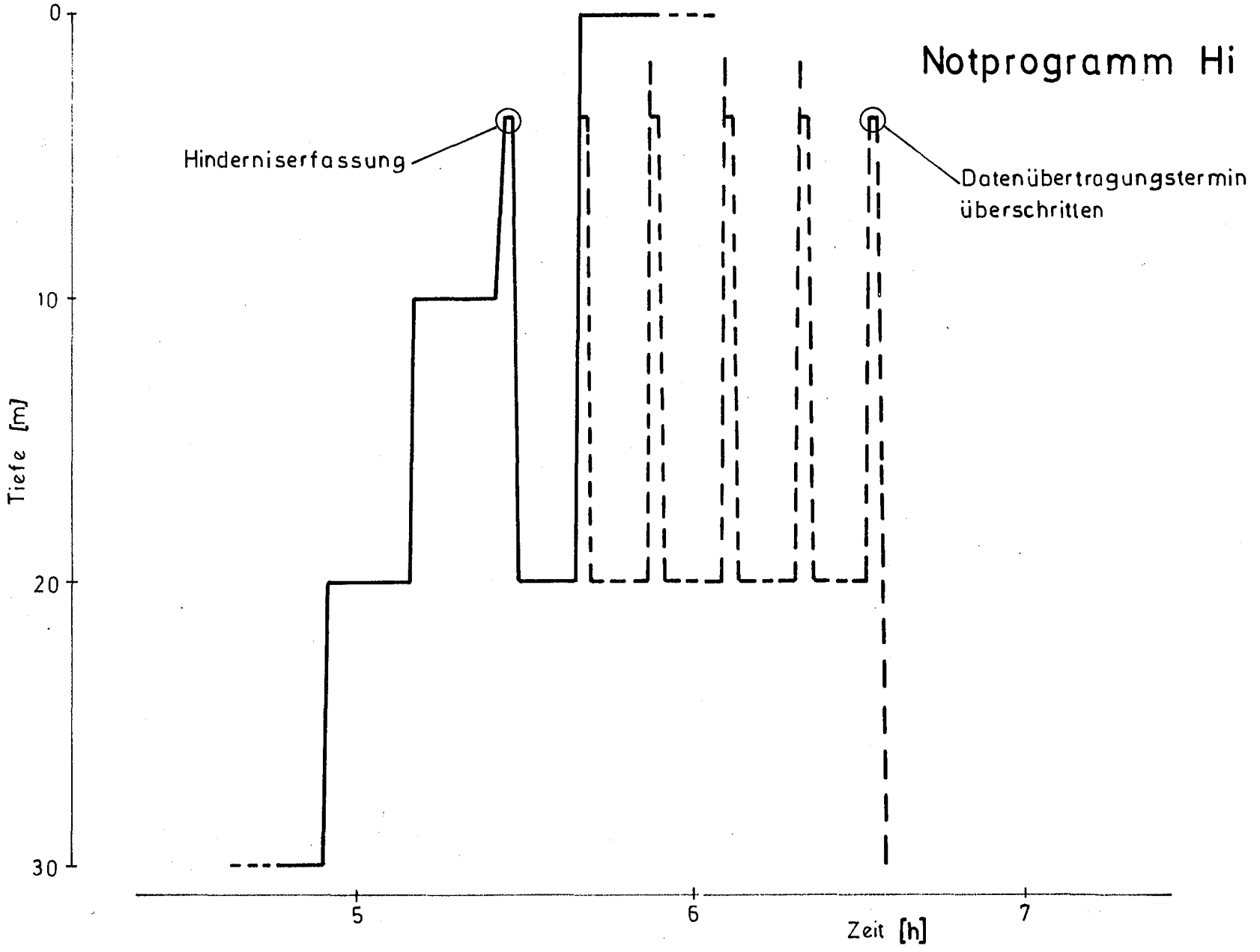


Abb. 3. -6

ERNO - Bremen

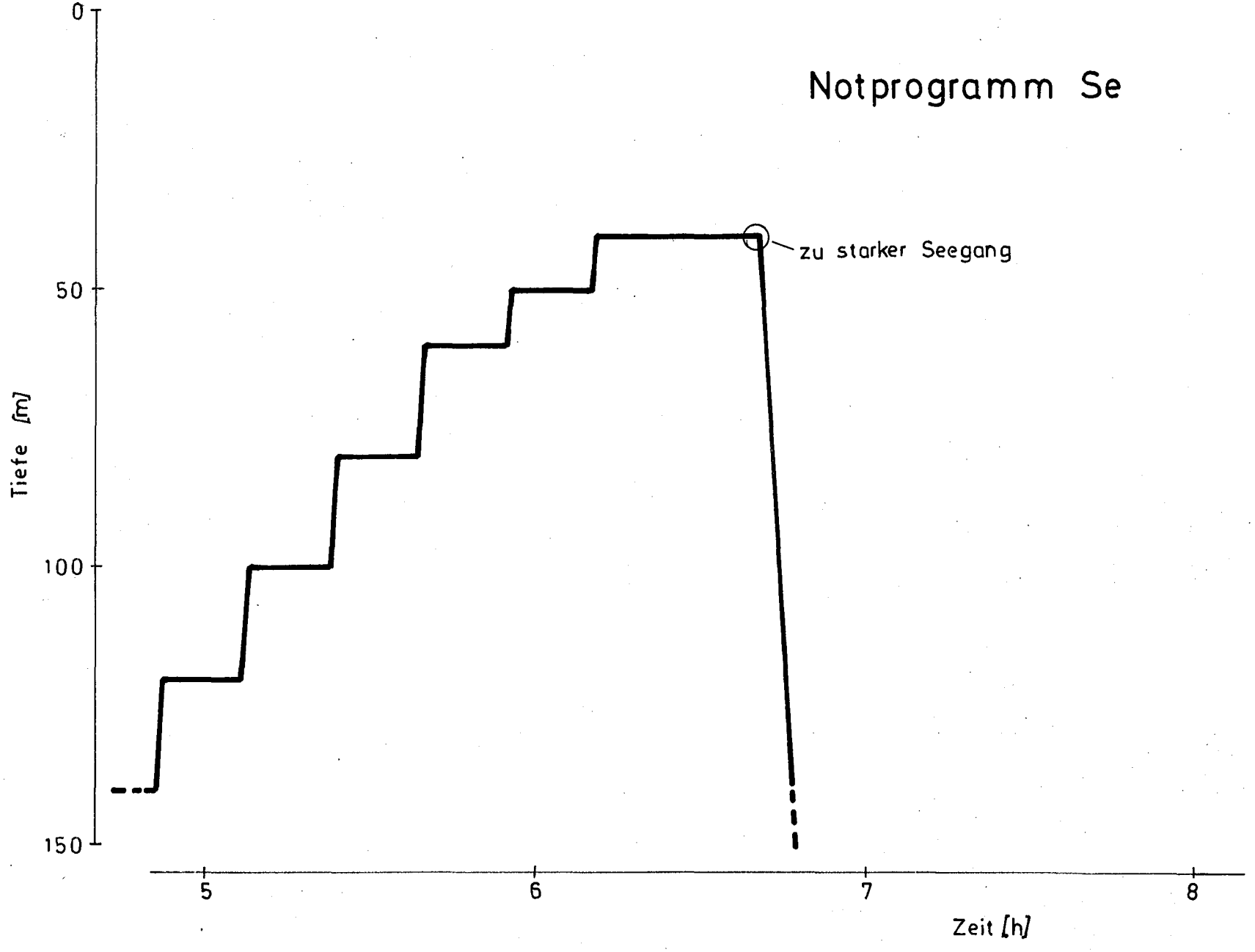

Notprogramm Se
zu starker Seegang
Tiefe [m]
0
50
100
150
5
6
7
8
Zeit [h]

Abb.3.-7

4. SYSTEME OHNE SCHWIMMKÖRPER

(Abschlußbericht A2)

4.1 Spezifikation

4.11 Allgemeines

Im Zwischenbericht B2 ist in Kapitel 6. ein sehr umfangreicher Abriß über denkbare Tauchbojensysteme gegeben worden. Es war volle Absicht, auch die auf den ersten Blick weniger optimalen Konstellationen zu untersuchen, denn nur so war eine verantwortungsbewußte Auswahl möglich, die deutliche Grenzen setzt.

Nach der gründlichen Vorarbeit haben sich einige Systeme als besonders attraktiv herauskristallisiert. Es sei auf die Versionen I, IV, VI und IX verwiesen. Die später angestellten Untersuchungen haben es möglich gemacht, die hervorragenden Merkmale von I, IV und VI zu einem einzigen Operationsprinzip zu kombinieren; dem Aufbau nach dem Baukastenprinzip. Nur auf diese Weise ist es möglich, zu einem akzeptablen Preis neueste Technik zu realisieren, die zur Zeit auch in einschlägiger Literatur nach ihresgleichen sucht. Man darf nüchtern feststellen, daß die in den folgenden Kapiteln dargelegten Erkenntnisse wegweisend in der Meerestechnik sein können.

4.12 Baukastenprinzip

Der Aufbau nach dem Baukastenprinzip schafft handfeste Vorteile, die besonders in dem früheren Stadium der Erprobung, nicht zuletzt aber in der entscheidenden langen Zeit des Einsatzes zum Tragen kommen.

Erprobung:

Vom Entwurf bis zum Bau des Prototyps vergeht eine lange Zeit voller technischer Überraschungen und Schwierigkeiten. Nur der kann sich ausreichend gegen ein Ausufern der Kosten

schützen, der ein überzeugendes Konzept und eine flexible Planung vorweisen kann, die auf die Bedürfnisse der Entwicklung eines Systemes zugeschnitten sind. Flexible Planung bedeutet für die Erprobung:

- Unterteilen des Gesamtsystemes in geschlossene Entwicklungsblöcke, die sich unabhängig von den Schwierigkeiten der anderen qualifizieren können.

- Anbringen der Nahtstellen, an denen sich die einzelnen Blöcke berühren, so daß die Erprobung mit einem einfachen System beginnen kann.

- Die Erprobung eines einfachen Systems gestattet, Erkenntnisse zu sammeln für die Planung der Erprobung des endgültigen Systems.

- Die Erprobung des endgültigen Systems baut strukturell auf dem einfachen System auf, d. h., das endgültige System wird durch hinzufügen von Baueinheiten aus dem einfachen System erzeugt.

- Dimensionierung der Struktur für die maximal Tauchtiefe (z. B. 1.200 m).

Einsatz:

Nach den Vorstellungen über ein fortschrittliches Netz von Meßbojen, die zur Zeit in Deutschland existieren, ist bereits an eine Integration des rein deutschen Netzes in eine internationale Konvention gedacht. Das bedeutet, daß die wissenschaftliche Aufgabenstellung einen Einsatz nicht nur in deutschen Gewässern, z. B. der Deutschen Bucht erfordert. Eine deutliche Zielrichtung ist der Einsatz in der übrigen Nordsee mit größeren Tauchtiefen, höherem Wartungs- und Be-

triebsaufwand und nicht zuletzt einer größeren wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Ausbeute. Ein kleiner Schritt ist nur noch bis zur Erforschung atlantischer Gewässer, die nunmehr nicht nur rein wissenschaftliche Zielsetzung hat, sondern bereits handfeste wirtschaftliche Projektionen anstrebt.

Diese verschiedenartigen Aufgabenstellungen lassen sich durch eine flexible Systemplanung verwirklichen. Das bedeutet für den Einsatz:

- Unterteilen des Gesamtsystems Baugruppen, die sich zu einer Flachwasserversion mit Einsatz in der Deutschen Bucht zusammenfügen lassen.

- Leichte Wartung und systemeigene Flexibilität, die im Versetzen des Einsatzortes zu einem anderen Platz innerhalb der Deutschen Bucht gewährleistet. Dies trägt dem Umstand Rechnung, daß nur eine begrenzte Anzahl Bojen gebaut wird, aber ein relativ großes Seegebiet zu erforschen ist.

- Erweiterung der Flachwasserversion durch Einfügen von Erweiterungssektionen, um das System für den Einsatz im tieferen Wasser umzurüsten. Dies ist eine logische Fortführung des vorgenannten Aspekts der Ortsbeweglichkeit, diesmal in größeren Tiefen z. B. übrige Nordsee.

- Ausbaufähigkeit für tiefste Einsätze in atlantischen Gewässern. Dies erfordert lediglich eine Verlängerung der Fesselung und das Einfügen eines Zwischenauftriebskörpers.

Das Baukastenprinzip ist also durch seine Flexibilität darauf angelegt, eine durchschaubare und logische Linie von

der Erprobung bis hin zum Einsatz zu bieten. Es gibt keine Entwicklung, die zu irgendeinem Zeitpunkt einmal in eine Sackgasse führt.
Der technologische Fortschritt bietet zugleich den Schlüssel, mit vertretbarem Aufwand realisierbar zu sein.

4.1.3 Baugruppen des Tauchbojensystemes

Das Tauchbojensystem baut sich aus 4 Baugruppen auf, von denen einzelne wieder in Sektionen aufgeteilt sind.

1) Tauchkörper
2) Bodengerät
3) Zwischenkörper
4) Fesselung

Die Gliederung der Baugruppen bis hin zu den Sektionen ist ebenfalls nach dem Baukastenprinzip konsequent vollzogen.
In den jeweiligen Abschnitten werden diese einzeln behandelt.
Gesamtaufbau siehe Abb. 4.1.-1.
In Kap. 4.7. sind Systemvorschläge gebracht, wie das Baukastenprinzip sinnvoll angewendet werden kann.

Das Gesamtsystem muß in der Lage sein, die Funktionsprogramme nach Kap. 3 zu erfüllen.

4.1.3.1 Tauchkörper

Der Tauchkörper ist als vollautomatischer aktiver Geräteträger zu konzipieren.
Der Geräteträger muß die Funktionstüchtigkeit folgender wissenschaftlicher Meßeinrichtung gewährleisten:

1. Meteorologische Messungen dicht über Wasseroberfläche
   - 1.1 Lufttemperatur
   - 1.2 Windgeschwindigkeit
   - 1.3 Windrichtung
   - 1.4 Luftdruck

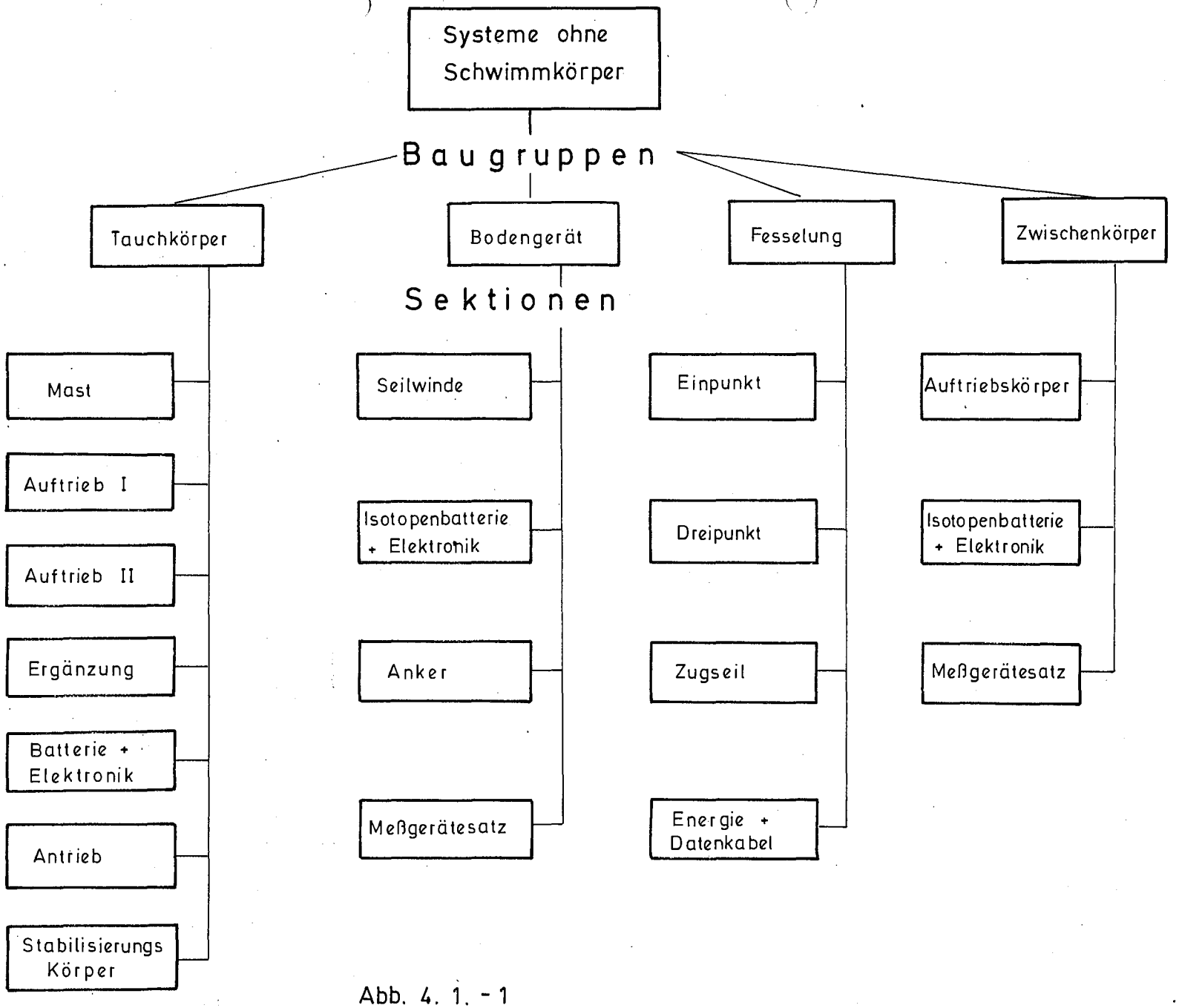


Abb. 4. 1. - 1

Aufbau des Baukastenprinzips der Tauchboje

2. Ozeanographische Messungen in verschiedenen programmierten Wassertiefen:

2.1 Wasserdruck
2.2 Wassertemperatur
2.3 Temperaturgradient
2.4 Strömungsgeschwindigkeit
2.5 Strömungsrichtung
2.6 Salzgehalt (elektr. Leitfähigkeit)
2.7 O_2-Gehalt
2.8 Wellenhöhe (Amplitude)
2.9 Wellenrichtung
2.10 Wellenlänge (Frequenz)

Desweiteren muß der Geräteträger alle Hilfseinrichtungen tragen, die zur Durchführung, der genannten Messungen erforderlich sind. Ebenso muß er Einrichtungen zur Verarbeitung und Speicherung der Meßdaten besitzen.

Der Geräteträger muß in der Lage sein, zu bestimmten programmierten Zeiten die gespeicherten Meßdaten per Telemetrie an eine Sammelstelle abzugeben. Auch müssen Einrichtungen vorhanden sein, über Telemetrie Befehle von einer Befehlszentrale entgegenzunehmen, z. B. zur Änderung des Meßprogramms.

Auch muß der Geräteträger Einrichtungen besitzen, die den automatischen, programmierten Betrieb des Tauchens und Auftauchens durchführen und überwachen sowie Abweichungen korrigieren. In Fällen, in denen ein ordentlicher Ablauf des vollen Programms nicht gewährleistet ist, müssen Notprogramme eingeleitet werden.

Der Geräteträger soll nach dem Baukastenprinzip aufgebaut sein, d.h. seine einzelnen Bestandteile sind so zu konstruieren, daß sie als "Sektionen" austauschbar, leicht wartbar und erweiterungsfähig sind. Verschiedene Einsatzorte, ver-

schiedene max. Tauchtiefen müssen durch geeignetes Weglassen oder Hinzufügen von Sektionen aus einer Grundkonfiguration zu verwirklichen sein.

4.1.3.2 Bodengerät

Das Bodengerät ist als fest verankertes aktives oder passives Untersystem zu konzipieren.

Das Bodengerät muß die Funktion des Tauchkörpers (Geräteträgers) ermöglichen und gewährleisten:

1) Verankerung des Tauchkörpers zur Sicherung gegen Abdriften.

2) Antrieb auf mechanischer Basis für den Tauchkörper im Austausch zum Hydrodynamischen Antrieb.

3) Energieversorgung für Eigenbedarf und Tauchkörper.

4) Geräteträger für ozeanographische Meßeinrichtungen.

Das Bodengerät soll nach dem Baukastenprinzip aufgebaut sein, so daß es aus einer Grundkonfiguration durch geeignetes Zufügen oder Weglassen von Sektionen erweiterungsfähig ist, um die Forderungen 1 ÷ 4 zu erfüllen.

4.1.3.3 Zwischenkörper

Der Zwischenkörper ist als passives Element zu entwerfen, das gestattet, das Tauchbojensystem in größeren Wassertiefen oder bei starker Querströmung einzusetzen. Für sehr große Wassertiefen ist er als Träger der Energieversorgung und gewisser ozeanographischer Meßeinrichtungen zu konzipieren.

Der Zwischenkörper soll einen sehr hohen Auftriebsüberschuß besitzen.

4.1.3.4 Fesselung

Die Fesselung ist als passives Verbindungselement zu konzipieren, die folgende Funktionen erfüllen kann:

1) Sicherung des Tauchkörpers gegen Abdriften.

2) Herstellen einer mechanischen Verbindung vom Tauchkörper zum Zwischenkörper und zum Bodengerät.

3) Übertragung elektrischer Energie vom Bodengerät und/oder Zwischenkörper zum Tauchkörper.

4. Übertragung von Meßdaten und elektrischen Befehlen zwischen Bodengerät, Zwischenkörper und Tauchkörper.

4.1.4 Für alle Untersysteme ist eine wartungsfreie Zeit von 5 Jahren anzustreben.

4.1.5 Der Prototyp des Gesamtsystemes ist als Erprobungsträger für spätere Systeme mit verschiedenen Zielsetzungen im Rahmen des Ozeanographieprogrammes auszulegen.

4.2 Tauchkörper

Der Tauchkörper ist das konstruktive Zentrum des Tauchbojensystemes. Man darf ihn als den eigentlichen Geräteträger bezeichnen, auf dem sich die meteorologischen und ozeanographischen Sensoren befinden. Zugleich sind alle jene Hilfsmittel vorhanden, die zur Durchführung eines Meßprogrammes nötig sind.

Für die verschiedenen Einsatztiefen ist der Tauchkörper konsequent nach dem Baukastenprinzip entworfen. Man kann ihn ausgehend von einer Grundkonfiguration durch Einfügen weiterer Sektionen dem jeweiligen Zweck anpassen.

Die Grundkonfiguration besteht aus den Sektionen:

- Mast
- Auftrieb I
- Batterie und Elektronik
- Antrieb

Die ozeanographischen und meteorologischen Sensoren befinden sich als Baueinheit im Mast. Abb. 4.2.-1 zeigt in einer Explosionsdarstellung die einzelnen Sektionen und ihre Kombinationsmöglichkeit.

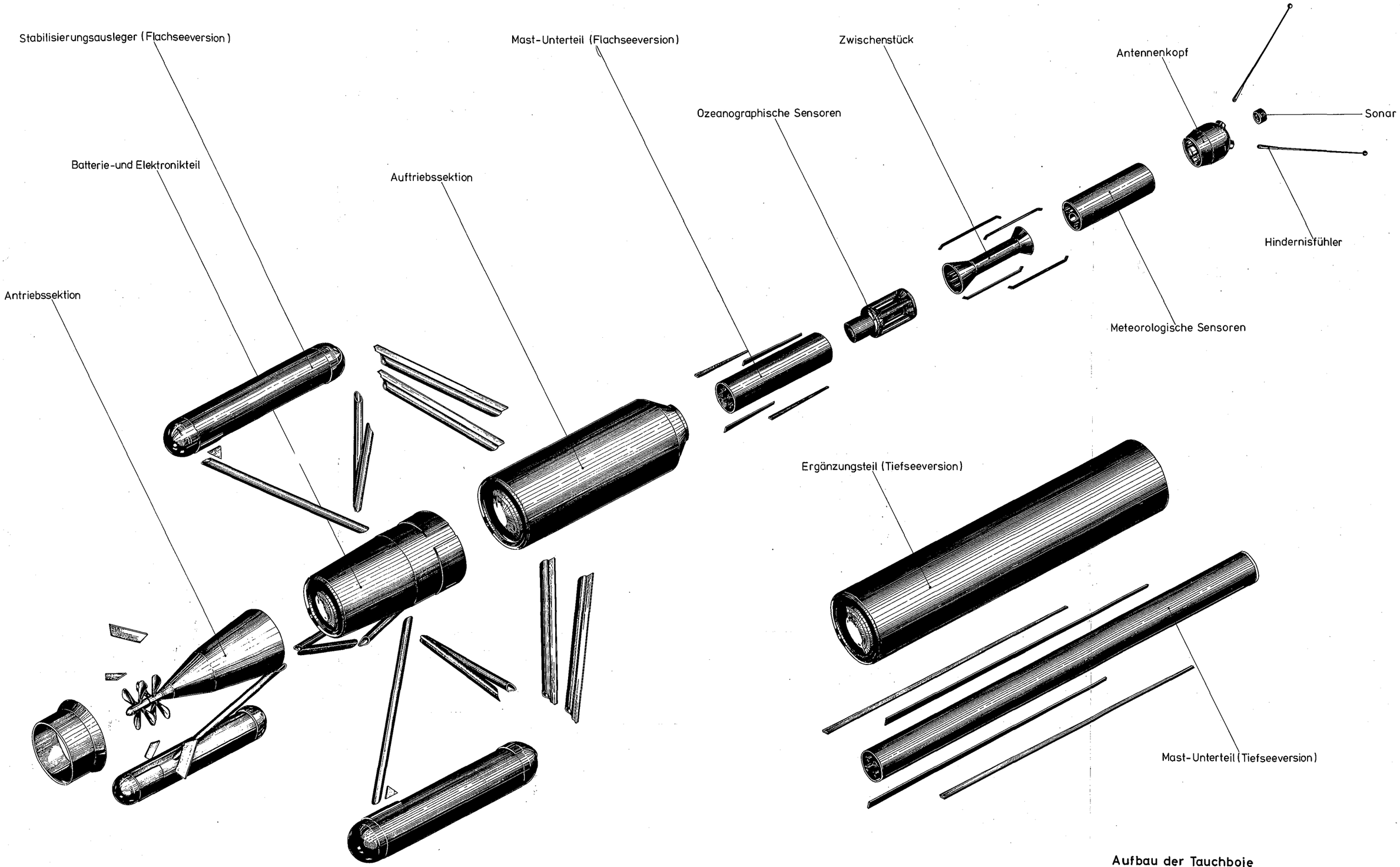
Unabhängig von der Kombinationsmöglichkeit werden die Sektionen einzeln vorgestellt. Es sind vorhanden:

- Mast
- Auftrieb I
- Auftrieb II
- Ergänzung
- Batterie und Elektronik
- Antrieb
- Stabilisierungskörper

Der Entwurf gestattet eine einfache Montage und Demontage (Wartung) an den jeweiligen Trennstellen.

A 2/35

ERNO



Aufbau der Tauchboje
(mit Erweiterungsbauteile)

Beispiel: Bei Ausfall des Antriebs wird der gesamte Antrieb durch Lösen der Schrauben an der Trennstelle "Antriebssektion" entfernt. Die elektrische Verbindung zur Batterie- und Elektroniksektion in Form eines Steckers ist leicht lösbar. Weitere Verbindungen bestehen nicht.

4.2.1 Konfiguration

Hierunter soll der Gesamteindruck des Entwurfs des Tauchkörpers verstanden sein, denn außer der konstruktiven Durchschaubarkeit sind eine Reihe anderer Faktoren von Wichtigkeit.

Anordnung der Meßgeräte

Es ist nicht gleichgültig, an welcher Stelle des Tauchkörpers die Meßgeräte untergebracht sind, die der bestimmende Faktor überhaupt sind. Stellt man die Bedingungen zusammen, die für ein erfolgreiches Arbeiten die Grundlagen ergeben, so sind zu nennen:

a) Anströmen in horizontaler und vertikaler Richtung ohne Behinderung oder Ablenkung durch Einbauten.

b) Vorfinden des ungestörten Tiefenprofils für Temperatur, Salzgehalt, C_2-Gehalt usw. bei Bewegung des Körpers. Das bedeutet: kein Mitschleppen von "Totwasser".

c) Keine Übertragung der Eigenbewegung des Körpers, die vom Meßgerät als Strömung des umgebenden Wassers gedeutet werden könnte.

d) Werkstoffauswahl der Struktur gemäß den Anforderungen der Sensoren zur Vermeidung von Meßfehlern.

e) Gute Zugänglichkeit bei der Wartung

f) Schutz vor willkürlichen Beschädigungen.

Von allen genannten Bedingungen sind die ersten 3 die bei weitem wichtigsten. Sie fordern eine Unterbringung im Mast des Tauchkörpers. Dies gilt per se für die meteorologischen

Sonden, die möglichst weit über der Oberfläche des Wassers sein sollen, wenn der Körper aufgetaucht ist.
Für die ozeanographischen Sonden ist ein Kompromiß zu schließen zwischen allen 6 Bedingungen. Man wird die Sonden ebenfalls im Mast anordnen. Freies Anströmen und ungestörtes Tiefenprofil sind gewährleistet, wenn die Boje aus der tiefsten Stelle des Meßprogramms heraus aufwärts fahrend mißt. So wird die schlanke, strömungsgünstige Gestalt des Kopfes am besten genutzt. Die Übertragung von Eigenbewegungen des Körpers ist wegen der größeren Entfernung zum Schwingungszentrum größer, läßt sich aber durch Stabilisierungsmaßnahmen am Gesamtsystem eliminieren. Die anderen Forderungen, Werkstoffauswahl, Wartbarkeit und Schutz gegen Beschädigungen lassen sich optimal einhalten.

Anordnung der Komponenten

Zwei Gesichtspunkte sind dafür ausschlaggebend:

a) Verteilung der Massen so, daß die Stabilisierung gewährleistet ist.

b) Lage der Trennebenen so, daß das Baukastenprinzip zu verwirklichen ist.

Die Stabilisierung fordert eine tiefe Lage des Gesamtschwerpunktes relativ zum Auftriebszentrum. Das bedeutet, daß schwere Komponenten wie Batterie und Antrieb ganz im unteren Teil liegen müssen, was sich beim hydrodynamischen Antrieb von selbst anbietet. Selbiger muß von den Meßsensoren möglichst weit entfernt sein, damit der Propellerstrahl keine Beeinflussung darstellt (Siehe auch 4.2.3).

Das Baukastenprinzip fordert, die Komponenten sinnvoll in Sektionen einzugliedern. Bei Antrieb und Batterie ergibt sich das von selbst. Man kann die umfangreiche Elektronik gleich mit im Batterieraum unterbringen. Auftriebserzeuger und Flutungsraum bilden ebenfalls eine systematische Einheit und können so als Sektion ausgebildet werden.
Das gleiche gilt für den Mast als Träger von Sensoren und Antenne.

Insgesamt ergibt sich aus den Forderungen ein langes schlankes Gebilde mit Verhältnis von Länge/Durchmesser 6 : 1 bis 10 : 1, den Mast ausgenommen.

Strömungsgünstige Form

Den geringsten Strömungswiderstand unter Wasser hat ein tropfenförmiger Körper. Dies ist aus Gründen der Stabilisierung und Massenverteilung nicht zu verwirklichen.So ist die Konfiguration dem Idealkörper nachempfunden mit einer Reihe von Konzessionen. Der lange,schlanke Bojenkörper hat einen recht günstigen Widerstandsbeiwert, jedoch sollte das Längen/Durchmesserverhältnis von 10 : 1 nicht wesentlich überschritten werden, weil der Widerstand durch Reibung stärker als der Stirnwiderstand ansteigt.

Die genannten 3 Kriterien sind in 2 Konfigurationstypen verwirklicht werden, eine jede optimal dem zu erwartenden Einsatzgebiet angepaßt.

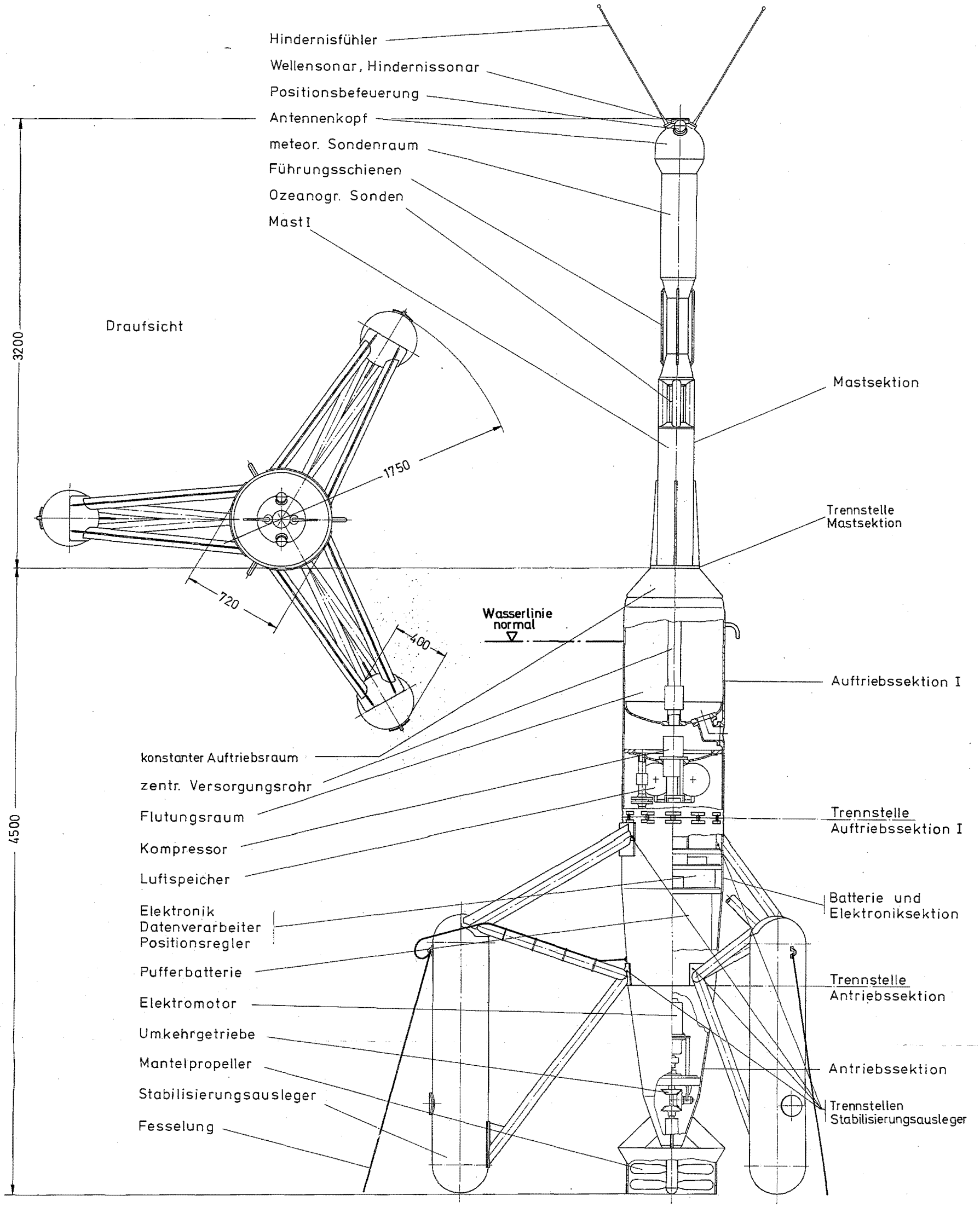
Typ 1: Flachwasserversion

Abb. 4.2.1.-1 zeigt die aus verschiedenen Sektionen zusammengesetzte Flachwasserversion, die sich durch die Stabilisierungsausleger kennzeichnet. Die Ausleger verleihen der Tauchboje Stabilität gegen Kentern, eine Gefahr, die bei der gedrungenen Bauweise besteht.
Im einzelnen besteht diese Version aus den Sektionen:

- Mast I
- Auftrieb I
- Batterie- u. Elektronik
- Antrieb
- Stabilisierungsausleger

Einsatzgebiet: 50 m bis 200 m Wassertiefe
Gesamtgewicht: 2.300 kg.

ERNO



A 2/40

Abb.4.2.1-1 *Tauchboje Flachwasserversion*

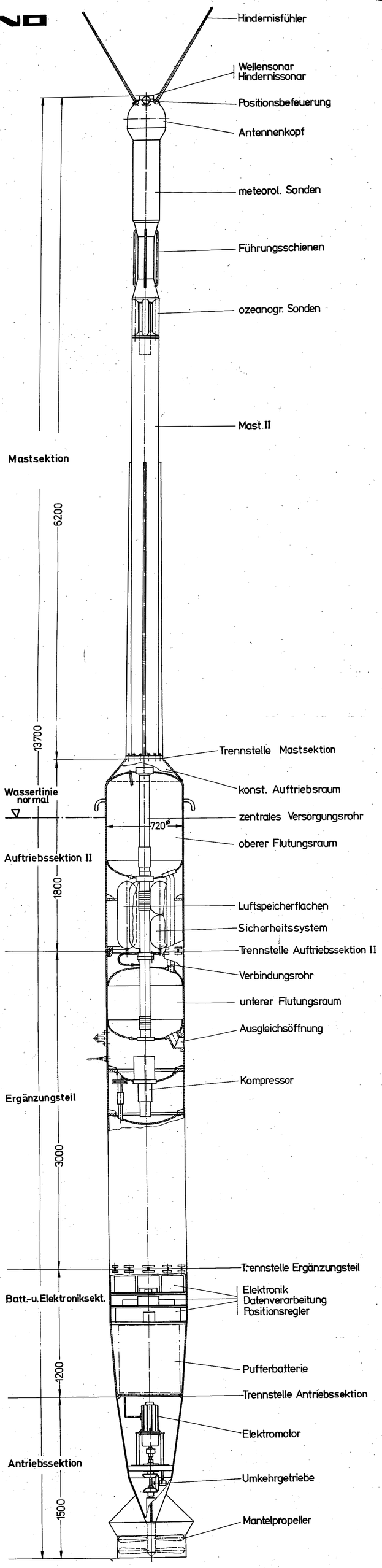


Abb.4.2.1-2 *Tauchboje Tiefwasserversion*

Folgende Komponenten sind im Mast integriert (Siehe Abb. 4.2.1.1.-1).

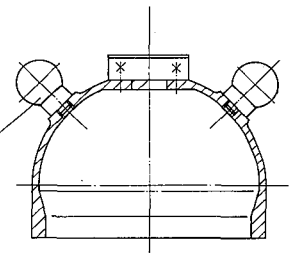
1. Mechanische Hindernisfühler
2. Wellenmeßsonar
3. Hindernissonar
4. Antenne
5. Meteorologische Sonden
6. Ozeanographische Sonden
7. Positionsbefeuerung

Die meteorologischen Sonden befinden sich im oberen Teil, direkt unter dem Antennenkopf, auf dem die Hindernisfühler, die beiden Sonargeräte und die Positionsbefeuerung angebracht sind.
Zur Messung der Daten wird der Zylinder herabgefahren, die meteorologischen Sonden, die sich an Auslegern befinden, werden nach außen geklappt, und wieder eingeholt, sobald die Messungen erledigt sind. Unter Wasser ist der Sondenraum hermetisch verschlossen.
Der Schutzzylinder wird mit einem pneumatischen Kolben auf und abbewegt. Die Dichtung des Zylinders geschieht über 2 Gummiwülste, die bei Erreichen der Schließposition mit Druckluft aufgeblasen werden, so daß kein Wasser mehr ins Innere gelangen kann.

Diese Methode gestattet die Verwendung herkömmlicher Meßgeräte (Löffelrad, Windfahne). Schwierigkeiten tauchen auf, sobald Eisregen oder Eisbesatz das Öffnen des Zylinders behindern, oder was schlimmer ist, das Schließen verhindern. Das stellt eine große Beeinträchtigung des Einsatzes dar. Die Schwiegkeiten lassen sich nur mit ungekapselten meteorologischen Sensoren meistern, die nicht vor Wasser geschützt werden müssen. Die Fa. C. Plath hat Vorschläge unterbreitet, wie ein solches System aussehen müßte. Es zeichnet sich dadurch aus, daß die Meßgeräte nicht nur wasserfest, sondern auch druckfest sind. Das ist bei großen Tauchtiefen besonders wichtig. Abb. 4.2.1.1-2 zeigt diese Modifikation.

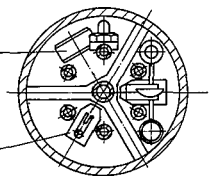
ERNO

Schnitt A-A



Positions-
befeuerung

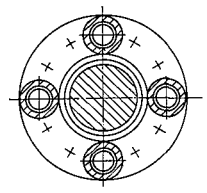
Schnitt B-B

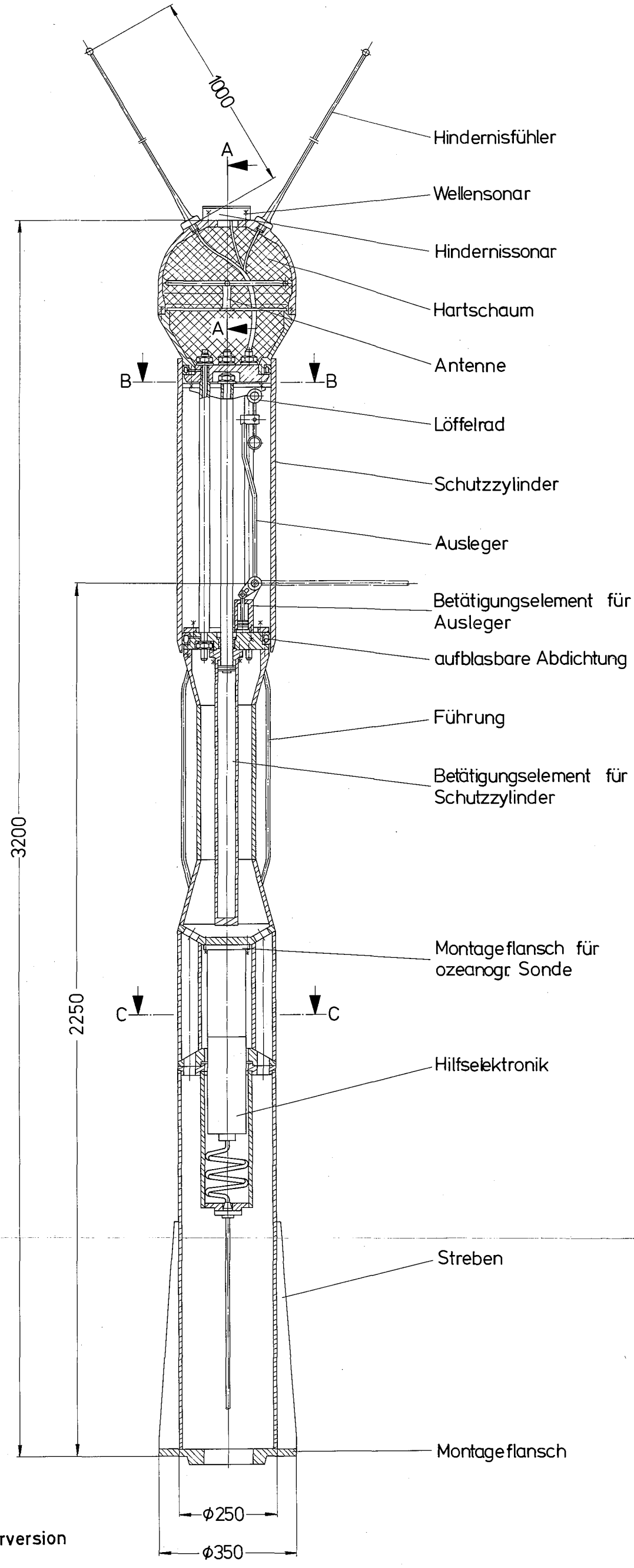


Barometer

Aufnahme für
Windfahne

Schnitt C-C



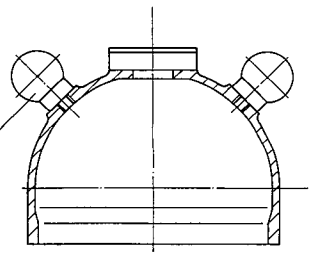


A 2/44

Abb.4.2.1.1.-1 Mastsektion für Flachwasserversion
Schutzzylinder geschlossen

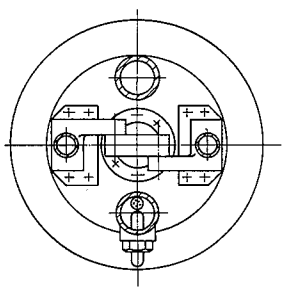
ERNO

Schnitt A-A

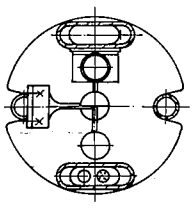


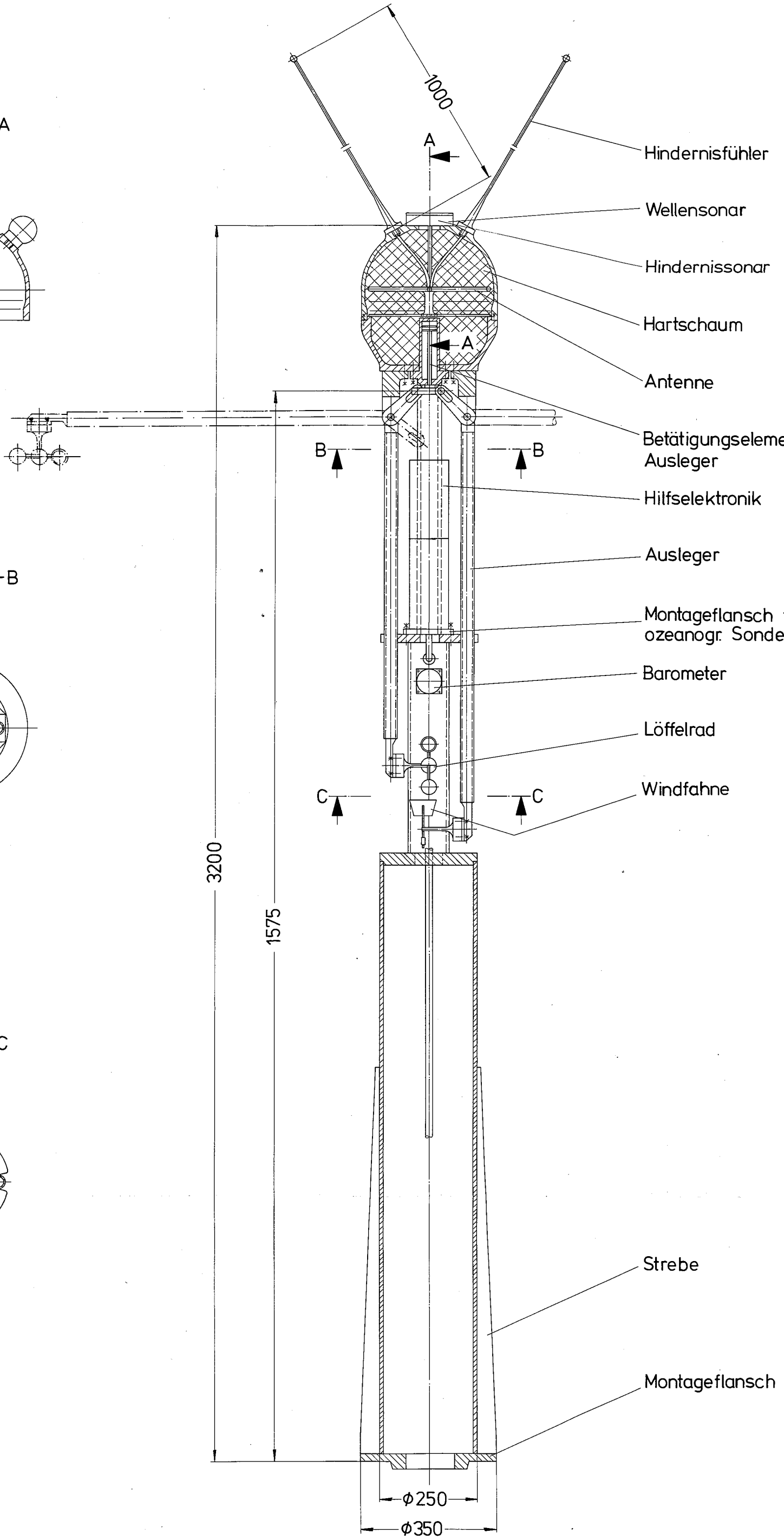
Positions-
befeuerung

Schnitt B-B



Schnitt C-C





A 2/45

Abb. 4.2.1.1.-2 Mastsektion für Flachwasserversion meteorol. Sonden seewasserbeständig und druckfest

Nach wie vor ist die Vereisung der mechanisch bewegten Teile ein großes Problem. Die vorgeschlagene Lösung entschärft alle zur Zeit denkbaren Komplikationen, die zu einem Totalausfall der Geräte führen können. Eine letzte Sicherheit läßt sich erst nach umfangreichen Versuchen erzielen.

Mögliche Gefährdungen sind.

- Blockieren des Löffelrades und der Windfahne durch Vereisung - keine Messung.
  Abhilfe: Bis - 5°C: Elektrische Heizung
  unter -5°C:Einstellen des Betriebs.

  Dies ist sehr, sehr selten zu erwarten, denn die Verweilzeit an der Oberfläche beträgt max. 30 min, so daß die Geräte sich nur langsam von der Unterwasser-Temperatur (> 0°C) auf die niedrigere Umgebungstemperatur abkühlen. Bei Schneestürmen bleibt die Tauchboje sowieso unter Wasser (siehe "Notprogramm" Kap. 3)

- Blockieren der Klappmechanik durch Vereisung - kein Einklappen der Geräte.
  Abhilfe: Nicht nötig, denn beim Untertauchen taut das Eis wieder auf. so daß die Sonden nachträglich einklappen.

Der Mast ist die einzige Sektion, die aus den vorgenannten Gründen für Tiefwasser- und Flachwassereinsatz verschieden lang ist. Sie ist ein Teil mit hohem Wartungsbedarf. Diese auf den ersten Blick nachteilige Aussicht erleichtert jedoch wesentlich die Wartung der Sonden, sowohl der ozeanographischen, als auch der meteorologischen. Sie werden nicht einzeln demontiert sondern stattdessen der Mast als Ganzes an der vorgesehenen Trennstelle auf dem Tauchkörper. Deshalb ist auch die unterschiedliche Länge der Masten für verschiedene Wassertiefen kein Nachteil, da das Versorgungsschiff immer einige Ersatzstücke an Bord hat. Die unterschiedliche Länge der Masten erklärt sich aus den zu erwartenden höheren Wellen im tiefen Wasser.

547

ERNO

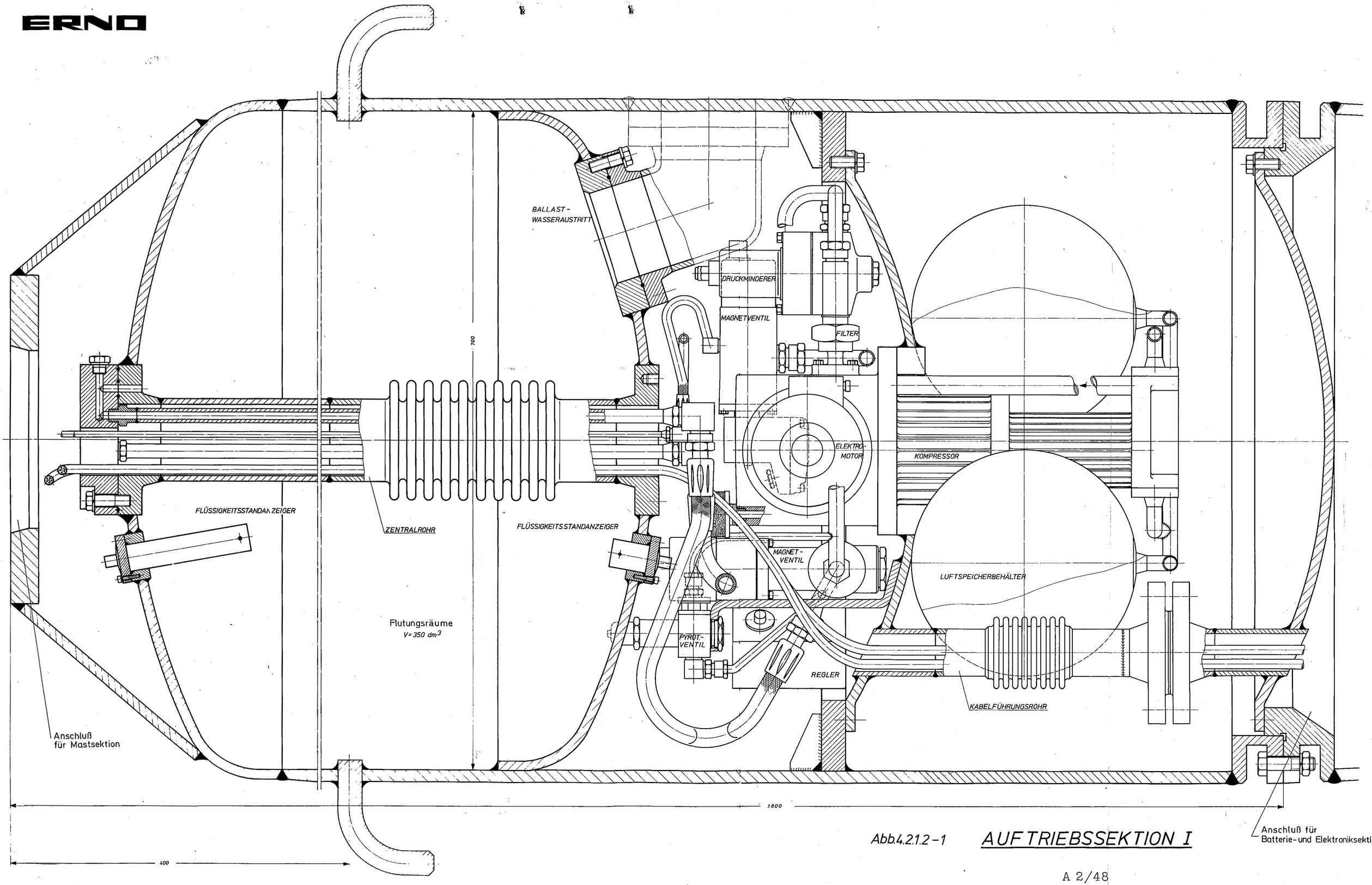


Abb.4.2.1.2-1 **AUFTRIEBSSEKTION I**

ERNO

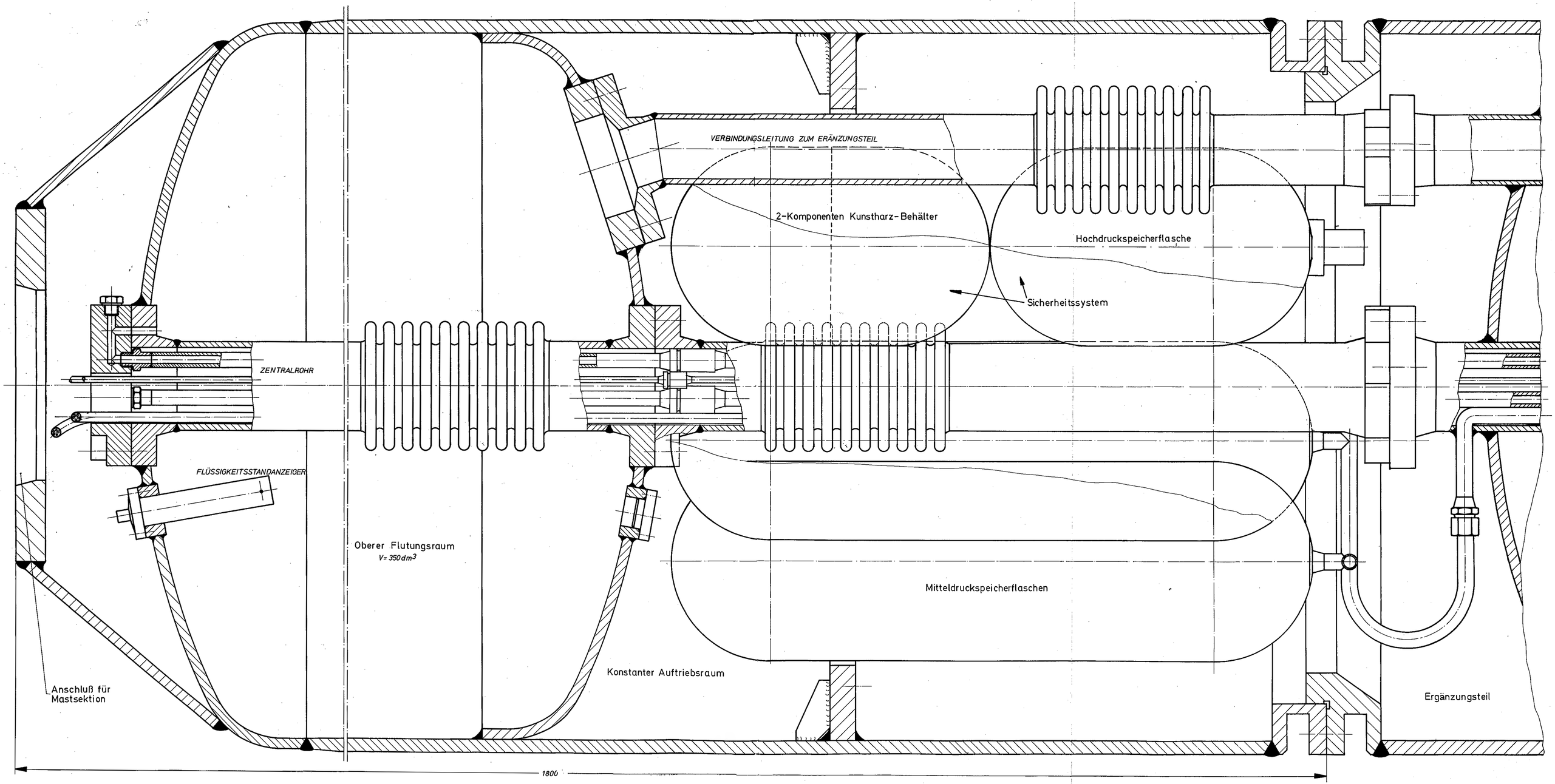


Abb. 4.2.1.2-2 AUFTRIEBSSEKTION II

2. Luftspeicherflaschen 0,080 m^3/ 50 atü
3. Flüssigkeitsanzeiger
4. Reservespeicherflasche 0,010 m^3/200 atü

Der Funktionsablauf ist der gleiche wie für Auftriebssektion I.

Konstruktiv sind die Auftriebssektionen nach folgendem Schema aufgebaut:

Das Zentrum bildet der Flutungsraum (Auftriebsraum). Er ist zylindrisch mit abgerundeten Böden. In der Mittelachse verläuft ein Zentralrohr, das die Ansaugleitung sowie andere pneumatische und elektrische Leitungen umschließt. Das Oberteil der Struktur ist als Aufnehmer für die Mastsektion ausgebildet.

Unter dem Flutungsraum ist ein als Druckkörper entworfener Raum vorhanden, in dem je nach Bedarf kleine Speicherflaschen und der Kompressor oder nur große Speicherflaschen Platz finden (Sektion I oder II). Der Anschluß an die unteren Sektionen geschieht mit Hilfe einer Flanschverbindung. Für Details sei auf die Abb. 4.2.1.2-1 und 4.2.1.2.-2 verwiesen.

4.2.1.3 Ergänzungsteil

Die Tiefwasserversion erhält im Gegensatz zur Flachwasserversion ein Ergänzungsteil, für das dann die Stabilisierungsausleger entfallen. Das Ergänzungsteil ist grundsätzlich im Zusammenhang mit der Auftriebssektion II zu betrachten. Es enthält den Kompressor mit Elektromotor für die Druckluftversorgung, sowie einen weiteren Flutungsraum. Dieser ist notwendig, weil der größere Mast der Tiefwasserversion einen größeren Auftriebsüberschuß im aufgetauchten Zustand fordert.
Die Anordnung der Komponenten entspricht etwa der in Auftriebssektion I.Details sind aus Abb. 4.2.1.3.-1 zu entnehmen.

4.2.1.4 Batterie- und Elektroniksektion

Energieversorgung und Elektronik sind in einer bei beiden

ERNO

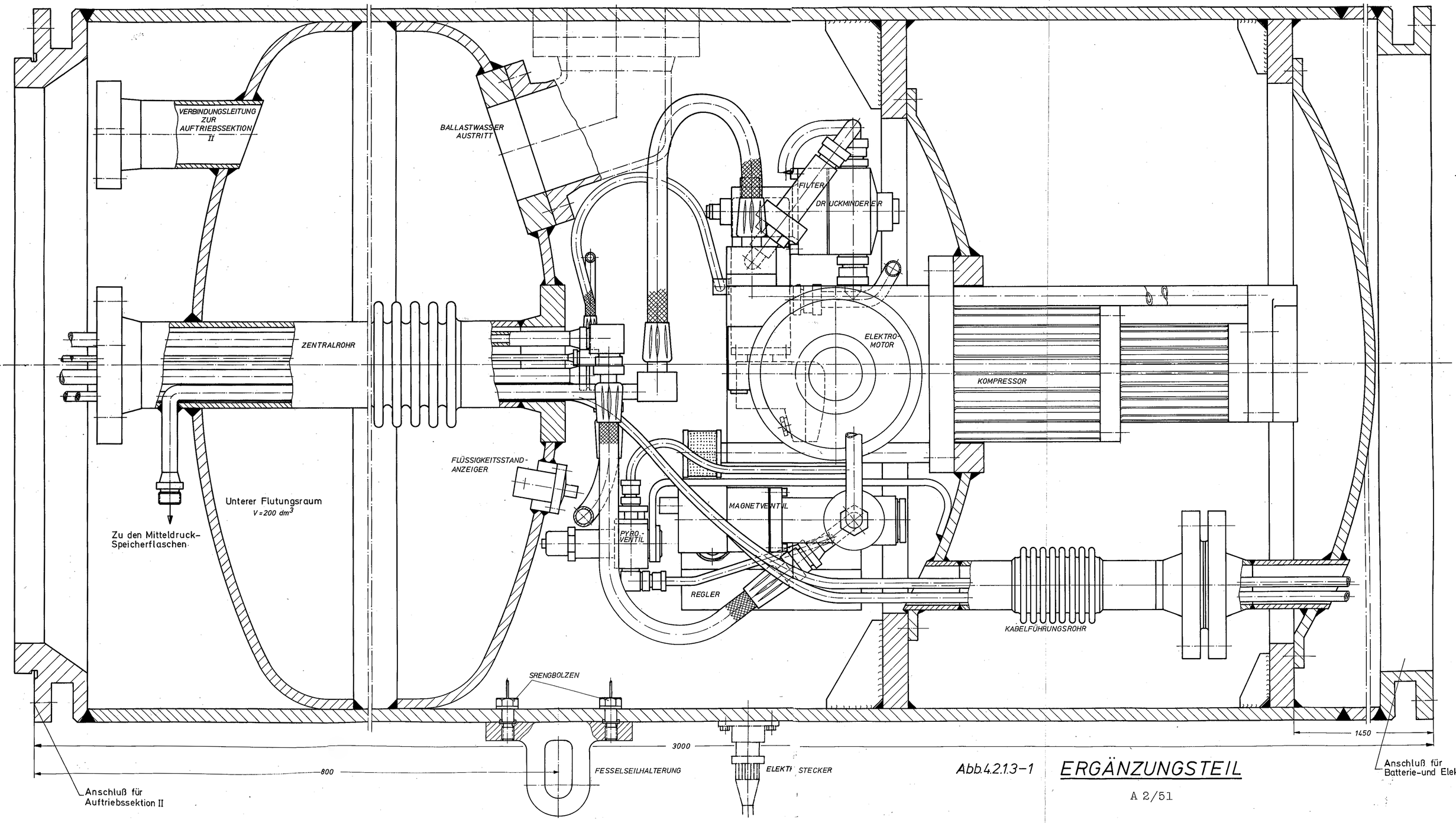


Abb.4.2.1.3-1

ERGÄNZUNGSTEIL

A 2/51

Versionen gleichen Baueinheit gefaßt. Die Energieversorgung ist als Pufferbatterie zu verstehen, die wegen des unregelmäßigen Energiebedarfs zwischen die Primärquelle (Isotopenbatterie) im Bodengerät und die Verbraucher geschaltet ist. Der Raum ist ausreichend bemessen, so daß bei Bedarf eine sehr große Pufferbatterie installiert werden kann. Nach den derzeitigen Unterlagen dürfte eine Kapazität von 200 A h bei 24 Volt ausreichend sein.

Unter Elektronik sollen alle Geräte der Datenerfassung, Datenverarbeitung, Sender und Empfänger sowie Positionsregler verstanden sein.
Die beiden Sektionen für Tiefwasser und Flachwasser unterscheiden sich lediglich durch die Stabilisierungskörper der letzteren. Sie werden einfach an die Bojenmittelstruktur geschraubt. Beide Sektionen sind in Abb. 4.2.1.4.-1 und 4.2.1.4.-2 dargestellt.

4.2.1.5 Antriebssektion

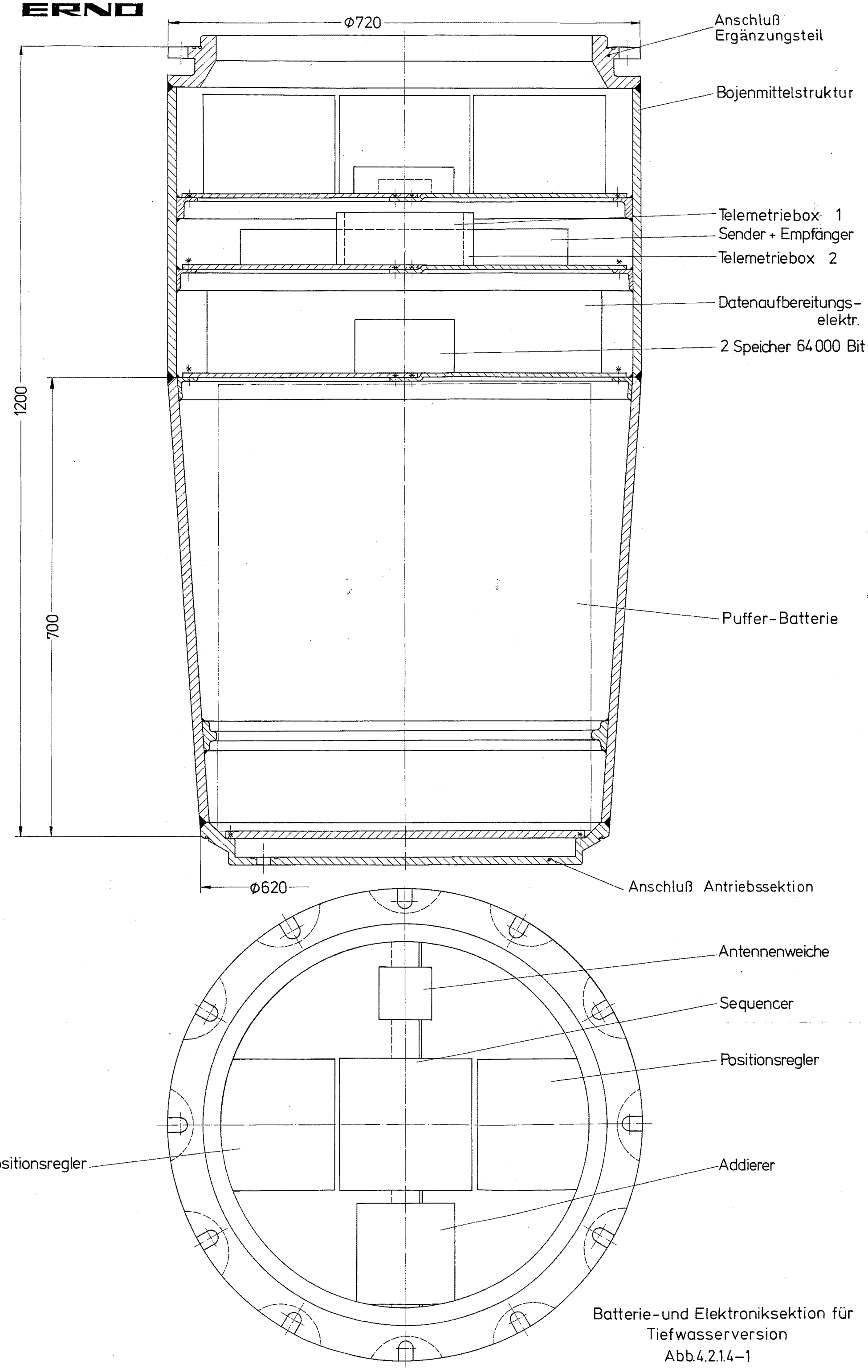
Den unteren Abschluß des Bojenkörpers bildet die Antriebssektion. Sie ist wie alle anderen eine kompakte Einheit. An dieser Stelle soll über den Antrieb nichts weiter gesagt werden, da er im Kapitel 4.2.3 näher besprochen wird. Es genügt, ihn hier als Bauelement vorzustellen. Abb. 4.2.1.5.-1 zeigt den konstruktiven Aufbau.

Eine Variante des Tauchkörpers benutzt nicht das hydrodynamische Prinzip für den Antrieb, sondern eine Winde im Bodengerät. In diesem Fall wird die Hülle aus Abb. 4.2.1.5.-1 ohne Einbauten unter die Batterie- und Elektroniksektion montiert. Gewicht und Schwerpunktlage bleiben identisch.

4.2.1.6 Stabilisierungskörper

Ein wesentliches Kennzeichen der Flachwasserversion sind die Stabilisierungskörper. Sie befinden sich einzeln im Schwebe-

ERNO



A 2/53

Batterie-und Elektroniksektion für Tiefwasserversion

Abb.4.2.1.4-1

ERNO

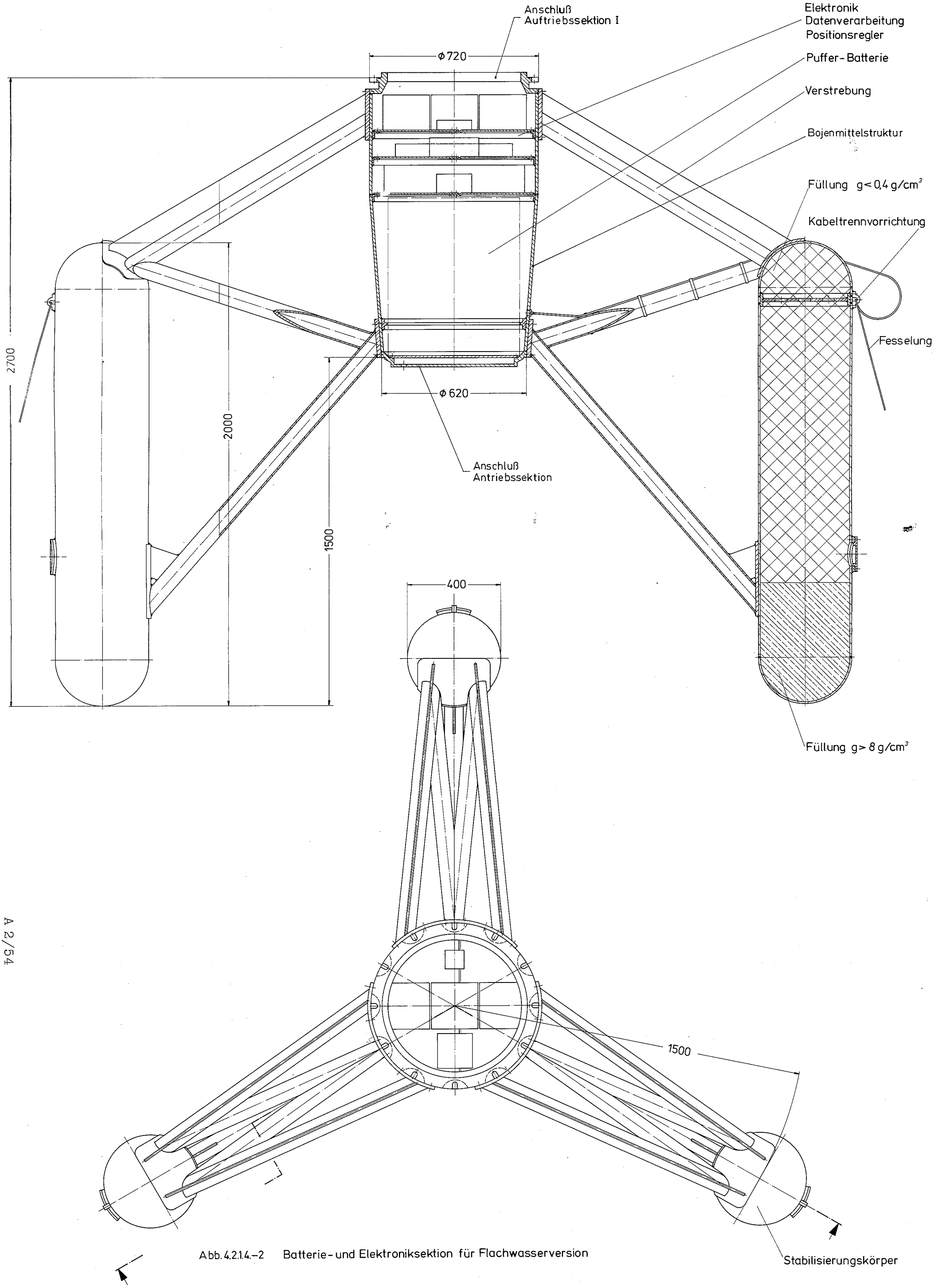


Abb. 4.2.1.4.–2 Batterie- und Elektroniksektion für Flachwasserversion

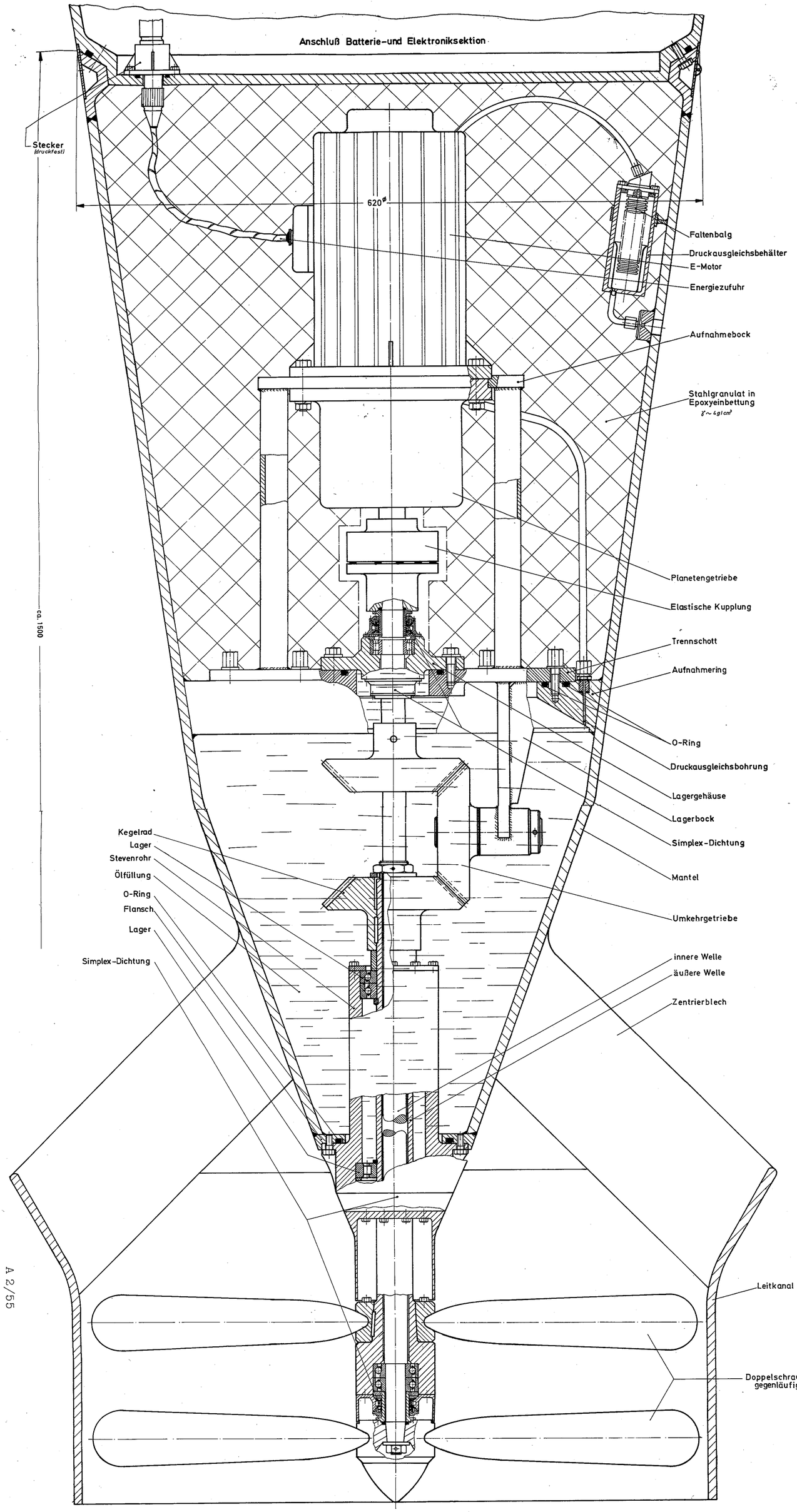


Abb. 4.2.1.5.-1 *Antriebssektion*

zustand unter Wasser ($\gamma^* = 1$). Ihre Massenverteilung im Inneren ist so, daß der Schwerpunkt im unteren Viertel liegt. So ergibt sich in dem Augenblick, da der Körper geneigt wird, ein Rückstellmoment in die Vertikale, gebildet aus dem Gewichtsvektor und der horizontalen Verschiebung des Auftriebsmittelpunktes von der Vertikalen. Da 3 Körper vorhanden sind, unterstützen sie die Stabilität der Tauchboje erheblich.Diese wäre ohne zusätzliche Stabilisierung nicht für einen Einsatz unter Seebedingungen geeignet, weil die eigene Aufrichtcharakteristik wegen der gedrungenen Form zu schwach ist. Die Körper sind an der Batterie—und Elektroniksektion an demontierbaren Auslegern befestigt (Siehe Abb. 4.2.1.4.-2). Alles zusammen trägt nicht wenig zur Gesamtstabilisierung bei, desgleichen erhöht sich die Masse um ca. 6,5 %, was die Eigenfrequenz der Boje zu niedrigen Frequenzen verlagert, die weit unter der mittleren Erregerfrequenz der Wellen in Seegebieten bis 50 m Tiefe liegt.

4.2.2 Leistungsberechnung

4.2.2.1 Allgemeine Grundlagen

Die Berechnung wird dem Beispiel der Flachwasserversion vorgestellt. Die anderen Versionen folgen dem gleichen Schema.

Bei der nachfolgenden Betrachtung wird ein Propeller mit Kortdrüse behandelt. Der Rechnungsgang wurde aus dem Buch "Schiffbautechnisches Handbuch" von W. Henschke entnommen.

Da von einer gegebenen Leistung ausgegangen wird, muß eine voraussichtliche Geschwindigkeit mit der Formel

$$v = \sqrt[3]{\frac{\eta p \cdot Nw}{Ca \cdot \frac{\varrho}{2} \cdot F}} \quad \frac{m}{s}$$

errechnet werden.

ηp wird geschätzt im Bereich 0,50 ÷ 0,75.

Ist die am Ende der folgenden Rechnung ermittelte Leistung gleich der in der obigen Gleichung eingesetzten, so war die Annahme von ηp zumindest nahezu richtig. Bei größerer Abweichung wird eine Nachrechnung erforderlich.

v wird eingesetzt in $\frac{m}{s}$

daraus die Fortschrittsgeschwindigkeit des Systems Düse und Propeller gegenüber dem umgebenden Wasser v_e

$$v_e = v\,(1 - \psi) \quad \frac{m}{s}$$

Die Nachstromziffer $\psi = \frac{v - v_e}{v}$ wird gewählt

nach Angaben von HENSCHKE.

Danach wird der Widerstand der Boje berechnet

$$W = \frac{\varrho}{2}\, v^2 \Sigma cw \cdot F \quad [kp]$$

Der Schubbelastungsgrad ergibt sich aus

$$\xi_s = \frac{W}{\frac{\rho}{2} v_e^2 F_{Prop.}} \quad \text{oder}$$

$$= \frac{S}{\frac{\rho}{2} v_e^2 F_{Prop.}} \quad ./.$$

Gesamtschubbelastungsgrad ξ_{so} ist etwa 2,5 %. kleiner.

mit $\frac{1}{D} = \frac{\text{Länge (Düse)}}{\text{Ø Propeller}}$ als $f(\xi_s)$

erhält aus Diagramm 2.107 (siehe vorher erwähntes Buch) die Sogziffer ϑ_d und den Korrekturwert ξ_{wd}.

Die Lastanteilziffer τ für Düse und Propeller ergibt sich aus

$$\tau = \frac{1}{1 - \vartheta_d} \quad ./.$$

Mit der berichtigten Sogziffer ϑ_s

$$\vartheta_s = \vartheta_d \cdot T \cdot \sqrt{\frac{1 + \xi_{so}}{1 + \tau \cdot \xi_{so}}} \quad ./.$$

wird der Sollschub S^*

$$S^* = \frac{W}{1 - \vartheta_s} \quad kp \quad \text{bestimmt.}$$

Als nächstes wird dann das aus der Propellerstrahltheorie bekannte Zusatzgeschwindigkeitsverhältnis Θ_i ermittelt.

$$\Theta_i = -1 + \sqrt{1 + 0{,}89 \frac{\xi_{so}}{1 - \vartheta_d}} \quad ./.$$

Die Düsennachstromziffer ψ_d wird folgendermaßen bestimmt:

$$\psi_d = \vartheta_d \left(1 + \frac{\Theta_i}{2} \cdot \frac{2 - \vartheta_d}{1 - \vartheta_d}\right) C \quad ./.$$

Der Faktor C ist vom Verhältnis $\frac{1}{Dd}$ abhängig.

Nun bekommt man die Anströmgeschwindigkeit des Propellers vp zu

$$v_p = v_e \cdot (1 - \psi d) \quad \frac{m}{s}$$

Der Propellerschub, der sich infolge der Entlastung des Gesamtschubes S* durch den Düsenschub ergibt, beträgt

$$Sp = S^* \cdot \hat{\tau} \quad kp$$

Nunmehr kann der (abgekürzte) Schubbelastungsgrad Cs des Düsenpropellers gebildet werden:

$$Cs = \frac{Sp}{\rho \cdot v_p^2 \cdot D_{Prop.}^2} \quad ./.$$

Mit $Td = \sqrt{Cs}$

geht man in die systematischen Propellerschaubilder (HENSCHKE) und sucht unter Vorgabe von Blattzahl und Flächenverhältnis den betreffenden Profilwirkungsgrad η_p heraus.

Außerdem erhält man noch den Fortschrittsgrad Λ den Momentenbeiwert k_m und das Steigungsverhältnis H/D.

Die Leistung

$$Nw = \frac{Sp \cdot vp}{\eta_p} \quad \frac{kp\ m}{s}$$

muß unter der gegebenen sein.

Die Drehzahl n ergibt sich aus

$$n = \frac{vp \cdot 60}{\Lambda \cdot D} \qquad \frac{1}{min}$$

Der Standschub aus:

$$So = 0{,}95 \frac{f \cdot M}{D} \quad kp$$

$$M = 716{,}2 \cdot \frac{Nw}{n} \quad kpm \qquad Nw \ \frac{kpm}{s} \qquad n \ \frac{1}{min}$$

Für die vorliegende Bojenversion steht eine Leistung von 560 W entsprechend 57 $\frac{kpm}{s}$ zur Verfügung.

D.h. an der Welle kann mit

$$57 \cdot \eta_{Mot.} = 57 \cdot 0{,}73 = 41{,}6 \ \frac{kpm}{s}$$

gerechnet werden.

Daraus ergeben sich dann mit Hilfe der oben angeführten Rechnung die folgenden Werte für die Weiterrechnung in den Bewegungsgleichungen.

$v = 0{,}72 \ \frac{m}{s}$

$So = 41{,}5 \ kp$

$w = 4{,}74 \ \frac{m}{s}$

$\mathring{m} = 8{,}75 \ \frac{kps}{m}$ (Massendurchsatz)

Die Funktion des Schubes zeigt

$$S = -\mathring{m}v + \mathring{m}w = -8{,}75\,v + 41{,}5 \quad kp$$

4.2.2.2 Bewegungsgleichungen für den Abtauchvorgang

Vorausgesetzt wird, daß das spez. Gewicht der Boje mit dem des Wassers nahezu identisch ist. D.h. das Gewicht fällt als äußere Kraft außer Betracht.

Die Masse der Boje berägt demnach

$$m = 2320 \text{ kg} \;\hat{=}\; 236 \quad \frac{kps^2}{m}$$

4.2.2.2.1 Antriebsphase

$S = f(v)$ (S = Schub)

$W = cw \cdot \frac{\rho}{2} v^2 A$ (W = Widerstand)

nach Newton ist

$$m \frac{dv}{dt} = \sum F = S - W$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m}\left(\dot{m}w - \dot{m}v - cw \cdot \frac{\rho}{2} v^2 A\right)$$

Die Lösung der Differentialgleichung nach der Zeit t heißt:

$$t = \frac{1}{2\sqrt{b^2 - ac}} \ln \left| \frac{\sqrt{b^2 - ac} - b - cv}{b^2 ac + b + cv} \right| + C$$

wobei $a = \frac{\dot{m} \cdot w}{m}$

$b = \frac{\dot{m}}{2m}$ und

$c = -\frac{cw \cdot \frac{\rho}{2} A}{m}$ ist.

Für $t = 0 \longrightarrow v = 0$ wird

$C = -0{,}376$ ./.

d.h:

$$t = 2{,}27 \ln \left| \frac{0{,}2385 + 0{,}276\ v}{0{,}2015 - 0{,}276\ v} \right| - 0{,}376 \quad \text{sec}$$

Mit Hilfe dieser Lösung läßt sich die Funktion v als $f(t)$ ermitteln (Abb. 4.2.2 -1).

Die Funktion $s = f(t)$ findet man durch Integration der Geschwindigkeitsweg - Funktion (Abb. 4.2.2. -3).

Sie lautet:

$$s = \left[\ln \left(D + d \cdot e^{\frac{t}{a}} \right) \right] \cdot \left(\frac{C \cdot a}{d} - \frac{B \cdot a}{D} \right) + B \frac{t}{D} + R$$

Die Variable in dieser Gleichung ist die Zeit t sec
Alle anderen Bezeichnungen sind zusammenfassende Konstanten, auf deren Herkunft hier nicht weiters eingegangen wird.

Als Zahlenwertgleichung sieht sie folgendermaßen aus:

$$s = \left[\ln \left(0{,}234 + 0{,}276\ e^{\frac{t}{2{,}27}} \right) \right] \cdot 3{,}62 - 0{,}863\ t + 2{,}44$$

4.2.2.2.2 Auslaufen der Boje

Dadurch, daß der Propeller ruht, erhöht sich der spez. Widerstand des Rumpfes, d.h.: Es muß eine Nachrechnung der Widerstandsfläche cw. A vorgenommen werden.

Beim Auslaufen der Boje fällt als äußere Kraft die Schubkraft weg.

Somit sieht der Newton'scheAnsatz folgendermaßen aus:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = -W$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{cw \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} v^2}{m}$$

$$K = \frac{cw \cdot A \cdot \frac{\rho}{2}}{m}$$

Die Lösung der Diff.-Gleichung lautet

$$v = \frac{1}{C_1 + 0{,}236t}$$

Für $t = 0 \longrightarrow v = v_\infty$ wird

$C = 0{,}486$ und damit

$$v = \frac{1}{0{,}486 + 0{,}236\ t} \quad \frac{m}{s}$$

Die Funktion $s = f(t)$ erhält man durch weitere Integration:

$$s = \frac{1}{K} \cdot \ln (C_1 + K \cdot t) + C_2$$

$$s = 3{,}06 + \frac{1}{0{,}236} \ln (0{,}486 + 0{,}236t) \quad m$$

4.2.2.3 Zusammensetzung der Bewegungsabläufe des Programms in Diagrammen.

Das Diagramm 4.22 -1 zeigt die Funktion der Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit. Nach rel. kurzer Anfahrzeit erreicht die Boje die Höchstgeschwindigkeit von 0,72 $\frac{m}{s}$. Nach 62 sec kann der Antrieb ausgeschaltet werden und die Boje gleitet ca. 27 sec bis sie auf eine Geschwindigkeit von 0,1 $\frac{m}{s}$ kommt, dabei legt sie noch einen Weg von 6,2 m zurück. Um die Boje zum Stillstand zu bringen (theor. Stillstand nach ∞ Zeit) muß ein Gegenschub ca. 1 - 2 sec. lang aufgebracht werden.

Diagramm 4.2.2. -2

Beim Aufstieg wird im Höheninterwahl von 10 m die Höchstgeschwindigkeit nicht mehr erreicht. Die antriebslose Phase hat nun einen größeren Anteil an der Gesamtbewegung.

Diagramm 4.2.2 -3

Dieses Diagramm zeigt die Tauchtiefe als Funktion der Zeit. Zum Zeitpunkt des Gegenschubs hat die Boje die Nenntiefe von 50 m praktisch erreicht.

Diagramm 4.2.2 -4

In diesem Diagramm wird die Auftauchhöhe als Funktion der Zeit dargestellt. Dieses Diagramm, daß für einen Bereich von 10 m gilt, gilt stellvertretend für alle weiteren gleich langen Auftauchstufen, z.B. von 50 auf 40 und 40 auf 30 usw.

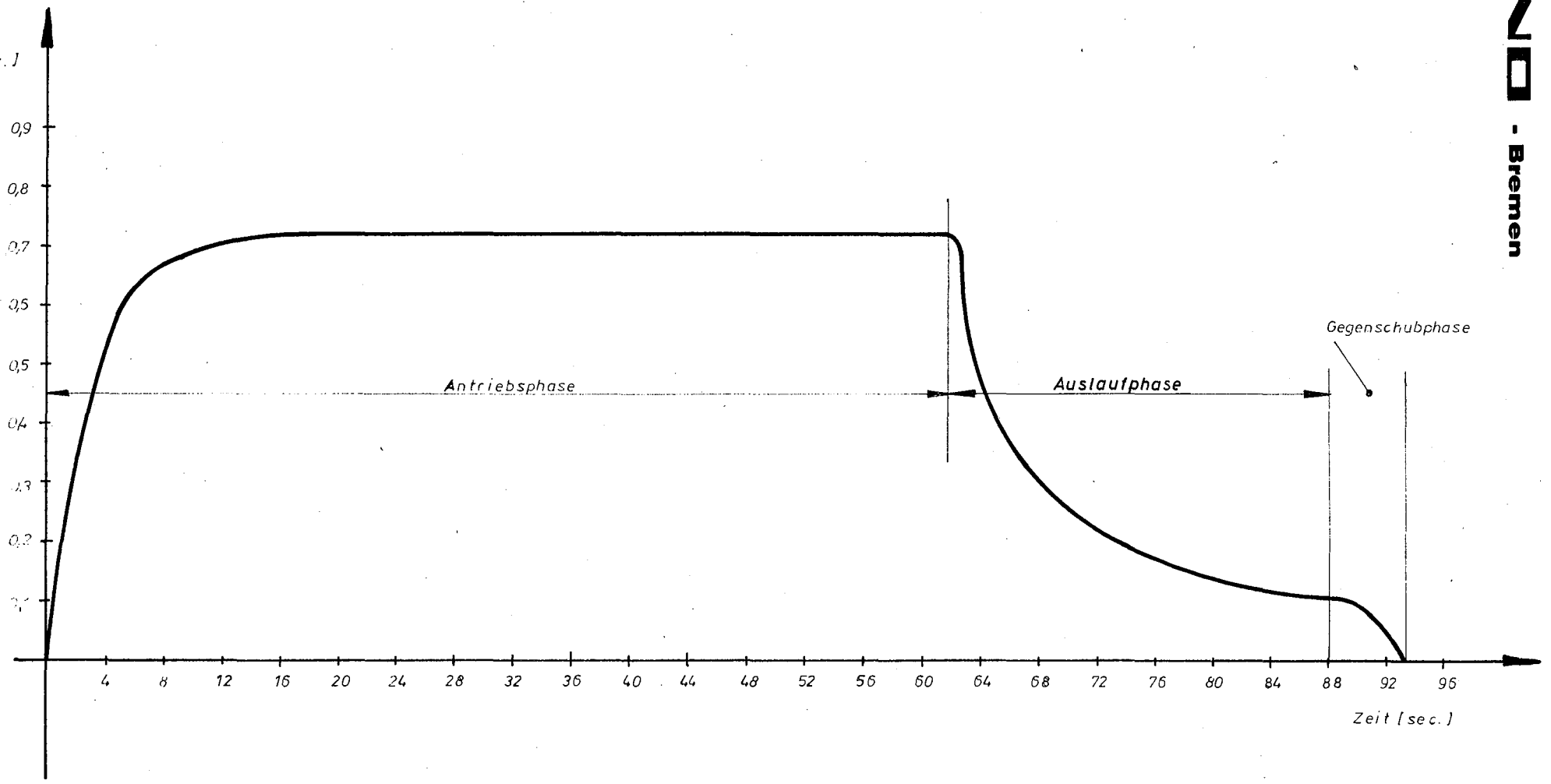


Abb. 4.2.2. –1 Geschwindigkeit als Funktion der Zeit
(im Bereich von 0–50m)

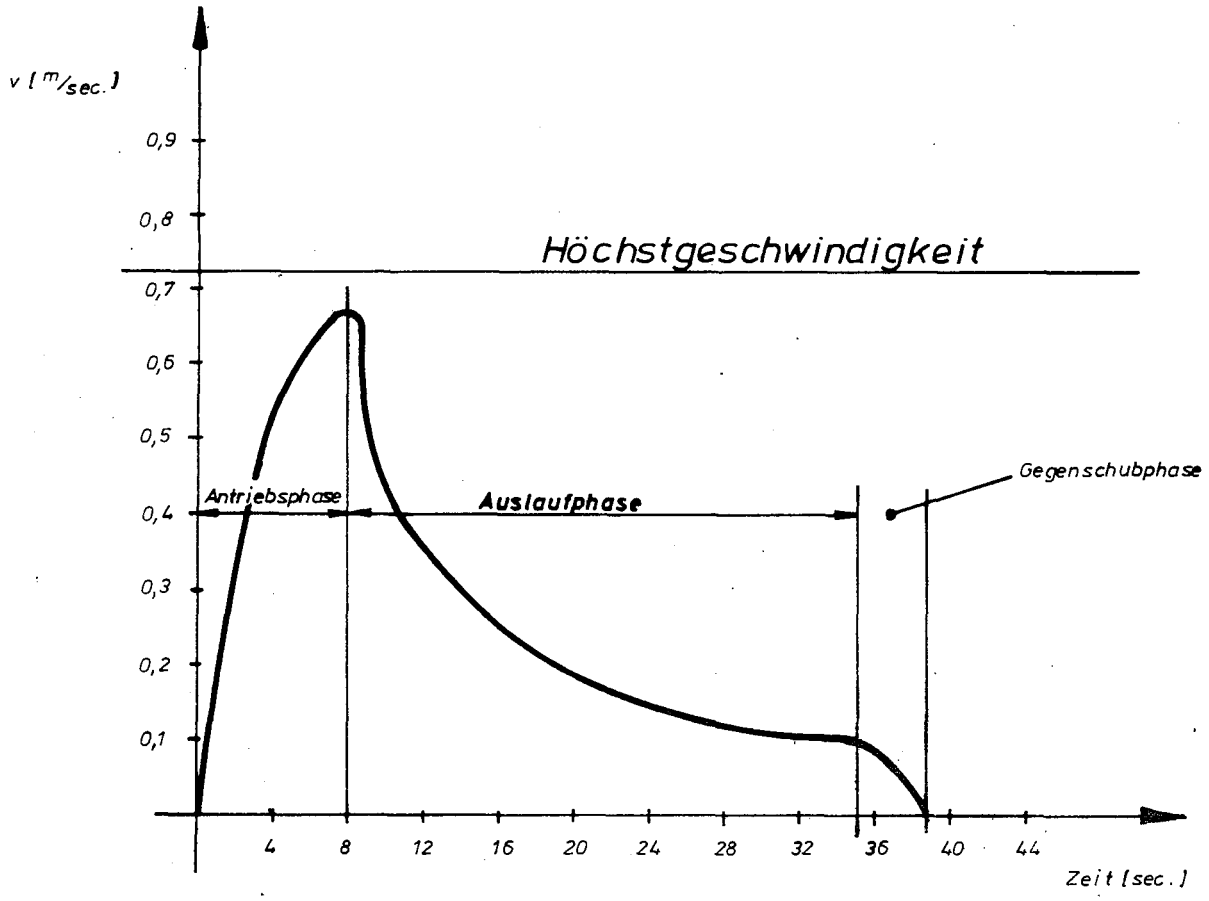


Abb. 4.2.2.-2 Geschwindigkeit als Funktion der Zeit

jeweils im Bereich von 50 - 40m
40 - 30m
30 - 20m
20 - 10m
10 - 0m

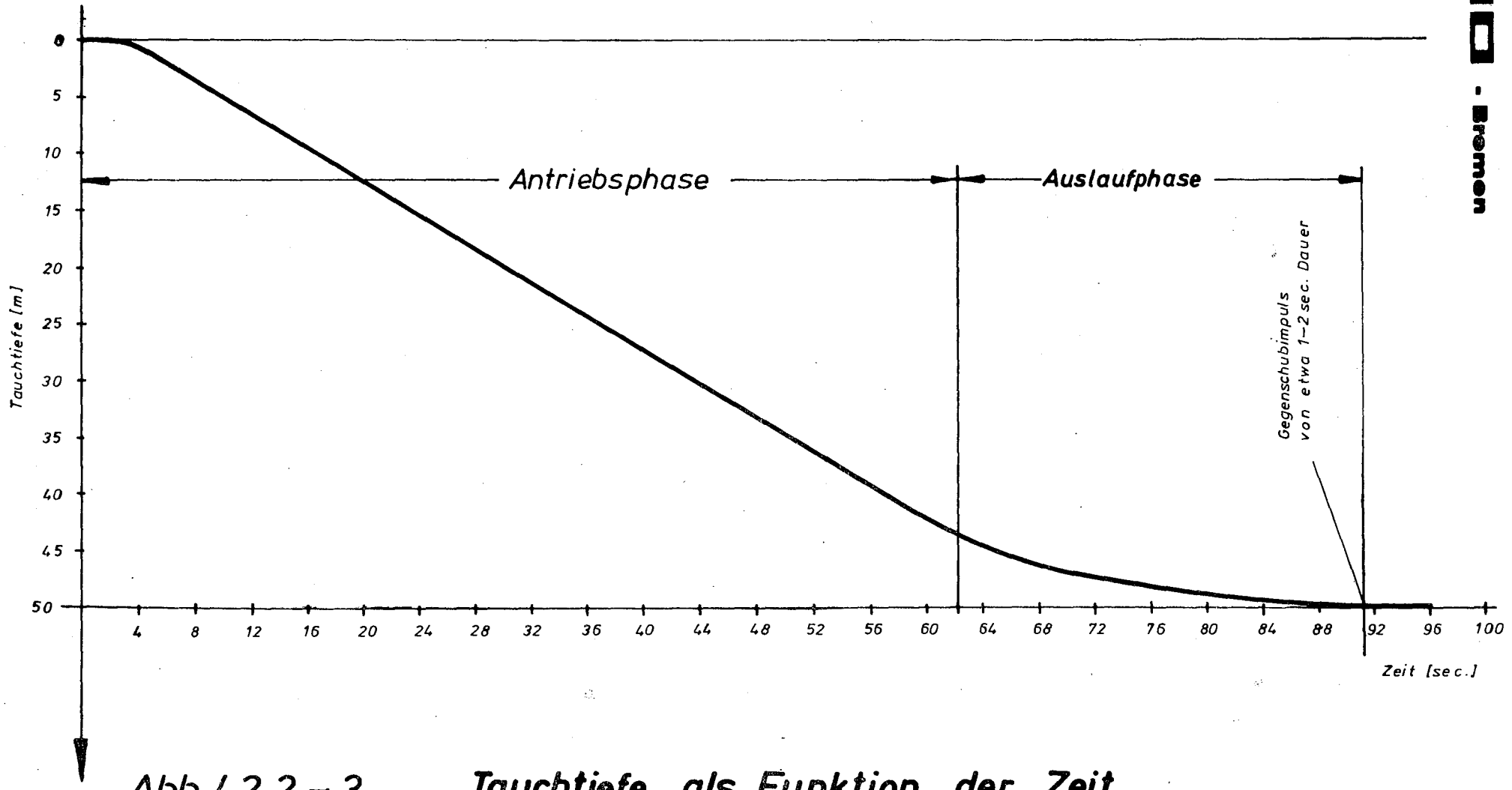


Abb. 4.2.2.–3 **Tauchtiefe als Funktion der Zeit**
(im Bereich von 0 - 50 m)

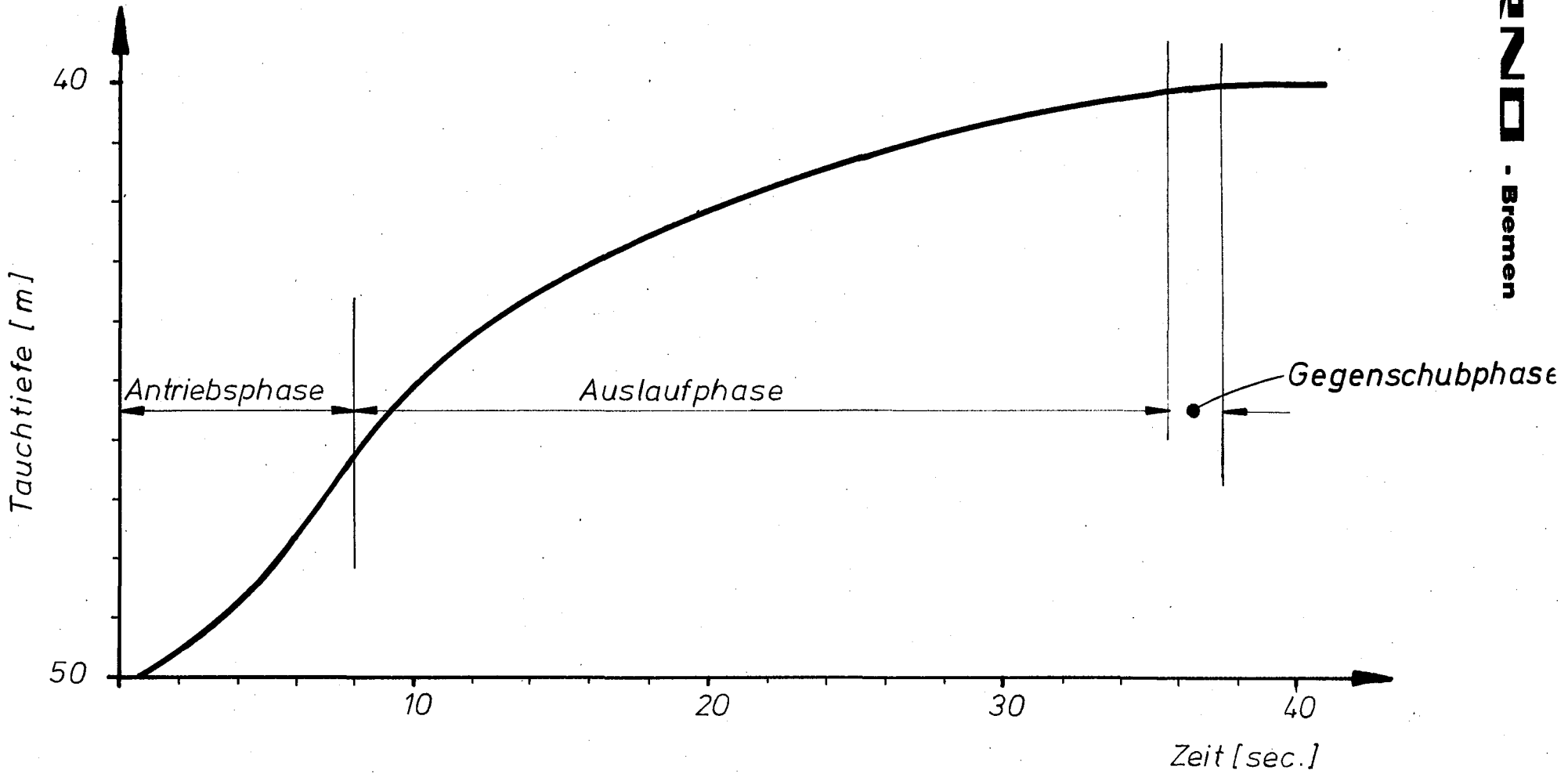


Abb.4.2.2.-4 **Auftauchvorgang im Bereich von 10 m Tiefendifferenz**

4.2.3 Hydrodynamischer Antrieb

Die Tauchboje verwendet das hydrodynamische Prinzip des Propellers zur Vortriebserzeugung. Dieser Art wurde der Vorzug gegeben gegenüber dem rein hydrostatischen Prinzip, dieses dient lediglich der Unterstützung des Antriebes (Siehe Kap. 4.2.4).

4.2.3.1 Die Auslegung beeinflussende Faktoren

Der Antrieb hat die Aufgabe, den Tauchkörper entsprechend dem Tauchprogramm auf- und abwärts zu bewegen. Nach dem hydrodynamischen Prinzip erfolgt dies durch Beschleunigung einer Masse, in diesem Fall Wasser. Dabei ist folgendes zu beachten:

1. Drallfreier Austritt des Wassers
   Dies ist erforderlich, damit der Tauchkörper selbst nicht in Rotation versetzt wird. Das bedingt zwei gegenläufige Propeller.

2. Geringe Strahlgeschwindigkeit
   Trotz der relativ großen Entfernung der ozeanographischen Meßgeräte muß vermieden werden, daß vom Antrieb beschleunigtes Wasser an die Sensoren gelangt und eine andere Zusammensetzung der tatsächlichen Umgebung vortäuscht. Das erfordert nicht nur eine geringe Strahlgeschwindigkeit, sondern eine Plazierung der Sensoren auf der Saugseite. Bei einer gegebenen Konfiguration muß also beginnend mit größerer Tiefe aufwärtsfahrend gemessen werden.
   Bremsaktionen mit Strahlumkehr sind auf ein Minimum zu reduzieren. Die Forderungen bedingen einen großen Propellerdurchmesser und geringe Drehzahlen.

3. Guter Wirkungsgrad
   Zur Energieersparnis ist ein optimaler Wirkungsgrad angestrebt. Hier ist ein Kompromis zuschließen, zwischen Vorwärts- und Rückwärtsbetrieb, da ein Propeller nur in einer Richtung optimal arbeitet. Die günstige geringe

Strahlgeschwindigkeit bedingt indes einen Abfall des hohen Standschubs, wenn die Geschwindigkeit steigt.

4. Wartungsarmut
   Alle Teile müssen so dimensioniert sein, daß sie wartungsfrei über 5 Jahre arbeiten. Kritische Elemente: Lager, Dichtungen, Kollektor des Elektromotors.
   Abhilfe: Druckausgleich des Antriebs gegen den Außendruck durch Ölfüllung, auch des Motors.

5. Kontruktion als selbständige Sektion

6. Standschub 30 bis 35 kp

7. Bruttoleistung bis 500 W

8. Stromart: Gleichstrom 24 ÷ 48 Volt.

4.2.3.2 Aufbau und Wirkungweise des Antriebs

Zum Ausgleich des Drehmoments (Drall) finden zwei gegenläufige Propeller Anwendung (siehe im Zwischenbericht B2, Abschn. 7.1.3). Zur Vergrößerung des Wirkungsgrades werden die Propeller mit einem Mantel umgeben. Dies erhöht gleichzeitig die Sicherheit, daß sich das Führungsseil nicht im Propeller verfangen kann.

Der Antrieb ist als kompakte Baueinheit konstruiert. Er besteht aus Motorteil, Umkehrgetriebe und Propellersektion. Besondere Sorgfalt muß auf die Dimensionierung der Dichtelemente verwendet werden. Dabei liegt das Schwergewicht auf der Abdichtung der Propellersektion gegen das Seewasser. Zu diesem Zweck sind die vielfach bewährten "Simplex"-Dichtungen eingebaut. Sie bilden ein sehr zuverlässiges und über lange Zeiträume wartungsfreies Konstruktionselement.

Abb. 4.2.1.5.-1 zeigt den konstruktiven Aufbau des Antriebs. Als Krafterzeuger dient ein Niederspannung-Gleichstrommotor mit Druckkapselung und 400 Watt Wellenleistung. Ein angeflanschtes Planetengetriebe reduziert die Motordrehzahl von 3 000 U/min auf ca. 300 U/min der Propellerwelle.

Das Drehmoment wird über eine elastische Kupplung in das Umkehrgetriebe eingeleitet. Radiale Kräfte werden von einem Zylinderrollenlager aufgenommen, das in einem sog. Trennschott zentrierbar befestigt ist. Das Trennschott ist der Montageträger für den Aufnahmebock des Motors. Selbiger ist erforderlich, um Platz zu schaffen für die elastische Kupplung, so daß der Motor etwas weiter nach oben rückt.

Zugleich ist am Trennschott das Zwischenrad des Umkehrgetriebes befestigt. Auf diese Weise ist eine sehr einfache Montage bzw. Demontage von Motor, Kupplung und Getriebe gewährleistet. Ein Aufnahmering in der Außenwand stellt die Verbindung von Trennschott zum Tauchkörpergehäuse her.

Der Getrieberaum ist durch Trennschott, Aufnahmering und Simplexdichtung hermetisch gegen das übrige Innere des Tauchkörpers abgeschlossen. Dies ist die Voraussetzung für ein einwandfreies Funktionieren der Dichtungen, besonders für große Tauchtiefen.

Die Umkehr des Drehsinns für den gegenläufigen Propeller erfolgt im Umkehrgetriebe über 3 Kegelräder.

Die vom Motor kommende Hauptwelle trägt ein Kegelrad, in das ein Zwischenkegelrad eingreift. Die Drehachsen sind um 90° gegeneinander verdreht, so daß ein 3. Kegelrad, daß auf einer zur Hauptwelle koachsialen Welle läuft, nunmehr den gegengerichteten Drehsinn erzeugt. Es findet keine Drehmomentänderung statt.

Die äußere Welle ist im Stevenrohr mit einem Doppelkugellager gelagert. Dies bildet den Festpunkt der Gesamtwellenlagerung und überträgt die Schubkräfte beider Propeller auf das Stevenrohr und damit in den Tauchkörper.

Das Loslager der äußeren Welle ist ein einfaches Zylinderrollenlager, das nur Radialkräfte überträgt. Die Abdichtung gegen das Gehäuse erfolgt wiederum mit einer "Simplex"-Dichtung.

Die durchgehende innere Welle ist an ihrem unteren Ende mit einem Doppelkugellager in der äußeren Welle gelagert. Es überträgt die Schubkräfte des unteren Propellers und bildet das Festlager der inneren Welle. Die Abdichtung gegen die gegensinnig rotierende äußere Welle wird mit einer "Simplex"-Dichtung erreicht.

Die beschriebene Ausführung der Konstruktion des Antriebs gestattet eine einfache und übersichtliche Montage. Der Ablauf ist folgender:

I. Vormontage außerhalb des Tauchkörpers

1. Montage der Propeller auf die Wellen
2. Einbau der Kugel- und Rollenlager in Wellen und Stevenrohr
3. Einbau der unteren Dichtungen
4. Einschieben der inneren Welle in die äußere
5. Einbau der äußeren Welle (mit innerer) in das Stevenrohr

II. Montage innerhalb des Tauchkörpers

1. Einbau des fertig montierten Stevenrohrs in das Gehäuse
2. Montage des unteren Kegelrades auf die äußere Welle
3. Montage des Umlaufkegelrades auf das Trennschott
4. Einfügen von Trennschott und oberem Kegelrad. Zentrieren und Ausrichten der Kegelräder wurde auf einer Vorrichtung vorgenommen.
5. Montage des oberen Lagerbocks mit Zylinderrollenlager und "Simplex"-Dichtung. Zentrierung mit vorher bestimmten Markierungen.
6. Aufbringen der elastischen Kupplung
7. Einbau des Motors mit Aufnahmebock und Planetengetriebe
8. Einbringen der Ölfüllung
9. Aufsetzen des Mantelteils mit Druckausgleichsbehälter.

4.2.3.3 Druckentlastung der Dichtelemente

Für Tauchtiefen über 200 m reicht die Qualität der Dichtelemente nicht mehr aus, über längere Zeiträume Wartungsfreiheit zu garantieren. Der Unterschied zwischen dem Innendruck und dem umgebenden Wasserdurck wird zu groß. Besonders kritisch ist dies bei den unteren Dichtungen, die gegen das Seewasser arbeiten. Hier führen die hohen Anpreßkräfte zu starkem Verschleiß. (Annahme: Innendruck ca. 0.5 atü, Außendruck 120 atü). Die oberen Dichtungen sind weniger gefährdet, weil sie gegen Luft arbeiten und immer genügend schmierfähiges Öl zu Verfügung steht.
Abhilfe läßt sich schaffen durch Einfügen eines Druckausgleichsbehälters im Motorraum, der durch eine dünne Rohrleitung mit dem Getrieberaum verbunden ist. Es ist nötig, den gesamten Getrieberaum mit Öl zu füllen. Dies bedingt eine besonders sorgfältige Konstruktion der Kegelräder, damit das "Quetschöl" zwischen den Zähnen keinen Schaden stiftet.
Der Ausgleichsbehälter enthält eine Faltenbalg aus Cr-Ni-Stahl und überträgt den Außendruck abzüglich einer Federvorspannung auf die Ölfüllung. Damit sind die unteren Dichtungen entlastet und die besser arbeitenden oberen Dichtungen übernehmen einen Teil des Druckunterschieds zum Motorraum. Ölverluste durch Leck gleichen sich automatisch aus, weil der Ausgleichsbehälter ausreichend dimensioniert ist.

Fortschritte in der Entwicklung von Elektromotoren gestatten auch eine Füllung des Motors mit Öl, wobei Kollektor und Bürsten sogar zu größerer Lebensdauer als in Luft kommen. Bei dieser vollständigen Füllung aller Räume arbeiten alle Dichtungen nur gegen einen geringen Außendruck von ca. 0.5 ÷ 1 atü, so daß einer hohen Lebensdauer nichts mehr im Wege steht.

4.2.4 Hydrostatischer Antrieb

4.2.4.1 Allgemeines

Im Zwischenbericht B2 wurden unter Kapitel 7.1.2. die verschiedenen Möglichkeiten des hydrostatischen Prinzips, die in einer Tauchboje zur Anwendung kommen können, untersucht und gegeneinander abgewogen. Dabei hat sich erwiesen, daß das pneumatische Verfahren (luftansaugender Kompressor plus Speicherflaschen) dem hydraulischen Verfahren (wasseraussaugende Pumpe plus Rollmembran) und dem chemischen Verfahren (Zersetzung von Hydrazin oder Wasserstoffperoxyd) überlegen ist. Es wird also den folgenden Betrachtungen zugrunde gelegt.

4.2.4.2 Aufgaben des hydrostatischen Antriebs

Die Bezeichnung "Antrieb" kann in diesem Zusammenhang irreführend sein. Zweifelsohne läßt sich mit dem hydrostatischen Prinzip ein Antrieb konstruieren, der einen Körper in Bewegung setzt. (Archimedisches Prinzip - Auftriebsänderung) Das ist hier indes nicht gemeint. In Kapitel 7.1.4 des Zwischenberichtes B2 ist ein sog. kombinierter Antrieb vorgestellt worden, in dem der hydrostatische Antrieb seinen Platz hat. Ausgangspunkt ist ein Auftrieb - Gewicht - ausgeglichener Tauchkörper ($\gamma = 1$).

a) Ein Tauchbojensystem wird fast ausnahmslos im bewegten Wasser eingesetzt. Horizontale Strömungen greifen am Tauchkörper an, und wegen der geometrischen Zuordnung von Bodengerät, Fesselung und Tauchkörper erzeugt der horizontale Strömungswiderstand einen vertikal gerichteten Kraftvektor, der dem Körper eine Sinkbeschleunigung erteilt. Bis zu einem bestimmten Wert läßt sich das Sinken durch den Propellerschub

kompensieren, für große Sinkkräfte und über längere Zeit ist das entweder nicht ausreichend oder wegen des schlechten Wirkungsgrades eines dynamischen Antriebs außerordentlich unrationell. Am einfachsten läßt sich die Sinkkraft durch eine archimedische Auftriebskraft kompensieren, die durch Verdrängen von Wasser aus dem Flutungsbehälter erzeugt wird. Ein Regelmechanismus sorgt dafür, daß Sinkkraft und Auftriebskraft sich gegenseitig kompensieren, so daß kein resultierender Vektor übrig bleibt.

- Unterstützung des hydrodynamischen Antriebs zum Ausgleich der durch die Fesselgeometrie bedingten Sinkkräfte. Die geometrischen Verhältnisse sind so, daß nur Sinkkräfte und keine Steigkräfte erzeugt werden.

b) Eine spezifische Eigenschaft der Tauchboje ist das Auftauchen aus dem Wasser und das Einnehmen eines stabilen Schwimmzustandes. Während dieser Phase erfüllt sie ihr meteorologisches Meßprogramm, gibt gespeicherte ozeanographische Meßdaten über Telemetrie an die Landstation (Flugzeug, Satelliten) ab, empfängt Telemetriesignale zur Änderung oder Korrektur des Tauchprogrammes und füllt nicht zuletzt mit Hilfe des Kompressors die geleerten Luftspeicher wieder auf.

Der Übergang vom Schwebezustand unter Wasser zum stabilen Schwimmen an der Oberfläche ist nur durch eine Verminderung des Eigengewichts möglich, wobei ein Teil des Eigengewichts durch Wasserballast in den Flutungsbehältern gebildet wird. Die verdichtete Luft aus den Speicherflaschen wird herangezogen, um das Wasser aus den Flutungsräumen zu verdrängen. Der Tauchkörper schwimmt auf, wobei ein Ortungssystem dafür sorgt, daß dies nur geschieht, wenn die Wasseroberfläche "frei" gemacht ist.

- Aufschwimmen der Tauchboje zur Erfüllung der Überwasserfunktionen, Einnahme einer stabilen Schwimmposition.

c) Nach Vollendung der Oberflächentätigkeit muß die Tauchboje wieder in ihren Schwebezustand unter Wasser gebracht werden. Das selbe muß geschehen, wenn durch äußere Einflüsse ein Verweilen an der Oberfläche nicht mehr statthaft ist.
Die Flutungsräume werden durch Entweichenlassen der Luft wieder mit Ballastwasser gefüllt.

- Abtauchen der Tauchboje zu einer stabilen Auftrieb-Gewicht-Position unter Wasser.

d) Die letzte Aufgabe des hydrostatischen Antriebs ist als Sicherheitsfunktion zu bezeichnen. Sollte aus welchen Gründen auch immer die Regelung versagen und die Boje in Wassertiefen abgleiten, bei denen der Druck in den normalen Speicherflaschen nicht mehr ausreicht, den Flutungsraum zu leeren, so tritt ein Sicherheitsorgan in Tätigkeit. Dies ist eine vom übrigen Netz getrennte Speicherflasche mit sehr hohem Druck, die durch ein unabhängiges, von der Wassertiefe ausgelöstes Signal über ein pyrotechnisches Ventil mit dem Flutungsraum verbunden wird. Der hohe Speicherdruck bringt die Tauchboje auf jeden Fall wieder an die Oberfläche.
Eine Variante des Sicherheitssystems ist, nicht Luft in den Flutungsraum zu blasen, sondern eine Kunstharzmischung, die sich beim Eintritt in den Flutungsraum zu einem festen Schaum ausbildet. Auf diese Weise ist selbst bei einem Leck im Flutungsraum über eine lange Zeit bis zum Auffinden der Boje eine Wiedergewinnung möglich.

- Sicherheitssystem zur Bergung verunglückter Tauchbojen aus großen Tiefen.

4.2.4.3 Funktionsprinzip des Antriebs

Abb. 4.2.4.3.-1 zeigt das Schaltbild des Antriebs . Unabhängig von der endgültigen konstruktiven Verwirklichung sind

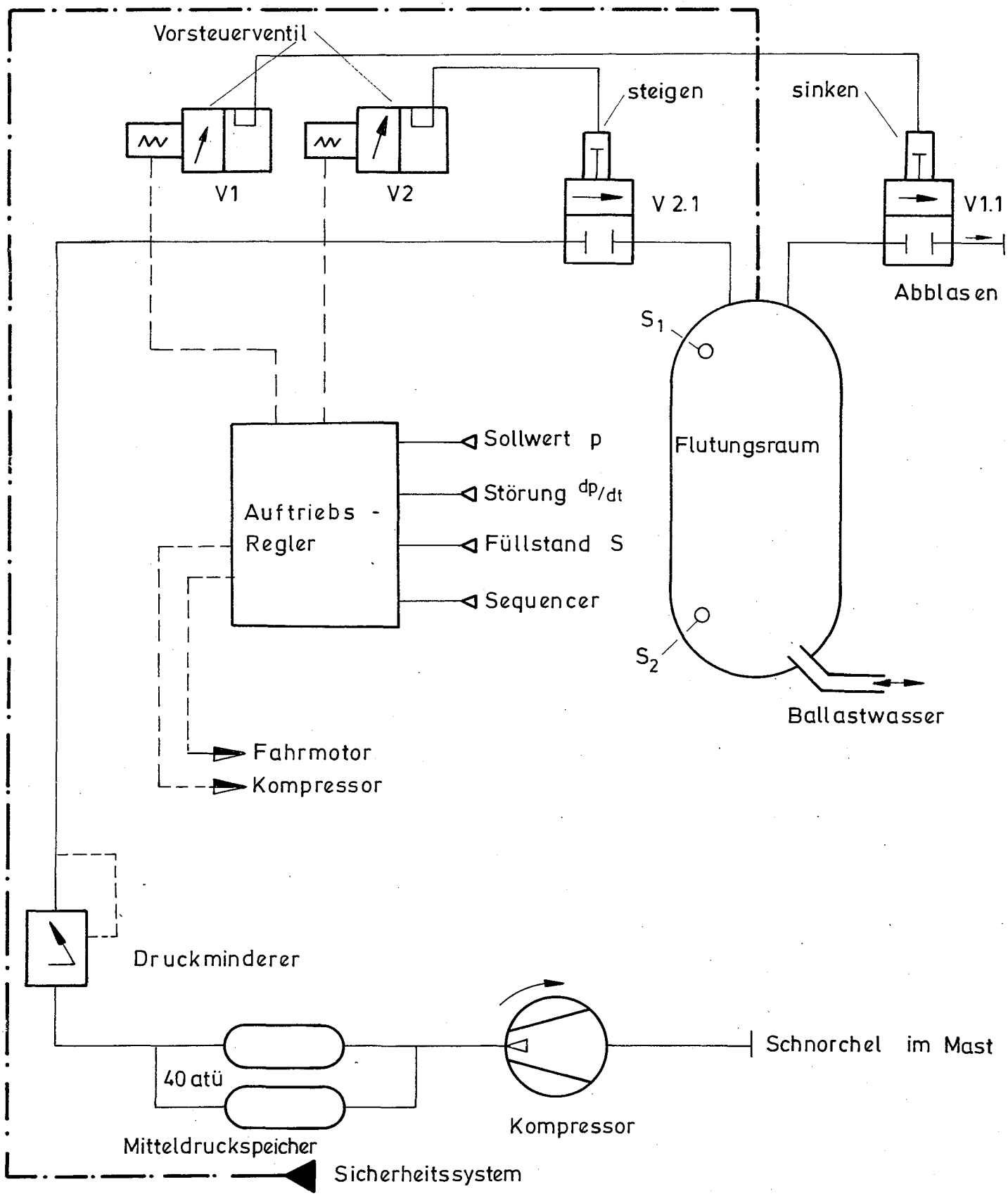


Abb. 4.2.4.3. -1

Hydrostatischer Antrieb

folgende Komponenten nötig:

1.	Schnorchel	im Mast
2.	Kompressor	Enddruck 40 atü
3.	Elektromotor	Leistung 400 Watt
4.	Speicherflaschen	0,02 m^3/0,09 m^3
5.	Druckregler	ΔP = 10 atü über Wasserdruck
6.	Elektr. Vorsteuerventile	
7.	Pneum. Ventil	"steigen"
8.	Pneum. Ventil	"sinken"
9.	Auftriebsregler	

Der normale Funktionsablauf ist folgender:
Ausgangsposition der Boje, Aufgetaucht, Sendebereit.

1. Kompressor saugt über den Schnorchel im Mast Luft an und drückt sie mit 40 atü in die Speicherflaschen. Motor schaltet bei erreichtem Enddruck ab.

2. Nach Vollendung der Oberflächenmission kommt vom Sequenzer der Tauchbefehl

   - Kompressormotor aus
   - Meteorologische Sensoren eingeklappt
   - Telemetrie beendet.

3. Über das Vorsteuerventil V1 wird Ventil V 1.1 "Sinken" geöffnet. Luft entweicht aus dem Flutungsraum, Ballastwasser tritt unten ein.
   Der Tauchkörper sinkt schnell unter Wasser.

4. Einschalten des Fahrmotors (Propeller) zum Abtauchen bis auf größte Programmtiefe.

5. Beginn des Meßprogrammes mit Fahrmotor, gesteuert durch Sequenzer.

6. Auftriebsregler stellt fest, ob durch Querströmung sinken hervorgerufen wird. Wenn ja, Korrektur durch Einblasen von Luft in Flutungsraum.

Fahrmotor und Auftriebsregler sind durch einen Positionsregler logisch gekoppelt.

7. Am Ende des Meßprogrammes nach Signal "Oberfläche frei" der Hinderniserfasser: Vorsteuerventil V2 öffnet Ventil V 2.1 "Steigen". Tauchkörper schwimmt schnell auf durch entweichen des Ballastwassers Sensor S_z zeigt Entleerung des Flutungsraumes an. Ventile schließen.

8. Beginn der Oberflächentätigkeit.
   Neuer Zyklus siehe 1.

Das Sicherheitssystem (Abb. 4.2.4.3.-2) arbeitet wie folgt:

Ausgangsposition: Maximale Tauchtiefe unterschritten, Druck in den Mitteldruckspeichern kleiner als Wasserdruck.

1. Regler registriert, daß Ansprechschwelle des Druckauslösers überschritten.

2. Pyrotechnisches Ventil gezündet. Gas aus Hochdruckspeicher gelangt in Kunstharzbehälter.

3. In der Mischkammer Bildung von Schaum aus 2-Komponenten - plus Gas.

4. Füllen des Flutungsraumes mit Schaum. Verdrängen des Wassers.

5. Boje steigt, auch wenn Raum undicht Expansion des noch unverfestigten Schaumes mit geringer werdender Tiefe.

6. Erreichen der Wasseroberfläche. Schaum beginnt sich zu verfestigen. Überschüssiges Material tritt aus Ballastöffnung aus und bedeckt einen großen Teil des Meeres zur Auffindungserleichterung.

7. Erstarrungszeit verstrichen, Schaum fest. Tauchboje schwimmt bis Bergungsschiff eintrifft. Kein Absinken durch Leck möglich.

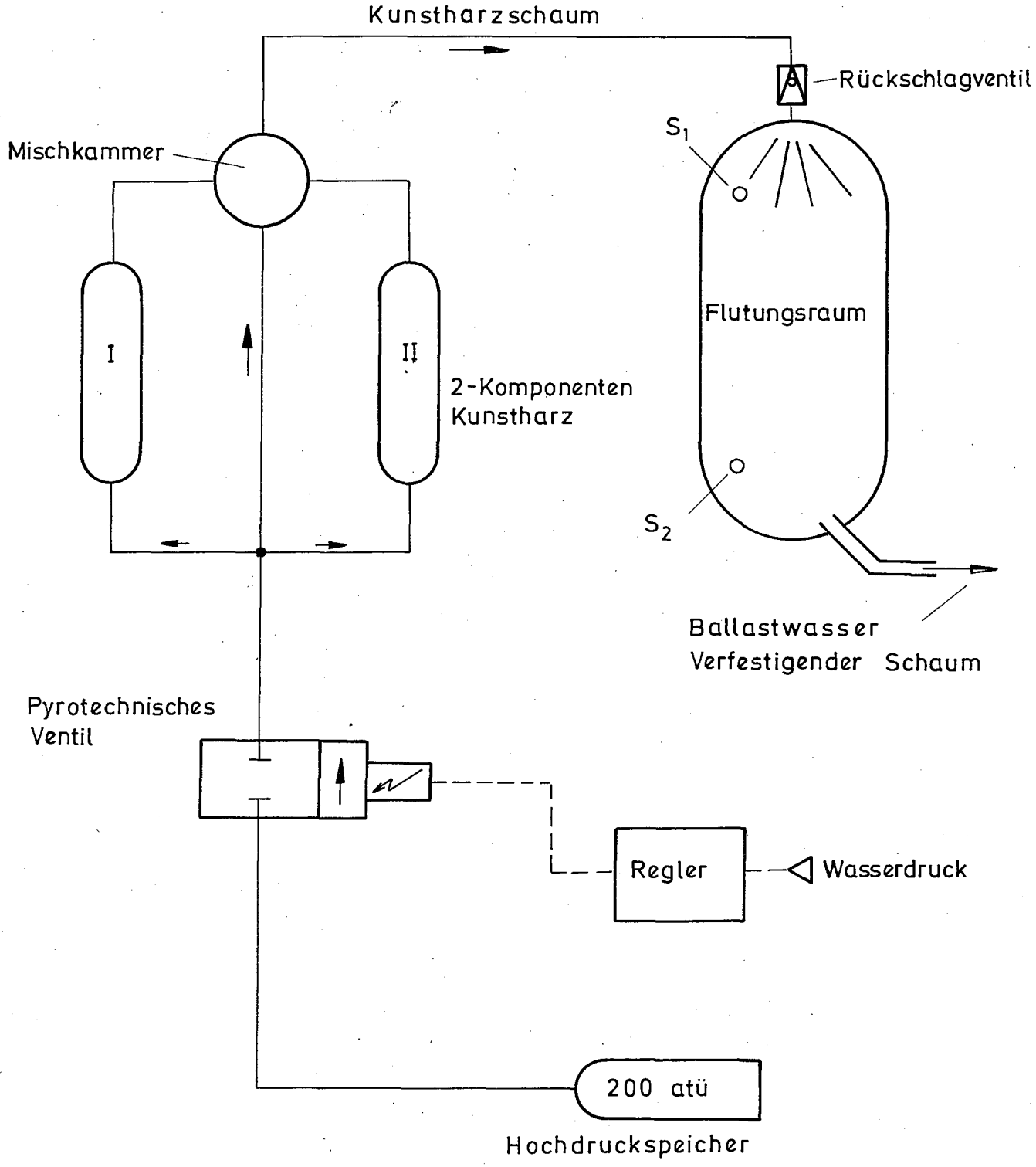


Abb. 4.2.4.3. - 2

Sicherheitssystem zur Bergung verunglückter Tauchbojen

Es mag auf den ersten Blick ungünstig erscheinen, den Flutungsraum mit sich verfestigendem Schaum zu füllen. Dafür sprechen aber ernste Gründe, die es rechtfertigen, nach der Bergung eine neue Auftriebssektion einbauen zu müssen, da die geborgene unbrauchbar geworden ist:

- Mit der Tauchboje ginge im Ernstfall auch das Bodengerät plus Isotopenbatterie verloren, wenn deren Aufschwimmvorrichtung ebenfalls ausfällt. Redundanz.

- Bergung der Tauchboje über das Bodengerät (Absprengen des Geräteaufsatzes, Aufschwimmen) wesentlich teurer als eine verlorene Auftriebssektion.

- Bei Seilriß gibt es überhaupt keine andere Wahl. Aufschwimmen lediglich mit Preßluft gewährleistet nicht, daß die Boje noch schwimmt, wenn das Bergungsfahrzeug eintrifft. Das kann sich lange verzögern. Luft kann durch Lecks entweichen Versinken.

- Überschüssiger Schaum breitet sich auf dem Wasser als weithin sichtbarer Teppich aus.
  Leichte Auffindung.

4.2.4.4 Konstruktiver Aufbau

Der hydrostatische Antrieb ist wie alle anderen Sektionen der Tauchboje nach dem Baukastenprinzip aufgebaut. Für die Flachwasserversion und die Tiefwasserversion wird die gleiche Struktur verwendet, lediglich die Einbauten sind etwas anders angeordnet.

Der Flutungsraum ist eine zylindrische Schweißkonstruktions mit 0,350 m^3 Inhalt. Der obere und untere Abschluß sind gewölbte Kesselböden nach DIN-Norm.

In der Mitte verläuft ein Zentralrohr, durch das alle Leitungen (pneum. und elektr.) zum Mast drucksicher geführt werden. Zum Dehnungsausgleich zwischen Rohr und Behälterwand sind Faltenbälge vorhanden.

Elektromotor und Kompressor sind zusammen mit Regler und Ventilen zu einem Block vereinigt. Die Kühlung erfolgt durch Seewasser, in das der Zylinderkopf hineinragt. Dies ist keine optimale Lösung, für den späteren Einsatz ist eine Konvektionskühlung vorgesehen, die nicht eine Füllung des Bojeninnenraumes mit Wasser erfordert. Das ergibt eine wesentlich bessere Massenverteilung für die Stabilisierung.
Die Speicherflachen sind zunächst für Flachwasser- und Tiefwasserversion verschieden. Auch hier ist bereits ermittelt worden, daß man mit einem einzigen Typ auskommt, was die Umrüstung erleichtert.

Die Zuordnung der Sektionen erfolgt nach dem Schema:

Flachwasserversion:

1. Auftriebssektion I (Abb. 4.2.1.2.-1)
   - Flutungsraum (0,35 m^3)
   - Kompressor + Elektromotor (400 W/40 atü)
   - Mitteldruckspeicherflaschen (0,026 m^3/40 atü)
   - Hochdruckspeicherflasche (0,005 m^3/200 atü)
   - 2-Komponenten-Kunstharzbehälter
   - Steuerventile + Druckminderer
   - Auftriebsregler

Tiefwasserversion

1. Auftriebssektion II (Abb. 4.2.1.2.-2)
   - Oberer Flutungsraum (0,350 m^3)
   - Mitteldruckspeicherflaschen (0,090 m^3/ 40 atü
   - Hochdruckspeicherflasche (0,001 m^3/200 atü)
   - 2-Komponenten-Kunstharzbehälter
2. Ergänzungsteil (Abb. 4.2.1.3.-1)
   - Kompressor + Elektromotor (400W/40 atü)
   - Steuerventile + Druckminderer
   - Auftriebsregler

4.2.5 Programmgeber

4.2.5.1 Verknüpfungsschema

Die Abb. 4.2.5.-1 zeigt das allgemeine Blockschaltbild für die Verknüpfung der Tauchbojengeräte der Firmen SEL-ERNO und C. Plath.
Der Programmgeber (3) wird das "Start"-Signal für den Tauchvorgang und die Umprogrammierung durch den Empfänger (1) und Telekommandospeicher (2) bekommen. Dadurch wird die vorgesehene Sequenz, die in den Programmgebern erzeugt wird ausgelöst. Die Ausgangssignale werden zum Bojenantriebselektromotor (4) weitergeleitet, so daß die Boje in die entsprechenden Tiefen stufenweise fährt. Ebenso werden die Abtastsignale (5) für alle Experimente erzeugt. Die Abtastfrequenz wird von ERNO definiert und wird den ozeanographischen und meteorologischen Meßsensoren (6) von C. Plath zugeführt.
Gleichzeitig wird vom Abtaster (5) an den SEL-Meßdatenspeicher (7) das Adressignal gegeben.
Die aufbereiteten Meßdaten von C. Plath (6) werden in den SEL-Meßdatenspeicher (7) eingeführt und stehen dort zur Übertragung durch den Sender (8) bereit.
Der Zeitpunkt, zu dem der SEL-Sender und Empfänger (1) und (8) einschalten soll, wird von der Programmeinheit (3) definiert und nach der Beendigung der Sendezeit wird von dem Bodensender durch den SEL Empfänger (1) das Signal zurückgeführt, so daß ein neuer Zyklus beginnen kann. Gleichzeitig wird auch der Programmgeber für das Ein- und Ausschalten von Sender und Empfänger sorgen, so daß diese Geräte nur für die benötigte Zeit in Betrieb sind.
Das Hinderniserfassungssystem (9) wird bei 25 m Tiefe im Auftauchvorgang eingeschaltet und wird in diesem Betriebszustand bleiben, bis die Boje sich an der Oberfläche befindet. Wird dabei ein Hindernis erfaßt, so wird das Notprogramm ausgelöst und die Boje taucht auf 25 m Tiefe, wo sie für eine

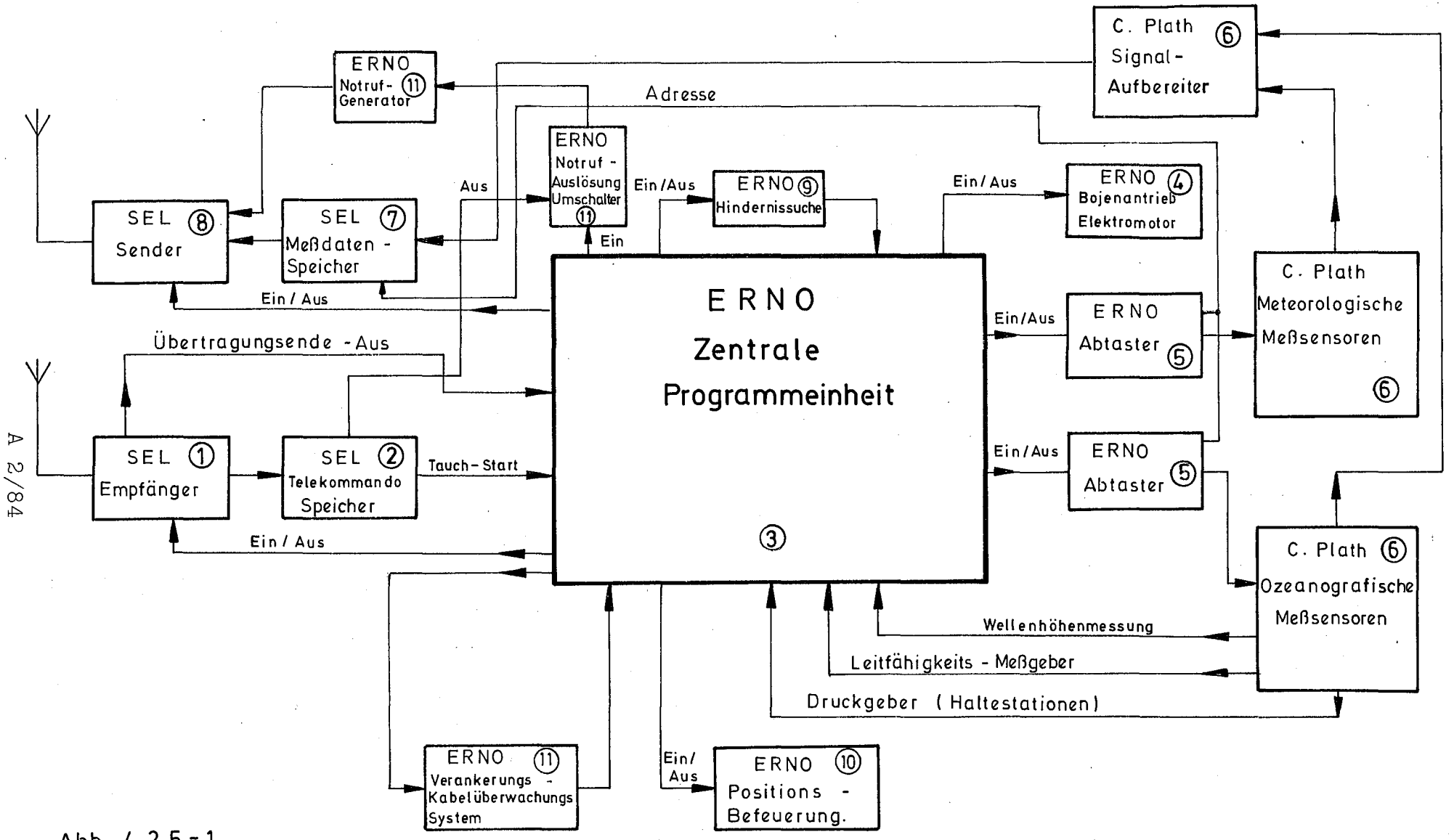


Abb. 4.2.5-1

Allgemeines Blockdiagramm für die Verknüpfung der Geräte von SEL-C.Plath-ERNO im Tauchbojensystem.

definierte Zeit verweilen wird, um dann erneut bei gleichzeitiger Hindernissuche aufzutauchen. Im Falle, daß diese Störung mehr als dreimal auftritt, so daß die vorgesehene Sendezeit überschritten ist, wird der Programmgeber auf Tauchvorgang umgeschaltet.

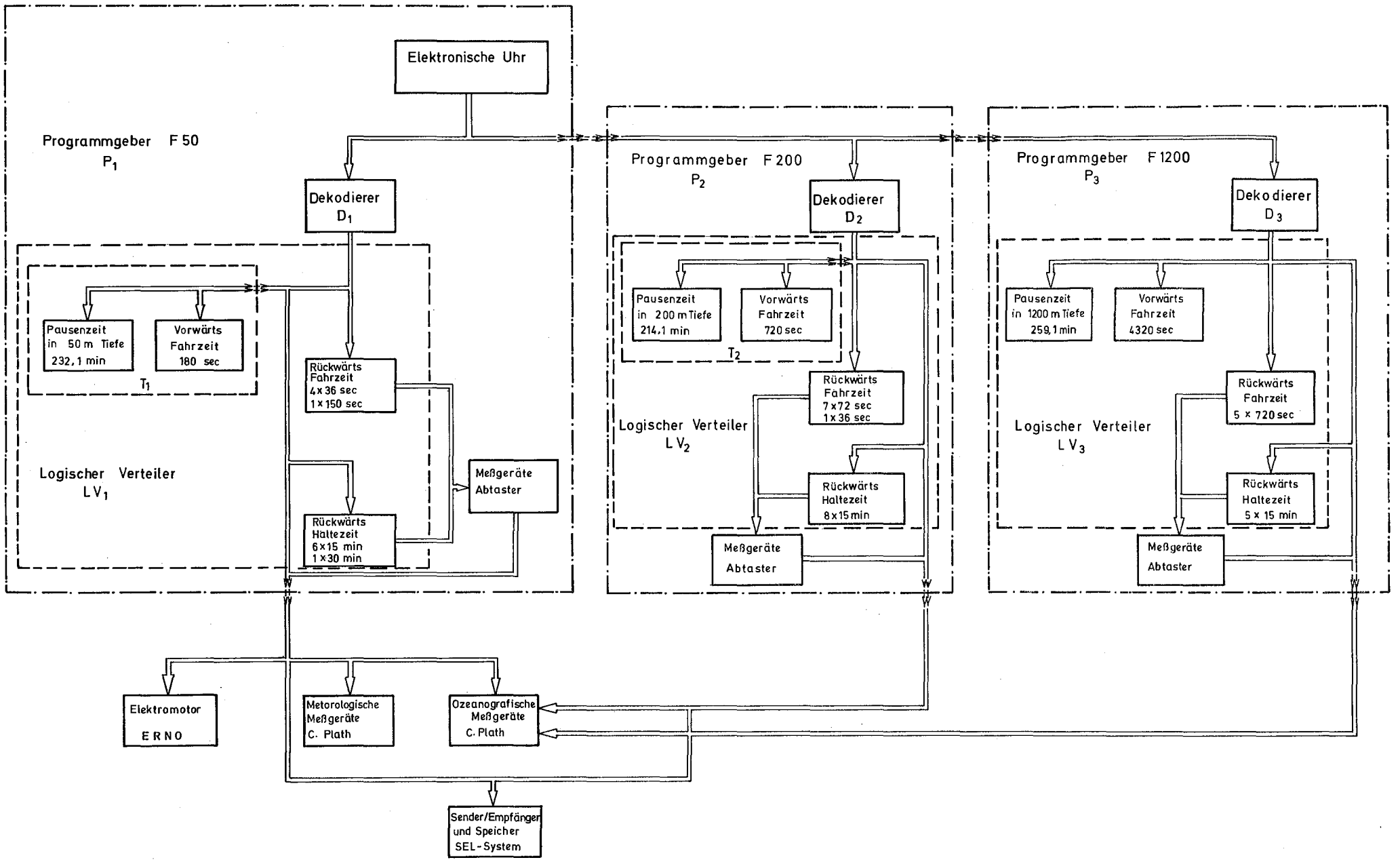
Das Positionsbefeuerungs-Gerät wird eingeschaltet, wenn die Boje sich an der Oberfläche befindet und ausgeschaltet, wenn der Tauchvorgang beginnt. In Kapitel 4.2.10 ist das Notrufauslösungssystem (11) ausführlich beschrieben.

Die Fahrvorgänge der Tauchboje werden in einer definierten zeitlichen Folge von der Programmeinheit gesteuert. Parallel dazu kontrolliert der Druckgeber die Haltestationen. Dadurch erhält man eine größere Zuverlässigkeit, da bei Ausfall eines Systems das andere noch den ungestörten Ablauf des Programms garantiert.

4.2.5.2 Beschreibung der zentralen Programmeinheit

Abb. 4.2.5.-2 zeigt eine Blockskizze der Programmeinheit, welche für drei verschiedene Tauchtiefen einsetzbar sein wird. Solange die Programme F 50 und F 200 im Programm F 1200 enthalten sind, ist es sinnvoll, einen solchen Programmgeber in drei Baueinheiten P_1, P_2 und P_3 auszuführen.

Der Programmgeber P_1 besteht aus der elektronischen Uhr und dem Dekodierer D_1. Die benötigten Zeitsignale für das Fahrprogramm werden dem logischen Verteiler (LV_1) zugeleitet, damit dieser die entsprechenden Funktionen für den Antriebsmotor auslöst. Parallel zu diesen Funktionen werden auch die Abtastsignale für die Experimente (C. Plath) und die Ein/Aus-Steuersignale an die Telemetrie (Sender/Empfänger) mit zugehörigem Speicher (SEL) geliefert. Für die Tiefe F 200 werden die beiden Programmgeber P_1 und P_2 eingesetzt. Hiermit werden Tauchfahrzeit und Pausezeit in der größten Tiefe entsprechend länger.



A 2/86

Abb. 4.2.5 - 2
Blockdiagramm der zentralen Programmeinheit mit elektrischen Nahtstellen.

ERNO - Bremen

Der Programmgeber P_2 wird die Auftauch-, Fahr- und Haltezeit bis zu der Tiefe 50 m definieren.
Der restliche Fahrweg wird dann von P_1 gesteuert.
Bei der Tiefe F 1200 werden Programmgeber P_1, P_2 und P_3 zusammengekoppelt. Programmgeber P_3 wird die Tauch- und Haltezeit in der größten Tiefe definieren. Diese Zeiten sind wesentlich länger als in F 50 und F 200. Das Auftauchprogramm von 1200 m bis 200 m Tiefe wird von P_3 definiert. Danach werden die Programmgeber P_2 und P_1 die Weiterfahrt steuern.
Mit dieser Aufteilung der Programmeinheit wird erreicht, daß keine überflüssigen Bauteile eingebaut werden. Hierdurch erreicht man eine bessere Zuverlässigkeit und niedrigere Kosten.
Die Sequenzablaufprogramme F 50, F 200 und F 1200 kann man in Abb. 4.2.5.-3, -4, -5 sehen.
Vorwärts-Fahrprogramme und Haltezeiten T_1 und T_2 in größter Tiefe werden nicht benützt, wenn die Programmgeber P_1 und P_2 in Tauchbojen für F 1200-Tiefen eingesetzt werden. Damit wird die Zahl der Komponenten des Logik-Dekodierers reduziert.

4.2.5.3 Elektronische Uhr

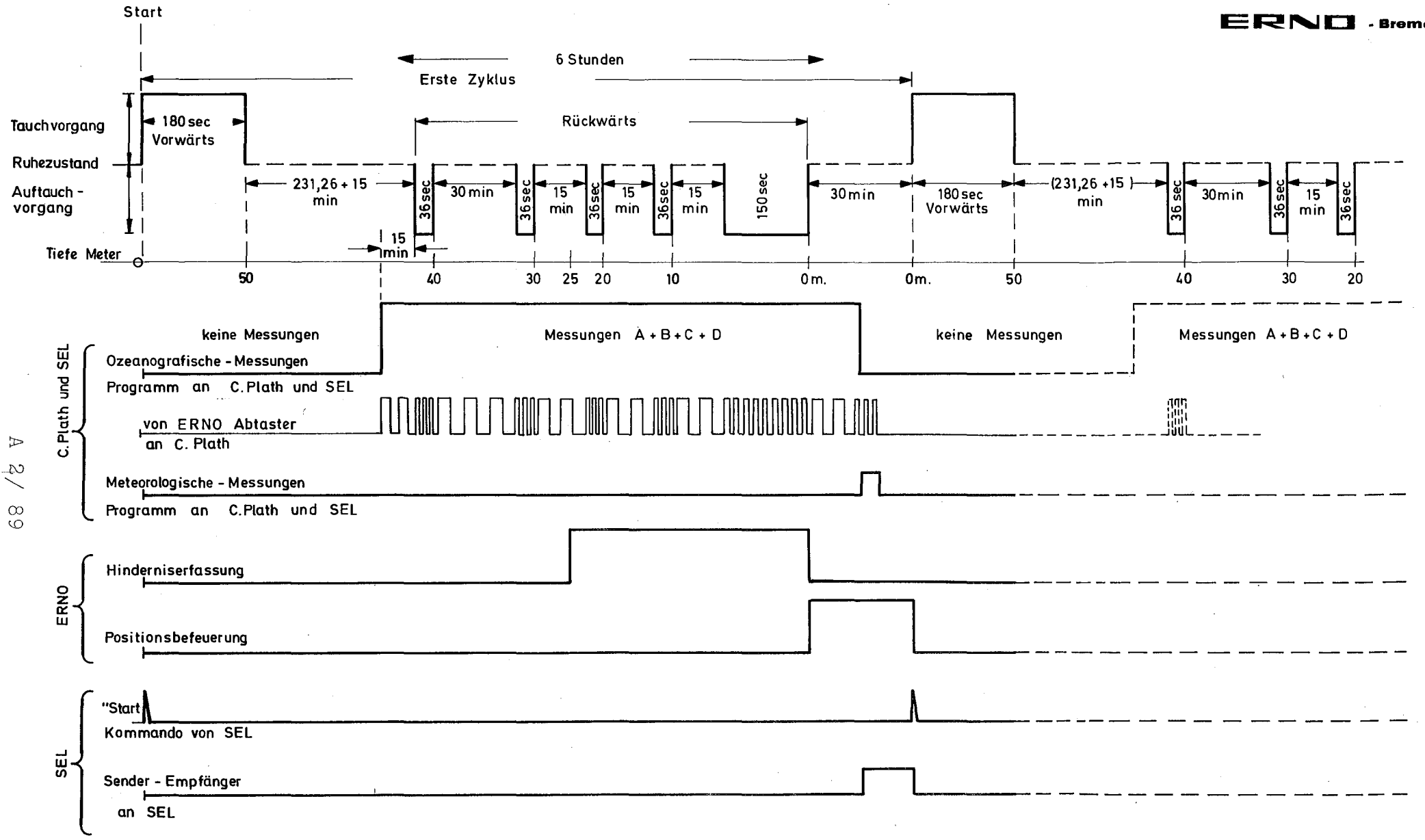
In Kapitel 7.3.2.1, Abb. 7.3-2 des Zwischenberichtes B_2 wurde die Grundlage der elektronischen Uhr zusammengestellt. Die angegebenen Daten werden unverändert bleiben.

4.2.5.4 Bautechnik

Der gesamte Programmgeber wird in integrierter Technik hergestellt, damit werden Gewicht, Volumen und Montagezeit klein gehalten.
Die nachstehende Tabelle zeigt die Zusammenstellung der vorläufigen Daten der Programmeinheit.

Komponente Block	Abmessungen	Gewicht	Leistungsbedarf	Entwicklungszeit
	B x H x T (cm)	(gr)	(Watt)	(Jahre)
1. Uhr	10 x 3 x 10	100	1,5	1 - 2
2. Dekodierer D_1	10 x 3 x 10	150	1,3	1
3. Logischer Verteiler LV_1	10 x 3 x 10	300	0,85	1
4. Dekodierer D_2	5 x 3 x 10	75	0,60	1
5. Logischer Verteiler LV_2	5 x 3 x 10	50	0,30	1
6. Dekodierer D_3	5 x 3 x 10	75	0,60	1
7. Logischer Verteiler LV_3	5 x 3 x 10	50	0,30	1
8. DC-DC-Wandler	5 x 3 x 10	150	1,40	1/2
9. Meßgeräte-Abtaster	5 x 3 x 10	100	0,50	1
10. Geschwindigkeitsminderer für Antriebsmotor	10 x 10 x 15	1000	50 W bei 1 KW Last n = 95 %	1
Gesamtsystem F 1200	15 x 20 x 20	2000	7,35	1 - 2 ca.

Tabellarische Zusammenstellung der vorläufigen Daten der zentralen Programmeinheit.



A 2 / 89

Abb. 4.2.5 - 3
Impulsdiagramm von Programmgeber P_1 für F 50

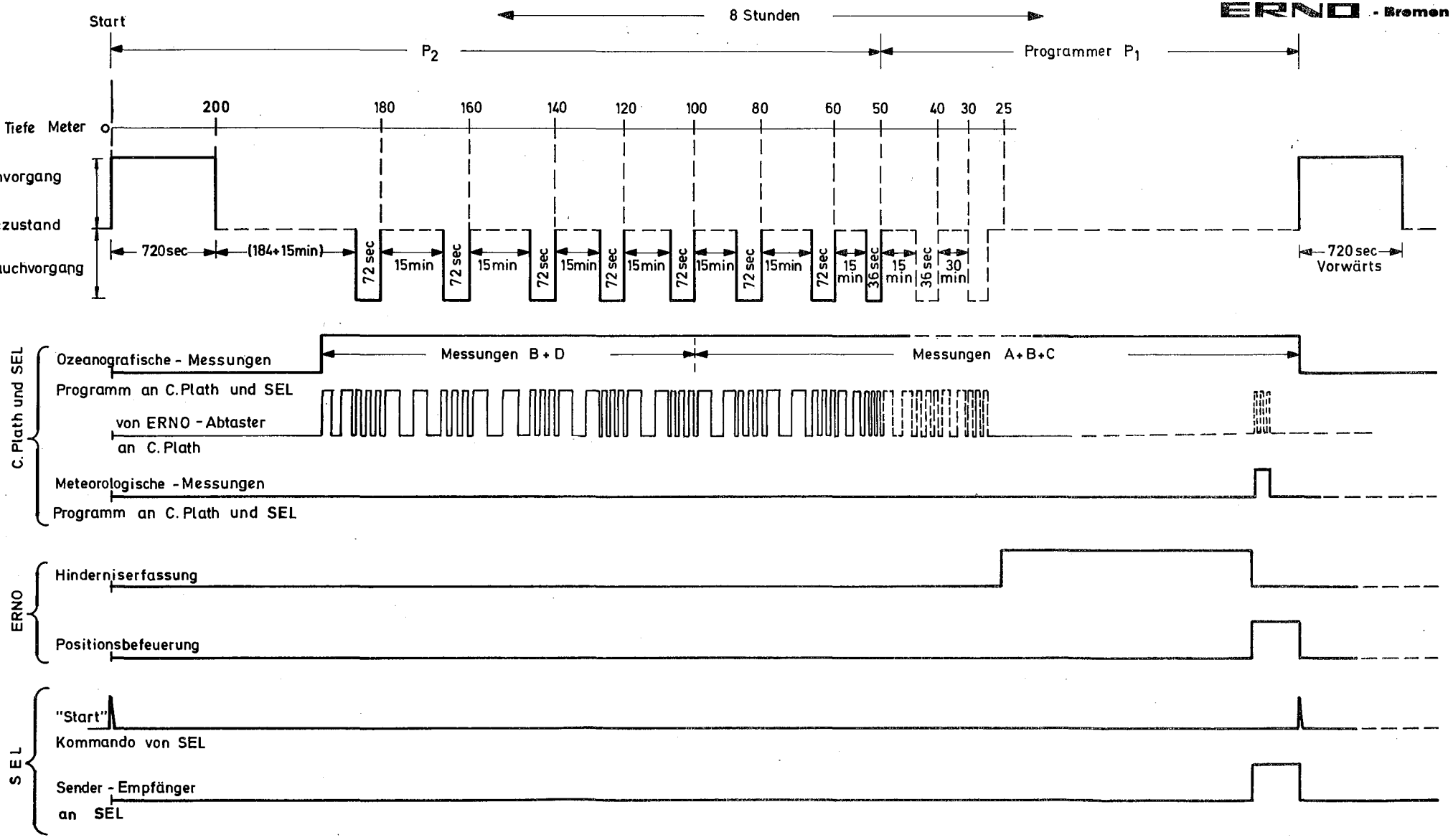
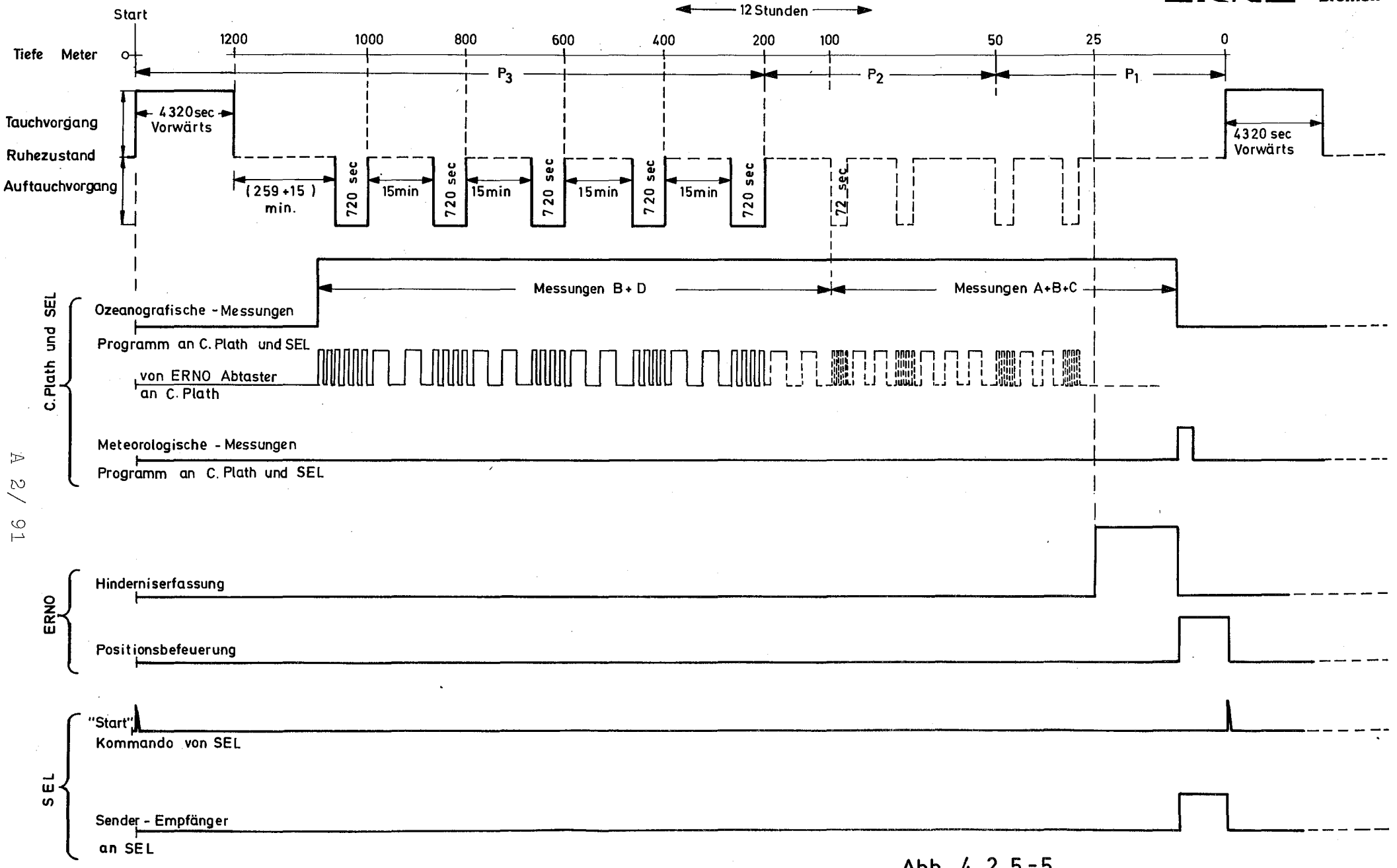


Abb. 4. 2. 5 - 4
Impulsdiagramm von Programmgebern
P_1 und P_2 für F 200



A 2 / 91

Abb. 4.2.5-5
Impulsdiagramm von Programmgebern P_1, P_2 und P_3 für F 1200

4.2.6 Mechanischer Hindernissucher

Auftauchende Bojen müssen vor einem Zusammenstoß mit festen Hindernissen geschützt werden. Zwar ist als Primärsicherung ein Hindernissonargerät vorhanden (siehe 4.2.7), doch spricht dies nicht auf schwimmende Eisblöcke an, weil die Dichteänderung Wasser - Eis zu gering ist. Das Gerät würde "Oberfläche frei" signalisieren.

Eine Möglichkeit der Erfassung von Eisblöcken und eine zusätzliche Unterstützung der akustischen Hinderniserfassung sind mechanische Hindernisfühler. Sie befinden sich an ca. 1,5 m langen hochelastischen Ruten aus glasfaserverstärktem Kunststoff. Die Festigkeit und Biegeelastizität ist beachtlich. Sie gestattet eine Biegung der Enden um 360° gegeneinander.

Die Ruten befinden sich (zu 2 Stück) auf dem Antennenkopf und sind um 45° nach rechts und links gegen die Vertikale geneigt. So können sie sich beim Berühren der Hindernisse noch durchbiegen, weil der Körper infolge seiner Trägheit eine gewisse Zeit braucht, bevor er mit voller Antriebskraft wieder nach unten auf eine Warteposition bewegt wird. Zugleich gestattet diese Anordnung ein Abtasten der gesamten projizierten Bojenfläche.

Eine Gefährdung der hochelastischen Ruten ist durch Seegang in dem Augenblick zu erwarten, wenn der Antennenkopf unter Wasser taucht. Dies muß daher so schnell wie möglich geschehen. Schlimmer ist indes ein Eisregen, der das Gewicht so stark erhöht, daß die Ruten abbrechen. Man begegnet dieser Gefahr durch einen oder mehrere gewundene Heizdrähte, die bei der Herstellung mit eingearbeitet wurden.

Die Lebensdauer dürfte trotzdem vorerst nicht über 1 Jahr zu steigern sein, so daß die Ruten bei jeder Sondeninspektion auszuwechseln sind.

Das eigentliche Sensorelement befindet sich am Ende der Rute. Es ist ein mit Flüssigkeit gefülltes Bällchen, in das ein

druckempfindlicher Sensor hineinragt.
Der Tastvorgang ist folgender: Sobald das Bällchen ein festes Hindernis berührt, wird seine dünne Hülle etwas eingedrückt. Dadurch steigt der Druck im Innenraum etwas an und der Druckmesser spricht an. Das Signal gelangt über die Rute in die Regelelektronik, die sofort den Abtauchvorgang einleitet. Abb. 4.2.6.-1 zeigt schematisch den Hindernissucher.

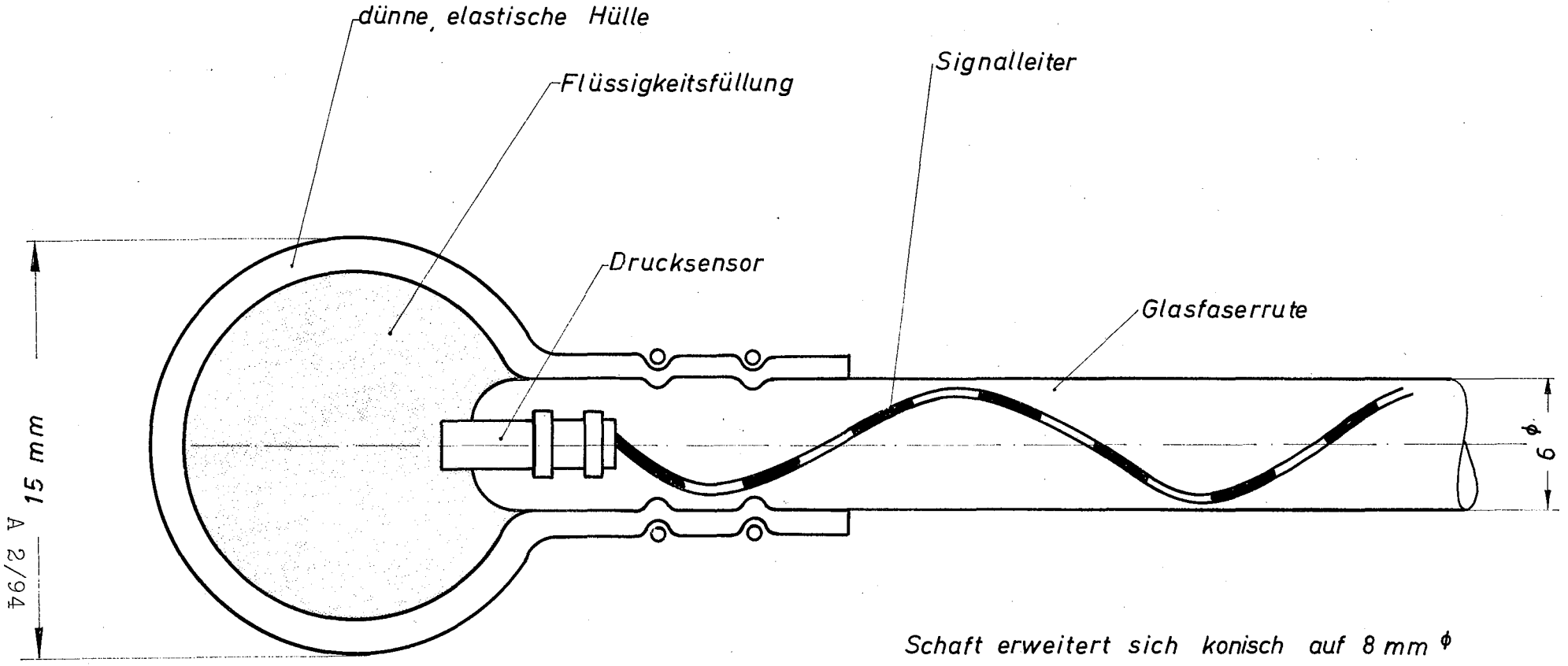


Abb. 4. 2. 6 - 1

Sensorelement des mechanischen Hindernissuchers

4.2.7 Akustischer Hindernissucher

4.2.7.1 Vorbemerkung

Im Kapitel 7.10 des Zwischenberichtes B2 wurden einige Grundlagen der Sonartechnik zusammengestellt.
Die folgenden Ausführungen schließen sich daran an. Es wird lediglich ein aktives System betrachtet.

4.2.7.2 Transducerauswahl

Ein Keramikschwinger mit Rundstrahlcharakteristik wird sowohl als Sender als auch als Empfänger verwendet. Die Arbeitsfrequenz soll bei 10 KHz liegen.

4.2.7.3 Reichweite

Neuere Untersuchungen über die Bojengeschwindigkeit haben zu einem mittleren Wert von 0,278 m/sec während der Tauchfahrt geführt. Hiervon ausgehend ergibt sich eine Tauchzeit von 0 auf 25 m von 90 sec. In dieser Zeit legt ein Schiff der Geschwindigkeit 15 kn den Weg s = 720 m zurück. Die Reichweite sollte also etwa 1000 m betragen.

4.2.7.4 Leistungsbedarf

Die Richtwirkung DI ist bei Rundstrahlern null, die Ansprechschwelle DT liegt bei 20 db.
Dieser Wert ergibt sich, wenn innerhalb eines Signals die Wahrscheinlichkeit für Falschalarm zu 1.10^{2} und die für Entdeckung zu 0,5 gefordert wird. Aus den ROC-Kurven läßt sich dann der Erfassungsindex d = 16 entnehmen. Da im vorliegenden Fall das Signal bekannt ist, wird

$$DT = \lg \frac{16}{2.2.10^{3}} = 18 \text{ db}$$

Dann ergibt sich der Sendepegel SLZU 82,1 db und die erforderliche akustische Leistung P_a zu 13,2 W.

Nimmt man einen elektroakustischen Wirkungsgrad von 0,4 an, so ergibt sich eine erforderliche Leistung von 33 Watt für die Endstufe. Damit wird die Gesamtleistung einschließlich Empfängerleistung bei etwa 50 Watt liegen.

4.2.7.5 Betriebsart

Im vorliegenden Fall dient daseelbe Element als Sender und als Empfänger. Aus diesem Grund muß im Pulsbetrieb gearbeitet werden. Die Pulsdauer ergibt sich aus der unteren Grenze der Reichweite. Diese muß etwa 10 m betragen, was sich aus der Tauchtiefe (15m) eines Schiffes ergibt, das sich zum Einschaltezeitpunkt der Anlage (25 m Tiefe) direkt über der Boje befindet.
Die Laufzeit des Schallimpulses beträgt dann 13,4 m sec für die Strecke Sender-Ziel-Sender (Empfänger). Die Dauer des Schallimpuls darf diesen Wert auf keinen Fall übersteigen, da sonst der Transducer für Empfang gesperrt ist. EinePulsdauer von 1 - 2 m sex ist jedoch leicht zu realisieren. Damit würde ein Einzelimpuls 10 bis 20 Wellenlängen der Grundschwingung enthalten, was für eine gute Signalerkennbarkeit ausreichend ist.

4.2.7.6 Energiebedarf

Die Spitzenleistung von etwa 50 Watt wird jeweils während der Sendeimpulsdauer benötigt. In den Pulspausen liegt die Leistung nicht höher als 5 W. Die Anlage soll von 25 m bis zum Auftauchen betrieben werden, d. h. während 2000 sec. Damit ergibt sich ein Energiebedarf von 20.10^3 W sec.

4.2.7.7 Konfiguration

4.2.7.7.1 Schwinger

Als Montageorte bieten sich der Antennenkopf bzw. die Stabilisierungsausleger an. Im letzteren Falle werden 3 Schwinger benötigt, da die Boje dann im Schallfeld liegt.

4.2.7.7.2 Elektronik

Mit Ausnahme des Ausgangsverstärkers, bei dem wegen der hohen Leistung eine gesonderte Montage nötig sein wird, kann die gesamte Elektronik in einem einzigen Behälter von etwa 4 - 6 dm^3 Rauminhalt untergebracht werden.

4.2.7.8 Wirkungsweise

Aus Abb. 4.2.7.-1 ist die Wirkungsweise der Anlagen zu entnehmen. Sie unterscheidet sich von der im Zwischenbericht B2 präsentierten lediglich durch Hinzufügen einer Zählstufe. Diese arbeitet derart, daß erst nach 25 unmittelbar aufeinanderfolgenden Signalen ein Alarmsignal ausgegeben wird.
Damit wird die Wahrscheinlichkeit für Falschalarm erheblich herabgesetzt.

4.2.7.9 Schlußbemerkung

Zur Zeit ist ein Gerät, wie vorstehend vorgeschlagen, auf dem deutschen Markt nicht erhältlich. Daher ist eine Neuentwicklung erforderlich, die mindestens drei Jahre, einschließlich Erprobung in situ, in Anspruch nehmen dürfte. Ungelöst bleibt jedoch das Problem der Zuverlässigkeit über einen Zeitraum von mehreren Jahren.

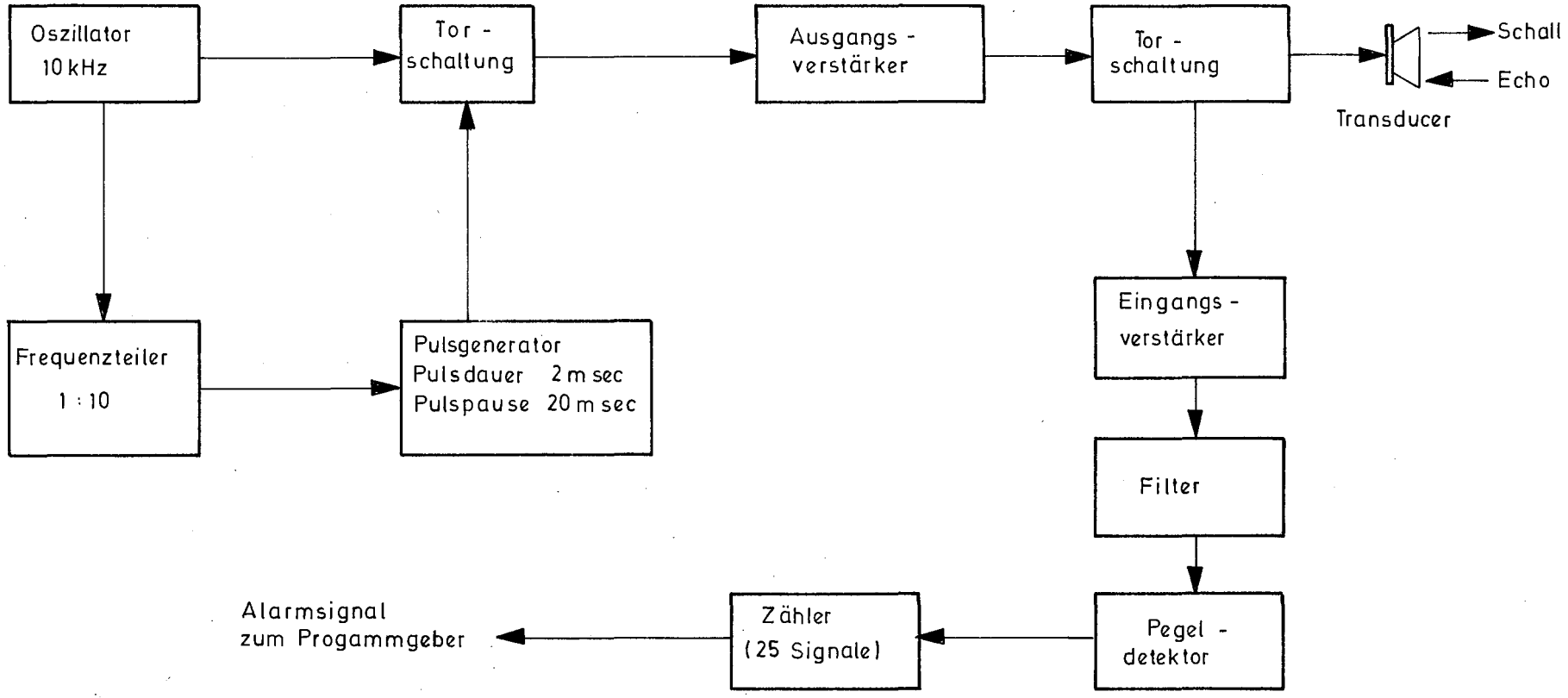


Abb. 4.2.7 - 1

Blockdiagramm des akustischen Hindernissuchers

4.2.8 Einrichtung zur Kabeltrennung

Die Verbindung von der Fesselung zu den jeweiligen Geräten (Anker, Tauchkörper, Zwischenkörper) darf nicht unlösbar sein. Sie muß von Hand gelöst werden können, um das Aussetzen auf See sowie die Wartung zu gewährleisten, desweiteren muß es möglich sein, die Verbindung durch ein Signal ferngesteuert zu betätigen:

- Handbetätigung
- Fernbetätigung.

Wichtig ist, daß nicht nur eine rein mechanische Verbindung zu öffnen und zu schließen ist. Fast alle Fesselseile haben zusätzlich elektrische Funktionen wahrzunehmen (Daten- und Energieübertragung). Es sind also Stecker und Buchsen in wasserdichter und druckfester Ausführung erforderlich.

4.2.8.1 Handbetätigung

Ein in der Seefahrt sehr häufig benutztes Befestigungselement ist der Schäkel (Abb. 4.2.8.-1). Er verbindet die Seilkausche, um die das Fesselseil geschlungen und wieder herausgeführt ist, mit dem Haltebügel des Körpers (Tauchkörper, Anker, Zwischenkörper etc). Zur Montage wird der Querbolzen in die Aufnahmelöcher des Schäkels gesteckt, der zwischen seinen Schenkeln nunmehr die Seilkausche hält. Ein Sicherungsstift sorgt dafür, daß sich der Bolzen nicht lösen kann.

Es ist wenig sinnvoll, noch andere lösbare Verbindungen aus der Seefahrt an dieser Stelle aufzuführen. Dies ist konventionelle Technik und darf als bekannt vorausgesetzt werden.

Besondere Sorgfalt ist der Befestigung des Seils hinter der Kausche zu widmen. Das Seil darf nicht zu stark gekrümmt werden, damit es nicht beschädigt wird. Das übliche Ver-

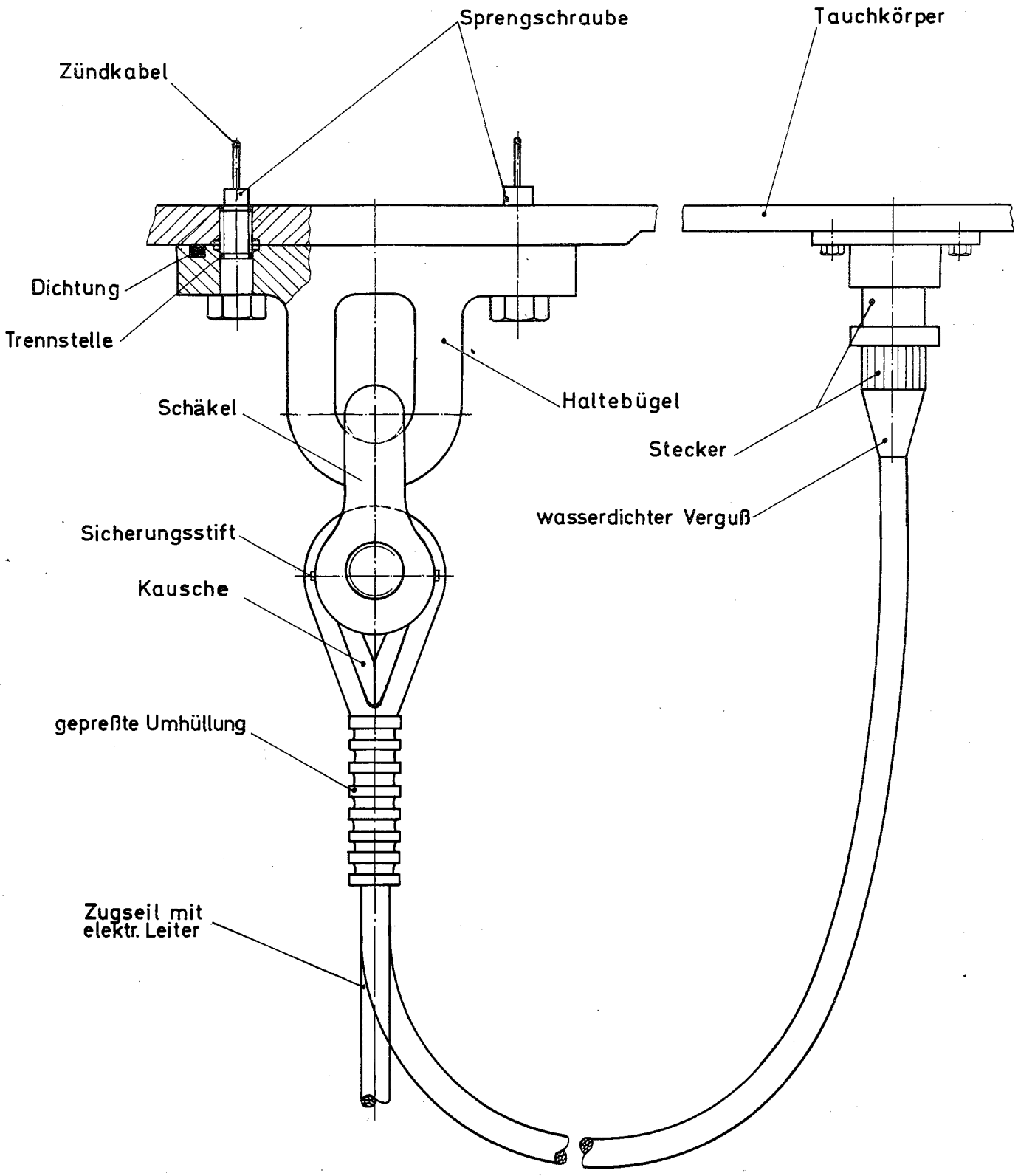


Abb. 4.2.8-1 Kabeltrennvorrichtung

spleißen des herausgeführten Endes ist nicht möglich, da die elektrischen Leiter zu einem speziellen Stecker geführt werden müssen. Es ist am sinnvollsten, den Stecker fest mit der Stahlarmierung des Seils zu verbinden. Dies erfordert sowohl eine sehr stabile Stecker- als auch Buchsenausführung, da recht große Biegemomente wegen der Seilsteifigkeit aufgenommen werden müssen.

Da also ein Verspleißen des Seils nicht möglich ist, werden die beiden Seile hinter der Kausche in eine Metallhülse gefaßt und gequetscht. Bei diesem Verfahren ist höchste Sorgfalt geboten, damit die empfindliche elektrische Innenisolierung nicht Schaden nimmt. Seile mit Kunststoffumhüllung müssen noch sorgfältiger gepreßt werden.
Die Schwerkräfte sollen von einer möglichst langen Umhüllung aufgenommen werden, um örtliche Spannungsspitzen zu vermeiden (Kriechgrenze des Kunststoffes).

4.2.8.2 Fernbetätigung

Im Zwischenbericht B2,Kap. 7.8,sind einige Variationen der Fernbetätigung dargestellt. Von diesen hat sich die rein pyrotechnische Methode mit Sprengbolzen als die günstigste erwiesen.
Die Vorteile sind:

- geringe Aktivierungsenergie
- geringer Platzbedarf
- hohe Zuverlässigkeit.

Die Sprengbolzen, wie sie in Abb. 4.2.8.-1 gezeigt sind, werden durch einen Stromimpuls ausgelöst und trennen das Seil mitsamt seinen Haltebügel vom Tauchkörper, oder wo auch immer es befestigt ist. Der Stecker wird durch die auseinanderstrebenden Komponenten (z. B. Tauchkörper u. Seil) von selbst abgerissen. Noch besser ist es allerdings in den Stecker einen kleineren Gasgenerator in Form eines modifizierten Spreng-

bolzens zu integrieren, der im selben Augenblick gezündet wird. So vermeidet man eine gefährliche Seilbelastung an der gepreßten Umhüllung durch zu große Reißkräfte

Eine Fernbetätigung sollte prinzipiell am Tauchkörper für alle angreifenden Fesselungen vorgesehen werden. Auch am Anker ist eine Anbringung sinnvoll. Die Auslösung erfolgt durch ein Telemetriesignal oder über Sonar.

4.2.9 Positionsbefeuerung

Im Kapitel 7.11 des Zwischenberichtes B2 war eine aus einem Kondensator gespeiste Lampe vorgeschlagen worden. Die erforderliche Spannung von 450 V wird mit einem Gleichspannungswandler erzeugt. Die Blitzfolge wird mit einem elektronischen oder elektromechanischen Taktgeber erzeugt. Abb. 4.2.9.-1 zeigt das Blockschaltbild. Der Leistungsbedarf wird bei etwa 1 W liegen.

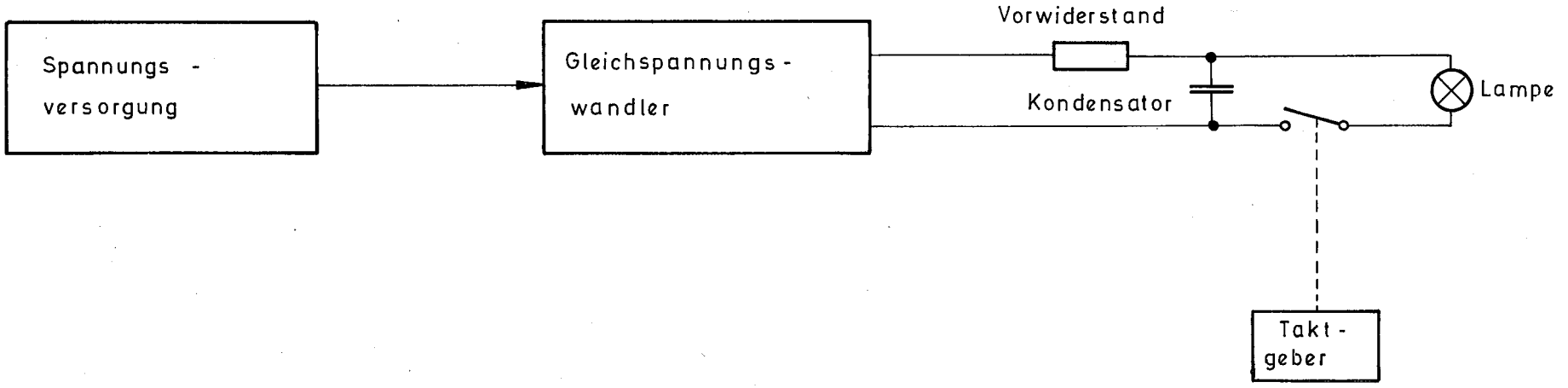


Abb. 4.2.9 - 1

Positionsbefeuerung, Blockbild

4.2.10 Einrichtung zur Notrufauslösung

4.2.10.1 Vorbemerkung

In Kaptiel 7.7 des Zwischenberichtes B2 wurde eine Grundlage der Notrufauslösung zusammengestellt.

4.2.10.2 Aufgabenstellung

Das Notrufauslösesystem hat die Aufgabe, im Falle einer Manipulation an der Tauchboje durch Unbefugte über den Bordsender einen Notruf auszulösen. Eine solche Manipulation kann darin bestehen, daß die Tauchboje aus dem Wasser herausgezogen und/oder das Haltekabel getrennt wird.

4.2.10.3 Technische Lösung

Die Integrität des Kabels wird durch einen Stromkreis kleiner Leistung, der in dem Verankerungskabel in dessen gesamter Länge enthalten ist, überwacht. Für den Fall, daß ein Unbefugter die Boje aus dem Wasser zu holen versucht, wird über das Meßgerät der elektrischen Leitfähigkeit eine zweite Kontrolle vorgenommen. Dabei wird über einen Grenzwertmelder bei Unterschreiten einer Leitfähigkeitsgrenze der Notruf ausgelöst (Vergl. Abb. 4.2.10.-1). Beide Störungsarten, Kabeltrennung und Leitfähigkeitssprung, werden durch eine "ODER"-Logik überwacht, dessen Ausgang verstärkt wird, um zwei Hauptfunktionen zu erfüllen:

1) Einschaltung eines Notrufgenerators durch ein Kennwort im Sendereingang
2) Umschaltung des Sender-Einganges von der Normalposition (Daten-Speicher) zu dem Notrufsignalgenerator.

Daraufhin strahlt der Bojensender ein Notruf-Dauersignal aus. Eine "Rückstell"-Möglichkeit des Notrufauslösesystems durch

Telekommando ist vorgesehen, damit der normale Betrieb der Tauchboje wieder aufgenommen werden kann. Durch den Empfang der Betriebsdaten kann damit entschieden werden, ob tatsächlich eine Notrufsituation besteht oder ein Falschalarm ausgelöst worden ist.

4.2.10.4 Bauweise

Alle im Notrufauslösesystem enthaltenen Verstärker sowie der Notrufgenerator bestehen aus integrierten Analog- und Digital-Schaltungen. Mikrominiatur-Relais sind für das gesamte System vorgesehen.

4.2.10.5 Abmessungen und Gewicht

Vorgesehene Abmessungen sind:
Breite 5 cm, Höhe 3 cm, Tiefe 4 cm.
Das gesamte Gewicht wird ca. 150 gr. betragen.

4.2.10.6 Energiebedarf zur Notrufauslösung

Der Energiebedarf des Notrufauslösesystems ist von der Art des Kennwortes abhängig. Die vorgesehene Leistung des Notrufgenerators wird auf 200 mW geschätzt. Der Energiebedarf für die Umschaltung des Sendereingangs liegt bei 10 m W sec.

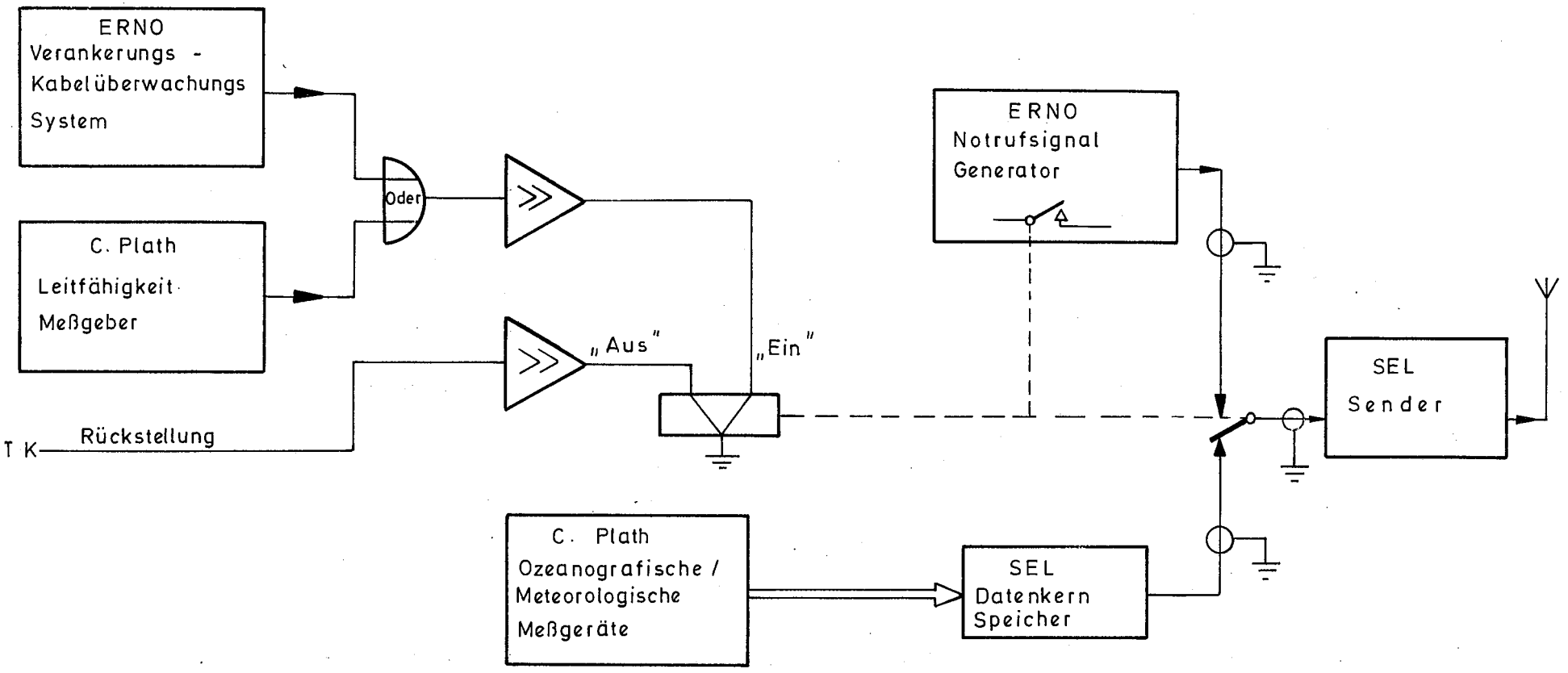


Abb. 4.2.10.-1

Blockschaltbild für Notrufauslösung mit Ansteuerung des Senders

4.2.11 Materialauswahl

Für den Tauchkörper bestehen Beschränkungen hinsichtlich der Materialauswahl durch drei Forderungen:

1. Nicht-Beeinflussung der ozeanographischen Meßgeräte.

   Dies bezieht sich im wesentlichen auf Geräte, die auf Magnetfeldänderungen ansprechen. Werkstoffe mit geringer Permeabilität (z.B. austenitische Stähle und Aluminium) erfüllen diese Forderung. Bei Werkstoffen mit hoher Permeabilität (z.B St 37) läßt sich der Einfluß mindern, wenn man das empfindliche Meßgerät weit genug entfernt einbaut. Der Abstand wird nach rein meßtechnischen Gesichtspunkten bestimmt. Das bedeutet, daß u.U. konstruktive Schwierigkeiten auftauchen.

2. Beständigkeit gegen Seewasserangriff.

   Einige Stahlsorten und Aluminium mit geringer Permeabilität sind auch beständig gegen den Angriff des Seewassers. Gegen Bewuchs müssen sie indes gezielt geschützt werden. Nichtbeständige Baustähle lassen sich durch geeignete Schutzüberzüge wirkungsvoll seewasserfest machen.

3. Ausreichende Festigkeit gegen hohen Außendruck.

   Fast alle diskutablen Werkstoffe lassen sich konstruktiv so verarbeiten, daß druckfeste Behälter entstehen.

Im Zwischenbericht B2 wurde im Kap. 9.1 eine breite Untersuchung der geeigneten Trägermaterialien vorgenommen. Für die allgemeinen Gesichtspunkte sei darauf verwiesen. Im speziellen Anwendungsfall ergeben sich für die verschiedenen Sektionen die im folgenden dargelegten Gesichtspunkte.

4.2.11.1 Mastsektion

Zu den drei Forderungen hinsichtlich der Materialauswahl kommt für die Mastsektion eine weitere hinzu:

Geringes spezifisches Gewicht. Der Mast darf wegen seiner großen Länge kein zu großes Trägheitsmoment um die Horizontalachse aufweisen, weil das Schwingungsverhalten gestört würde. Desgleichen darf er nicht zu schwer werden, damit der Schwerpunkt des Gesamtsystems tief liegt.

Diese Argumente lassen eine Fertigung aus Aluminium sinnvoll erscheinen. Dadurch ist sowohl das geringe spezifische Gewicht als auch die geringe Permeabilität gewährleistet. Beständigkeit gegen Seewasserangriff kann ebenso gewährleistet werden wie ausreichende Festigkeit. Über die auszuwählende Sorte ist an dieser Stelle nicht mehr zu sagen als im Zwischenbericht B2 im Kapitel 9.1.

4.2.11.2 Restliche Sektionen

Für alle anderen Sektionen ist es durchaus erwünscht, wenn das spezifische Gewicht nicht zu niedrig ist. Hierfür kommen nur Stahlsorten in Betracht.

1. Seewasserbeständiger Stahl
2. Kohlenstoffstahl mit Schutzbeschichtung

Wichtige Gründe sprechen für den Einsatz eines seewasserbeständigen Stahls, z.B. dem im U-Bootbau erfolgreichen "Phönix Permex AM 35", oder seinem Vorgänger, dem Stahl x 4 Cr Ni Mo N 19 15. Beide Sorten zeichen sich durch ihre geringe Permeabilität (~ 1,01 G/Oe) sowie eine hohe σ_s-Grenze von ca. 41 Kp/mm^2 aus. Schweißbarkeit, spanende und spanlose Verformung sind gut und verursachen keine Probleme, die nicht schon lange im Umgang mit Cr-Ni-Stählen gelöst sind.

Die wichtigsten Argumente für den Einsatz dieser Sorten sind die guten technologischen Eigenschaften und der Wegfall eines

zusätzlichen Schutzüberzuges. So würde man sicher die gesamte Propellersektion mit Leitkanal, Propeller (evtl. Spezialbronze) Wellen und Flanschen aus diesen Werkstoffen herstellen. Ein Aufbringen von Schutzüberzügen ist an diesen stark beanspruchten Teilen wenig sinnvoll. Durch das Zusammenfügen mittels Schrauben bilden sich feine Fugen, die bei einer Beschichtung infolge der Dehnung bzw. Schrumpfung unter dem Einfluß des Außendruckes zu Rissen führen können. Zudem ist ein Aufbringen der Beschichtung erst nach völligem Zusammenbau möglich.

Der Einsatz eines niedrig legierten Kohlenstoffstahls ohne Seewasserbeständigkeit hat seinen Vorteil ganz eindeutig im Preis. Die einfachere Handhabung beim Schweißen sowie bei der spanenden und spanlosen Bearbeitung überwiegt indes nicht mehr die guten Werkstattserfahrungen mit den genannten seewasserbeständigen Stählen. So wird man als Quintessenz diesen trotz des etwa doppelten Preises den Vorzug geben.

Eine einzige Ausnahme mögen die Stabilisierungsausleger der Flachwasserversion bilden. Hier ist die Herstellung aus St 37 durchaus sinnvoll und ein echter Kostengewinn möglich. Die Beschichtung mit schützendem Kunstharz kann als ganzes erfolgen. Die Trennstellen sind untergeordneter Natur.

4.2.12 Energieversorgung

Die Tauchboje besitzt keine eingebaute Primärenergiequelle. Diese befindet sich im Bodengerät. Stattdessen ist im Tauchkörper eine Pufferbatterie vorhanden, die in der Lage ist, die von den großen Stromverbrauchern Antriebsmotor, Kompressermotor und Sender kurzzeitig benötigten Energiemengen zur Verfügung zu stellen. Die Kapazität der Pufferbatterie ist durch den vorhandenen Einbauraum nicht auf die unterste Auslegungsstufe beschränkt. Es ist technisch wenig sinnvoll, zu viele der in Frage kommenden Ni-Cd-Speicher parallel zu schalten, weil sie sich wegen des geringen Innenwiderstands gegenseitig entladen.

Als Richtwert für die Auslegung der Speicherbatterie soll gelten:

Spannung: 24 ÷ 48 Volt.

Die höhere Spannung ist anzustreben, weil die zu beherrschenden Ströme für starke Verbraucher gering werden und damit die Verluste (I^2 R).
Leistungsverteilung siehe Abb. 4.2.12 -1

Kapazität: 100 ÷ 200 Ah

Der niedrige Wert ist der höheren Spannung zugeordnet.

Mindestdauerleistung der Primärquelle von 100 Watt (netto)
Übertragungsspannung: Primärquelle - Boje:

100 ÷ 200 Volt.
Die hohe Spannung wird zur Vermeidung von Verlusten in den langen Fesselkabeln benötigt (besonders Tiefwasserversion).

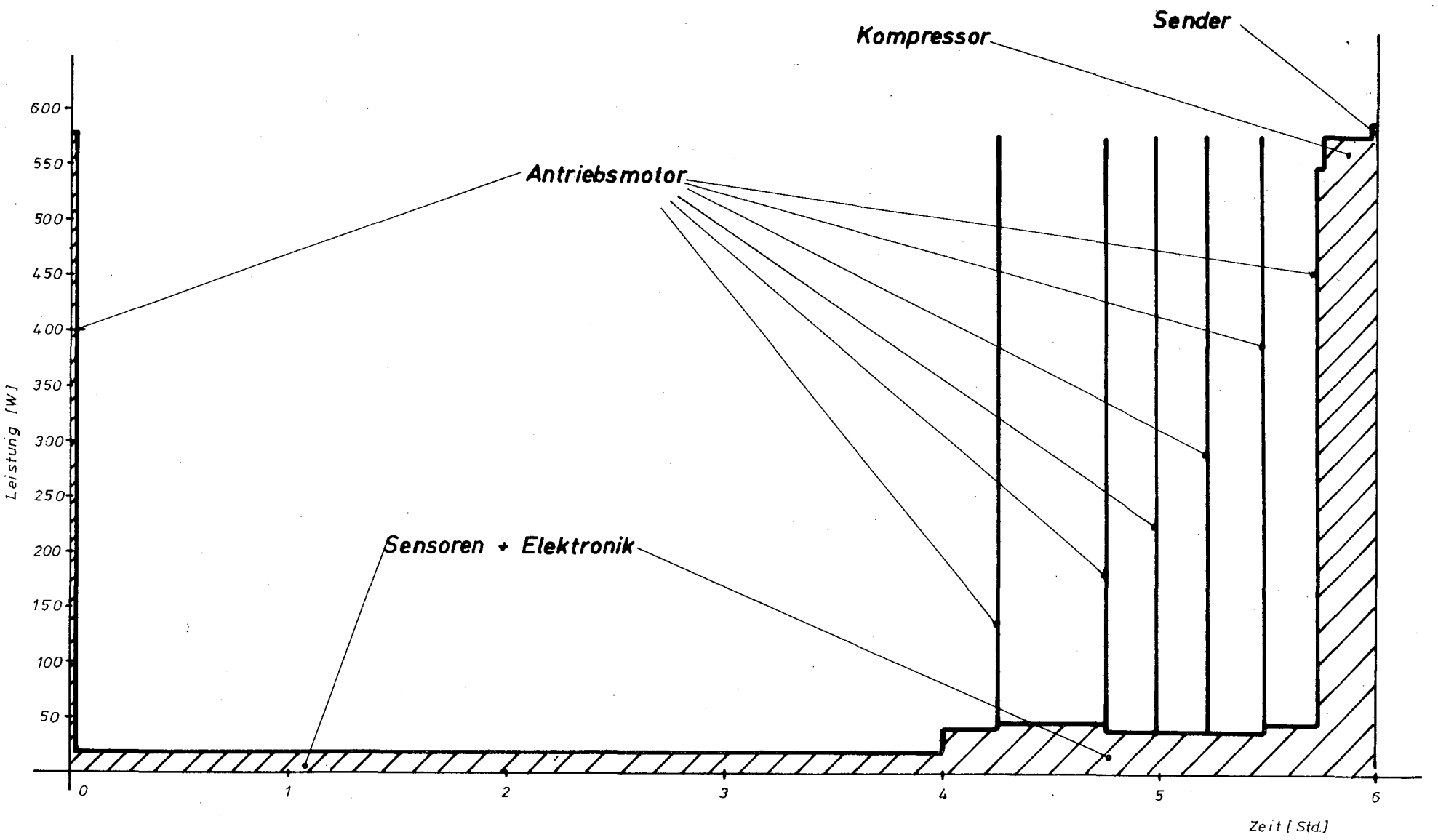


Abb. 4.2.12-1 Leistungsdiagramm für 1 Tauchzyklus
(Flachwasserversion)

4.2.13 Stabilisierung

Die Meßaufgabe der Tauchboje erfordert eine hinreichende Tiefen- und Lagestabilisierung. Im Zwischenbericht B2 sind verschiedene Methoden hierzu zusammengestellt und bewertet. Die für die Tauchboje wesentlichen Ergebnisse werden hier nochmals zusammengefaßt.

4.2.13.1 Tiefenstabilisierung

1) Aufgrund ihrer Fesselung besitzt die Boje bei konstanter Strömung eine definierte stationäre Tiefe, die durch das Kräftegleichgewicht von Gewicht, Auftrieb, Seilkraft und Strömungswiderstand gegeben ist. Bei einfacher Fesselung kann die geforderte Tiefe durch Änderung des Auftriebs oder durch Längenänderung des Seils bewirkt werden. Bei stärkerer Querströmung ist eine zweifache Fesselung vorteilhaft in der ein Halteseil die wesentlichen Strömungskräfte aufnimmt, während am Zugseil die Tiefe der Boje reguliert wird. Vorteilhaft für die Stabilisierung ist ein genügend großer Auftriebsüberschuß, der auch bei einer die konstante Strömung überlagernden Störung Zug- und Halteseil dauernd spannt.
Gewisse Vorteile hinsichtlich der Stabilisierung ergeben sich, wenn der Tauchkörper durch ein Seil geführt wird, das von einem getrennten Auftriebskörper durch einen großen Auftriebsüberschuß relativ fest gespannt ist. Der für die Stabilisierung wünschenswerte Auftriebsüberschuß ist nicht mehr an den Tauchkörper gebunden, so daß beim Tauchmanöver keine Arbeit gegen ihn geleistet werden muß.

2) Eine aktive Tiefenstabilisierung gegen Störungen, die von der Wellenbewegung des Wassers ausgelöst werden, scheidet im Wesentlichen aus. Längenänderung und Änderung des hydrostatischen Auftriebes besitzen eine zu große Zeitkonstante, um der Störung wirksam begegnen

zu können. Der Schraubenantrieb besitzt eine zu geringe Kraftreserve, um gegen die Kräfte der Strömung wirksam eingesetzt werden zu können. Der erforderliche Energiebedarf übersteigt die zulässige Größe.
Die Einsatzmöglichkeit des Schraubenantriebs zur Tiefenstabilisierung wächst mit wachsender Tauchtiefe, da (in Abhängigkeit von der Wellenlänge) die Störamplituden abnehmen.
Da die Variation der Tauchtiefe sowohl von der Störung als auch von der Dynamik der Boje selbst abhängt, kann die Einsatzmöglichkeit und -notwendigkeit einer aktiven Stabilisierung nur durch Versuche oder mit Hilfe eines brauchbaren mathematischen Modells beurteilt werden. Der Versuch einer analytischen Formulierung wird in Abschnitt 4.2.14 unternommen. Da Rechenergebnisse noch nicht vorliegen, wird hier eine grobe Abschätzung des Störungseinflusses unter folgender Annahme gemacht:

- Die Schwerpunktsbewegung der Boje ist von ihrer Drehbewegung entkoppelt, was die Unabhängigkeit des Strömungswiderstandes vom Anströmwinkel voraussetzt.

Unter diesen Umständen wird die Boje aufgrund ihrer Trägheit nur teilweise von den Wassermassen mitgeführt, da Kräfte zu ihrer Beschleunigung eine Relativgeschwindigkeit zwischen Wasser und Boje erfordern. Der Radius der Schwerpunktsbewegung ist kleiner doch höchstens gleich dem Radius des Wasserteilchens.
Solange die zu erwartende Relativgeschwindigkeit klein gegen die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers bleibt gilt angenähert

$$\frac{V_{Rel}}{V_w} \qquad \sqrt{\frac{m}{a_w \cdot 2{,}5 \cdot W_o}}$$

Mit a = Wellenamplitude in Metern

$$W_o = \frac{1}{2} c_w \cdot F \cdot \rho = 2 \cdot 10^3 \frac{kg}{m}$$

$$m = 2{,}5 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$\frac{V_{Rel}}{V_w} \approx 0{,}5$$

ergibt sich bei einer Wellenamplitude von

$c_w \approx 7$ m bereits eine Halbierung der Bewegungsamplitude der Boje.
Diese Beziehung gilt natürlich nur für den vollständig eingetauchten Zustand der Boje, da im ausgetauchten Zustand der Auftrieb von der Eintauchtiefe der Boje abhängt und der Schwerpunkt damit eine zusätzliche Rückstellkraft erfährt, die zu einer Eigenfrequenz führt, die in der Nähe der Erregung liegen kann.

3) Da ein Schub von ca. 2 kp durch den Antrieb zur Verfügung gestellt werden kann, ist eine aktive Regelung nur in einem Bereich möglich, in dem die angreifenden Störkräfte diesen Wert nicht überschreiten. Wird "keine" Tiefentoleranz gebilligt, so ist der maximale Strömungswiderstand

$$W = \frac{1}{g} \cdot Wo \cdot V_w^2 \approx 2 \cdot 10^2 \cdot V_w^2 (kp)$$

V_w hängt von der Wellenamplitude, der Wellenlänge und der Eintauchtiefe ab.
Eine Positionsregelung ist möglich, wenn

$$V_w < 10^{-1} \text{ m/sec}$$

ist.

In Tabelle 1 sind die Geschwindigkeiten an der Wasseroberfläche als Funktion der Wellenlänge und der Wellenamplitude dargestellt.
Der Dämpfungsfaktor $d = e^{\frac{2\pi y}{\lambda}}$ gibt die Geschwindig-

keitsreduktion an, die mit der Tauchtiefe $-y$ wächst. Tabelle 2 gibt den erforderlichen Wert $d = \frac{0,1}{v}$ und die Tauchtiefe $-y$ in Abhängigkeit von a und λ an, von der ab sich eine Tiefenstabilisierung mit Hilfe eines Schraubenantriebs eignet. Darunter ist der zugehörige Bewegungsradius eines Wasserteilchens angegeben.
Die Schwerpunktsbewegung der Boje ist kleiner (Schätzungsweise um den Faktor 0,1). Man erkennt, daß eine aktive Tiefenstabilisierung erst bei Tiefen einsetzbar wird, für die die Wellenamplitude bereits auf etwa ca. 1 % ihres Oberflächenwertes abgefallen ist.

a (m) \ λ (m)	6,25	12,5	25	50	100	200	400
1	3,1	2,2	1,6	1,1	0,78	0,55	0,39
0,63	1,95	1,4	1,0	0,7	0,5	0,35	0,25
1,25		2,8	2,0	1,4	1	0,7	0,50
2,5			4,0	2,8	2	1,4	1,0
5,0				5,6	4	2,8	2,0
10,0					8	5,6	4,0
20,0						11,2	8,0
40,0							16,0

Amplitude der Strömungsgeschwindigkeit in "0" m Tiefe als Funktion von Wellenlänge λ (m) und Wellenamplitute a (m) Tabelle 1

a (m) \ λ (m)	6,25		12,5		25		50		100		200		400		
0,63	5,1	3	7,1	5,3	10	8,8	14	16	20	26	28	41	40	58	d / -Y (m)
	$3 \cdot 10^{-2}$		$4,5 \cdot 10^{-2}$		$6,3 \cdot 10^{-2}$		$8,7 \cdot 10^{-2}$		$12,6 \cdot 10^{-2}$		$17,6 \cdot 10^{-2}$		$25 \cdot 10^{-2}$		a_y m
1,25			3,6	6,6	5	12	7,1	21	10	37	14	62	20	100	
			$4,5 \cdot 10^{-2}$		$6,3 \cdot 10^{-2}$		$8,7 \cdot 10^{-2}$		$12,6 \cdot 10^{-2}$		$17,6 \cdot 10^{-2}$		$25 \cdot 10^{-2}$		
2,5					2,5	15	3,6	26	5	47	7	85	10	150	
					$6,3 \cdot 10^{-2}$		$8,7 \cdot 10^{-2}$		$12,6 \cdot 10^{-2}$		$17,6 \cdot 10^{-2}$		$25 \cdot 10^{-2}$		
5,0							1,8	32	2,5	58	3,6	105	5	190	
							$8,7 \cdot 10^{-2}$		$12,6 \cdot 10^{-2}$		$17,6 \cdot 10^{-2}$		$25 \cdot 10^{-2}$		
10									1,25	70	1,8	128	2,5	230	
									$12,6 \cdot 10^{-2}$		$17,6 \cdot 10^{-2}$		$25 \cdot 10^{-2}$		

Notwendiger Dämpfungsfaktor d und Tauchtiefe - Y (m) (und der in dieser Tiefe vorhandene Bewegungsradius a_y (m)), von der ab eine Tiefenstabilisierung mit einer Dauerleistung von ca. 20 W möglich ist als Funktion von Wellenlänge λ (m) und Wellenamplitude a (m)

Tabelle 2

ERNO - Bremen

4.2.13.2 Lagestabilisierung

1) Das Kräftepaar Auftrieb - Gewicht erzeugt ein hohes Rückstellmoment. Es beträgt bei der vorliegenden Konfiguration etwa

$$G \cdot a \cdot \psi = 2{,}5 \cdot 10^3 \cdot 1{,}5 \cdot \psi$$
$$= 3{,}7 \cdot 10^3 \text{ mkp/}_{\text{rad}}$$

Bei konstanter Querströmung läßt sich (ev. durch Trimmen) der Befestigungspunkt des Seils und der Angriffspunkt des Strömungswiderstandes vereinigen, so daß sich kein konstantes Störmoment bildet, das die Boje in die Horizontale zu stellen sucht.

2) Die Eigenfrequenz liegt bei einem geschätzten Trägheitsmoment von ca. $6 \cdot 10^3$ kg · m^2 bei

$$W_o = \sqrt{\frac{3{,}7 \cdot 10^3}{6{,}0 \cdot 10^2}} \approx 2{,}5 \text{ sec}^{-1}$$

oberhalb der besonders weit in die Tiefe reichenden langwelligen Störungen.

3) Das von der Wellenbewegung verursachte Störmoment ist abhängig vom Geschwindigkeitsgradienten in Richtung größerer Tiefen. Dieser Gradient ist gerade bei langen Wellen klein, so daß die passive Lagestabilisierung schon bei geringeren Tauchtiefen wirksam wird gegenüber der Tiefenstabilisierung.

4) Die nur in beschränktem Maße zur Verfügung stehende Energie ermöglicht eine aktive Unterstützung der Lagestabilisierung nur im Bereich kleiner Lageabweichungen. (Unterstützung der Dämpfung bei Schwingungen unter 1°, Unterstützung des Richtmoments unter 0,1°, Lageabweichung).

In Tabelle 3 sind die Lagewinkelamplituden abgeschätzt, die sich bei den gewählten Wellenlängen und Wellenamplituden aufgrund des von der Tauchtiefe abhängigen Geschwindigkeitsgradienten, der Eigenfrequenz der Boje und ihres Trägheitsmoments einstellen.

5) Abschätzungen der Lagestabilität im ausgetauchten Zustand werden nicht gegeben, da hier die Kopplung zwischen Eintauchtiefe und Lage nicht vernachlässigt werden kann. Die Stabilitätsverhältnisse werden nicht nur infolge der Wasseroberfläche herrschenden größeren Kräfte verschlechtert sondern vor allem dadurch, daß sich der Angriffspunkt der Wasserkräfte in Abhängigkeit vom eingetauchten Bojenanteil ständig verschiebt, so daß die Kräfte selbst in Verbindung mit der Seilkraft ein Moment liefern und nicht nur der Kraftgradient. Außerdem verringert sich der Abstand zwischen Auftriebsmittelpunkt und Schwerpunkt, so daß das Rückstellmoment kleiner wird.

Wellenlänge	50 m	100 m		200 m		
Wellenamplitude	2,5 m	2,5 m	5 m	5 m	10 m	
Störfrequenz	1,1 sec^{-1}	0,8 sec^{-1}	0,8 sec^{-1}	0,56 sec^{-1}	0,56 sec^{-1}	
Störamplitude	$1,4 \cdot 10^{-1}$ mkp	2,2 mkp	8,8 mkp	14 mkp	56 mkp	bei 32 m Tiefe
Lagewinkelampl.	-	0,04°	0,16°	0,23°	0,86°	bei 32 m Tiefe
	0,15°	0,28°	1,1°	0,48°	1,8°	bei 16 m Tiefe
	1,1°	0,58°	2,3°	1,0°	3,8°	bis 8 m Tiefe
	2,3°	1,2°	4,8°	1,3°	4,8°	(bei 4 m Tiefe)

Amplitude des Lagewinkels als Funktion von Wellenlänge
Wellenamplitude,
Eintauchtiefe

Tabelle 3

4.2.14 Dynamik

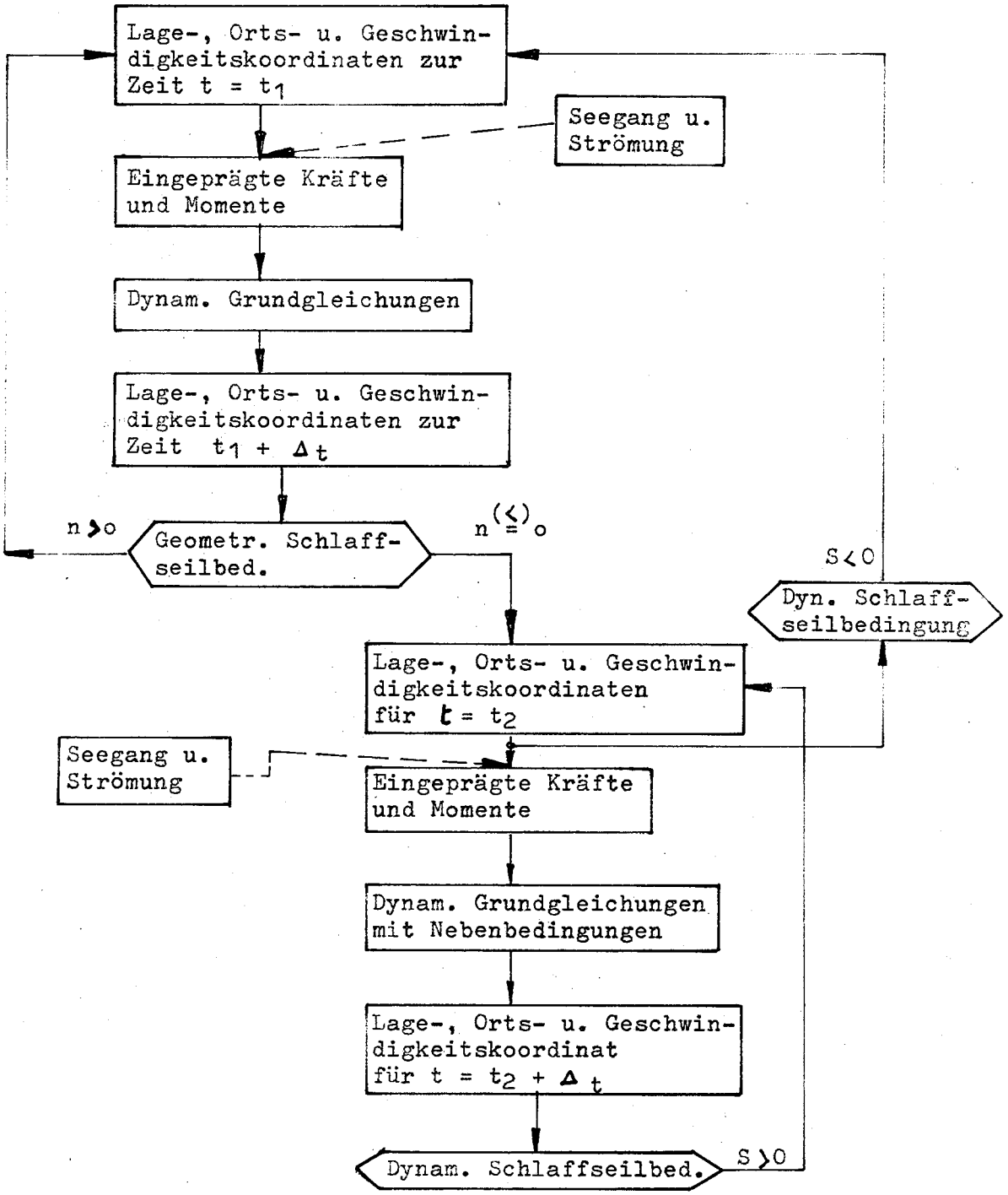
4.2.14.1 Einleitung

Zum Studium der Bojenbewegung ist ihre analytische Beschreibung mit Hilfe eines mathematischen Modells notwendig. Die größten Abweichungen von der geforderten Sollage sind im aufgetauchten Zustand zu erwarten, da dann Strömungswiderstand und Auftrieb auf Grund des Seegangs am stärksten variieren. Da die Seilfesselung nur Zugkräfte übernehmen kann, sind bei Übergang vom Schlaffseil zur Seilspannung Unstetigkeiten im Kräfte- und Momentenspiel zu erwarten, auf die die Boje besonders heftig reagieren wird. Bei aller notwendigen Vereinfachung zum Entwurf eines mathematischen Modells dürfen deshalb die obengenannten Faktoren nicht unberücksichtigt bleiben.

4.2.14.2 Formulierung der Aufgabe

Die analytische Formulierung geht von einer vorgegebenen Bojenform aus und setzt eine durch Seegang überlagerte Strömung voraus. Mit Hilfe der Anfangswerte von Orts- und Lagekoordinaten und deren ersten Ableitungen werden die an der Boje angreifenden Kräfte und Momente berechnet, die über Schwerpunktssatz und Momentensatz zu den neuen Orts- und Lagekoordinaten und deren Ableitungen führen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen den dynamischen Beziehungen bei Schlaffseil und gespanntem Seil. Im letzteren Fall treten - die Bewegung einschränkende - Nebenbedingungen zu den dynamischen Grundgleichungen hinzu. Wird angenommen, daß das Seil unelastisch und schwerelos ist, so vollzieht sich der Übergang vom Schlaffseil zum gespannten Seil ruckartig, was eine Unstetigkeit der Geschwindigkeitskoordinaten zur Folge hat. Der Übergang zwischen gespanntem Seil und Schlaffseil ist jedoch stetig.

Daraus ergibt sich folgendes grundsätzliche Rechenschema:



4.2.14.3 Definition der Koordinatensysteme

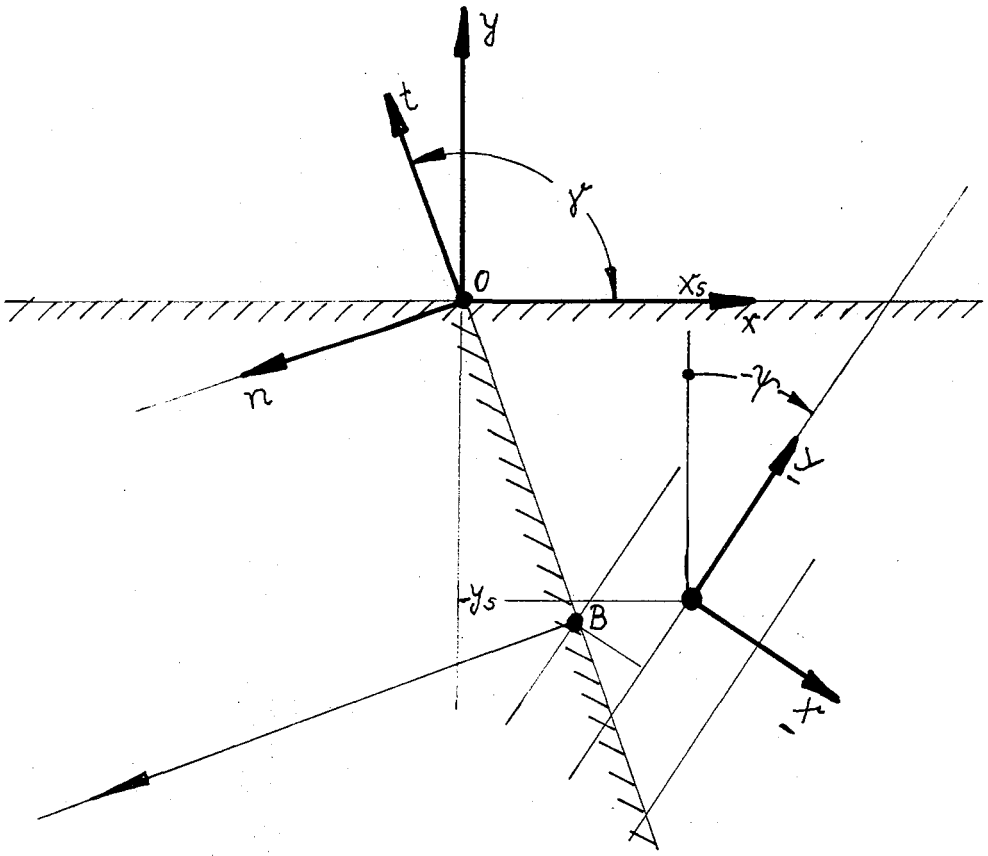
Die dynamischen Untersuchungen sollen sich auf die Bewegung in einer Vertikalebene beschränken. Ihre Beschreibung setzt die Definition der verwendeten Koordinatensysteme voraus.

4.2.14.3.1 Im raumfesten Koordinatensystem x/y stellt die x-Achse die Horizontale und die y-Achse die Vertikale dar. Der Ursprung des Koordinatensystems ist der Aufhängepunkt des Ankerseils, wenn er bei gespanntem Seil und glatter See den Wasserspiegel berührt.

4.2.14.3.2 Beim raumfesten Koordinatensystem t/n weist unter der gleichen Voraussetzung die n-Achse in Richtung des Seilzuges. Bei gespanntem Seil ist die Bewegung des Aufhängepunktes auf die t-Achse beschränkt. Die Formulierung der Bewegungsgleichungen unter Seilzug ist in diesem Koordinatensystem am einfachsten.

4.2.14.3.3 Im körperfesten Bezugssystem x/y ist die y-Achse die Bojenlängsachse, die vertikal zu stabilisieren ist. Der Ursprung des Systems ist der Schwerpunkt.

Ort und Lage der Boje sind durch die Schwerpunktskoordinaten x_S, y_S und die Neigung φ der Bojenlängsachse gegen die Vertikale bestimmt. Unter Seilzug bewegt sich der Befestigungspunkt des Ankerseils B in erster Näherung auf der Tangente n = O. Die geometrische Schlaffseilbedingung ist durch den Bereich n > o gekennzeichnet. (Siehe auch nachfolgende Skizze)



4.2.14.4 Bestimmung der eingeprägten Kräfte und Momente

Es sind folgende eingeprägte Kräfte wirksam:

1. Bojengewicht
2. Schub durch den Schraubenantrieb
3. Hydrostatischer Auftrieb
4. Strömungswiderstand und -auftrieb

Die durch diese Kräfte erzeugten Momente werden auf den Schwerpunkt der Boje bezogen.

4.2.14.4.1 Das Gewicht

Das Gewicht der Boje wird als gegeben angesehen. Es wirkt, unabhängig von der Lage der Boje, vertikal nach unten. Bezogen auf den Schwerpunkt bildet es kein Moment.

(1.1)
$$x_G = 0$$
$$y_G = -G$$
$$m_G = 0$$

4.2.14.4.2 Der Schub

Der zeitliche Verlauf des Schubs wird entweder programmgesteuert oder folgt der Führungsgröße des Tiefenreglers. Er wirkt in Richtung der körperfesten y-Achse und ist auf den Schwerpunkt ausgerichtet, so daß er kein Moment bezüglich des Schwerpunkts bildet.

(2.1) $\underline{x}_F = 0$
$\underline{y}_F = F(t)$ transformiert
$m_F = 0$

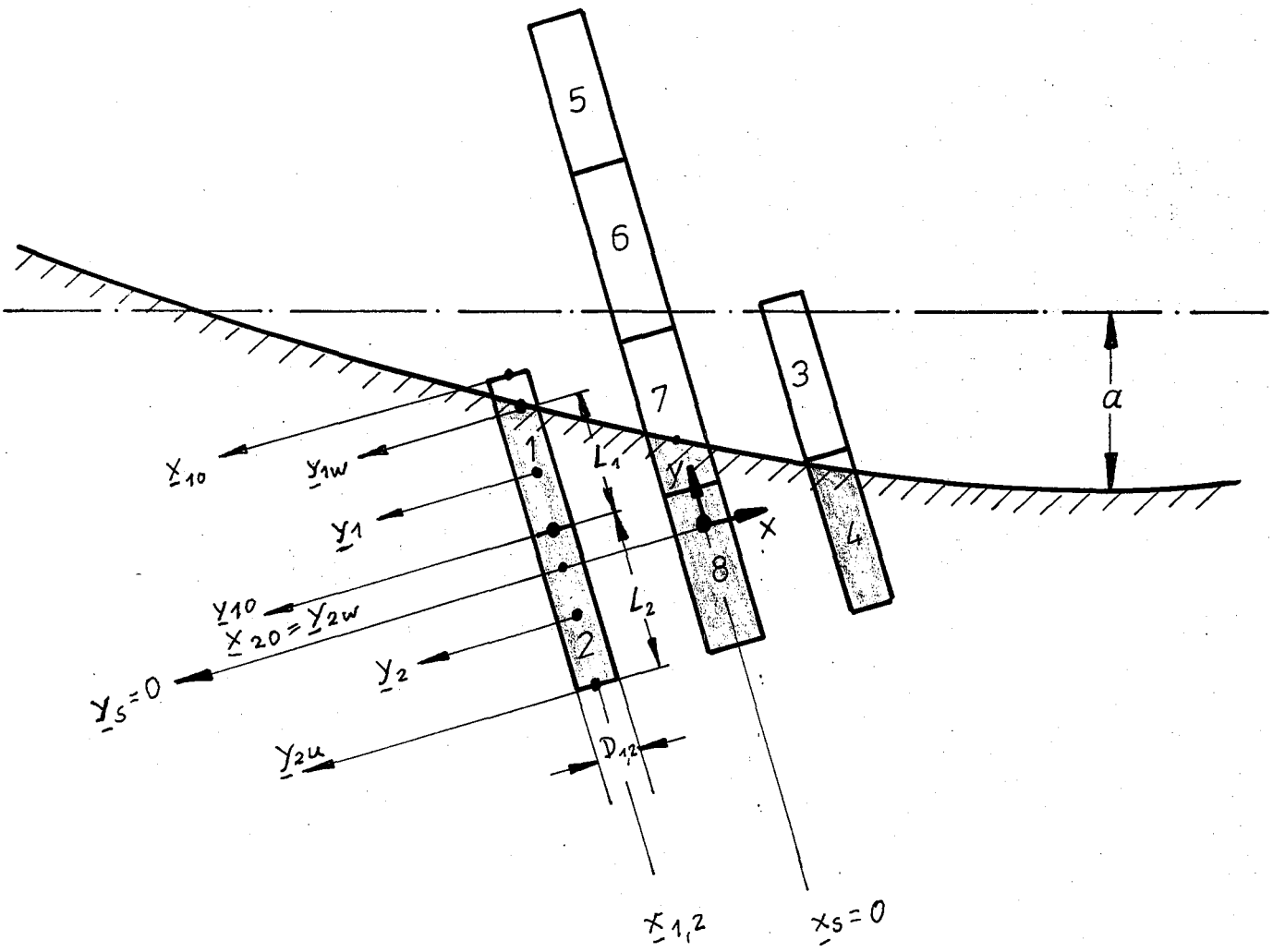
(2.2) $x_F = -F(t) \cdot \sin\psi$
$y_F = F(t) \cdot \cos\psi$
$m_F = 0$

4.2.14.4.3 Der hydrostatische Auftrieb

Der hydrostatische Auftrieb ist, unabhängig von der Bojenlage, vertikal nach oben gerichtet. Im völlig eingetauchten Zustand ist seine Größe konstant und sein Angriffspunkt liegt im körperfesten Bezugssystem fest. Im schwimmenden Zustand ist die Größe des Auftriebs und sein Angriffspunkt von Form und Größe des eingetauchten Volumens abhängig, die wiederum von den Orts- und Lagekoordinaten der Boje und der geometrischen Form von Boje und Wasseroberfläche abhängen.

Um zu einer analytischen Formulierung zu kommen, wird zunächst die Gesamtboje in vertikal zylindrische Teilkörper gegliedert (die horizontale Gliederung der Teilkörper ist im Hinblick auf die Bestimmung der hydrodynamischen Kräfte erfolgt).

(Siehe auch nachfolgende Skizze.)

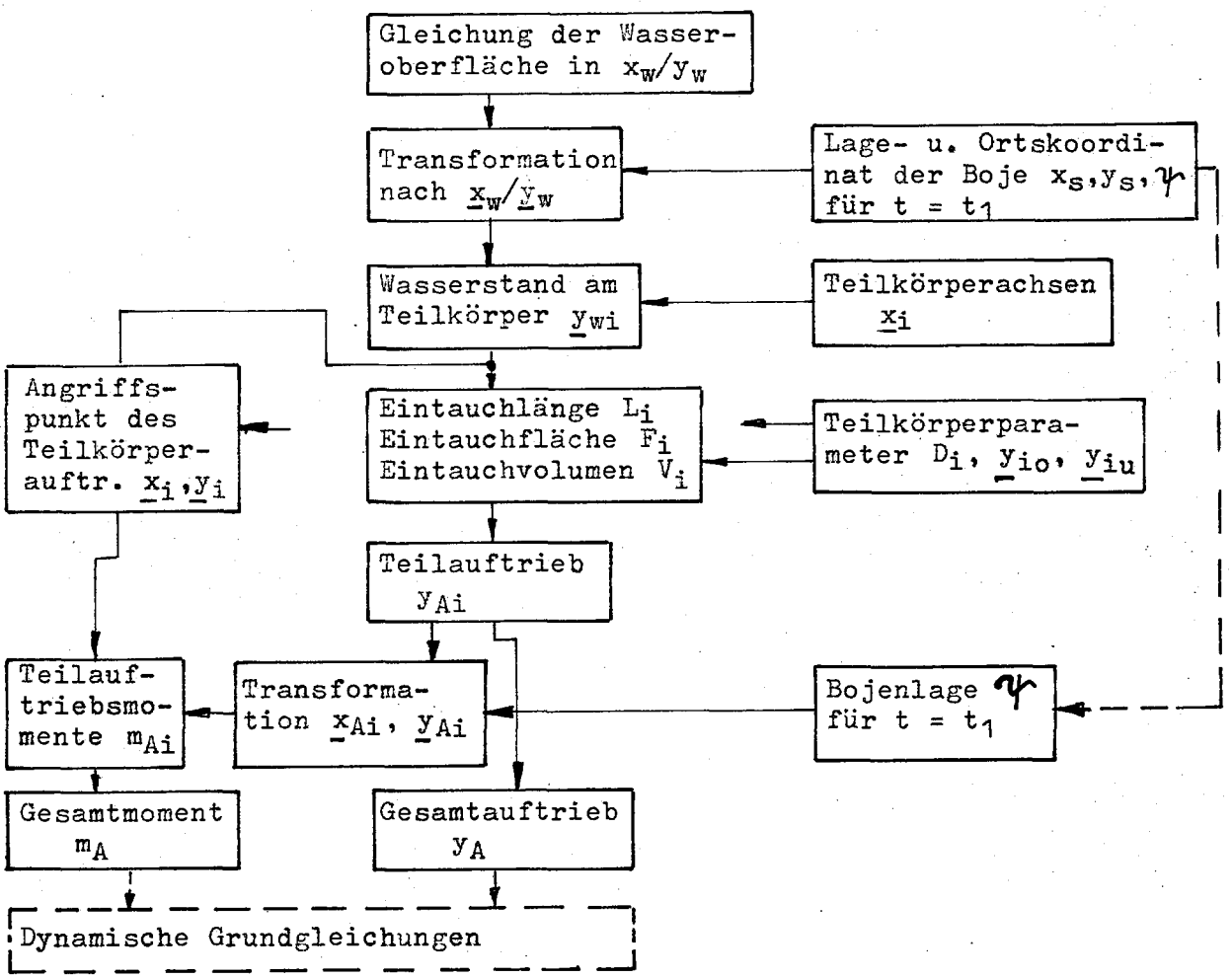


Diese Teilkörper sind im körperfesten Bezugssystem hinreichend beschrieben durch die Lage ihrer Achse $\underline{x}_i$, die obere und untere Zylindergrenze $\underline{y}_{io}$, $\underline{y}_{iu}$ und ihren (mittleren) Durchmesser D_i. Der Schnittpunkt der Achse $\underline{x}_i$ mit der Wasseroberfläche markiert den Wasserstand $\underline{y}_{iw}$ relativ zum einzelnen Teilkörper.

Aus $\underline{y}_{iw}$ und $\underline{y}_{iu}$ läßt sich die Eintauchlänge L_i bestimmen (wobei zu berücksichtigen ist, daß $\underline{y}_{iw}$ zwischen den Grenzen $\underline{y}_{io}$ und $\underline{y}_{iu}$ liegen muß).

Das Eintauchvolumen und damit der Teilauftrieb sind durch $A_i = \varsigma \cdot V_i = \varsigma \cdot L_i \cdot D_i^2 \cdot \frac{\pi}{4}$ gegeben. Der Angriffspunkt des Teilauftriebs liegt auf der Teilkörperachse $\underline{x}_i$ und in der Mitte zwischen $\underline{y}_{iw}$ und $\underline{y}_{iu}$. Aus der Neigung der Boje gegen die Vertikale ist damit das Teilmoment bezüglich des Gesamtschwerpunkts bestimmbar. Die Summenbildung über alle Teilkörper ergibt den Gesamtauftrieb und sein Drehmoment.

Damit ergibt sich folgendes grundsätzliche Rechenschema zur Bestimmung von Auftrieb und Auftriebsmoment:



Analytische Formulierung

(3.1) Gleichungen für die Wasseroberfläche

$$y_w = \begin{cases} 0 & \text{glatter See} \\ a \cdot \sin(-\omega t) & \text{bei langen Wellen im Vergleich zu den Bojenabmessungen} \\ a \cdot \sin(kx_w - \omega t) & \text{kurzen Wellen} \end{cases}$$

hierin ist a = Wellenamplitude (an der Oberfläche)

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{mit } \lambda = \text{Wellenlänge}$$

$$= \sqrt{\frac{2\pi \cdot g}{\lambda}} \quad \text{mit } g = \text{Erdbeschleunigung}$$

(3.2) Transformation in das körperfeste Bezugssystem

$$\underline{x}_w = (x_w - x_s) \cdot \cos\psi + (y_w - y_s) \cdot \sin\psi$$
$$\underline{y}_w = -(x_w - x_s) \cdot \sin\psi + (y_w - y_s) \cdot \cos\psi$$

(3.3) Wasserstand am Teilkörper als Schnittpunkt der Oberfläche mit den Teilkörperachsen

$$\underline{x}_w = \underline{x}_i$$

dann ist

$$\underline{y}_{iw} = \left[(y_w - y_s) - \underline{x}_i \cdot \sin\psi\right] \cdot \frac{1}{\cos\psi}$$

wobei je nach Oberflächenform

$$y_w = \begin{cases} 0 \\ a \cdot \sin(-\omega t_1) \\ a \cdot \sin(kx_w - \omega t_1) \end{cases}$$

zu setzen ist.

Im Fall 3 ist x_w vorher als Lösung der transzendenten Gleichung

$$(x_w - x_s) \cdot \cos\psi + \left[a \cdot \sin(kx_w - \omega t) - y_s\right] \cdot \sin\psi = \underline{x}_i$$

zu bestimmen.

(3.4) Die Eintauchlänge

$$L_i = \begin{cases} \underline{y}_{io} - \underline{y}_{iu} \\ \underline{y}_{iw} - \underline{y}_{iu} \\ 0 \end{cases} \quad \text{für} \quad \begin{cases} \underline{y}_{iw} > \underline{y}_{io} \\ \underline{y}_{io} \geq \underline{y}_{iw} \geq \underline{y}_{iu} \\ \underline{y}_{iu} > \underline{y}_{iw} \end{cases}$$

die eingetauchte Fläche

$$F_i = L_i \cdot D_i$$

das eingetauchte Volumen

$$V_i = L_i \cdot \frac{D_i^2}{4} \cdot$$

der Teilauftrieb in den komponenten x, y

$$x_{Ai} = 0$$
$$y_{Ai} = L_i \cdot \frac{D_i^2}{4} \cdot \pi \cdot \varrho$$

(3.5) Die Koordinaten des zugehörigen Angriffspunktes $\underline{x}_i / \underline{y}_i$

$$y_i = \begin{cases} \frac{\underline{y}_{iu} + \underline{y}_{io}}{2} \\ \frac{\underline{y}_{iu} + \underline{y}_{iw}}{2} \\ 0 \end{cases} \quad \text{für} \quad \begin{cases} \underline{y}_{iw} > \underline{y}_{io} \\ \underline{y}_{io} \geq \underline{y}_{iw} \geq \underline{y}_{iu} \\ \underline{y}_{iu} > \underline{y}_{iw} \end{cases}$$

(3.6) Transformation der Auftriebskomponenten in das körperfeste Bezugssystem

$$\underline{x}_{Ai} = y_{Ai} \cdot \sin \psi$$
$$\underline{y}_{Ai} = y_{Ai} \cdot \cos \psi$$

(3.7) Drehmoment des Teilauftriebs bezogen auf den Schwerpunkt

$$m_{Ai} = \underline{x}_i \cdot \underline{y}_{Ai} - \underline{y}_i \cdot \underline{x}_{Ai}$$

(3.8) Den Rechengang für alle Teilkörper wiederholen.

(3.9) Gesamtmoment und Gesamtauftrieb bilden bezogen auf den Schwerpunkt

$$m_A = \sum m_{Ai} \qquad x_A = \sum x_{Ai} = 0 \qquad y_A = \sum y_{Ai}$$

4.2.14.4.4 Die hydrodynamischen Kräfte und Momente

Die hydrodynamischen Kräfte und Momente hängen von der Stärke und Richtung ab, mit der die (eingetauchten) Teile der Bojenoberfläche angeströmt werden. Dabei ändert die Boje selbst durch ihre Form, Lage und Bewegung die durch die Wellenbewegung bereits recht komplizierten Strömungsverhältnisse. Eine strenge, auf hydrodynamischen Theorien begründete Bestimmung scheint deshalb unmöglich.

Hier wird angenommen, daß unter den folgenden idealisierten Bedingungen brauchbare Ergebnisse gewonnen werden:

1. Die Gesamtboje wird in zylindrische Teilkörper unterteilt, für die örtlich konstante Anströmungsverhältnisse angenommen werden. Dabei sollen die für die Bestimmung des hydrostatischen Auftriebs herangezogenen Teilkörper verwendet werden, so daß die dort bestimmten Teilflächen F_i und Kraftangriffspunkte $\underline{y}_i$ hier Verwendung finden. (Eine gewisse horizontale Gliederung der zylindr. Teilkörper ist erforderlich, wenn Dämpfungsmomente gegenüber der Verdrehung gewonnen werden sollen.)

2. Die Teilkräfte werden als Widerstand W_i und Auftrieb U_i nach der Beziehung

$$W_i = c_W(\alpha_i)\, F_i \frac{\rho}{2} v_i^2$$

$$U_i = c_A(\alpha_i)\, F_i \frac{\rho}{2} v_i^2$$

bestimmt, wobei Widerstands- und Auftriebsbeiwert nur Funktionen des Anströmwinkels α_i sind und bei gleichförmiger Anströmung experimentell bestimmt werden.

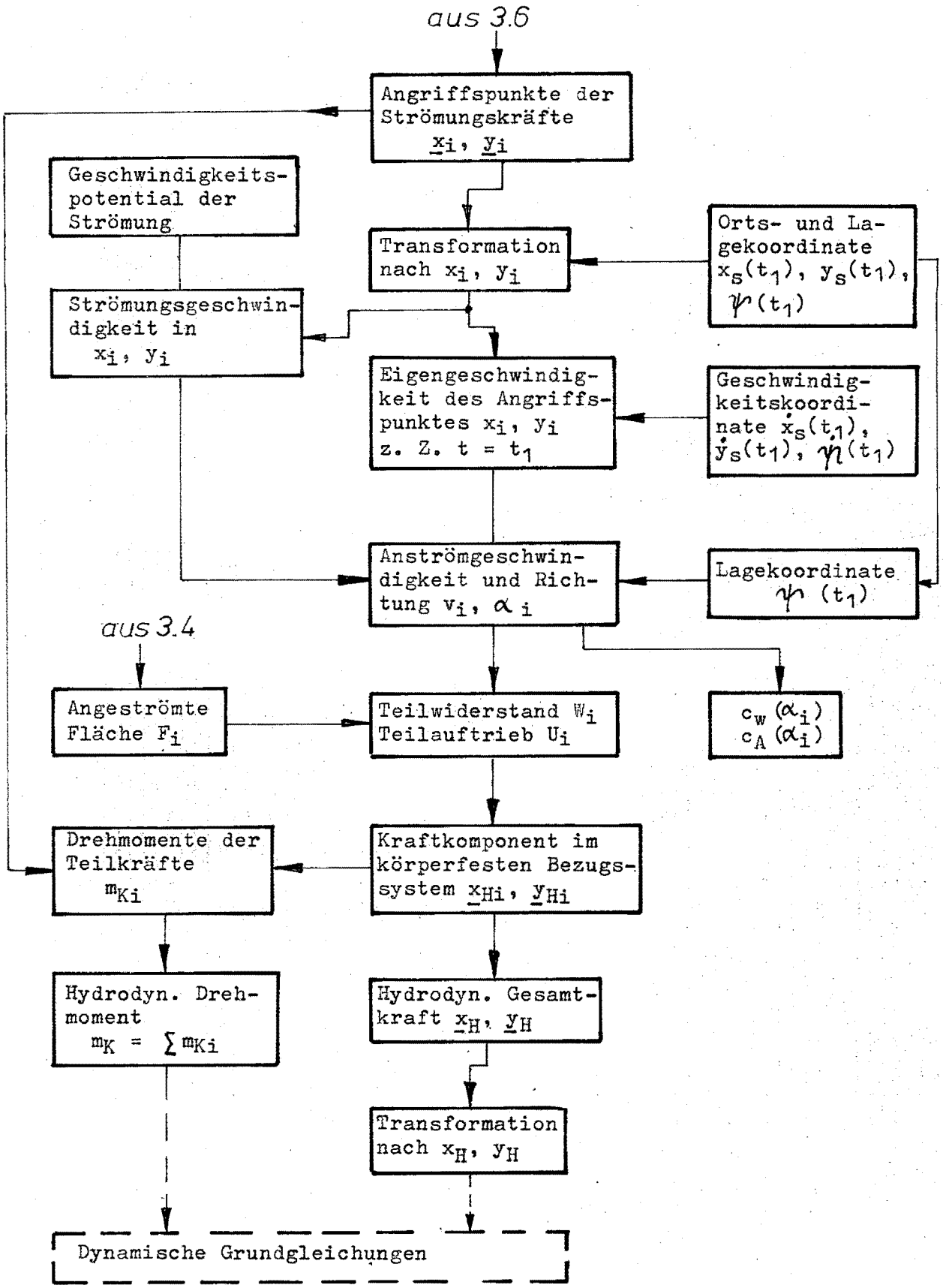
3. Die Anströmgeschwindigkeit setzt sich vektoriell zusammen aus der nicht durch die Boje gestörten Strömung am geometr. Zentrum (Kraftangriffspunkt) des angeströmten Teilkörpers und der Eigenbewegung dieses Punktes aufgrund der Bojengeschwindigkeit und Drehgeschwindigkeit.

4. Die Angriffspunkte der Teilkräfte sind die unter 3. genannten geometrischen Zentren, die gemäß 1. erhalten werden.

5. Die Gesamtkraft und das Gesamtmoment sind die (vektoriellen) Summen der Teilkräfte und Momente.

Damit ergibt sich folgendes grundsätzliche Rechenschema zur Bestimmung der hydrodynamischen Kräfte und Momente:

(Darstellung siehe nächste Seite)


aus 3.6
Angriffspunkte der Strömungskräfte $\underline{x}_i$, $\underline{y}_i$
Geschwindigkeitspotential der Strömung
Transformation nach x_i, y_i
Orts- und Lagekoordinate $x_S(t_1)$, $y_S(t_1)$, $\varphi(t_1)$
Strömungsgeschwindigkeit in x_i, y_i
Eigengeschwindigkeit des Angriffspunktes x_i, y_i z. Z. $t = t_1$
Geschwindigkeitskoordinate $\dot{x}_S(t_1)$, $\dot{y}_S(t_1)$, $\dot{\varphi}(t_1)$
Anströmgeschwindigkeit und Richtung v_i, α_i
Lagekoordinate $\varphi(t_1)$
aus 3.4
Angeströmte Fläche F_i
Teilwiderstand W_i Teilauftrieb U_i
$c_w(\alpha_i)$ $c_A(\alpha_i)$
Drehmomente der Teilkräfte m_{Ki}
Kraftkomponente im körperfesten Bezugssystem $\underline{x}_{Hi}$, $\underline{y}_{Hi}$
Hydrodyn. Drehmoment $m_K = \sum m_{Ki}$
Hydrodyn. Gesamtkraft $\underline{x}_H$, $\underline{y}_H$
Transformation nach x_H, y_H
Dynamische Grundgleichungen

Analytische Formulierung

(4.1) Koordinaten der Angriffspunkte der Teilkräfte $\underline{x}_i$, $\underline{y}_i$ aus (3.6) übernehmen.

(4.2) Transformation des Angriffspunkts

$$x_i = x_s + \underline{x}_i \cdot \cos\psi - \underline{y}_i \cdot \sin\psi$$
$$y_i = y_s + \underline{x}_i \cdot \sin\psi + \underline{y}_i \cdot \cos\psi$$

(4.3) Eigengeschwindigkeit der x_i, y_i

$$\dot{x}_i = \dot{x}_s - \dot{\psi}\,(+\underline{x}_i \sin\psi + \underline{y}_i \cos\psi)$$
$$\dot{y}_i = \dot{y}_s + \dot{\psi}\,(\underline{x}_i \cos\psi - \underline{y}_i \sin\psi)$$

(4.4) Strömungsgeschwindigkeit am Angriffspunkt x_i, y_i:
Es wird einer konstanten Anströmung die durch die Wellen verursachte Strömung überlagert.

$$\dot{x}_{ci} = \dot{x}_{co} + A \cdot k \cdot \sin(kx_i - \omega t) \cdot e^{ky_i}$$
$$\dot{y}_{ci} = \dot{y}_{co} - A \cdot k \cdot \cos(kx_i - \omega t) \cdot e^{ky_i}$$

hierin ist $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ λ = Wellenlänge

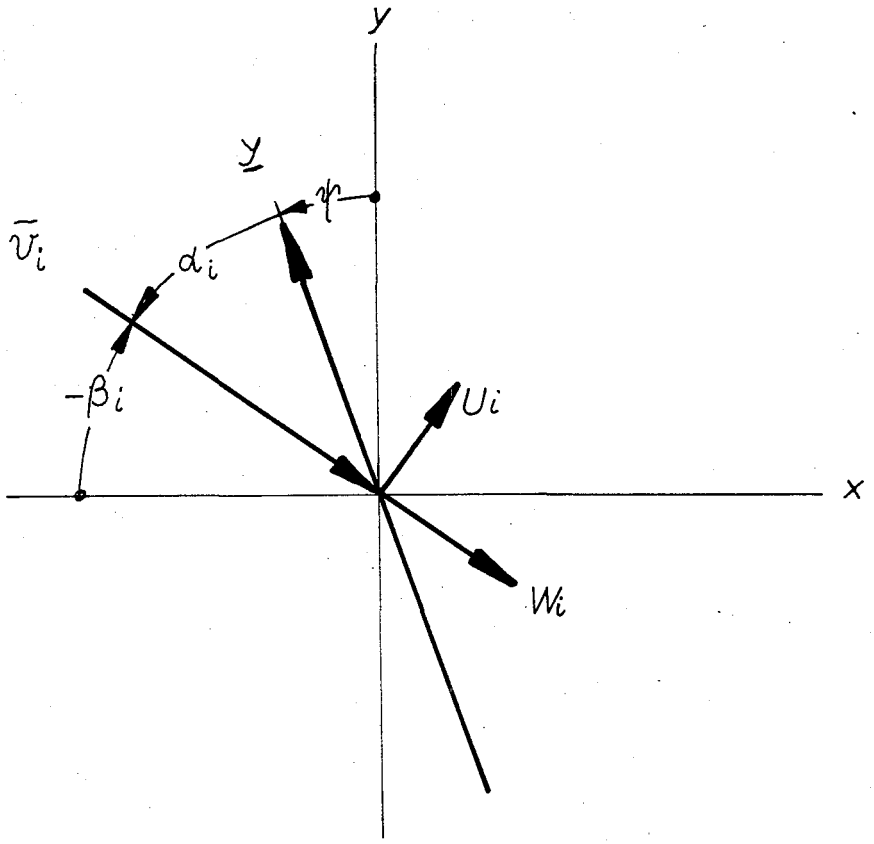
$A = \frac{a \cdot g}{\omega}$ a = Wellenamplitude an der Wasseroberfläche

$\omega = g \cdot k = v \cdot k$ g = Erdbeschleunigung

v = Phasengeschwindigkeit der Welle

(4.5) Anströmgeschwindigkeit und-Richtung für den Teilkörper

$$x_{vi} = \dot{x}_{ci} - \dot{x}_i$$
$$y_{vi} = \dot{y}_{ci} - \dot{y}_i$$
$$v_i^2 = (\dot{x}_{ci} - \dot{x}_i)^2 + (\dot{y}_{ci} - \dot{y}_i)^2$$
$$\beta_i = \operatorname{artg}\left(\frac{y_{vi}}{x_{vi}}\right)$$
$$\alpha_i = 90^o + \beta_i - \psi$$



(4.6) Die Fläche F_i aus (3.4) übernehmen.

(4.7) Der Strömungswiderstand und -auftrieb

$$W_i = c_w(\alpha_i) \cdot F_i \cdot \frac{\varrho}{2} \cdot v_i^2$$

$$U_i = c_w(\alpha_i) \cdot F_i \cdot \frac{\varrho}{2} \cdot v_i^2$$

(4.8) Die Kraftkomponenten im körperfesten Bezugssystem

$$\underline{x}_{Hi} = W_i \cdot \cos(\psi - \beta_i) + U_i \cdot \sin(\psi - \beta_i)$$
$$\underline{y}_{Hi} = W_i \cdot \sin(\psi - \beta_i) + U_i \cdot \cos(\psi - \beta_i)$$

(4.9) Das Drehmoment bezogen auf den Schwerpunkt

$$m_{Hi} = \underline{x}_i \cdot \underline{y}_{Hi} - \underline{y}_i \cdot \underline{x}_{Hi}$$

(4.10) Die Kraftkomponenten im raumfesten Bezugssystem

$$x_{Hi} = W_i \cdot \cos \beta_i - U_i \sin \beta_i$$
$$y_{Hi} = W_i \cdot \sin \beta_i + U_i \cos \beta_i$$

(4.11) Den Rechengang für alle Teilkörper wiederholen.

(4.12) Das Gesamtmoment und die Komponenten der gesamten hydrodynamischen Kräfte bestimmen.

$$x_{Hi} = \sum x_{Hi} \qquad y_{Hi} = \sum y_{Hi} \qquad m = \sum m_{Hi}$$

4.2.14.4.5 Bestimmung der neuen Ort-, Lage- und Geschwindigkeitskomponenten

Mit den eingeprägten Kräften und Momenten lassen sich bei Schlaffseil die Orts-, Lage- und Geschwindigkeitskoordinaten zum Zeitpunkt $t = t_1 + \Delta t$ über die dynamischen Grundbeziehungen bestimmen. Ein geeignetes numerisches Integrationsverfahren hat dabei das Differentialgleichungssystem

$$M \cdot \ddot{x}_S = x_F + x_H$$
$$M \cdot \ddot{y}_S = y_G + y_F + y_A + y_H$$
$$\Theta_S \cdot \ddot{\psi} = m_A + m_H$$

M = Masse der Boje

Θ_S = Trägheitsmoment bezogen auf den Schwerpunkt

zu lösen. Die Anfangsbedingungen müssen so gewählt sein, daß die Schlaffseilbedingung erfüllt ist.

4.2.14.4.6 Die Seilkraft

Es wird idealisierend angenommen:

Das Seil ist im Wasser gewichts- und widerstandslos,
es ist unelastisch,
es überträgt nur Zugkräfte

(Die Bewegungsstörungen, die aus diesen Annahmen berechnet werden, sind größer als die tatsächlichen. Eine realistischere Annäherung an die wahren Verhältnisse muß einer späteren Analyse vorbehalten bleiben.)

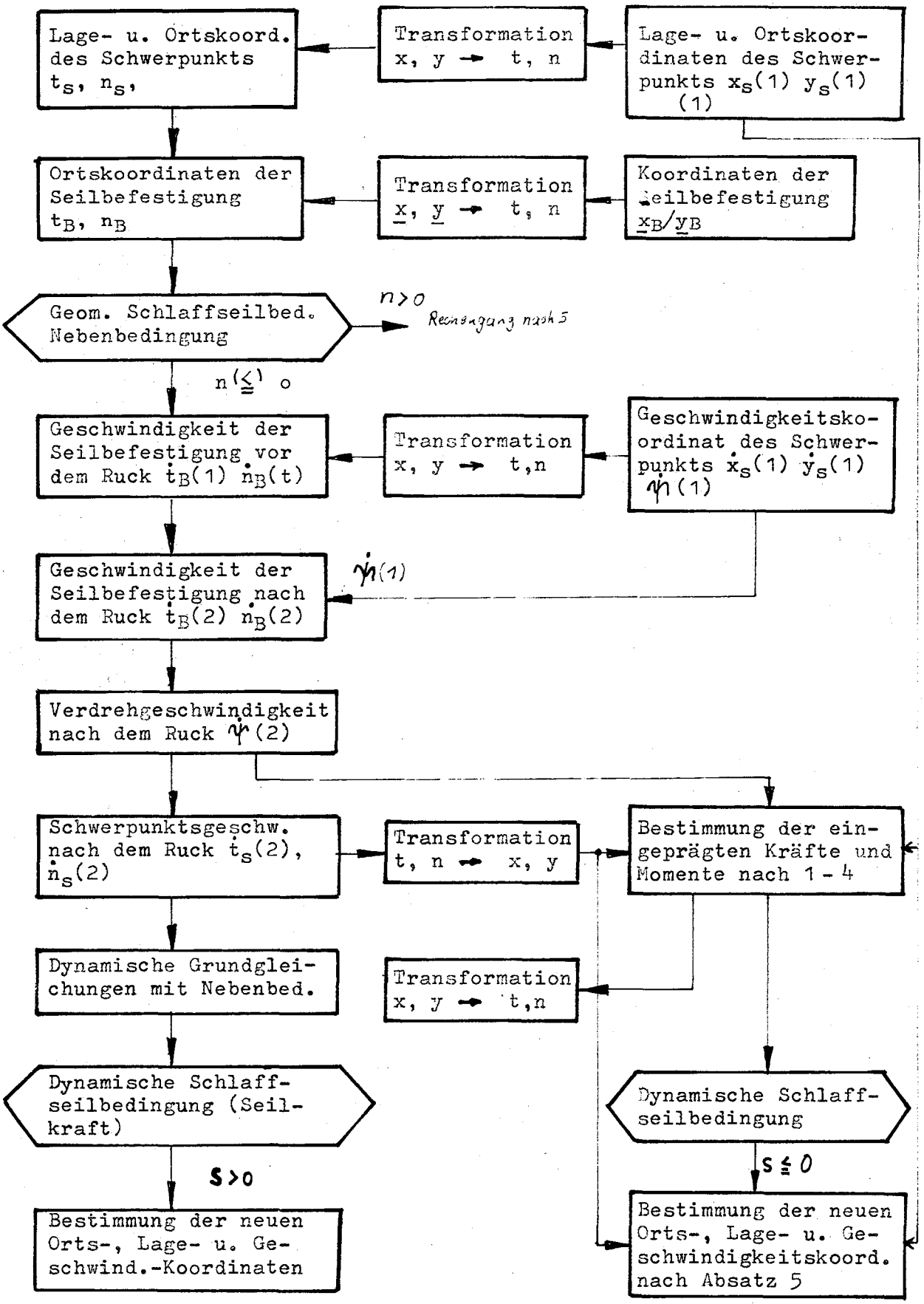
Unter diesen Annahmen ist die Bewegungsfreiheit der Boje auf ein Gebiet beschränkt, das nicht über die Seillänge L_s vom Verankerungspunkt hinausreicht. Wenn die Strömung die Boje über die Grenze dieses Gebiets zu treiben versucht, wird sie durch einen Seilruck festgehalten. Dieser Ruck hat eine unstetige Änderung der Bojengeschwindigkeit und -drehung zur Folge. Die Werte der Geschwindigkeiten unmittelbar nach dem Seilruck $\dot{x}_s(t_2)$, $\dot{y}_s(t_2)$, $\dot{\psi}(t_2)$ sind aus den Geschwindigkeiten unmittelbar vor dem Ruck $\dot{x}_s(t_1)$, $\dot{y}_s(t_1)$, $\dot{\psi}(t_1)$ zu berechnen. (Es bleibt im Zeitintervall des Rucks der Drall der Boje - bezogen auf den Seilbefestigungspunkt - erhalten, weil die eingeprägten Kräfte endlich sind und die Seilkräfte bezogen auf ihren Angriffspunkt kein Moment bilden; daneben wird angenommen, daß die Geschwindigkeitskomponente des Befestigungspunktes tangential zur Gebietsgrenze erhalten bleibt, während die Normalkomponente verschwindet.)

Danach zwingt die Seilkraft der Boje eine Bewegung auf, die auf die Gebietsgrenzen beschränkt ist. Neben die dynamischen Grundgleichungen tritt die analytische Beschreibung der Gebietsgrenze als Nebenbedingung. Aus dem durch diese Nebenbedingung vervollständigten Gleichungssystem sind Bewegungsablauf und Seilkraft bestimmbar.

Es muß nun geprüft werden, ob die errechnete Seilkraft positiv, d. h. auf die Verankerung gerichtet ist. Da das Seil nur Zugkräfte aufnehmen kann, sind negative Seilkräfte unmöglich. In diesem Fall erhält die Boje ihre volle Bewegungsfreiheit zurück und folgt den dynamischen Grundgesetzen ohne Nebenbedingung gemäß der errechneten eingeprägten Kräfte. Das Seil wird schlaff.

Es ergibt sich folgendes grundsätzliche Rechenschema, wobei zu berücksichtigen ist, daß sich die Bewegungsvorgänge im Koordinatensystem t, n am einfachsten formulieren lassen:

(Darstellung siehe nächste Seite)


Lage- u. Ortskoord. des Schwerpunkts t_S, n_S,
Transformation x, y → t, n
Lage- u. Ortskoordinaten des Schwerpunkts $x_S(1)$ $y_S(1)$ (1)
Ortskoordinaten der Seilbefestigung t_B, n_B
Transformation $\underline{x}$, $\underline{y}$ → t, n
Koordinaten der Seilbefestigung $\underline{x}_B/\underline{y}_B$
Geom. Schlaffseilbed. Nebenbedingung
n > 0
Rechengang nach 5
n (≦) o
Geschwindigkeit der Seilbefestigung vor dem Ruck $\dot{t}_B(1)$ $\dot{n}_B(t)$
Transformation x, y → t,n
Geschwindigkeitskoordinat des Schwerpunkts $\dot{x}_S(1)$ $\dot{y}_S(1)$ $\dot{\psi}(1)$
Geschwindigkeit der Seilbefestigung nach dem Ruck $\dot{t}_B(2)$ $\dot{n}_B(2)$
$\dot{\psi}(1)$
Verdrehgeschwindigkeit nach dem Ruck $\dot{\psi}(2)$
Schwerpunktsgeschw. nach dem Ruck $\dot{t}_S(2)$, $\dot{n}_S(2)$
Transformation t, n → x, y
Bestimmung der eingeprägten Kräfte und Momente nach 1 - 4
Dynamische Grundgleichungen mit Nebenbed.
Transformation x, y → t,n
Dynamische Schlaffseilbedingung (Seilkraft)
Dynamische Schlaffseilbedingung
S > 0
S ≦ 0
Bestimmung der neuen Orts-, Lage- u. Geschwind.-Koordinaten
Bestimmung der neuen Orts-, Lage- u. Geschwindigkeitskoord. nach Absatz 5

Analytische Formulierung

(6.1) Transformationen nach t, n des Schwerpunkts S

$$t_S = x_S \cdot \cos\gamma + y_S \cdot \sin\gamma$$
$$n_S = x_S \cdot \sin\gamma + y_S \cdot \cos\gamma$$

des Radiusvektors sB

$$t_{sB} = \underline{x}_B \cdot \cos(\gamma - \psi) + \underline{y}_B \cdot \sin(\gamma - \psi)$$
$$n_{sB} = -\underline{x}_B \cdot \sin(\gamma - \psi) + \underline{y}_B \cdot \cos(\gamma - \psi)$$

des Befestigungspunkts B

$$t_B = t_s + t_{sB}$$
$$n_s = n_s + n_{sB}$$

der Schwerpunktsgeschwindigkeit

$$\dot{t}_s = \dot{x}_s \cdot \cos\gamma + y_s \cdot \sin\gamma$$
$$\dot{n}_s = -x_s \cdot \sin\gamma + y_s \cdot \cos\gamma$$

(6.2) Die geometrische Schlaffseilbedingung ist

$$n_B > 0$$

(6.3) Die Nebenbedingung für die Bewegung bei gespanntem Seil ist

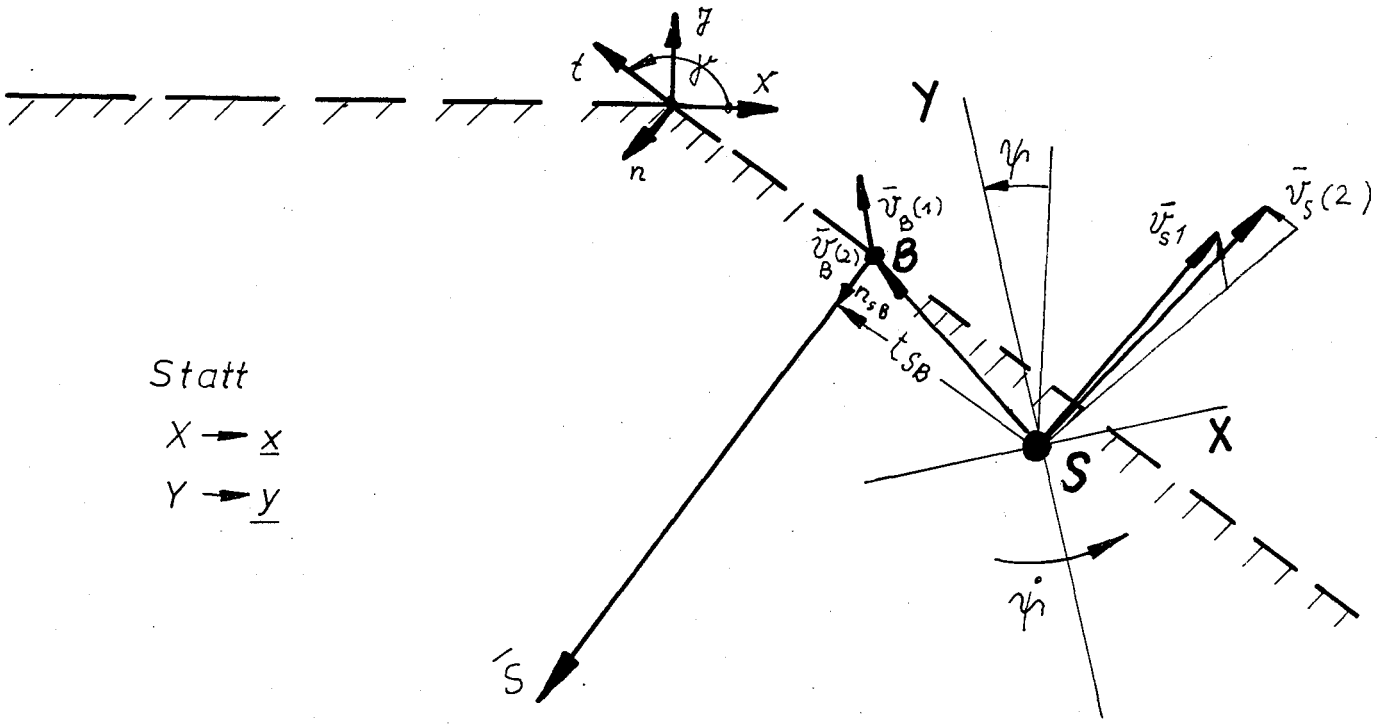
$$n_B = 0 \quad \text{(Ersatz der Kreislinie durch ihre Tangente)}$$

bzw. $\dot{n}_B = \dot{n}_s + \dot{\psi} \cdot t_{sB} = 0$

bzw. $\ddot{n}_B = \ddot{n}_s + \ddot{\psi} \cdot t_{sB} - \dot{\psi}^2 \cdot n_{sB} = 0$

(6.4) Änderung der Geschwindigkeitskoordinaten des Punktes B durch den Seilruck

$$\dot{n}_B(2) = 0$$
$$\dot{t}_B(2) = \dot{t}_B(1) = \dot{t}_s(1) - \dot{\psi}(1) \cdot n_{sB}(1)$$



(6.5) Änderung der Winkelgeschwindigkeit durch den Seilruck

$$\dot{\psi}(2) = \dot{\psi}(1) - \frac{M}{\theta_S + M\,(\underline{x}_B^2 + \underline{y}_B^2)} \cdot t_{sB}(1) \cdot \dot{n}_B(1)$$

(M = Gesamtmasse der Boje

θ_S = Trägheitsmoment bezogen auf den Schwerpunkt)

(6.6) Bestimmung der Schwerpunktsgeschwindigkeit nach dem Ruck

$$\dot{t}_s(2) = \dot{t}_B(2) + \dot{\psi}(2) \cdot n_{sB}(1)$$
$$\dot{n}_s(2) = -\dot{\psi}(2) \cdot t_{sB}(1)$$

(6.7) Transformation nach x, y

$$\dot{x}_s(2) = \dot{t}_s(2) \cdot \cos\gamma - \dot{n}_s(2) \cdot \sin\gamma$$
$$\dot{y}_s(2) = \dot{t}_s(2) \cdot \sin\gamma + \dot{n}_s(2) \cdot \cos\gamma$$

(6.8) Bestimmung der eingeprägten Kräfte x_K, y_K nach den Rechenvorschriften der Abschnitte 1 - 4 mit den Lage- und Ortskoordinaten

$$x_s(2) = x_s(1) \qquad y_s(2) = y_s(1) \qquad \psi(2) = \psi(1)$$

und den Geschwindigkeitskoordinaten

$$\dot{\psi}(2)\ ,\ \dot{x}_s(2)\ ,\ \dot{y}_s(2) \qquad \text{gemäß (5.5) und (5.7)}$$

(6.9) Transformation der x_K, y_K in das t, n - Bezugssystem

$$t_K = x_K \cdot \cos\gamma + y_K \cdot \sin\gamma$$
$$n_K = -x_K \cdot \sin\gamma + y_K \cdot \cos\gamma$$

(6.10) Auflösung der dynamischen Grundgleichungen mit Nebenbedingungen nach den momentanen Beschleunigungen $\ddot{t}_s$, $\ddot{n}_s$, $\ddot{\psi}$ und der Seilkraft S

$$M \cdot \ddot{t}_s + 0 \cdot \ddot{n}_s + 0 \cdot \ddot{\psi} + 0 \cdot S = t_K$$
$$0 \cdot \ddot{t}_s + M \cdot \ddot{n}_s + 0 \cdot \ddot{\psi} - 1 \cdot S = n_K$$
$$0 \cdot \ddot{t}_s + 0 \cdot \ddot{n}_s + \Theta_s \cdot \ddot{\psi} - t_{sB} \cdot S = m_K$$
$$0 \cdot \ddot{t}_s + 1 \cdot \ddot{n}_s + t_{sB} \cdot \ddot{\psi} + 0 \cdot S = (\dot{\psi})^2 \cdot n_{sB}$$

(Die Determinante des Gleichungssystems ist

$$M\,(M \cdot t_{sB}^2 + \Theta_s) > 0$$

(6.11) Bei positiver Seilkraft geeignete numerische Integration von (6.10) mit den Anfangswerten

$$t_s(2),\ n_s(2),\ \psi(2),\ \dot{t}_s(2),\ \dot{n}_s(2) = 0,\ \dot{\psi}(2)$$

(6.12) Bei negativer Seilkraft Bestimmung der neuen Orts-, Lage- und Geschwindigkeitskoordinaten nach Abschnitt 5 mit den eingeprägten Kräften nach 6.8 und den Anfangsbedingungen (2).

4.3 Bodengerät

4.3.1 Konfiguration

Bodengeräte für Tauchbojen dienen zwei Aufgaben:

1. Ankerung und Aufnahme von Energieversorgung und evtl. Unterwasserwinde
2. Ankerung der Fesselseile.

Die im Zwischenbericht B 2 beschriebenen, charakteristischen Merkmale der Bodengeräte sind Ausgangspunkt dieser weiteren Ausarbeitung, ebenso das Baukastenprinzip.

Das Bodengerät wird grundsätzlich in Ankerteil und Geräteaufsatz unterteilt. Aufgrund des Baukastenprinzips können auf jeden Ankerteil verschiedene Geräteaufsätze z. B. mit folgenden Funktionen aufgesetzt werden:

- Unterwasserwinde mit Energieversorgung,
- Fesselseilhalterung mit Energieversorgung,
- Fesselseilhalterung,
- ozeanographische Meßgeräte.

Der Gerätesatz ist mit einer Trennvorrichtung zur Trennung vom Ankerteil ausgerüstet, welche über Ultraschallkommando vom Wartungsschiff ausgelöst werden kann.

Die Auslegung der Bodengeräte sieht völligen Druckausgleich vor, damit der Einsatz in allen erforderlichen Meerestiefen möglich ist. Erforderlichenfalls können die Geräteaufsätze bei Einsatz in größeren Meerestiefen getrennt vom Ankerteil auf einem Zwischenkörper (sh. Kap. 4.4) installiert werden.

4.3.2 Ankerteil

Ankerteile sind für verschiedene Meeresböden ausgelegt. Die Beschreibung der einzelnen Typen ist im Zwischenbericht B 2 ausreichend erfolgt. Sie bildet die Grundlage für die weitere Ausarbeitung des Ankerteils. Grundsätzlich haben alle Ankerteile die gleiche innere Konfiguration.

Sie können wahlweise die unter 4.3.1 aufgeführten Geräteaufsätze aufnehmen. Ankerteile sind sogenannte "verlorene Geräte", d. h. sie werden bei Außerbetriebnahme oder Positionswechsel eines Bojensystems nicht geborgen. Diese Methode bestimmt die Ausführung dahin, daß Ankerteile äußerst einfache Geräte sind, die aus vorwiegend zwei Werkstoffen. Grauguß oder Stahlbeton, bestehen. Der Einsatz des jeweiligen Werkstoffes wird durch das maximale Endgewicht eines Bodengerätes bestimmt, das 10 t nicht überschreiten soll.

So ist der Ankerteil für das Bodengerät mit Winde und Energieversorgung wegen der Größe des Geräteaufsatzes aus Beton hergestellt, um noch ein vernünftiges Volumen des Ankerteils zu erreichen. Das maximale Endgewicht eines Ankerteils liegt bei ca. 3 t.

Die installierten Geräteaufsätze sind, sofern es sich nicht um einfache Seilbefestigungen handelt, durch Kommando vom Ankerteil zu lösen, damit sie nicht verlorengehen.

Zum Absenken auf den Meeresgrund und zu sonstigem Transport sind die Ankerteile mit Lastösen versehen, die ein Ausklinken der Hißvorrichtung nach dem relativ geraden Aufsetzen auf dem Boden ermöglichen. Mit der Hißvorrichtung läßt sich gleichzeitig die Ebenheit des Ankerbodens im toleriertem Bereich feststellen, bevor das Gerät endgültig ausgeklinkt wird.

4.3.3 Geräteaufsatz

Die Geräteaufsätze für Bodengeräte können die verschiedensten Ausführungen, je nach Aufgabe haben, jedoch sind alle mit dem

gleichen Anschlußflansch für die Ankerteile ausgerüstet.

Sofern es sich bei den Geräteaufsätzen um komplizierte, teure Geräte handelt, werden sie mit einer Trennvorrichtung versehen, die im Bedarfsfall die Trennung vom Ankerteil einleitet.

Die häufigsten Anwendungsbeispiele für Geräteaufsätze werden vermutlich die Ankerung von Fesselseilen, mit oder ohne Energieversorgung, sowie die Ankerung einer Unterwasserwinde mit Energieversorgung sein (sh. Abb. 4.3.4.-1).

Sofern es sich nur um die Halterung eines Fesselseiles handelt, wird eine Trennvorrichtung nicht vorgesehen, da hierfür die Seilkappung an der Boje selbst ausreicht.

Sofern es sich jedoch um Geräteaufsätze mit Isotopenbatterien als Energieversorgung, Windenauftrieben und Meßgeräteträgern handelt, wird eine Trennung vom Ankerteil auch nach langer Einsatzdauer erforderlich.

Um die Haftung des Geräteaufsatzes durch Bewuchs und Versandung zu durchbrechen, wird durch Zündung eines Gasgenerators unter dem Geräteaufsatz in einer Gasglocke unmittelbar nach der Trennung der Verbindungsbolzen ein momentan hoher Druck erzeugt, der Geräteaufsatz und Ankerteil notfalls auseinanderdrückt.

Um die Geräteaufsätze bergen zu können wird dieser Vorgang nur auf ausdrücklichen Befehl z. B. eines Bergungsschiffes mittels Ultraschallkommando über einen im Geräteträger befindlichen Empfänger ausgelöst. Damit ist sichergestellt, daß auch nach unbeabsichtigtem Ausfall eines Bojensystems (Kabelbruch) ein Geräteaufsatz geborgen werden kann.

Da die Baueinheiten sämtlich schwerer als Wasser sind, werden sie mit entsprechend großen Auftriebskörpern gekoppelt, die einen Auftriebsüberschuß von max. 500 kg erzeugen. Die Auftriebskörper sind aus meerwasserbeständigem Polyurethan Hartschaum mit einer der Ankertiefe entsprechenden Druckfestig-

ERNO

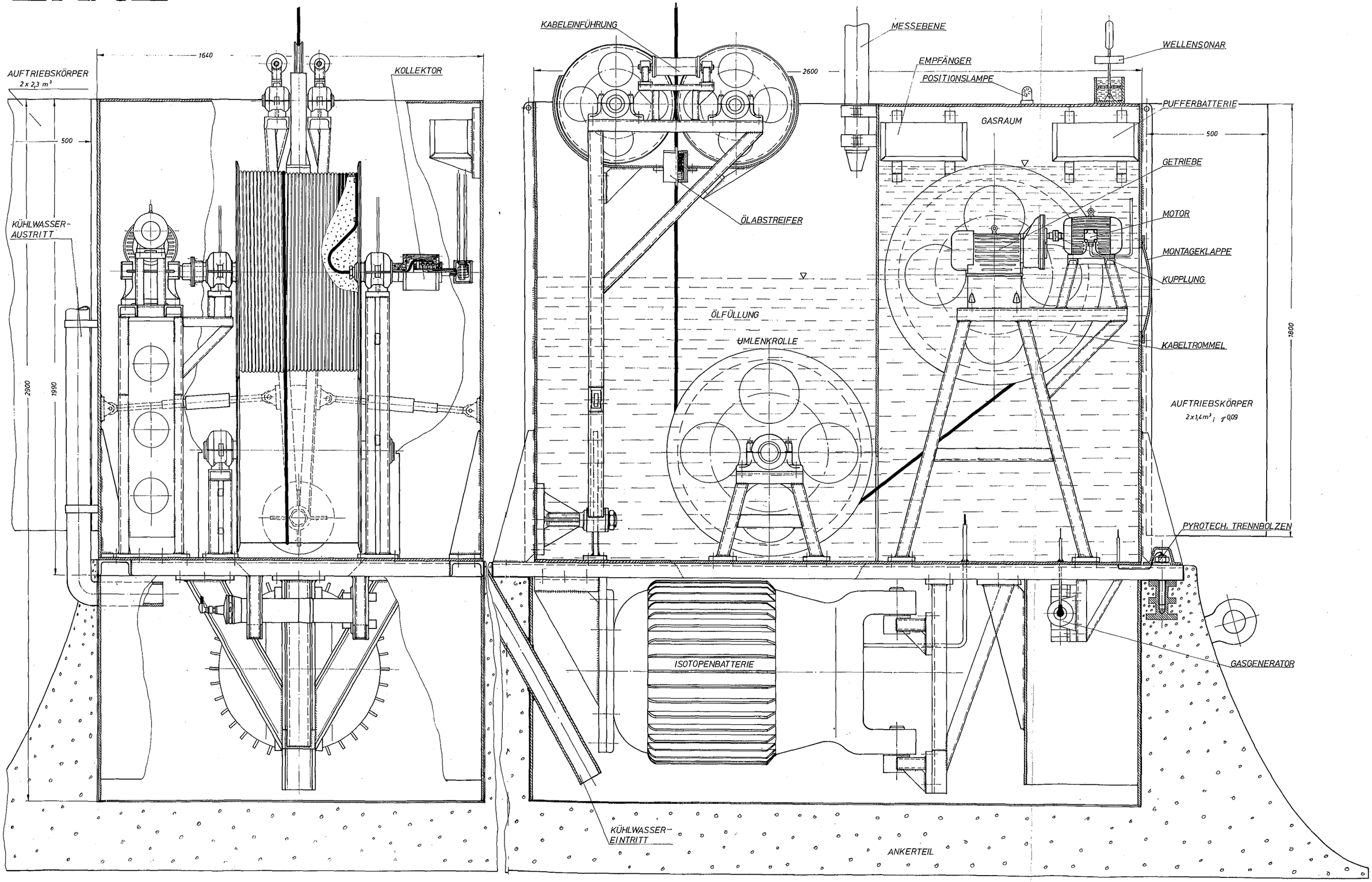


Abb. 4.3.4.-1 UNTERWASSERWINDE

keit herstellt. Das spezifische Gewicht ändert sich entsprechend von 0,09 kg/dm^3 bis auf 0,5 kg/dm^3 von ca. 50 bis 1000 m Wassertiefe.

Zum Schutz gegen Beschädigungen (Fischbisse) und für lösbare Anschlüsse an den Geräteaufsätzen sind die Auftriebskörper mit einer festen, Glasfaserverstärkten Polyesterharzschicht umgeben. Für größere Druckfestigkeiten bietet sich Polyesterhartschaum mit einem spezifischen Gewicht ab 0,15 kg/dm^3 an.

Die Auftriebskörper sind auswechselbare Elemente, die seitlich an den Geräteaufsätzen nach Bedarf angebracht werden können.

Die Geräteaufsätze mit Energieversorgung (Isotopenbatterie) können sinnvoll mit Meßgeräteträgern versehen werden, da sie die hierzu erforderliche Energie einerseits unmittelbar zur Verfügung haben und außerdem durch Trennvorrichtung ihre Bergung möglich ist. Die wasserempfindlichen Bauelemente sind in jedem Fall in einem trockenen Gasraum untergebracht.

4.3.4 Windenantrieb (Unterwasserwinde)

Die Unterwasserwinde für eine Tauchboje ist eine spezielle Form eines Geräteaufsatzes.

Die integriert den Bojeantrieb mit der Energieversorgung und evtl. Meßgeräteträgern (sh. Abb. 4.3.4.-1).

Das Verbindungskabel an dem die Boje mit entsprechendem Auftriebsüberschuß zieht, dient neben der Energieübertragung vom Bodengerät zur Boje noch dem Einfahren der Boje auf die gewünschte Tauchtiefen.

Für die Fesselung der Boje dienen drei gesonderte Fesselseile mit eigenen Ankerteilen (sh. Systeme bis 50 m Einsatztiefe).

Ausgehend von dem mit der Winde ein- bzw. auszurollenden Kabel, dessen minimaler Biegeradius mit ca. 400 mm angenommen werden muß und das einen Eigendurchmesser von ca 12 mm haben wird, ist ein Hauptelement der Winde, nämlich die Trommel im Wesentlichen fixiert.

Weiterhin wird eine Windenkonfiguration gewählt, wie sie in der ERNO-Patentanmeldung für eine Unterwasserwinde beschrieben ist.
Daraus ergibt sich der Entwurf eines zur Umwelt abgeschlossenen Antriebsraumes mit nach oben offenem Ausgleichsgefäß in das die Seileinführung erfolgt. Ausgleichsgefäß und Antriebsraum sind über eine Ölfüllung miteinander verbunden, die dem Schutz gegen Meerwasser und Bewuchs dient und einen Druckausgleich bei Volumenänderung bewirkt.

Das Antriebsgehäuse ist ein geschweißtes Kastensystem, das entsprechend seinem Gewicht mit Profilen und Rippen versteift ist.
Das Kabel wird von der Kabeltrommel im Ausgleichsgefäß durch eine Seileinführung nach oben zur Boje geleitet.

Da die Kabeltrommel bei einer Lage Kabel bereits ca. 110 m Kabel aufnehmen kann, ist zunächst auf eine Spulvorrichtung verzichtet worden. Bei Bedarf kann die Umlenktrommel jederzeit dazu ergänzt werden.

Ein kritischer Punkt des Windenantriebes in Bezug auf lange Funktionsbereitschaft liegt in der Vorrichtung zur Seileinführung. Um Knickungen des Seiles unter den zuverlässigen Biegeradius zu vermeiden, wurden zwei Umlenkrollen so an einem Träger angeordnet, daß sie schwenkbar, durch Stoßdämpfer in ihrer Bewegung gedämpft, in weitem Maße der Seilrichtung folgen können. Da diese Baueinheit zur Arbeit im freien Meerwasser vorgesehen ist, wird ihr besondere Aufmerksamkeit bei einer Auslegung zu widmen sein. Praktisch kann sie aber auch in den Schutz des Öles einbezogen werden.

Ein Ölabstreifer für das Kabel ist in die Seileinführung integriert.
Der Antrieb der Kabeltrommel erfolgt über ein selbsthemmendes Schneckenradgetriebe mit Stirnradvorgelege, das eine Übersetzung von $i \approx 228$ hat. Die Kabeltrommel bekommt dadurch eine Drehzahl von $n = 6,17$ U/min, was einer mittleren Seilgeschwindigkeit von $v = 0,278$ m/s entspricht, wenn der Antriebsmotor eine Drehzahl von $n = 1500$ U/min. aufweist.

Bei der Auswahl der Komponenten für diese Untersuchung wurde ausschließlich auf handelsübliche Einheiten zurückgegriffen. Alle Gehäuse von Getriebe, Lagern, Motor usw. sind mit Druckausgleichsleitungen mit dem Gasraum des Antriebsgehäuses verbunden. Durch diese Leitungen werden auch die erforderlichen Kabel verlegt.

Die Energieübertragung an der Achse der Kabeltrommel erfolgt über einen funkenlosen Schleifringkollektor (sh. Kap. 4.3.6)

Unter das Windengehäuse sind mittels Aufhängevorrichtung die Isotopenbatterie und der Gasgenerator montiert. Dieser Teil ragt in den Ankerteil hinein. Die Verbindung wird mit pyrotechnischen Trennbolzen hergestellt, deren elektr. Zuleitung durch Druckkappen vor Feuchtigkeit geschützt sind.

Die Ölfüllung der Winde besteht aus einem Halofluorkohlenstoff-Öl, dessen spez. Gewicht etwa 1,8 mal so hoch ist, wie das des Wassers. Um den Ölverlust über lange Zeit so gering wie möglich zu halten ist in erster Linie ein Ölabstreifer an der Kabeleinführung installiert, der sich selbsttätig nachspannt und die vom Kabel mitgerissenen Ölmengen in das Ausgleichsgefäß zurückführt.

Da über die lange Einsatzzeit hinaus aber durch die verschiedensten Einflüsse hinaus mit Ölverlusten zu rechnen ist, kann ohne weiteres ein Ersatzreservoir in Form einer Druckspeicherflasche mitgegeben werden. Dieses Reservoir läßt sich kombinieren mit einer gespeicherten Druckluftmenge, die das Gas-

polster im Antriebsraum bei Bedarf ergänzen kann. Das Reservoir ist als vollkommen verschweißtes System, das durch Pyrotechnik geöffnet wird, zu betrachten. Es kann auch mehrteilig sein. Darüberhinaus ist die Konstruktion so stabil durchführbar, daß selbst bei unvorhergesehenen großem Ölverlust die Winde längere Zeit betriebsfähig bleibt.

Der Antriebsraum der Winde nimmt in seinem Gaspolster die Pufferbatterie für den Antriebsmotor und den Empfänger für die Trennvorrichtung auf.

Am äußeren Windenkörper sind die Halterungen für die Auftriebskörper, für Meßgeräteträger und Wellensonar angebracht.

Das Wellensonar erhält eine kardanische, durch Stoßdämpfer gedämpfte und durch Öl geschützte Aufhängung. Ein Auftriebsgefäß hält es in vertikaler Lage.

Außerdem ist eine Positionsbefeuerung vorgesehen, die nach evtl. Auftauchen in Aktion tritt.
Theoretisch ist die Unterwasserwinde auch in größten Tiefen einsetzbar.

4.3.5 Materialauswahl

Die Materialauswahl für Bodengeräte beschränkt sich im Wesentlichen auf die Beständigkeit gegen die Umwelt, da druckfeste Gehäuse nicht zum Einsatz kommen.

Lediglich die Auftriebskörper müssen einem Wasserdruck entsprechend der Tauchtiefe standhalten können, was aber durch die entsprechende Dichte des Hartschaumes vollkommen erreicht wird.

Die Ankerteile werden entweder aus Grauguß oder stahlarmiertem Beton hergestellt. Beide Materialien haben eine ausreichende Beständigkeit gegen das Meerwasser, wenn man eine Lebensdauer von ca. 5 Jahren fordert.

Weitere Materialien kommen für die einfachen Ankerteile nicht

zum Einsatz.

Die Geräteaufsätze können aus normalem Stahl in entsprechenden Wanddicken hergestellt werden. Entscheiden für ihre Lebensdauer dürfte die Verwendung von gleichen Materialien sein, um galvanische Abtragungen zu vermeiden. Zum Schutz gegen Bewuchs werden alle Teile mit Schutzanstrichen versehen.

In jedem Fall wird man versuchen, ein Optimum zwischen Gewicht und Preis eines Geräteaufsatzes zu finden, wenn es um die Frage des Einsatzes z. B. von nichtrostenden Stählen geht.

Die Auftriebskörper werden aus druckfestem Polyurethan - oder Polyesterhartschaum hergestellt. Zum Schutz gegen mechanische Beschädigungen oder Fischfraß werden die Körper mit einem dünnen Polyesterharz-Glasseide-Laminat umgeben, das gleichzeitig die entsprechenden Zugbelastungen beim Auftrieb aufnehmen kann.

4.3.6 Energieversorgung

Die Energieversorgung für Tauchbojensysteme wird generell vom Bodengerät aus durchgeführt. Es wird dazu eine Isotopenbatterie verwendet, die in den Geräteaufsatz des Bodengerätes integriert ist. Da die Isotopenbatterie einen sehr hohen Prozentsatz ihrer Leistung in Wärme abstrahlt, muß das umgebende Wasser zur Kühlung herangezogen werden. Die hohe thermische Leistung bringt bei geeigneter Kühlwasser Zu- und Abführung praktisch eine Zwangskühlung mit sich.

Der elektrische Strom wird über ein Kabel zur Boje geleitet und speist dort eine Pufferbatterie.

Bei Einsatz einer Unterwasserwinde wird die Stromführung zwangsläufig durch die Drehbewegung der Kabeltrommel unterbrochen. Der Übergang erfolgt darum über einen Kollektor. Es ist dies ein trocken laufender, funkenloser Schleifringkollektor, der entsprechend seinen Anforderungen im gewissen Bereich mit verschiedenen Kontaktzahlen versehen werden kann.

Kollektoren dieser Art sind auf verschiedenen Gebieten im Einsatz.

Über den Kollektor werden auch die Meßwerte der am Bodengerät installierten Meßgeräte übertragen.

4.4 Zwischenkörper

Der Zwischenkörper ist Teil der Tiefseeversion des Tauchbojensystems (1.200 m). In diesem Bereich ist die Verankerung des Fesselseils nach dem bisherigen direkten Verfahren ein Problem, weil sich die geometrischen Verhältnisse außerordentlich ungünstig gestalten.

-Das Fesselseil wird sehr lang, dadurch vergrößert sich der Driftbereich, je tiefer die Boje taucht. (Trichterförmige Erweiterung) Es dauert sehr lange, bis die Boje wieder eine feste horizontale Position einnimmt.

-Beim Abtauchen legt sich das Fesselseil auf den Meeresgrund. Auf diese Weise sinkt das Gesamtgewicht der Boje, woraus ein Überschuß an Auftrieb resultiert. Das Gleichgewicht ist gestört, die Leistung zum weiteren Abtauchen wird sehr groß. Energietechnisch ist das nicht vertretbar.

-Die Gefahr ist sehr groß, daß sich während des Auflegens auf den Meeresgrund das Seil verwickelt. Im ungünstigsten Fall verhakt es sich an Unterwasserhindernissen.

Diese Argumente führen zu der Lösung, das Fesselseil der Boje in Höhe des unteren Endpunktes des Tauchprogramms zu befestigen. Befestigungselement bzw. Tragelement ist ein Körper mit hohem Auftriebsüberschuß, der seinerseits mit einem Seil am Meeresgrund verankert ist. Der hohe Auftriebsüberschuß ist nötig, damit der Zwischenkörper unter einer Horizontalkraft (Strömung oder Bojenzug) wenig driftet und so einen echten Anker simuliert.

Als virtueller Anker nimmt der Zwischenkörper auch alle anderen Funktionen des Bodengerätes wahr. Die Isotopenbatterie wird als Sektion an seiner Unterseite angeflanscht, so daß die Kühlung nicht behindert ist. Zugleich schafft sie durch ihr Gewicht von ca. 2,3 to eine Eigenstabilisierung. Für die

Kräfteverteilung aus der vertikalen Haltekraft (Auftriebskraft) und der prinzipiell beliebig gerichteten, vornehmlich aber mit einem starken horizontalen Vektor behafteten Fesselkraft der Boje, ist dies sehr günstig.

Ein wichtiger Punkt ist die Anbringung des Bojenfesselseils. Es muß vermieden werden, daß sich dies weder um den Zwischenkörper noch um dessen Halteseil wickelt, wenn die Boje driftet. Es gibt keine Winkelbeschränkung, so daß mit einem Drehwinkel von 360° zu rechnen ist. Man löst dieses Problem auf recht einfache Weise, indem man die Bojenfesselung an einem Ausleger, etwas 4 ÷ 5 m von der Mittelachse entfernt, anbringt. Mit hoher Wahrscheinlichkeit darf man davon ausgehen, in den Tiefen keine turbulerte Strömungen vorzufinden, die noch eine Verschlingung der Seile hervorrufen.

Für die Bergung des Zwischenkörpers sind die Seilbefestigungen mit einer Einrichtung zur Seiltrennung ausgerüstet, die in der Art der unter Kapitel 4.2.8 beschriebenen angeführt sind. Die Auslösung erfolgt durch ein kodiertes Signal von der Wasseroberfläche.

4.4.1 Konfiguration

Der Zwischenkörper besteht aus einem zylindrischen Mantel mit gerundeten Böden. Die Länge von 4 m und der Durchmesser von 2 m schaffen eine Wasserverdrängung von 12 m^3. Um in einer Stationierungstiefe von 1200 m den Wasserdruck im Körper auszugleichen, wird er mit einem Hartschaum, der druckfest aushärtet, gefüllt. So ist es möglich, mit Wanddicken von 5 mm auszukommen.

Die Isotopenbatterie ist an der Unterseite montiert. Das große Gewicht fordert an der Unterseite des Zwischenkörpers Versteifungen. Sie müssen nicht zuletzt auch den hohen Auftriebsüberschuß und die daraus resultierende Seilkraft aufnehmen.

Der Ausleger für die Bojenfesselung ist eine Schweißkonstruktion aus Stahlrohren. Sie muß Kräfte in allen drei Richtungen aufnehmen. Abb. 4.4.-1 vermittelt einen Gesamteindruck vom Zwischenkörper.

4.4.2 Materialauswahl

Da der Körper immer in einer bestimmten Tiefe stationiert ist, bereitet die Materialauswahl keine Schwierigkeiten. Die Struktur wird aus St 37 hergestellt, die Böden sind normgerecht gezogen und werden mit den Versteifungen verschweißt. Die Füllung besteht aus Hartmoltopren.

Auch der Ausleger wird aus Rohren aus St 37 hergestellt und verschweißt.

Als Korrosionsschutz findet eine Kunstharzbeschichtung mit einer Grundierung aus Zinksilikat Verwendung, wie sie im Schiffsbau üblich ist. Es ist nicht ratsam, auf einen Korrosionsschutz mit Kunstharzbeschichtung zu verzichten. Eine lange Lebensdauer ist besonders in den großen Tiefen von nicht wenigen Korrosionseinflüssen bedroht. Auf einen Schutz gegen Bewuchs kann man indes völlig verzichten, da die aktiven Lebewesen in diesem Tiefenbereich kaum mehr anzutreffen sind.

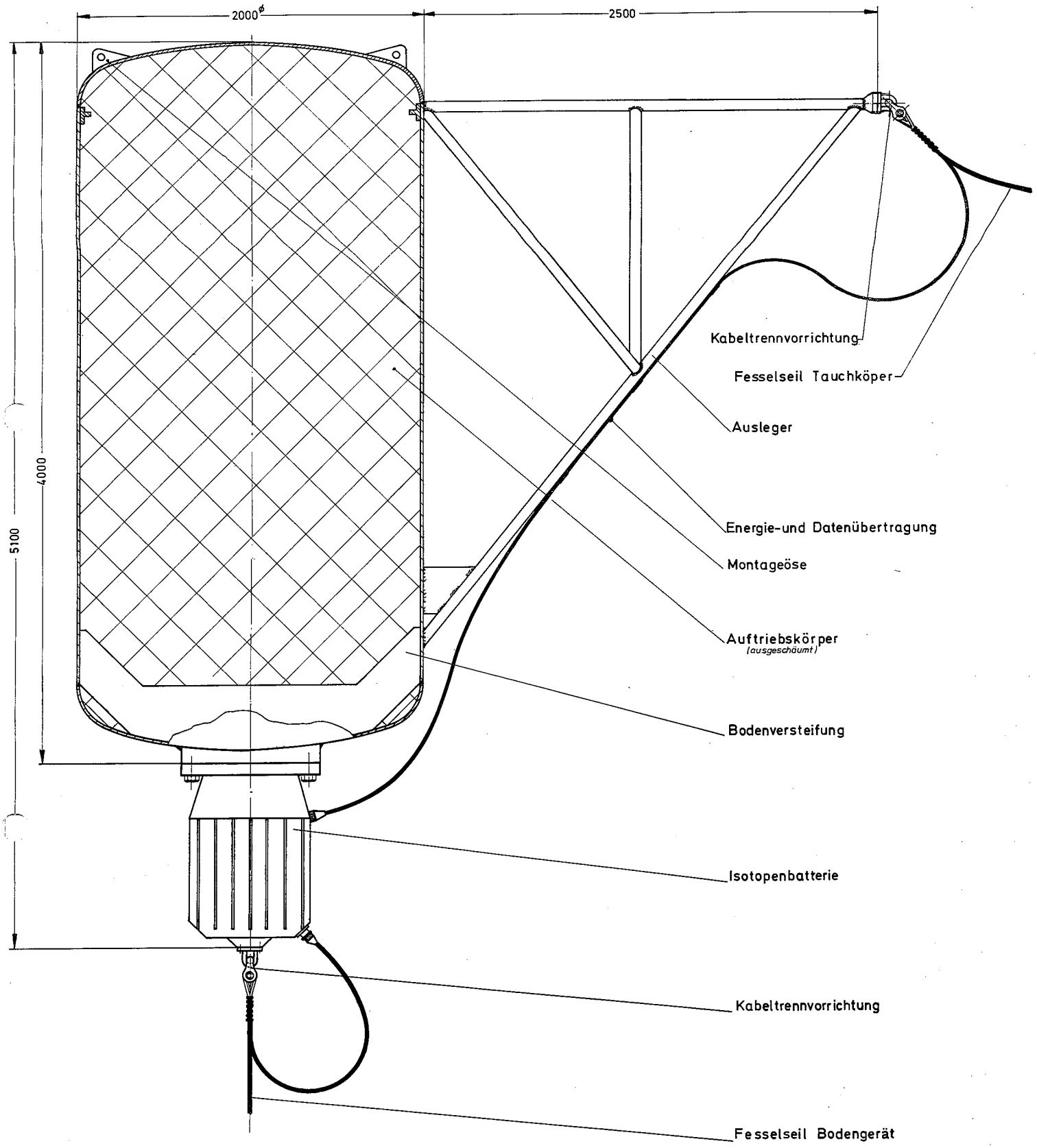


Abb. 4.4.-1 *Zwischenkörper*

4.5 Fesselung

Das Bindeglied zwischen dem Bodengerät bzw. Zwischenkörper und der Tauchboje ist das Fesselseil. Für die Auswahl ist wichtig zu wissen, welche Aufgaben das Seil zu erfüllen hat:

1. Einschränkung der Ortsbeweglichkeit des Bojenkörpers auf einen zulässigen Driftradius um das Verankerungsgerät.
   Hierbei ist nur gefordert, daß reine mechanische Belastungen zu ertragen sind.
2. Übertragung von Energie und Meßdaten.
   Im Bodengerät oder im Zwischenkörper befindet sich die Isotopenbatterie. Die Übertragung zum Bojenkörper geht über das Fesselseil.

Die konstruktive Ausbildung der Seile (Kabel) wurde im Prinzip bereits im Zwischenbericht B2 in Kapitel 6. dargelegt.

Im folgenden ist ein Beitrag der Kabelwerke "Reinshagen" wiedergegeben, die sich freundlicherweise zu einer Veröffentlichung an dieser Stelle bereiterklärt haben. Der technische Inhalt sowie patentrechtliche Fragen bleiben von dieser Veröffentlichung unberührt.

4.5.1 Flachsee-Meßkabel K-DKEK 38 3 x 0,5 mm^2

Aufbaubeschreibung: ca. Ø mm

Aderaufbau:

1. blanker Kupferleiter aus 7 X 0,30 mm verseilt — 0,90
   Isolierung aus extrudiertem Polyamid und mehreren Lagen Polyesterfolie

2. blanker Kupferleiter 24 x 0,20 mm, konzentrisch um den 1. Leiter verseilt — 1,9
   Isolierung aus extrudiertem Polyamid und mehreren Lagen Polyesterfolie

Aufbaubeschreibung:	ca. Ø mm
3. Mischleiter aus verzinnten Kupfer- und verzinkten Stahldrähten, elektrischer Querschnitt entsprechend 0,5 mm^2 Kupfer, konzentrisch über dem 2. Leiter verseilt	3,2
Polyäthylen-Innenmantel und mehrere Lagen Polyesterfolie	4,4
Armierung: geschlossene Lage stark verzinkter Stahldrähte 0,70 mmØ (160 - 185 kp/mm^2 Zugfestigkeit)	5,8
Außenmantel: Hochdruck-Polyäthylen, schwarz Nennwanddicke 2,0 mm	9,8

Prüfspannung: 1000V~ , 5 min
Bruchfestigkeit: 1300 kp
Kabelgewicht 150 kp/km
mittleres spez. Gewicht 2,0 kp/dm^3

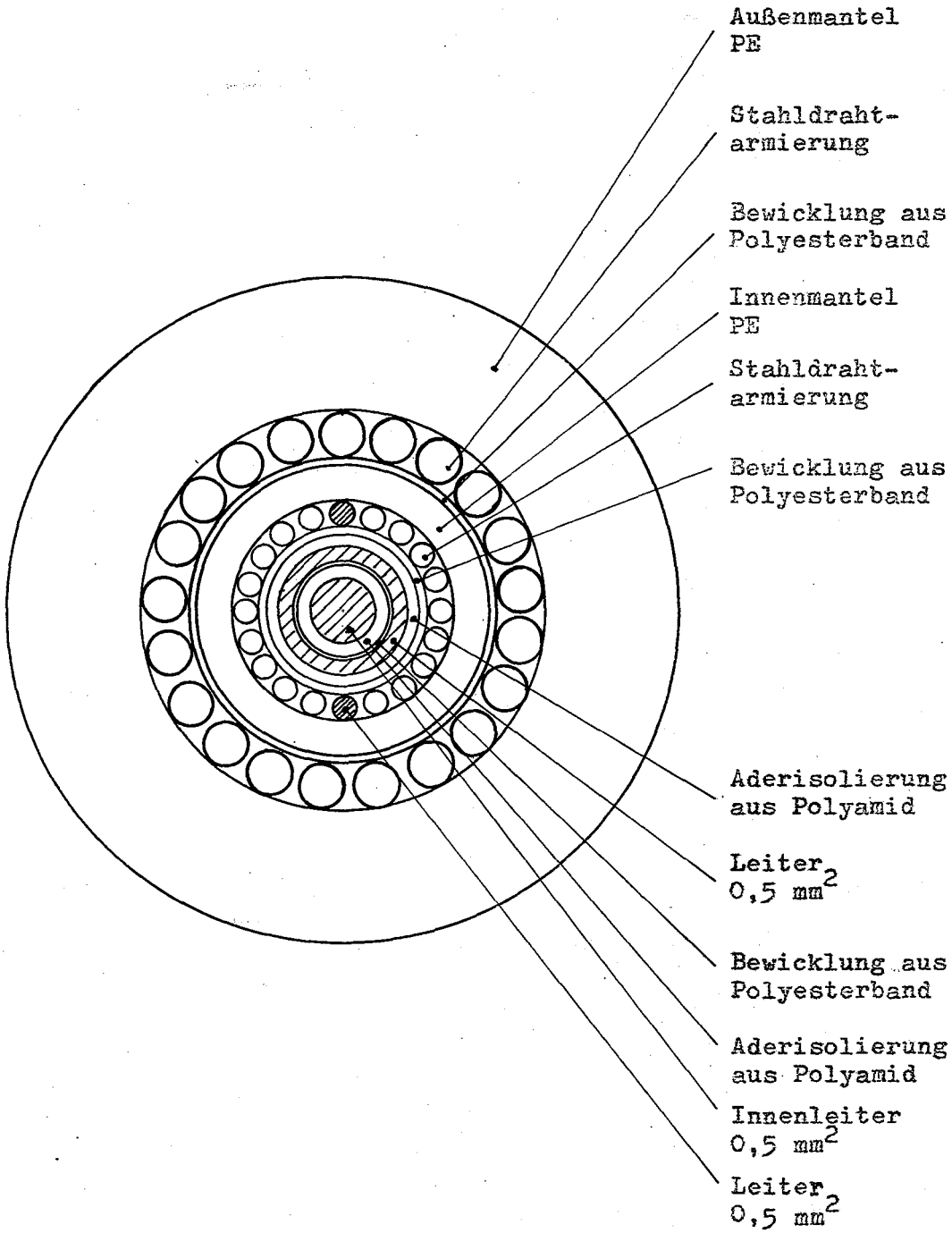
Erläuterungen:

Die konzentrische Anordnung der Leiter erlaubt einen raumsparenden Aufbau, zumal der Leiterquerschnitt wegen der geringeren Einsatzlänge dieses Flachsee-Meßkabels auf 0,5 mm^2 reduziert werden konnte.

Der 3. Leiter hat neben seiner elektrischen Funktion auch noch die Aufgabe, die Drallfreiheit des Kabels sicherzustellen, da er im Gegenschlag zu äußeren Armierung aufgebracht ist.

Die äußere Armierung schützt den inneren Leiteraufbau des Kabels vor mechanischen Beschädigungen und nimmt die Zugbeanspruchung auf.

Als Korrosionsschutz erhält das Kabel einen Polyäthylen-Außenmantel, der bei einer Wanddicke von 2,0 mm ein mittleres spez. Gewicht von ca. 2,0 kp/dm^3 ergibt.



Außendurchmesser: 9,8 mm ± 5 %

Flachsee-Meßkabel K-DKEK 38 3 x 0,5 mm²

Kabelwerke Reinshagen GmbH, Wuppertal-Ronsdorf

4.5.2 Tiefsee-Meßkabel K-PEK 36 2 x 1 + 2 x 0,4 mm^2

Aufbaubeschreibung:	Ø mm
Aderaufbau 2 x 1 mm^2:	
verzinnter Kupferleiter aus 19 x 0,25 mm verseilt	1,3
Isolierung aus Niederdruck-Polyäthylen, Nennwanddicke 0,375	2,0
Aderfarben: rot, blau	
Aderaufbau 2 x 0,4 mm^2	
verzinnter Kupferleiter aus 19 x 0,16 mm verseilt	0,8
Isolierung aus Niederdruck-Polyäthylen, Nennwanddicke 0,25 mm	1,3
Aderfarben: weiß, gelb	
Verseilung: 2 Adern 1 mm^2 + 2 Adern 0,4 mm^2	4,0
2 Lagen Polyesterband 0,03 mm überlappt	4,1
1 Lage Polyester-Faservlies, überlappt	4,4
I. Armierung: geschlossene Lage stark verzinkter Stahldrähte 0,50 mmØ (160 - 185 kp/mm^2 Zugfestigkeit)	5,4
PVC-Lagenabdeckung	
II. Armierung: geschlossene Lage stark verzinkter Stahldrähte 0,50 mm Ø (160 - 185 kp/mm^2 Zugfestigkeit)	6,4
entgegengesetzte Schlagrichtung zur I. Armierung	
Außenmantel:	
Hochdruck-Polyäthylen, schwarz Nennwanddicke nach Wahl zwischen 1,5 und 4,0 mm je nach gefordertem mittlerem spez. Gewicht. Auswahl nach beiliegendem Kurvenblatt (Kurve 1).	

Prüfspannung: Ader/Ader 1000 V~ , 5 min
Bruchfestigkeit: 2000 kp
Kabelgewicht: nach beiliegendem Kurvenblatt (Kurve 2)

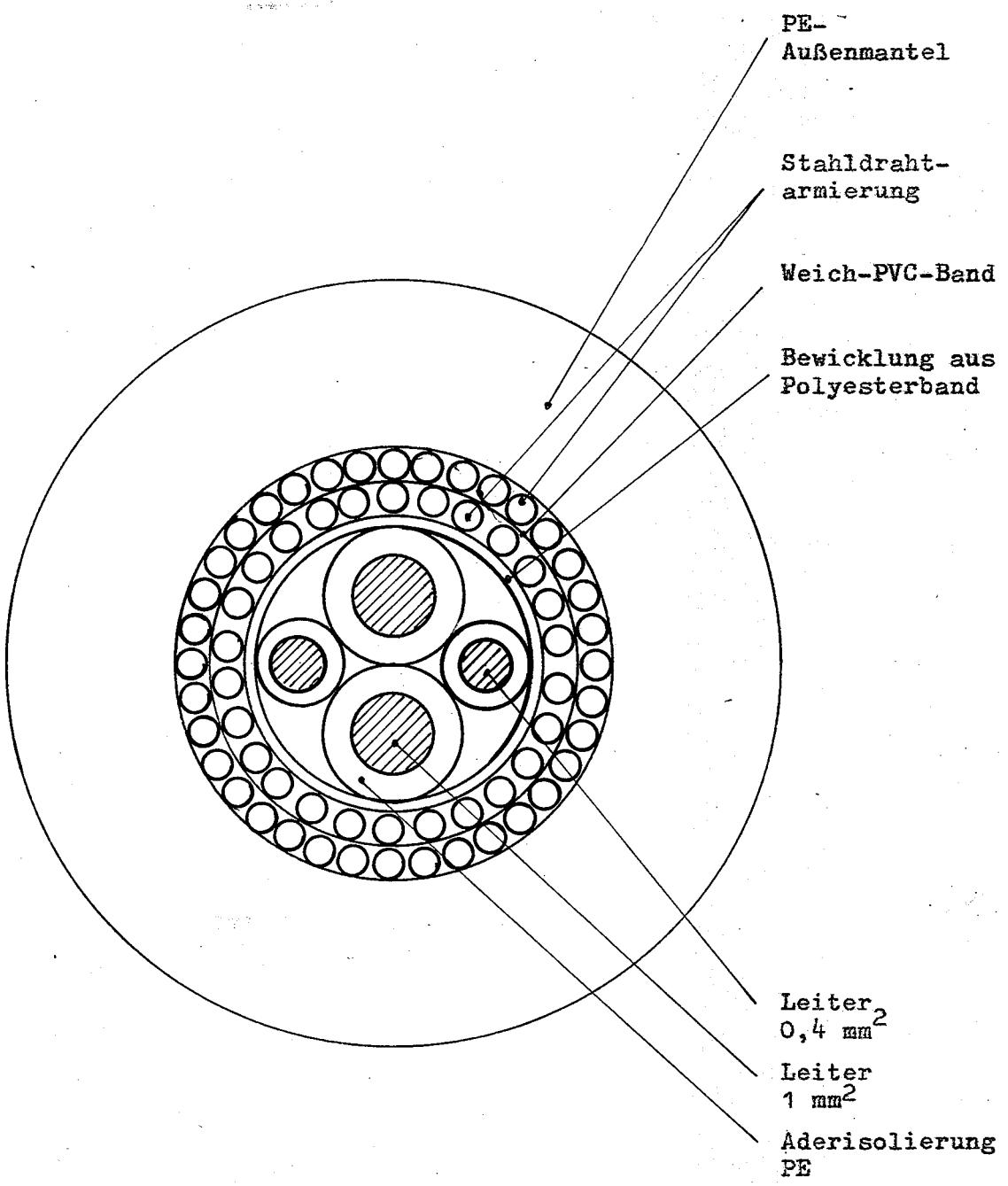
Erläuterungen:

Bei der Wahl der Leiterquerschnitte wurde ein Querschnitt von 1mm^2 für die Energieübertragung und ein Querschnitt von 0,4 mm^2 für die Signalübertragung gewählt. Wegen optimaler Raumausnutzung liegen die beiden Signaladern in den Verseilzwickeln. Die Verseilschlaglängen der Litzen und Adern liegen zwischen 10 und 30 mm und sind damit sehr kurz gehalten, um eine gute Beweglichkeit des Kabels zu erreichen. Die elektrische Trennung zwischen Adern und Bewehrung übernehmen mehrere Lagen Polyesterband.

Zugbeanspruchungen werden von den beiden Stahlarmierungen aufgenommen, die in entgegengesetzter Schlagrichtung aufgebracht sind, um eine weitgehende Drallfreiheit des Kabels zu gewährleisten.

Der Polyäthylen-Außenmantel dient als Korrosionsschutz für die Armierung, vermindert das mittlere spez. Gewicht und ergibt eine glatte Oberfläche des Kabels.

Das Grundprinzip dieser Kabelkonstruktion stellt einen Aufbau dar, bei dem der Versorgungsteil durch eine sehr widerstandsfähige, doppelte Stahlarmierung gegen äußere mechanische Beschädigungen völlig geschützt ist. Das Kabel hat darüberhinaus eine hohe Zugfestigkeit. Diese Eigenschaften sind nur mit einem mittleren spez. Gewicht von mehr als 1,5 kp/dm^3 zu erreichen.



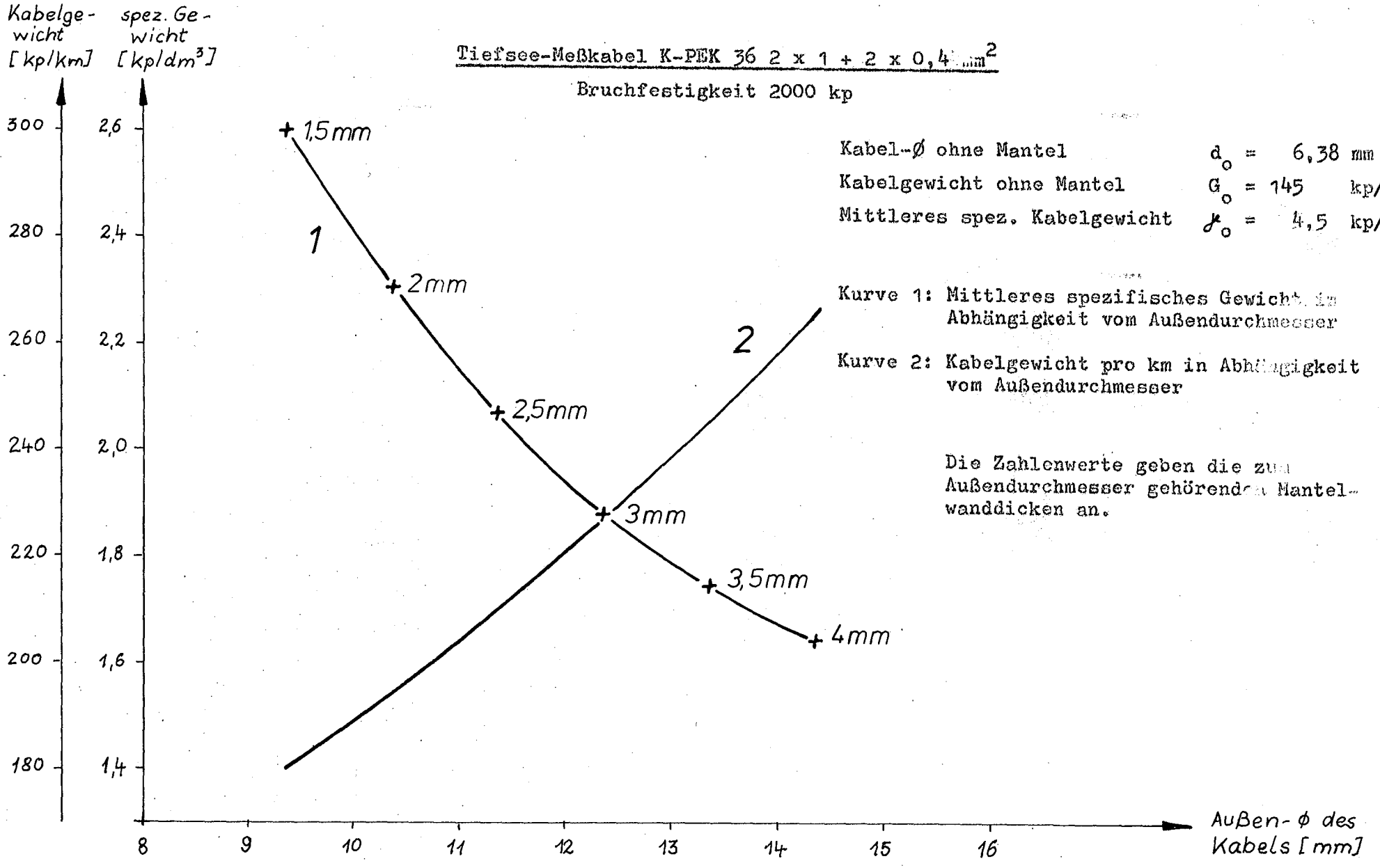
Außendurchmesser: 11,4 mm ± 5 %

Tiefsee-Meßkabel K-PEK 36 2 x 1 mm² + 2 x 0,4 mm²

Kabelwerke Reinshagen GmbH, Wuppertal-Ronsdorf

Tiefsee-Meßkabel K-PEK 36 2 x 1 + 2 x 0,4 mm^2

Bruchfestigkeit 2000 kp



Kabel-Ø ohne Mantel	d_o =	6,38 mm
Kabelgewicht ohne Mantel	G_o =	145 kp/km
Mittleres spez. Kabelgewicht	γ_o =	4,5 kp/dm³

Kurve 1: Mittleres spezifisches Gewicht in Abhängigkeit vom Außendurchmesser

Kurve 2: Kabelgewicht pro km in Abhängigkeit vom Außendurchmesser

Die Zahlenwerte geben die zum Außendurchmesser gehörenden Mantelwanddicken an.

Kabelwerke Reinshagen GmbH

4.5.3 Tiefsee-Meßkabel K-FK 44 10 x 0,4 mm^2

Aufbaubeschreibung:	Ø mm
Aderaufbau 10 x 0,4 mm^2:	
verzinnter Kupferleiter aus 19 x 0,16 mm verseilt	0,8
Isolierung aus Niederdruck-Polyäthylen	
Nennwanddicke 0,25 mm	1,3
Aderfarben: Zählader blau	
Richtungsader rot	
alle übrigen weiß	
zentrales Tragorgan:	
hochzugfeste Kunststoffasern, umgeben mit einem Polyäthylen-Mantel (vorgesehen ist ein Parafil-Seil, Typ A der Firma ICI Fibres Ltd.)	8,6
Verseilung:	
Um das Tragorgan werden 10 Adern 0,4 mm^2 und 10Polyamid-Monofil-Fäden (1,3 mm Ø) im Wechsel mit geringer Schlaglänge verseilt	11,2
1 Lage Polyester-Faservlies, überlappt,	
1 dichtes Geflecht aus Polyterephthalat-Garn,	
Außenmantel: Hochdruck-Polyäthylen, schwarz, Nennwanddicke 2,0 mm	15,6

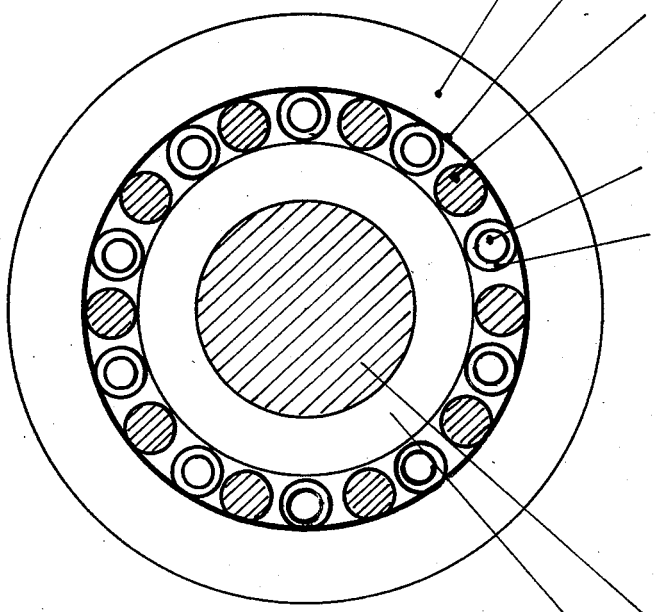
Prüfspannung: Ader/Ader 2000V~ , 5 min
Bruchfestigkeit: ca. 1000 kp
Kabelgewicht: 215 kp/km
mittleres spez. Gewicht: 1,12 kp/dm^3

Erläuterungen:
Um einen möglichst großen Auftrieb des Kabels im Wasser zu erreichen, wurde ein Tragkern aus Kunststoffasern in solchen Abmessungen gewählt, daß noch eine ausreichende Zugfestigkeit des Kabels sichergestellt ist. Um dieses Tragorgan sind die Leitelemente in kurzer Schlaglänge verseilt, so daß die Eindrehung der Kupferader größer ist als die Bruchdehnung des

Tragorgans. Damit ist sichergestellt, daß bei Dehnung des Kabels die Kupferleiter keiner Zugbeanspruchung ausgesetzt sind. Die im Wechsel mit den Leitern verseilten Monofil-Fäden haben die Aufgabe, eine geschlossene Verseillage zu erreichen. Es steht ein Gesamtquerschnitt von ca. 4 mm^2 Kupfer zur Verfügung, der je nach Anforderungen für die Energie- und Signalübertragung aufgeteilt werden kann. Zum Schutz dieser Leitelemente ist ein dichtes Geflecht aus Polyterephthalat-Fäden vorgesehen.

Den Abschluß bildet ein Polyäthylen-Außenmantel, der auf Grund seiner geringen Diffusionsrate einen zuverlässigen Feuchtigkeitsschutz bietet und eine glatte Oberfläche des Kabels gewährleistet.

Dieses Kabel bietet zwar keine so große Sicherheit gegen äußere mechanische Beschädigungen, hat dafür aber ein spez. Gewicht von ca. 1,12 kp/dm^3.



Außendurchmesser: 15,6 mm ± 5 %

Tiefsee-Meßkabel K-FK 44 10 x 0,4 mm²

Kabelwerke Reinshagen GmbH, Wuppertal-Ronsdorf

4.6 Fortschrittliche Technologien

4.6.1 Meerwasseranalyse durch Neutronenaktivierung

4.6.1.1 Allgemeines

Ein Stoff kann bei der Bestrahlung mit Neutronen aktiviert werden, wobei Kernumwandlungen verursacht werden. Die neu entstandenen Kerne sind häufig instabil und gehen durch Emission von γ-Quanten und ß-Partikeln in einen stabilen Folgekern über. Die gemessene Aktivität eines bestrahlten Stoffes ist der Menge der Probe proportional, so daß mit Hilfe der gemessenen Aktivität auf die Substanzmenge geschlossen werden kann.
Wird eine Probe, welche N Teilchen eines Elementes enthält, mit dem Neutronenfluß Ø bestrahlt, so steigt die Aktivität A der erzeugten Isotope nach folgender Gleichung an:

$$A = \emptyset \quad \sigma_{act} \cdot N \cdot i \; (\; 1-\exp- \lambda t)$$

σ_{act} = Aktivierungsquerschnitt der aktivierbaren Isotopenart.
i = Häufigkeit der aktivierbaren Isotopenart im natürlichen Isotopengemisch.
λ = Zerfallkonstante des entstandenen Radionuklids

In dieser Gleichung ist vorausgesetzt, daß Ø räumlich und zeitlich konstant ist. Vernachlässigt wurde, daß das entstandene Radionuklid eventuell durch weiteren Neutroneneinfang in ein anderes Isotop verwandelt wird.

4.6.1.2 Durchführung der Analyse

Die für die Aktivierungsanalyse benötigten Neutronen lassen sich auf verschiedene Weise bereitstellen.

Neutronenquellen

Quelle	1g Ra mit Be gemischt	1CiPo+Be	Zyklotron 100 mA 8MeV auf Be	Oak Ridge Kernreaktor (C-U)	
Thermischer Fluß $\phi/cm^{-2}s^{-1}$	1.10^5	2.10^4	1.10^9	2.10^{12}	1.10^7
Bemerkung	4cm Abstand von der Quelle	4cm Abstand von der Quelle		Kern	in Abschirmung

Für die Zwecke einer automatischen Analyse sind natürlich nur kleine tragbare Neutronenquellen der ersten beiden Arten geeignet.

In der bisherigen Praxis wird die Aktivierungsanalyse hauptsächlich zur Spurenanalyse benutzt und zwar unter Verwendung der hohen Neutronenflüsse eines Reaktors. Auf diese Weise lassen sich oft noch Mengen von 10^{-10}g eines bestimmten Elementes nachweisen.

Die Nachweisgrenze jedoch hängt stark von den verschiedenen Elementen ab, da die hierfür maßgebliche Größe, nämlich der Aktivierungsquerschnitt von Element zu Element sehr verschieden ist. Aus der Gleichung für die resultierende Aktivität (siehe oben) ersieht man, daß die Aktivität und damit auch die Nachweisgrenze linear von dem Neutronenfluß und dem Aktivierungsquerschnitt abhängt und zwar unter der Voraussetzung, daß jeweils $t=n \cdot T_{1/2}$ Minuten aktiviert wurde. ($T_{1/2}$ = Halbwertszeit des entstehenden Radionuklides).

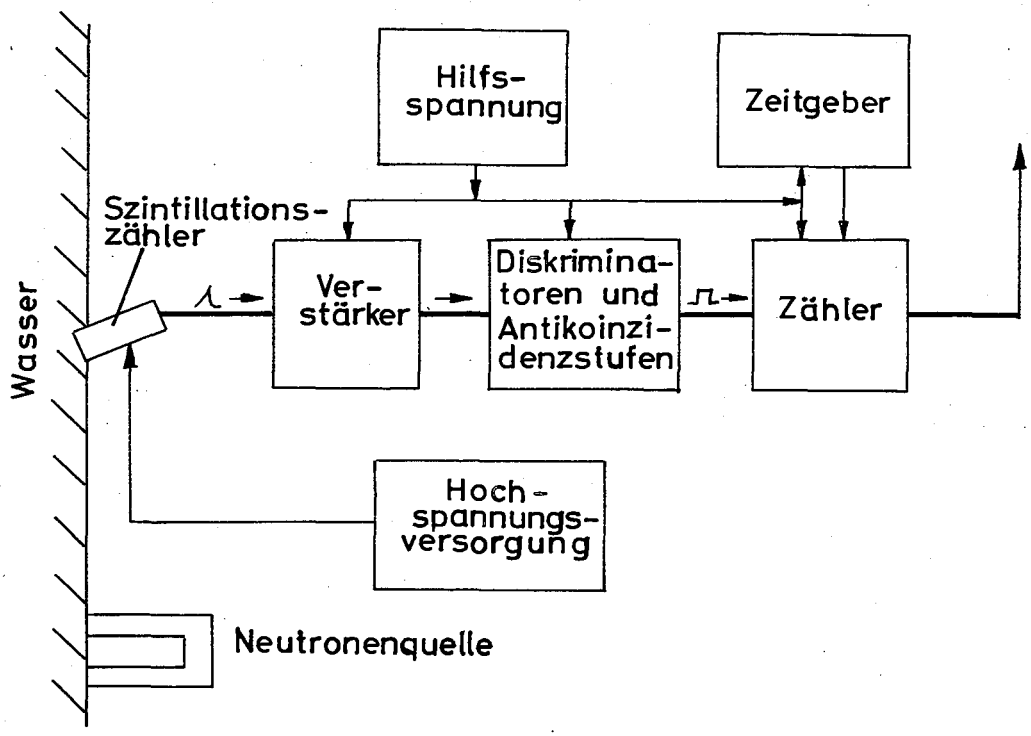
Nachweisempfindlichkeit

In der Literatur findet man folgende Angaben über die Nachweisgrenze verschiedener Elemente. Voraussetzung ist ein thermischer Neutronenfluß von $4{,}3 \cdot 10^{12}/cm^2s$ und eine Bestrahlungsdauer von 1,00 Stunden. Als Detektor wurde ein 3 x 3 inch NA J (Tl) - Kristall verwandt. Der Impulshöhenanalysator hatte 400 Kanäle.

Element	$T_{1/2}$	Produkt Isotop	γ-Energie MeV	Fotopeak Ipm/g	Nachweis grenze μg	σ_{act} barn	i
O	29s	^{19}O	0,20	$3,3 \cdot 10^{5}$	3000	0,0002	0,00204
F	11s	^{20}F	1,63	$1,8 \cdot 10^{9}$	0,55	0,009	1
Na	15h	^{24}Na	1,37	$3,4 \cdot 10^{9}$	0,0029	0,53	1
Mg	9,5min	^{27}Mg	0,84	$7,1 \cdot 10^{8}$	0,14	0,027	0,112
Al	2,3min	^{28}Al	1,78	$2,0 \cdot 10^{10}$	0,0049	0,21	1
Si	2,62h	^{31}Si	1,26	$3,3 \cdot 10^{5}$	30	0,11	0,031
P			keine γ			0,21	1
S	5,1min	^{37}S	3,1	$1,4 \cdot 10^{6}$	70	0,14	0,00014
Cl	37,3min	^{38}Cl	1,64	$3,2 \cdot 10^{9}$	0,031	0,56	0,245
K	12,5h	^{72}K	1,53	$1,1 \cdot 10^{8}$	0,094	1,30	0,069
Ca	8,8min	^{49}Ca	3,1	$6,7 \cdot 10^{7}$	1,5	1,1	0,0018
Br	1,5d	^{82}Br	0,55 + 0,63	$2,1 \cdot 10^{9}$	0,00070	3,3	0,494
	4,4h	^{80}Br	0,62	$1,4 \cdot 10^{10}$	0,24	8,5	0,505
Sr	2,8h	^{87m}Sr	0,388	$8,0 \cdot 10^{9}$	0,0013	1,65	0,098
	70min	^{85m}Sr	0,225	$1,8 \cdot 10^{8}$	0,054	0,4	0,0056

Die aufgeführten Nachweisgrenzen sind auf den vorliegenden Fall nicht sofort anwendbar, sie sollen zunächst einmal nur die relativen Genauigkeitsunterschiede zwischen den einzelnen Elementen darstellen.
Bei Verwendung einer Isotopenneutronenquelle (z.B. Ra-Be) würden z. B. unter sonst gleichen Bedingungen die Absolutwerte der Nachweisgrenzen mit dem Faktor 10^8 zu multiplizieren sein und zwar infolge des Unterschiedes in den Neutronenflüssen.
Positiv auswirken wird sich jedoch die Tatsache, daß die zur Verfügung stehende Probemenge, welche analysiert d. h. bestrahlt werden kann, wesentlich größer ist als dies normalerweise bei Reaktorenexperimenten üblich oder möglich ist.
Bei Reaktorexperimenten haben die Proben etwa eine Masse von 1 g.
Eine genaue Aussage über die Nachweisgrenze und damit die Empfindlichkeit einer automatisch arbeitenden Analysiervorrichtung im Meerwasser läßt sich an dieser Stelle nicht machen. Es erscheint jedoch aussichtsreich, diese Methode eingehender zu untersuchen und evtl. einige Experimente zu machen, welche sofort Aufschluß über die Empfindlichkeit der Methode erbringen würden.

Aufbau der Meßanlage



Wirkungsweise

Die Neutronenquelle emittiert Neutronen ins Wasser und aktiviert dadurch die verschiedenen Elemente soweit die Strahlen reichen. Die aktivierten Isotope strahlen nun ihrerseits charakteristische γ - Quanten aus, welche eine bestimmte Energie haben (siehe Tabelle). Die γ - Quanten erreichen den Szintillationsdetektor und erzeugen dort einen Lichtblitz, welcher umgeformt durch einen Fotomultiplier, den Detektor in Form eines elektrischen Impulses verläßt. Die Höhe des Impulses ist proportional der Energie des γ - Quants. In nachgeschalteten Diskriminator- und Antikoinzidenzstufen werden nun die Impulse nach ihrer Höhe geordnet und verschiedenen Zählern zugeleitet, d. h. für jedes nachzuweisende Element ist ein Zähler vorhanden, welcher alle Impulse zählt, welche von den betreffenden Isotopen ausgesandt werden und den Szintillationskristall erreichen. Die Impulsanzahl der verschiedenen Zähler kann dann abgefragt und weitergeleitet werden.

Zusätzlich ist noch eine Hochspannungsversorgung für den Multiplier und eine Niederspannungsversorgung für die Elektronik erforderlich.
Die Zähler sind außerdem mit einem Zeitgeber verbunden, welcher die Dauer der Zählung steuert.
Die Anzahl der gemessenen Impulse ist proportional der Konzentration des betreffenden Stoffes im Wasser. Durch vorherige Eichung kann einer bestimmten Impulsanzahl die zugehörige Konzentration zugeordnet werden. Voraussetzung ist jedoch, daß sich das Wasser nicht bewegt, da sonst die aktivierten Elemente fortgetragen werden und damit die Impulsraten zu klein werden. Durch eine sinnvolle Kapselung des Meßvolumens läßt sich jedoch dieser Nachteil ausschalten.

	Volumen/dm^3	Gewicht/kg	Kosten/TDM
Neutronenquelle	0,2	1,5	7 - 10
Elektronik	1	1	15 - 20
Summe	1,2	2,5	22 - 30

In der vorstehenden Tabelle sind einige Schätzungen wiedergegeben, welche in etwa eine Vorstellung von der Größe des Aufwandes vermitteln sollen.
Als Kernstrahlungsdetektor ist ein Szintillationszähler zugrundegelegt worden. Später läßt sich vielleicht der Szintillationszähler durch einen Halbleiterzähler (z. B. Germanium) ersetzen. Der Halbleiterzähler hat den Vorteil, daß er kleiner ist, eine bessere Energieauflösung besitzt und weniger Hilfsenergie verbraucht. Die heutige Schwierigkeit besteht darin, daß der Halbleiter gekühlt werden muß, was mit einem relativ großen Aufwand verbunden ist.

4.6.1.3 Weitere kerntechnische Analysiermethoden

Rückstreuung von Betateilchen

Das Wesen der Methode besteht darin, daß die Rückstreuung von Betateilchen von der Ordnungszahl Z des Elementes abhängt von welchem sie gestreut werden.

$$\eta_{max} = A \cdot Z^{2/3}$$

η_{max} = maximaler Rückstreugrad
A = empirische Konstante

Weiterhin hängt die Energie der rückgestreuten Betateilchen von folgender Gleichung ab.

$$E_{max}^{reflekt.} = 0{,}12 \cdot Z^{0{,}38} \; E_{max}^{primär}$$

Ähnlich wie bei der Aktivierungsanalyse läßt sich nun durch Zählung der rückgestreuten Betateilchen bestimmter Energieintervalle auf die Konzentration verschiedener Stoffe schließen.

Diese Methode sollte einer näheren Betrachtung unterzogen werden, da sie gegenüber der Aktivierungsanalyse folgende Vorteile aufweist:

1. geringere Kosten der Strahlenquelle
2. keine Beeinträchtigung der Messung durch die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers.

Absorption von Betateilchen

Die Absorption eines Stromes von Betateilchen verläuft nach folgender Gleichung

$$I = I_0 \exp(-KZ \rho x/A)$$

I = ungeschwächte Intensität
I_o = geschwächte Intensität
K = vom Stoff unabhängige Konstante
ρ = Dichte des durchstrahlten Stoffes
x = Absorptionsweg
A = Atomgewicht des durchstrahlten Stoffes.

Da das Verhältnis Z/A für die Mehrzahl der Elemente des periodischen Systems 1/2 ist, d. h.praktisch konstant, läßt sich durch die Betaabsorptionsmessung die Dichte des Meerwassers bestimmen.
Durch die gleichzeitige Messung von Beta-Rückstreuung und Absorption ließe sich also eine Element- und Dichtebestimmung durchführen.

4.6.2 Datenübertragung mittels Satelliten

4.6.2.1 Allgemeines

Eine Untersuchung über den Einsatz von Satelliten zur Datenübertragung von Tauchbojen an eine feste Landstation ist eng verknüpft mit den funktechnischen Gegebenheiten. Sendeleistung, Übertragungsfrequenz und Übertragungsgeschwindigkeit bestimmen das Konzept des Satelliten und beeinflussen die Wahl der Umlaufbahn.
Diese Einflußgrößen werden im Zwischenbericht B5 und im Abschlußbericht A5 der Firma Standard Elektrik Lorenz AG näher untersucht. Der folgende Beitrag befaßt sich daher lediglich mit den flugmechanischen Fragen und den Möglichkeiten eines Einsatzes von bereits vorhandenen Satelliten und Trägerraketen.

4.6.2.2 Geostationärer Satellit:

Der geostationäre Satellit hat die Umlaufzeit von einem siderischen Tag (T = 86164,09 sec). Nach dem 3. Keplerschen Gesetz ergibt sich damit die Höhe der ungestörten Bahn zu 35786 km.
Der Ort des Satelliten über dem Äquator ist so zu wählen, daß der Erhebungswinkel für alle Bojen an der nördlichen Begrenzung annähernd gleich ist.

Für einen Standort von 15° Ost beträgt der Elevationswinkel für Hamburg 28° und sinkt für eine Position vor der Küste Grönlands auf 5° ab.
Diese Winkel gestatten gerade noch eine Datenübertragung, sofern die Sendeleistung ausreichend hoch ist (ca. 150 W).
Der große Vorteil eines geostationären Satelliten ist die ständige Sende- und Empfangsbereitschaft.

Von den zum Einsatztermin der Tauchbojen zur Verfügung stehenden europäischen Satelliten käme für derartige Bahnen evtl. ein modifizierter "Symphonie", der mit einer "Thor-Delta" -

oder "EUROPA-II"-Rakete gestartet werden könnte, infrage.

4.6.2.3 24-Stunden-Satellit

Die Bahnhöhe eines zirkularen polaren 24-Stunden-Satelliten (Umlaufzeit 1 siderischer Tag) beträgt gleichfalls 35.786 km. Dabei treten jedoch keine Knotendrehung und keine Apsidenlinienpräzession auf, so daß sich hier ebenfalls eine Möglichkeit zur Datenübertragung anbietet. Es wurden vorläufig für 2 verschiedene Umlaufbahnen Bahnrechnungen durchgeführt.

Abb. 4.6.2-20 zeigt eine 24h-Bahn mit dem Ausgangspunkt $L = 0^{o}$, $B = 0^{o}$. Die beiden Bahnäste auf der nördlichen Halbkugel umschließen das vorgegebene Gebiet und erlauben über einen halben Tag ausreichende Sichtbedingungen für die beiden untersuchten Stationen.

Abb. 4.6.2.-21 zeigt den Elevationswinkel der Bahn Abb. 4.6.2-20 über einen Umlauf.

Abb. 4.6.2.-22 stellt den Bahnverlauf einer weiteren 24h-Bahn dar, die das interessierende Meeresgebiet direkt überfliegt. Abb. 4.6.2-23 zeigt die dazugehörige Elevation. Hier liegen die Maxima des Winkels höher, die gesamte Kontaktdauer ist aber geringer als bei der vorhergehenden Bahn.
Die Ermittlung des optimalen Verhältnisses von Kontaktdauer und Elevation kann jedoch nur durch weitere umfangreiche Bahnrechnungen geschehen, die den Rahmen dieser Studie sprengen würden.

4.6.2.4 Modifizierter AZUR-Satellit.

Im Hinblick auf eine mögliche Kostensenkung ist auch der Einsatz des deutschn Forschungssatelliten AZUR in modifizierter Form zum Zweck der Datenübertragung interessant. Als Trägerrakete kommt dafür die sehr preiswerte SCOUT infrage.
Aufgrund der geforderten Lebensdauer von 5 Jahren ergibt

sich mit dem ballistischen Faktor des AZUR von 6,37 $.10^{-3} m^2/kg$ eine Mindesbahnhöhe von 600 km.

Die obere Grenze der Kreisbahnhöhe ist im wesentlichen von Startazimut und Raketenleistung abhängig. Das Gewicht des modifizierten AZUR wurde zu 70 kg angenommen.
Um die Daten aller Bojen zu erfassen, ist eine Bahninklination von $\geq 70^{\circ}$ erforderlich.
Mit diesen Daten wurden verschiedene Bahnrechnungen für Höhen von 600, 900 und 1.200 km sowie Inklinationen von 90°, 80° und 70° durchgeführt. Bei diesen Rechnungen bleiben der Startort und die Aufstiegsbahnen zunächst unberücksichtigt. In den Abb. 4.6.2-1 bis 4.6.2-9 sind die Projektionen der Umlaufbahnen auf die Erdoberfläche und das für die Bojen vorgesehene Aussetzungsgebiet eingezeichnet. Für die 600-km-Kreisbahnen beträgt die Umlaufzeit 96,5 Min., so daß sich der Satellit nach 14,9 Umläufen pro Tag wieder über dem Ausgangsgebiet befindet.

Die 900-km-Bahnen haben eine Umlaufzeit von 102,8 Min. und der Satellit befindet sich nach 14 Umläufen pro Tag wieder über seinem Ausgangsgebiet.
Bei den 1.200-km-Bahnen ergibt sich schließlich eine Umlaufzeit von 108,2 Min. entsprechend 13,2 Umläufen/Tag.

Bei allen Bahnen wird eine Station täglich nur einmal überflogen. Damit besteht die Forderung, daß die Tauchbojen die Meßdaten aller Tauchfahrten speichern und diese einmal am Tag an den Satelliten übermitteln.

Um eine Aussage über die Kontaktzeiten zu bekommen, wurde in den Abb. 4.6.2-10 bis 4.6.2-19 die Elevationswinkel für 4 Umläufe nach Beginn der Rechnung über die Flugzeit für 2 Stationen (Hamburg als Empfangsort und 1 Boje auf 25° West, 40° Nord) aufgetragen.
Ersichtlich ist, daß der Satellit in 3 - 4 aufeinanderfolgenden Umläufen für jede Station über dem Horizont erscheint.

Abb. 4.6.2-19 vergleicht bei einer Inklination von $i = 70^{\circ}$ für die Station Hamburg die Elevation für die Höhen 600, 900 und 1.200 km.

Ist die Elevation 30°, so ergeben sich folgende Kontaktzeiten:

H =	600 km	4,45 min
H =	900 km	6,43 min
H =	1.200 km	8,17 min

Bei kleinerem Sichtwinkel ist ein einwandfreier Funkkontakt wahrscheinlich nicht gewährleistet.
Die Datenübermittlung einer vollständigen Tauchfahrt dauert etwa 40 - 50 sec. bei der Geschwindigkeit von 1000 $\frac{\text{bit}}{\text{sec}}$.
Während die Funktionsprogramme im Atlantik nur 2 Tauchfahrten pro Tag vorsehen, werden in Nord- und Ostsee bis 4 Tauchzyklen übertragen. Das bedeutet pro Boje 2,6 - 3,3 min Sendedauer.

Eine Verlängerung der Kontaktdauer durch die Benutzung von elliptischen Bahnen, deren Apogäum über einem vorgegebenen Gebiet liegt, scheitert an den Leistungsgrenzen der SCOUT-Rakete.

4.6.2.5 Zusammenfassend kann gesagt werden:

Die von der Funktion her günstigste Lösung ist ein geostationärer Satellit wegen seiner ständigen Sende- und Empfangsbereitschaft, d. h. Datenspeicher werden nicht benötigt und die Funktionsprogramme der Bojen sind nicht von Kontaktzeiten abhängig. Die in Bezug auf die benötigte Sendeleistung günstigste Lösung bietet ein polarer 24h-Satellit. Seine relativ lange Kontaktdauer gestattet dabei die Verwendung als Relaisstation, so daß auch hier eine Datenspeicherung fortfällt.
Die Verwendung eines auf zirkularer Bahn umlaufenden Satelliten ist grundsätzlich möglich. Das System AZUR/SCOUT ist verwendbar, unterliegt aber im Bezug auf die Bojenzahl Beschränkungen, bei denen untersucht werden muß, ob sie funktechnisch zu lösen sind.

Es sollte ferner die Möglichkeit untersucht werden, einen Satelliten in elliptische Umlaufbahnen mit einer Thor-Delta einzuschießen, deren Apogäum für den geplanten Zeitraum über dem interessierenden Gebiet liegt. Außerdem besteht die Möglichkeit, mehrere Satelliten auf zirkularer Umlaufbahn zu verwenden, die eine mehrfache Abfrage der Boje ermöglichen.

4.6.2.6 Kosten:

Falls an einen Satelliteneinsatz gedacht wird, bietet die Verwendung von bereits vorhandenen europäischen bzw. deutschen Satelliten zur Datenübertragung Vorteile, von denen insbesondere

- die erhebliche Kostensenkung gegenüber einer Neuentwicklung und
- die wirtschaftliche Nutzung langjähriger technischer Einzelentwicklungen;

ins Auge fallen. Um jedoch quantitative Aussagen zu diesen Punkten zu erhalten, wären genauere Untersuchungen notwendig, die im Rahmen dieser Studie nicht möglich sind.
Lediglich die Starkosten für die o. a. Trägerraketen lassen sich zum augenblicklichen Zeitpunkt angeben:

Träger	Nutzlast kg	Gesamtkosten pro Schuß in Millionen $
EUROPA II	180 (geo-stationär)	ca. 15,0
THOR-DELTA DSV3E mit Apogäumsmotor	72 "	3,5
THOR-DELTA DSV3L-TE364 mit Apogäumsmotor	160 "	5,3
SCOUT	70 auf polare 1200-km-Kreisbahn	1,0

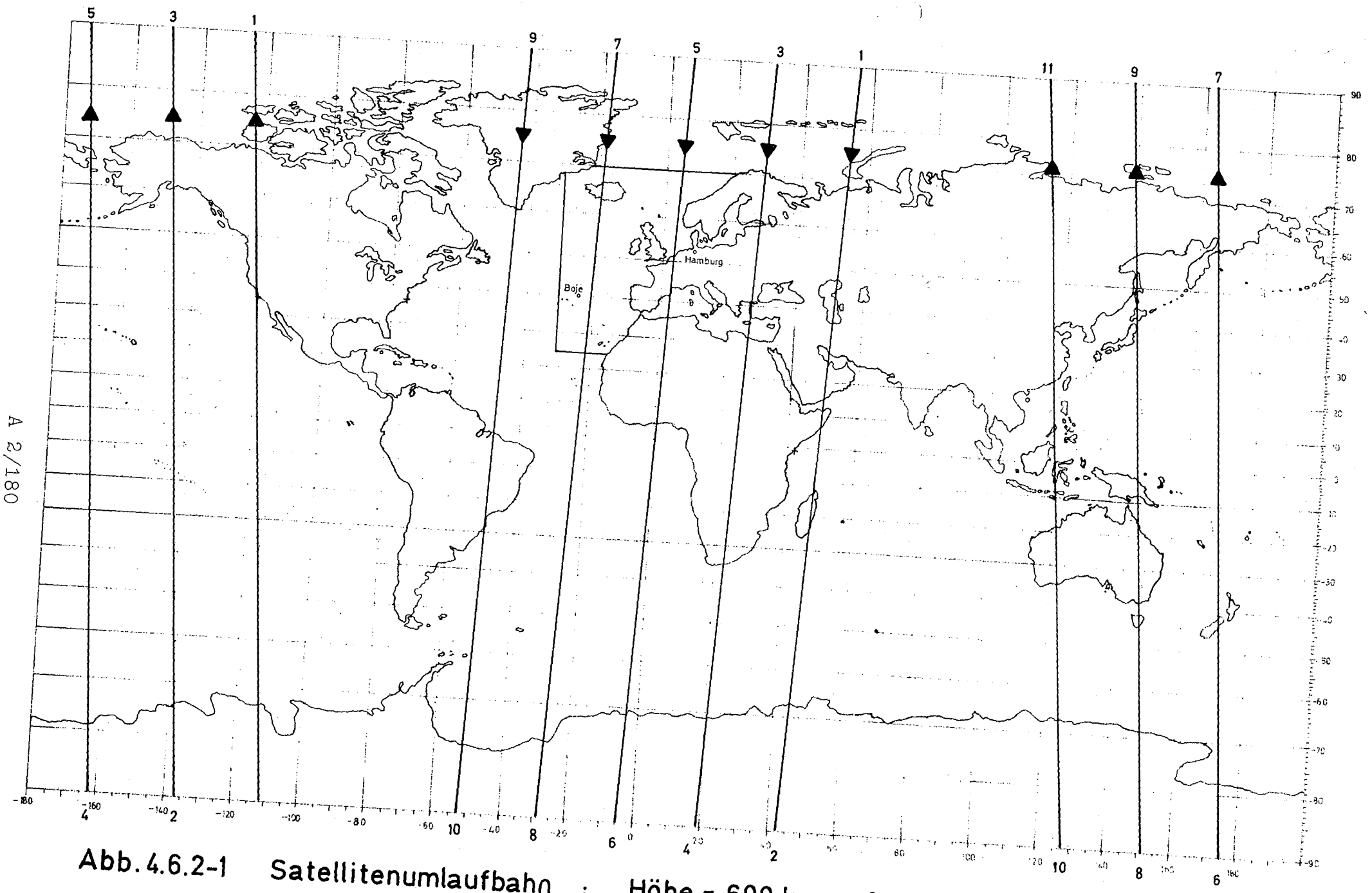


Abb. 4.6.2-1 Satellitenumlaufbahn ; Höhe = 600 km ; Inklination = 90°

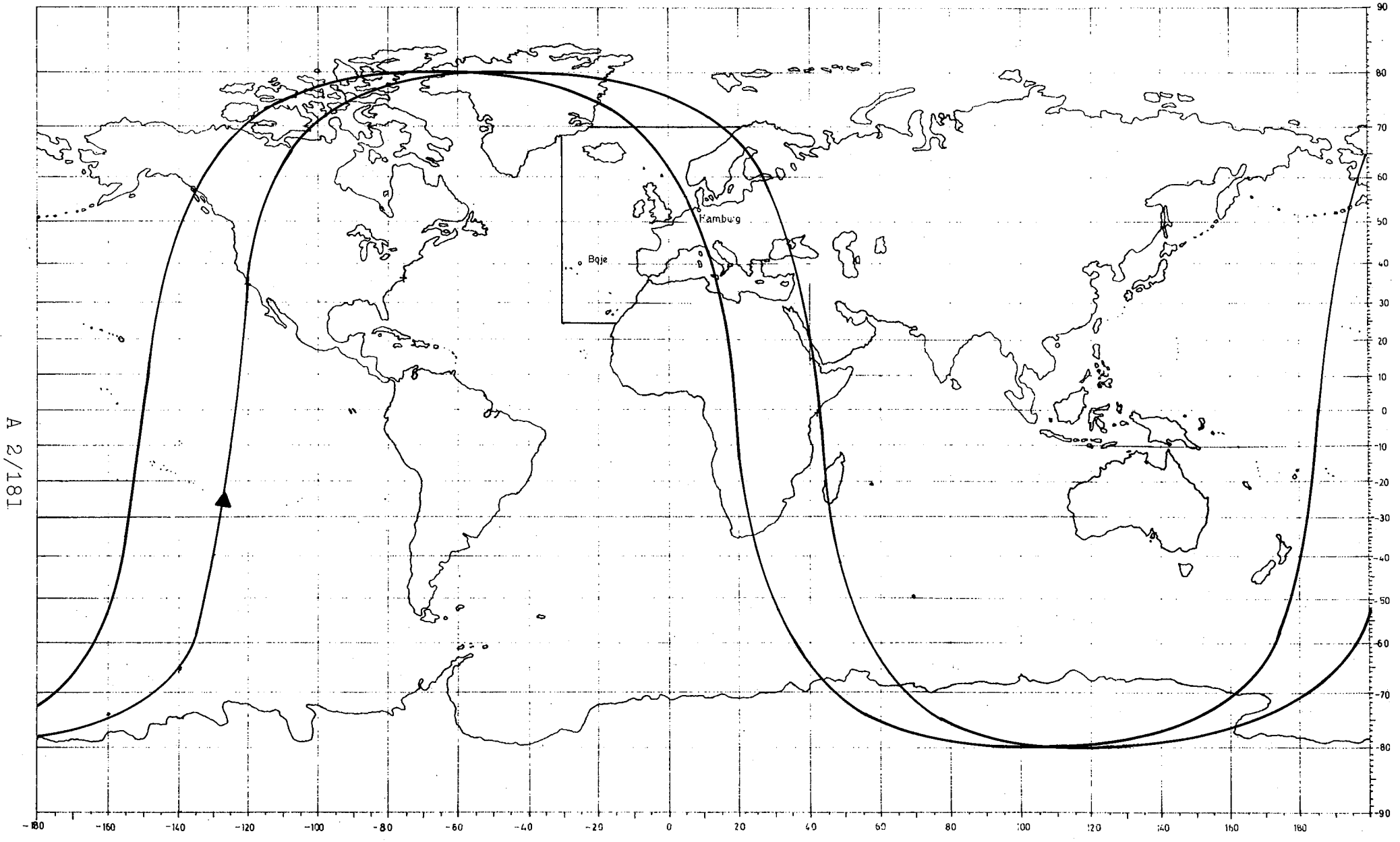


Abb.4.6.2-2 Satellitenumlaufbahn Höhe = 600 km ; Inklination = 80°

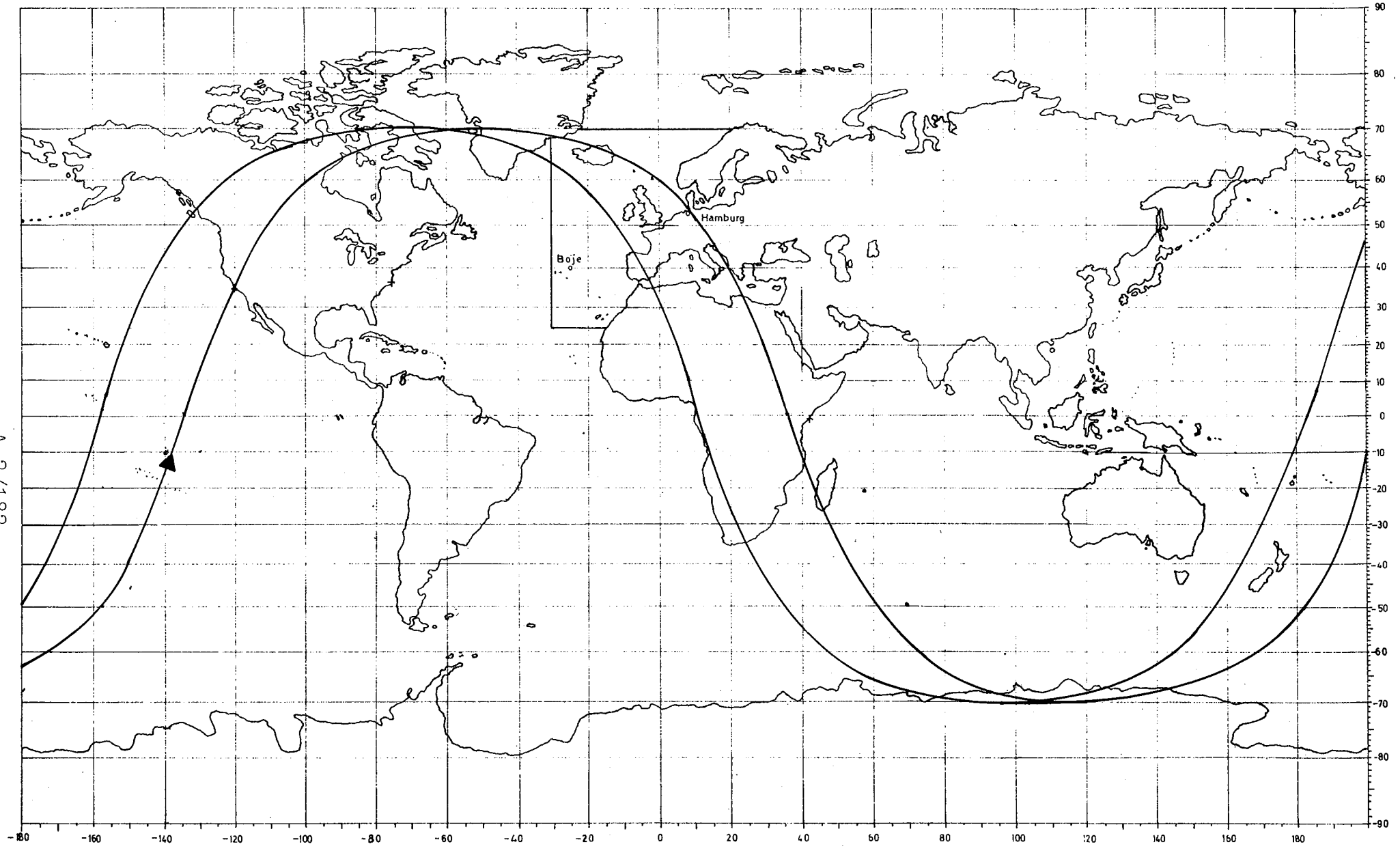


Abb.4.6.2-3 Satellitenumlaufbahn Höhe = 600 km ; Inklination = 70°

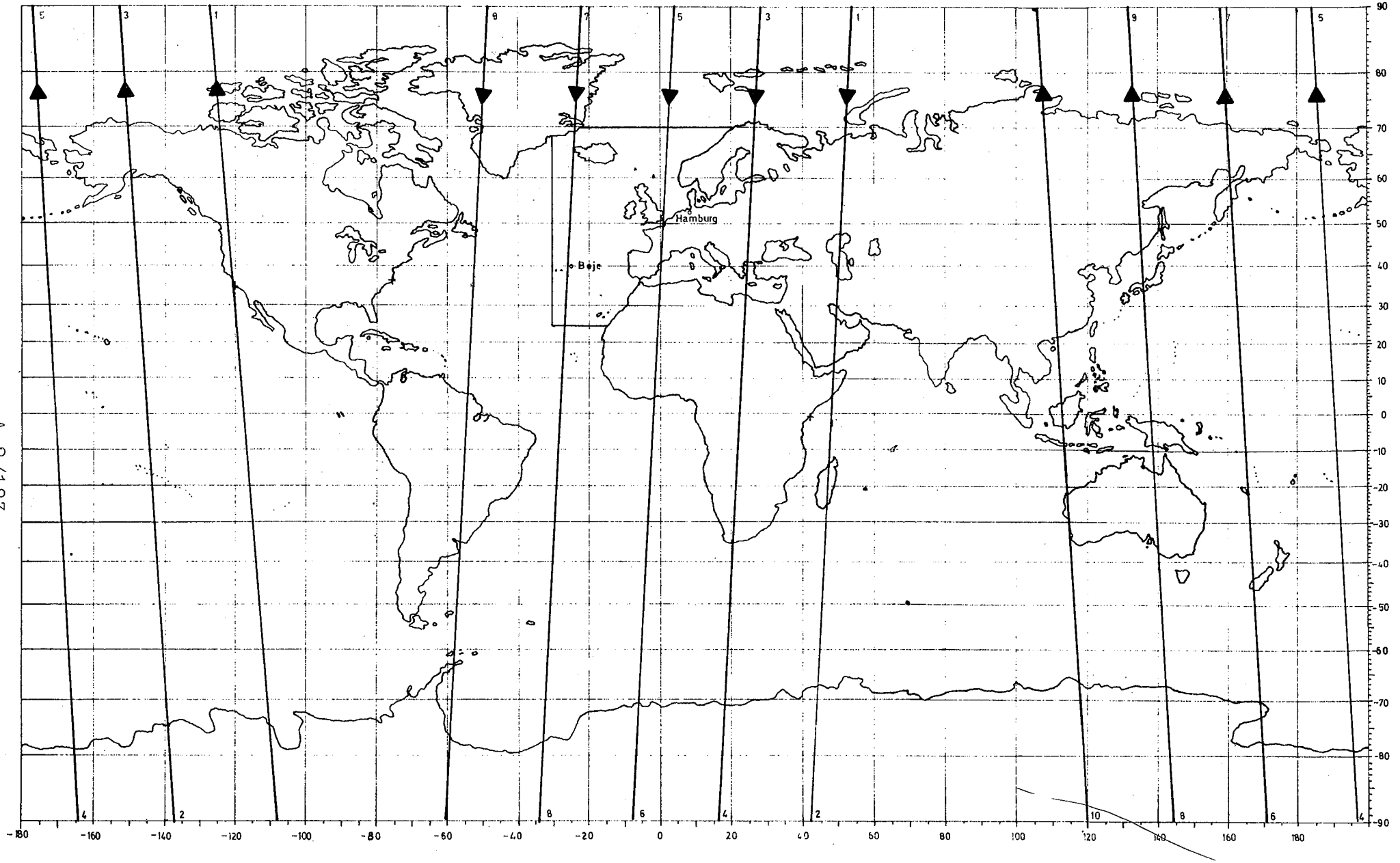


Abb.4.6.2-4 Satellitenumlaufbahn ; Höhe = 900 km ; Inklination = 90°

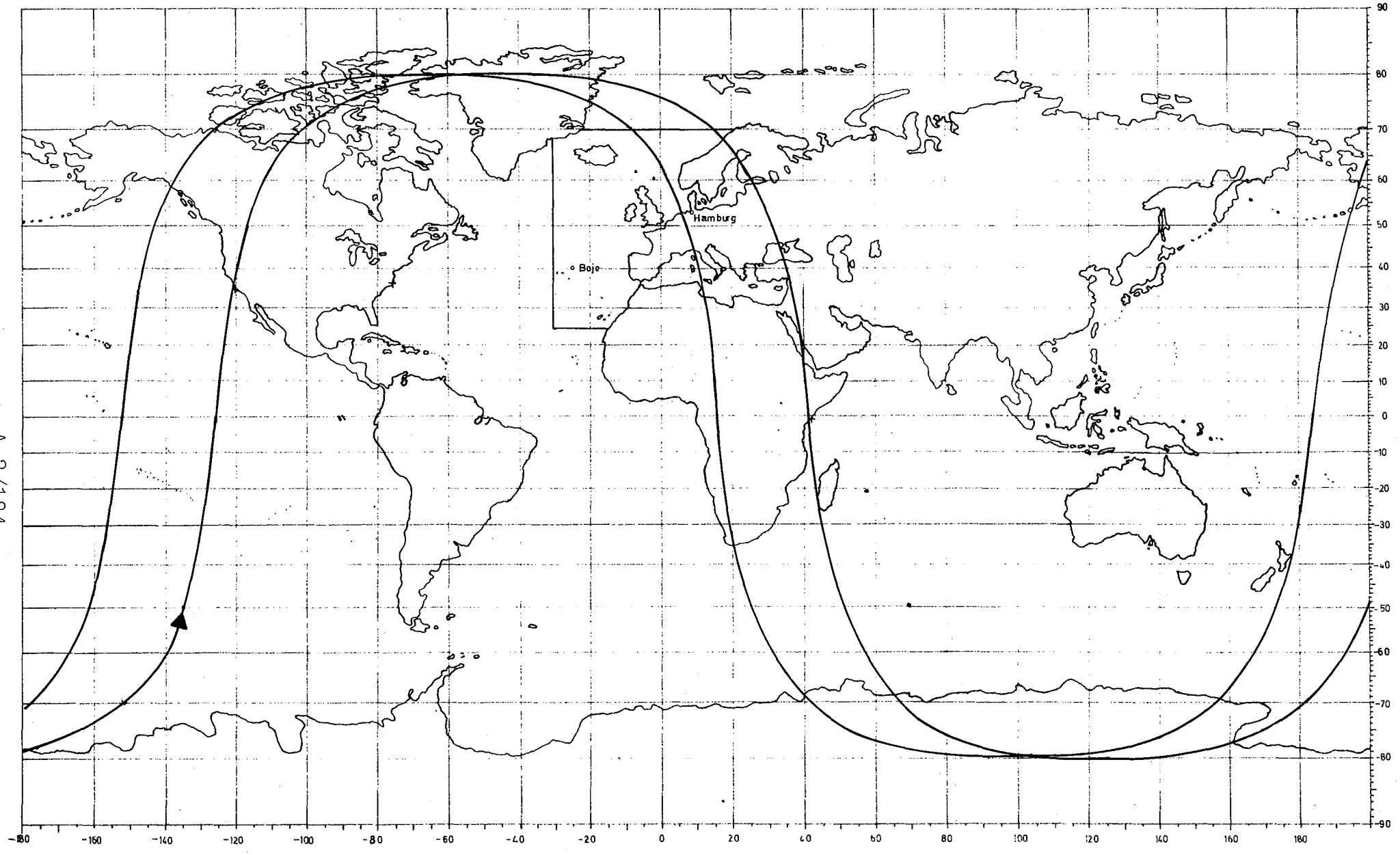


Abb.4.6.2-5 Satellitenumlaufbahn Höhe = 900 km ; Inklination = 80°

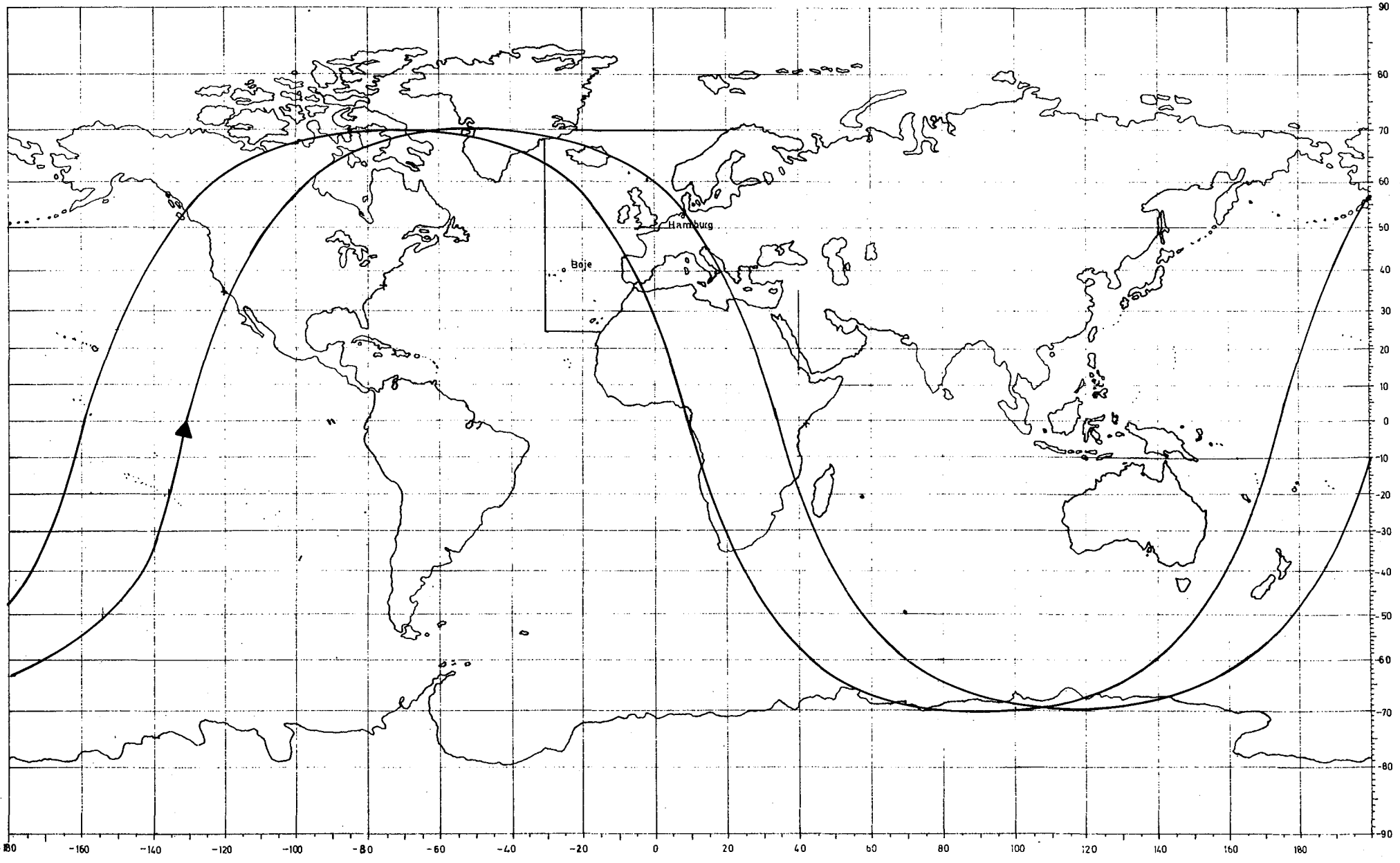


Abb .4.6.2-6 Satellitenumlaufbahn Höhe = 900 ; Inklination = 70°

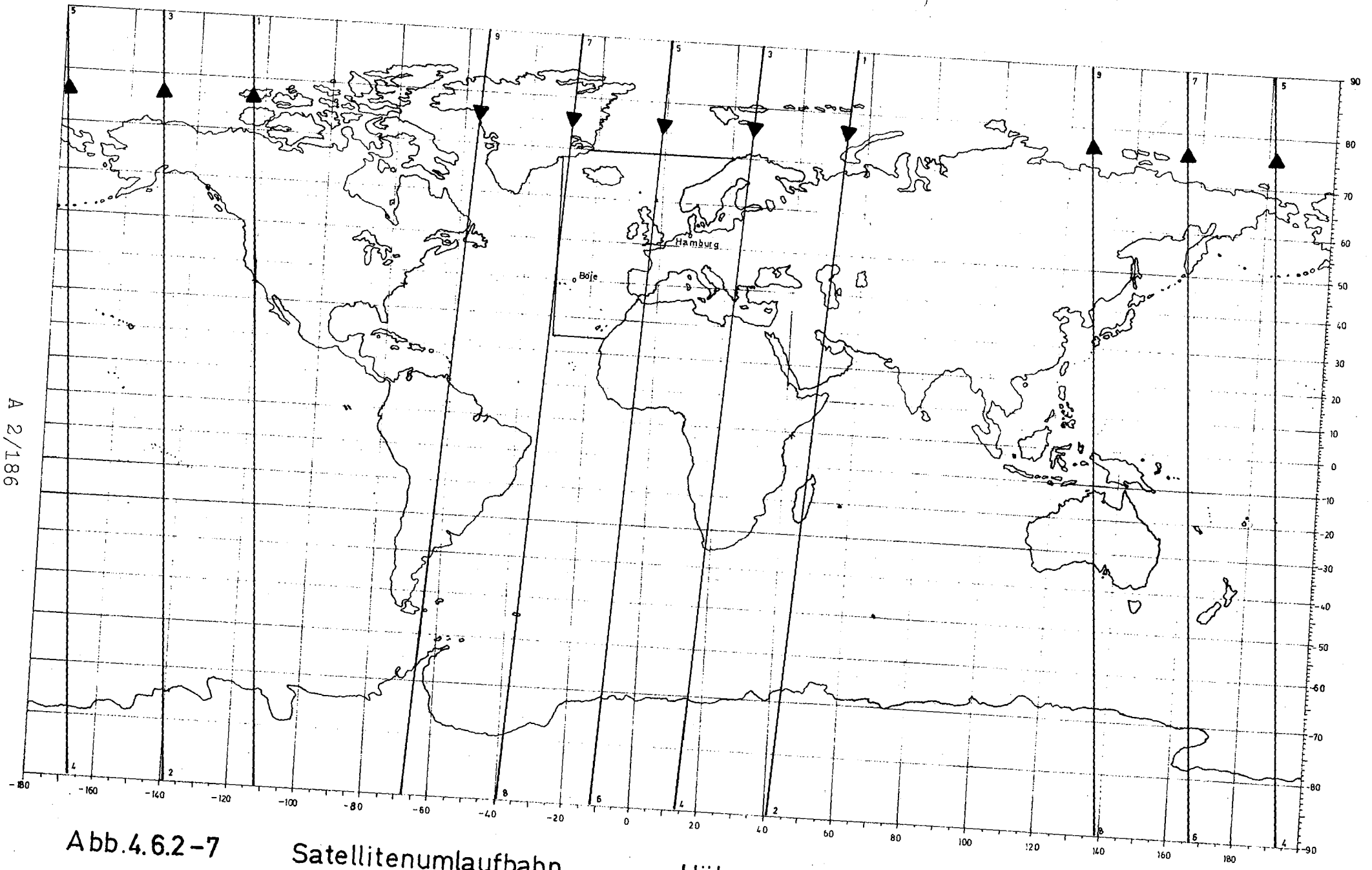


Abb.4.6.2-7 Satellitenumlaufbahn Höhe = 1200 km ; Inklination = 90°

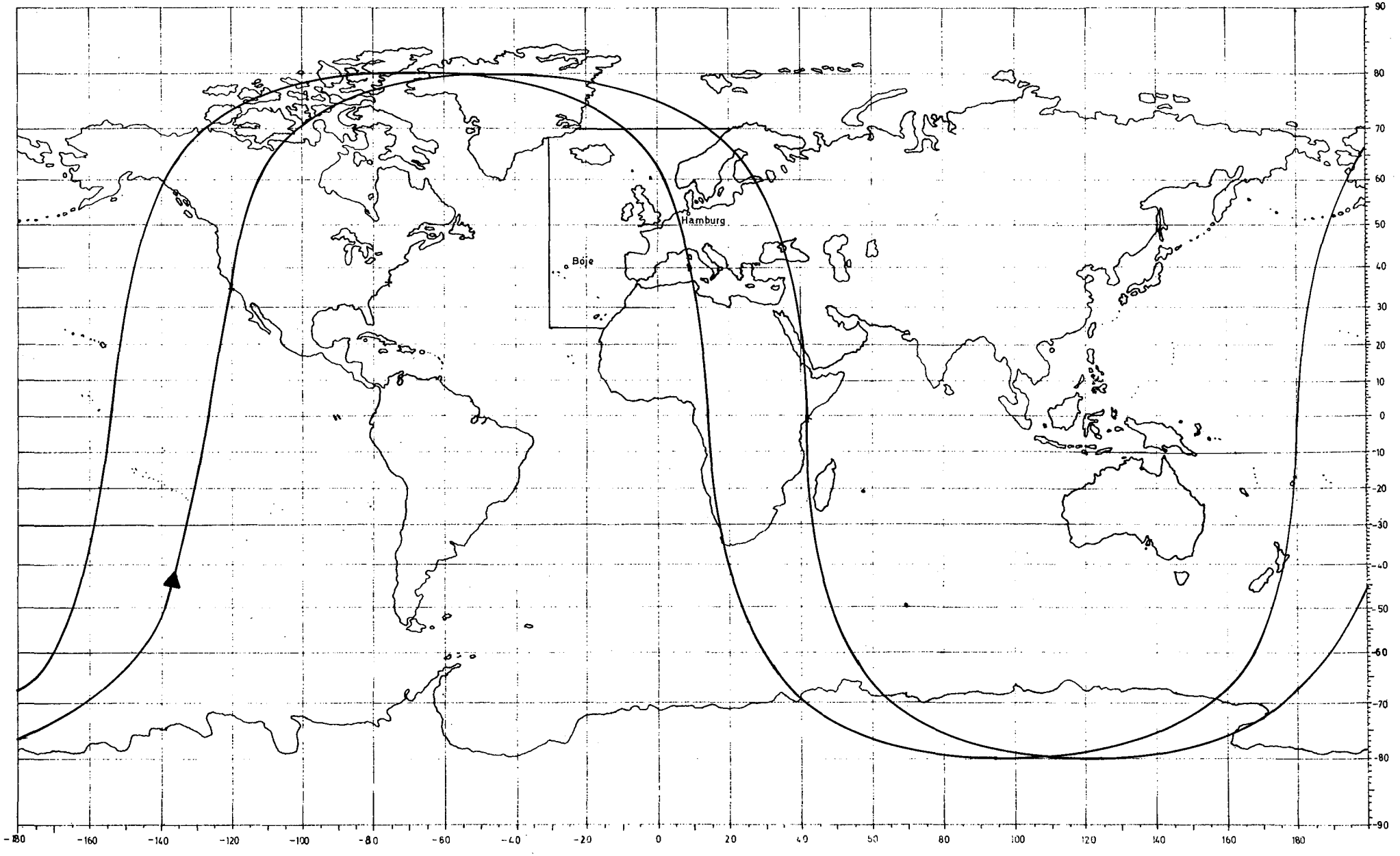


Abb.4.6.2-8 Satellitenumlaufbahn Höhe = 1200 km ; Inklination = 90°

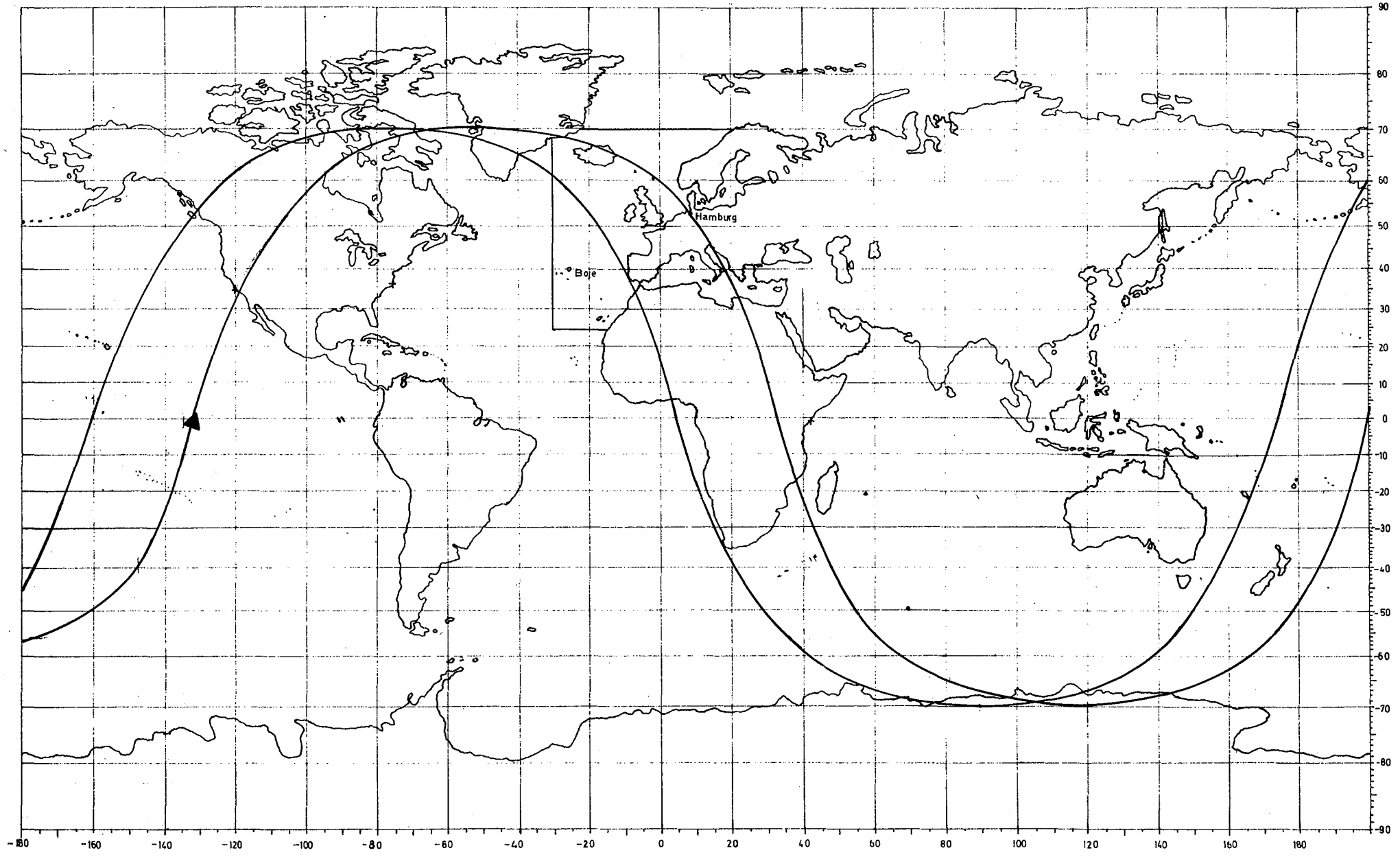


Abb.4.6.2-9 Satellitenumlaufbahn Höhe = 1200 km ; Inklination = 70°

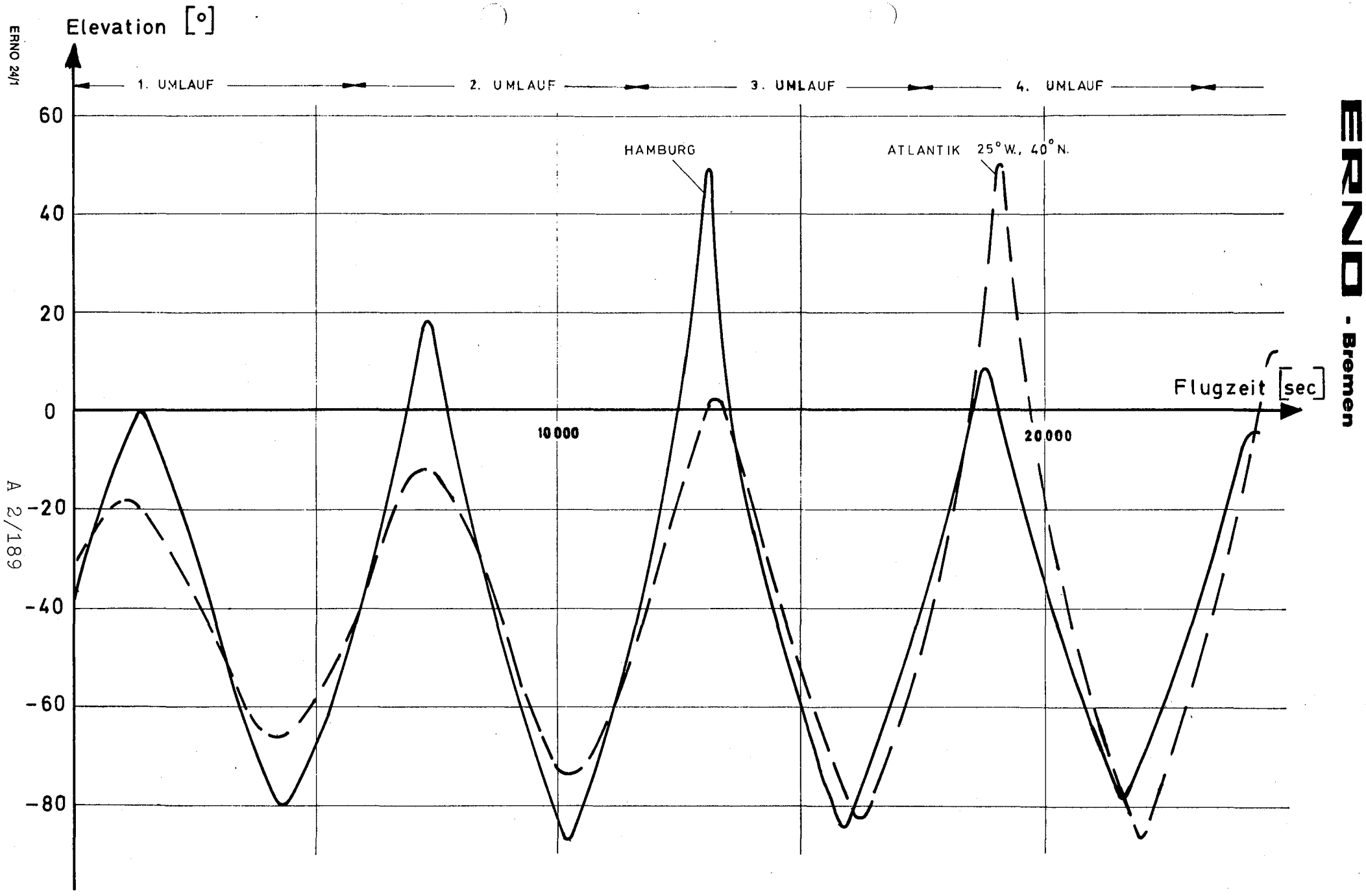


Abb.4.6.2-10 Sichtbarkeit des Satelliten über dem Horizont, h=600km, i=90°

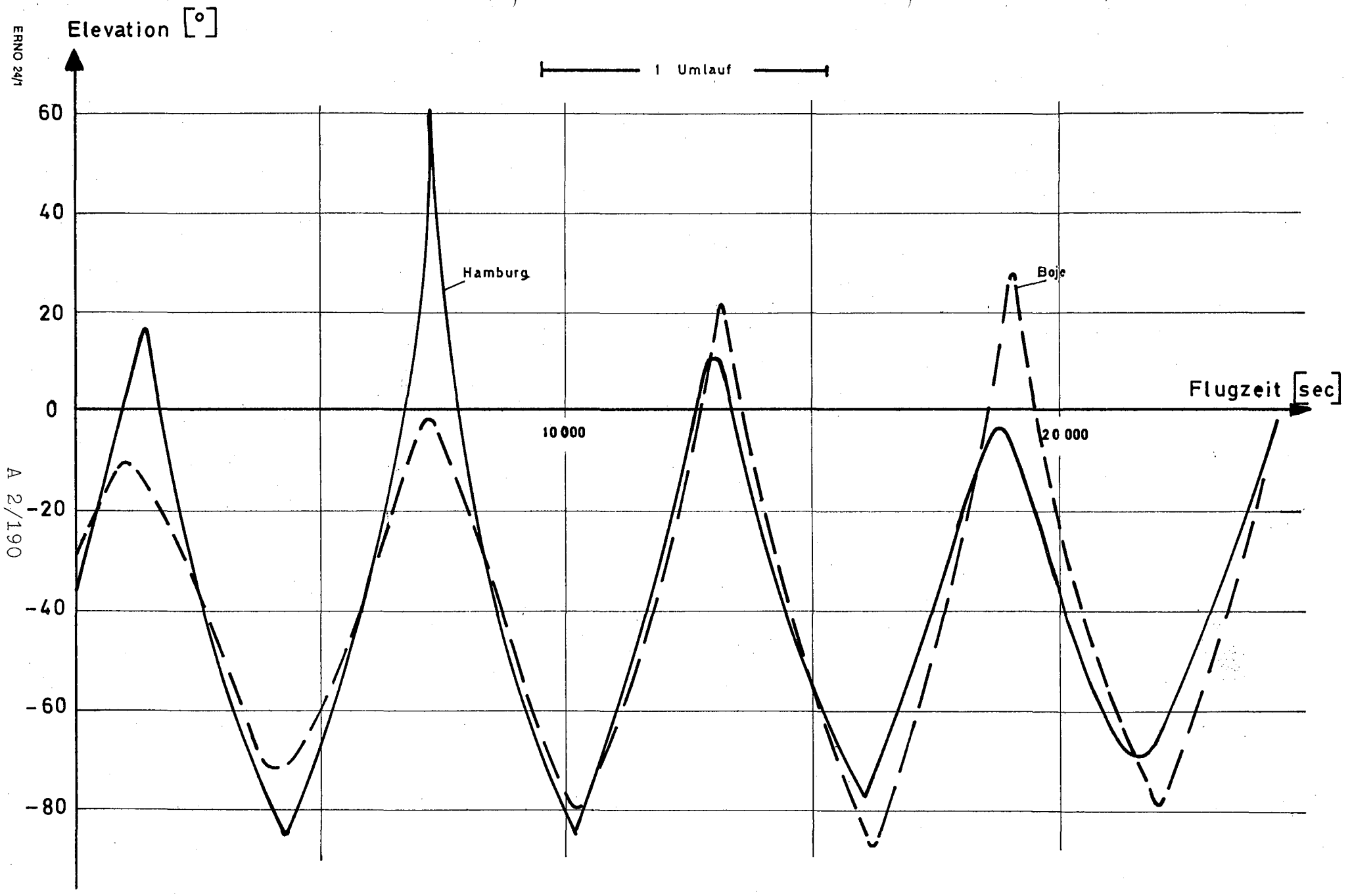


Abb. 4.6.2-11 Sichtbarkeit des Satelliten über dem Horizont ; h = 600 km, i = 80°

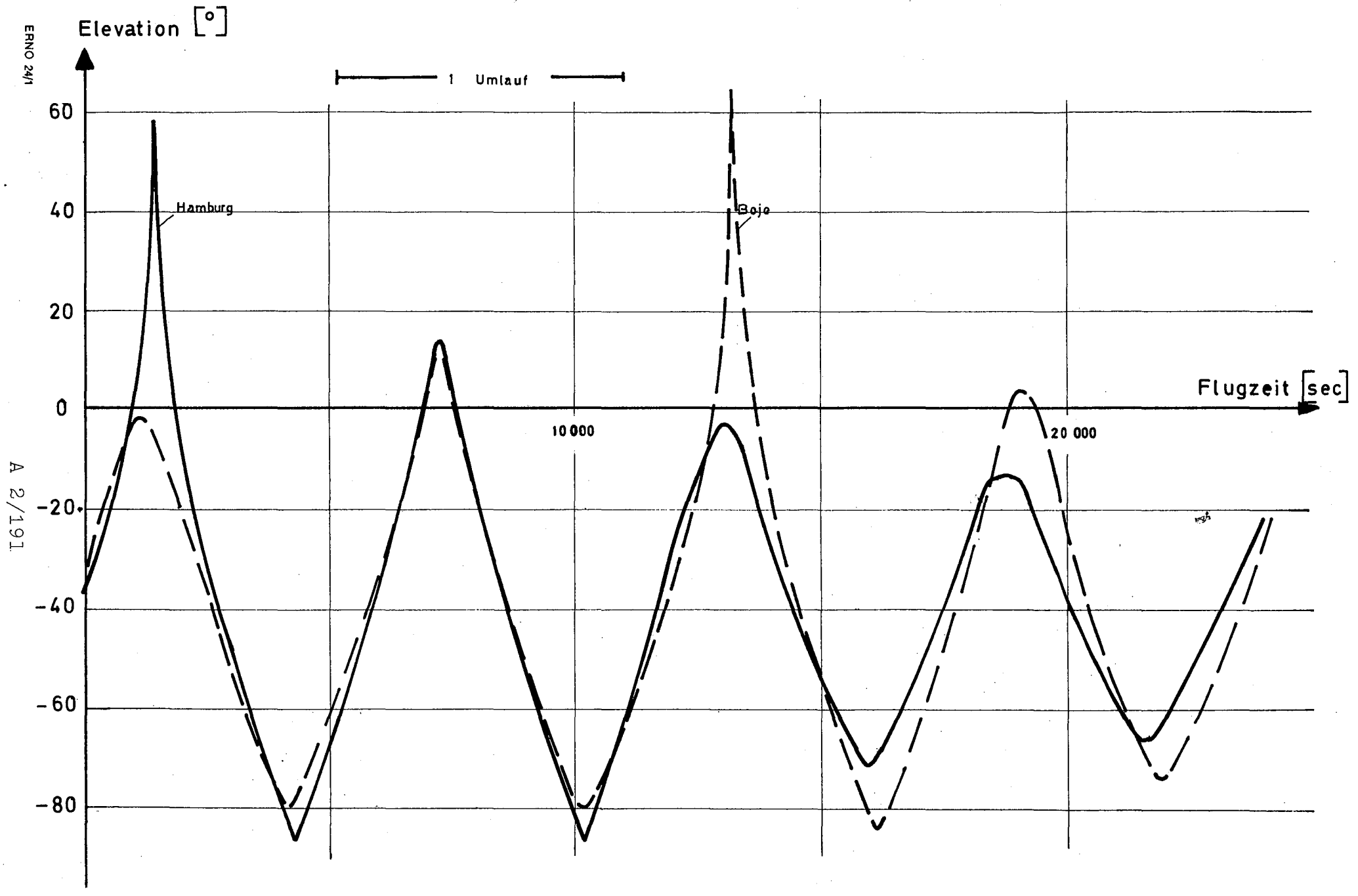
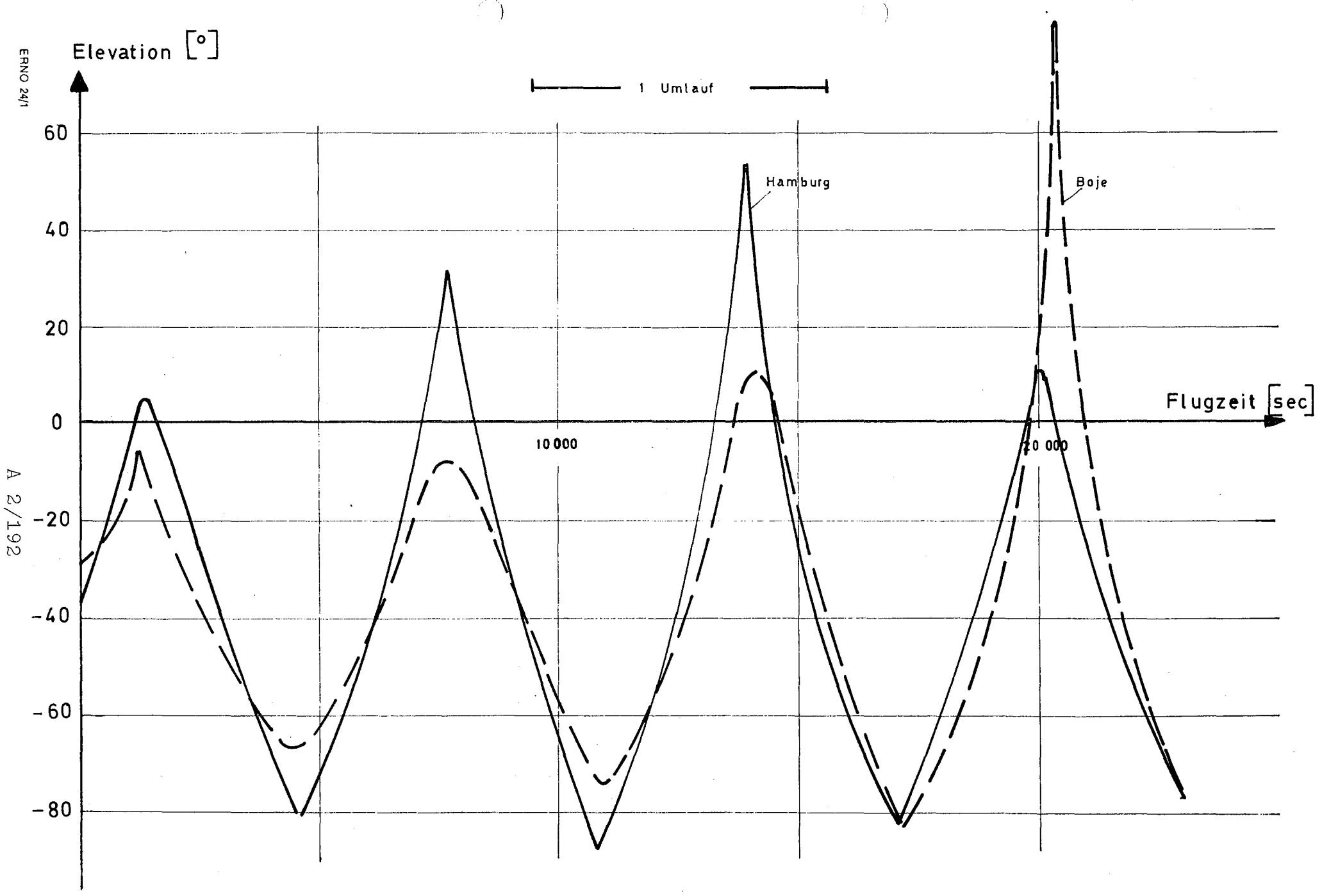


Abb.4.6.2–12 Sichtbarkeit des Satelliten über dem Horizont ; h = 600 km, i = 70°



ERNO 24/1

A 2/192

ERNO · Bremen

Abb.4.6.2–13 Sichtbarkeit des Satelliten über dem Horizont ; h = 900 km, i = 90°

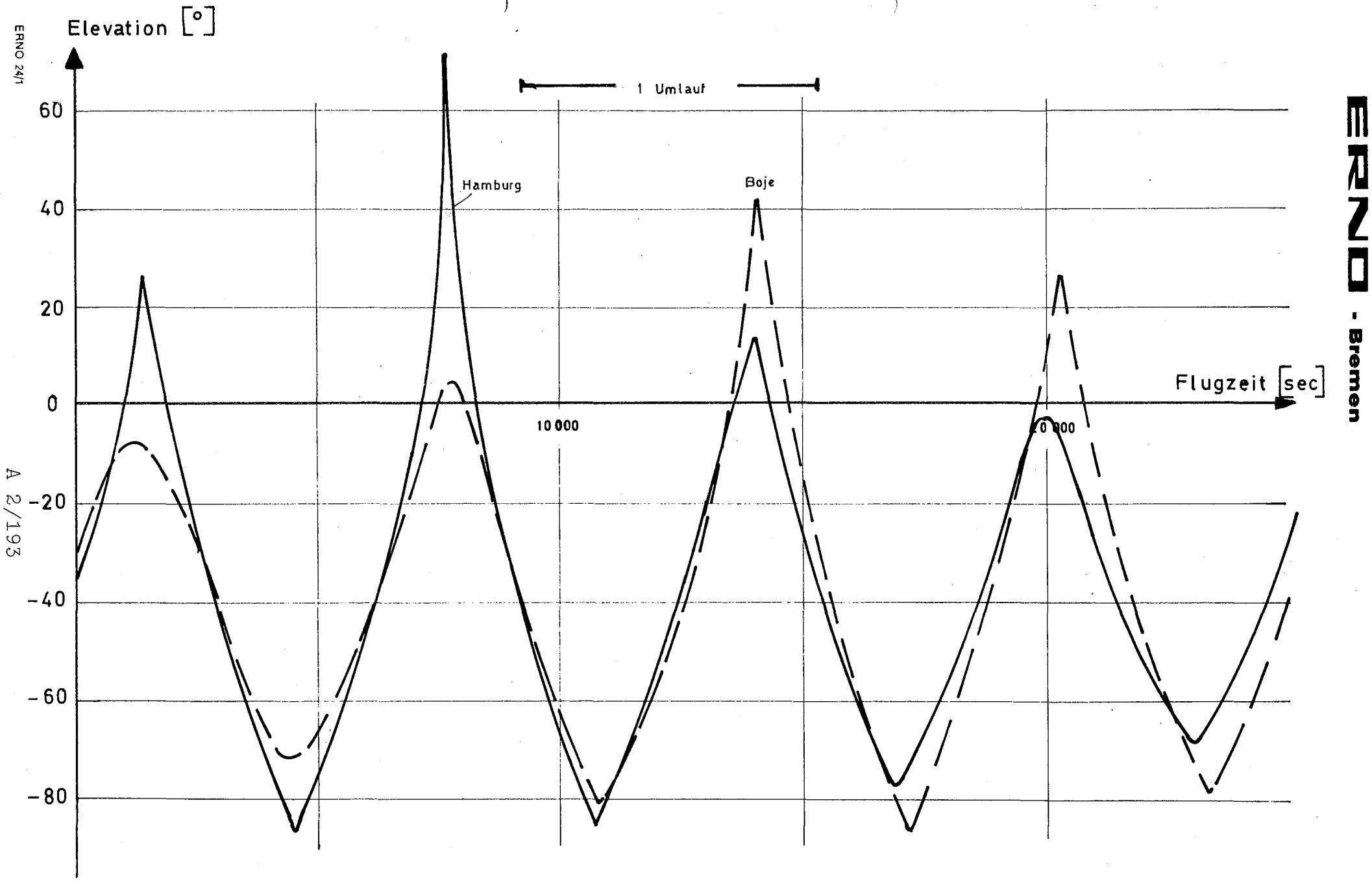


Abb. 4.6.2-14 Sichtbarkeit des Satelliten über dem Horizont ; h = 900 km, i = 80°

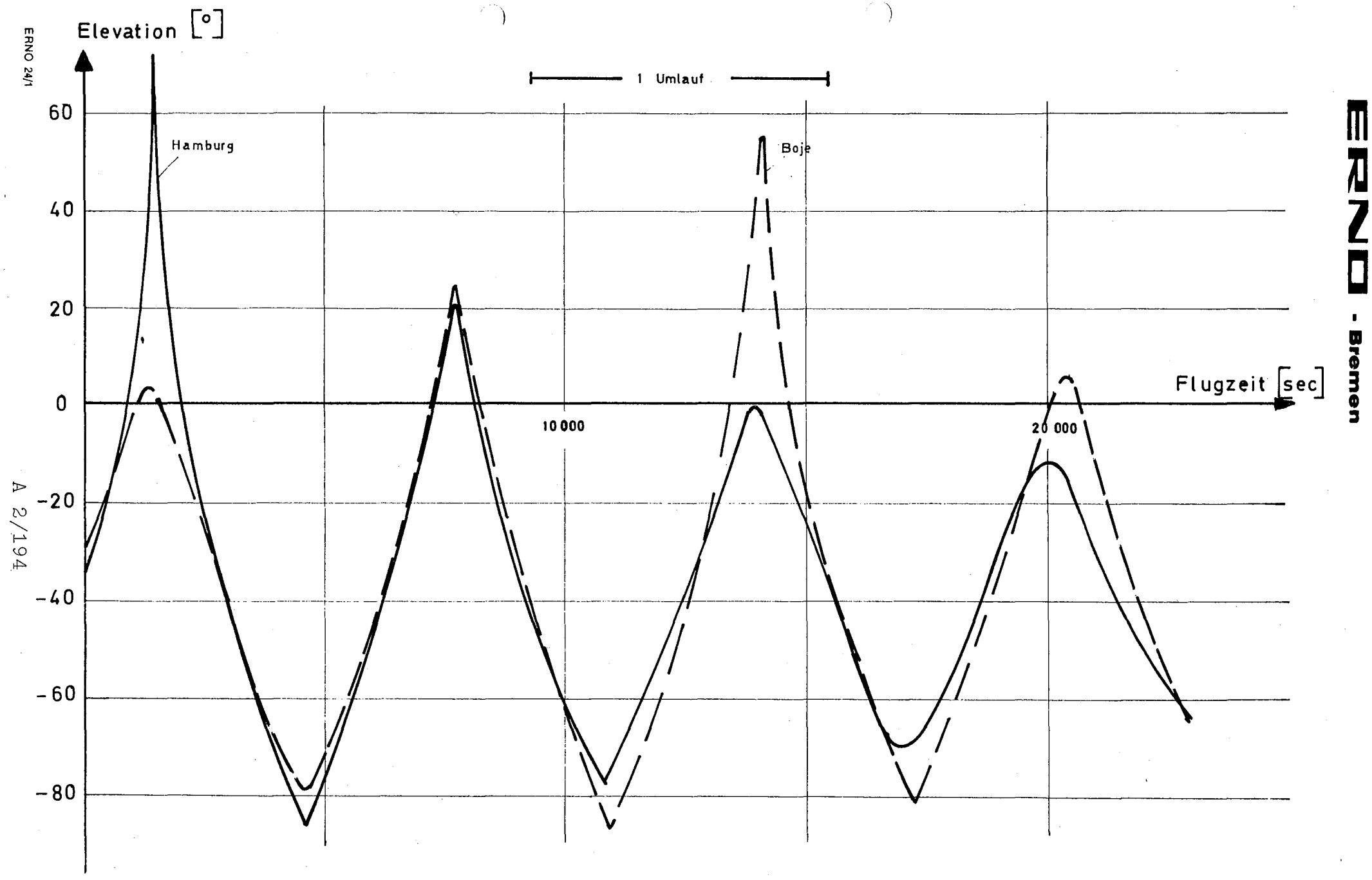
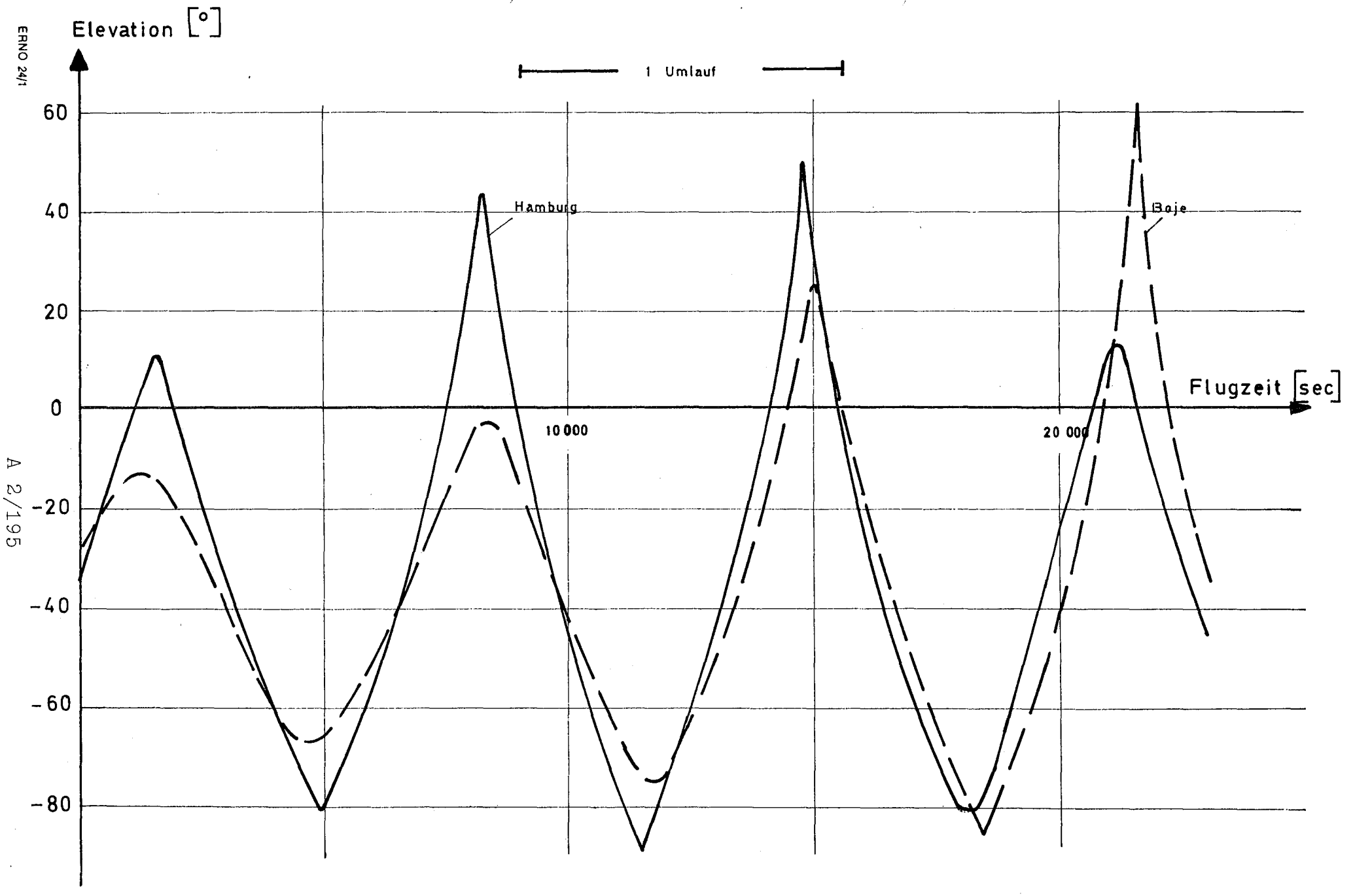


Abb. 4.6.2-15 Sichtbarkeit des Satelliten über dem Horizont ; h = 900 km, i = 70°



ERNO 24/1

A 2/195

ERNO - Bremen

Abb.4.2.6-16 Sichtbarkeit des Satelliten über dem Horizont ; h=1200 km, i=90°

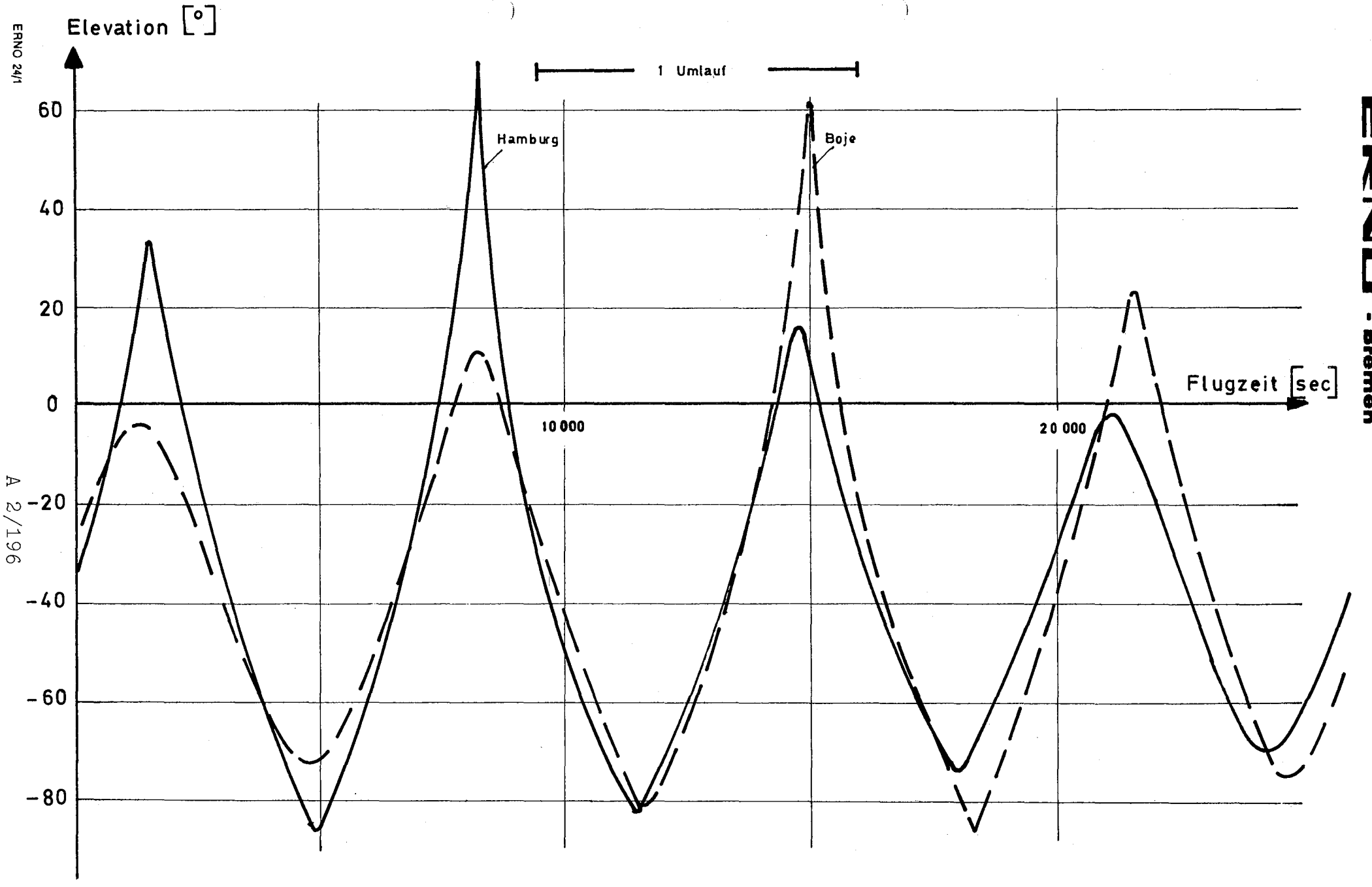
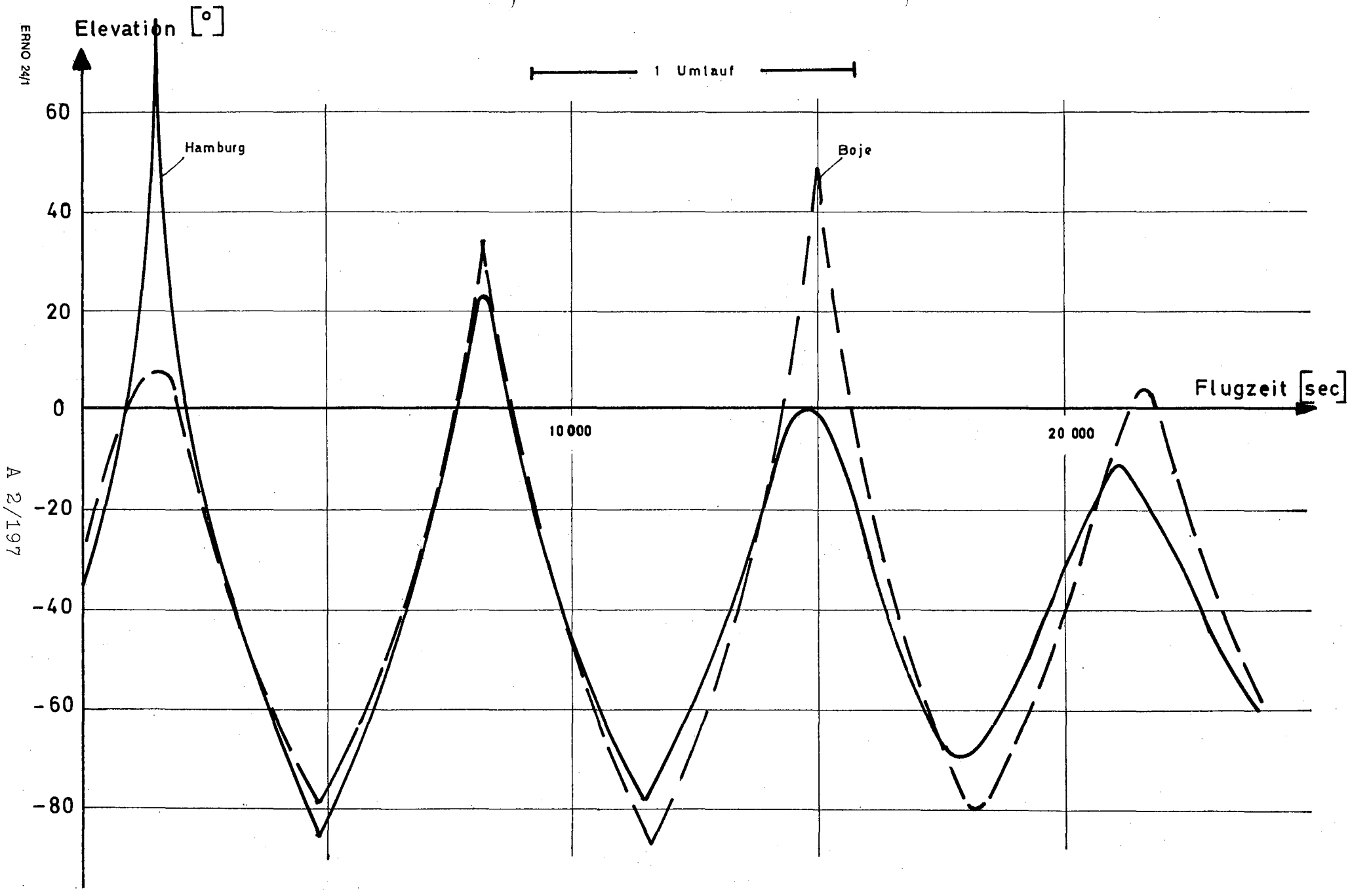


Abb.4.6.2-17 Sichtbarkeit des Satelliten über dem Horizont ; h=1200 km, i=80°



ERNO 24/1

A 2/197

ERNO - Bremen

Abb.4.6.2-18 Sichtbarkeit des Satelliten über dem Horizont ; h=1200 km, i=70°

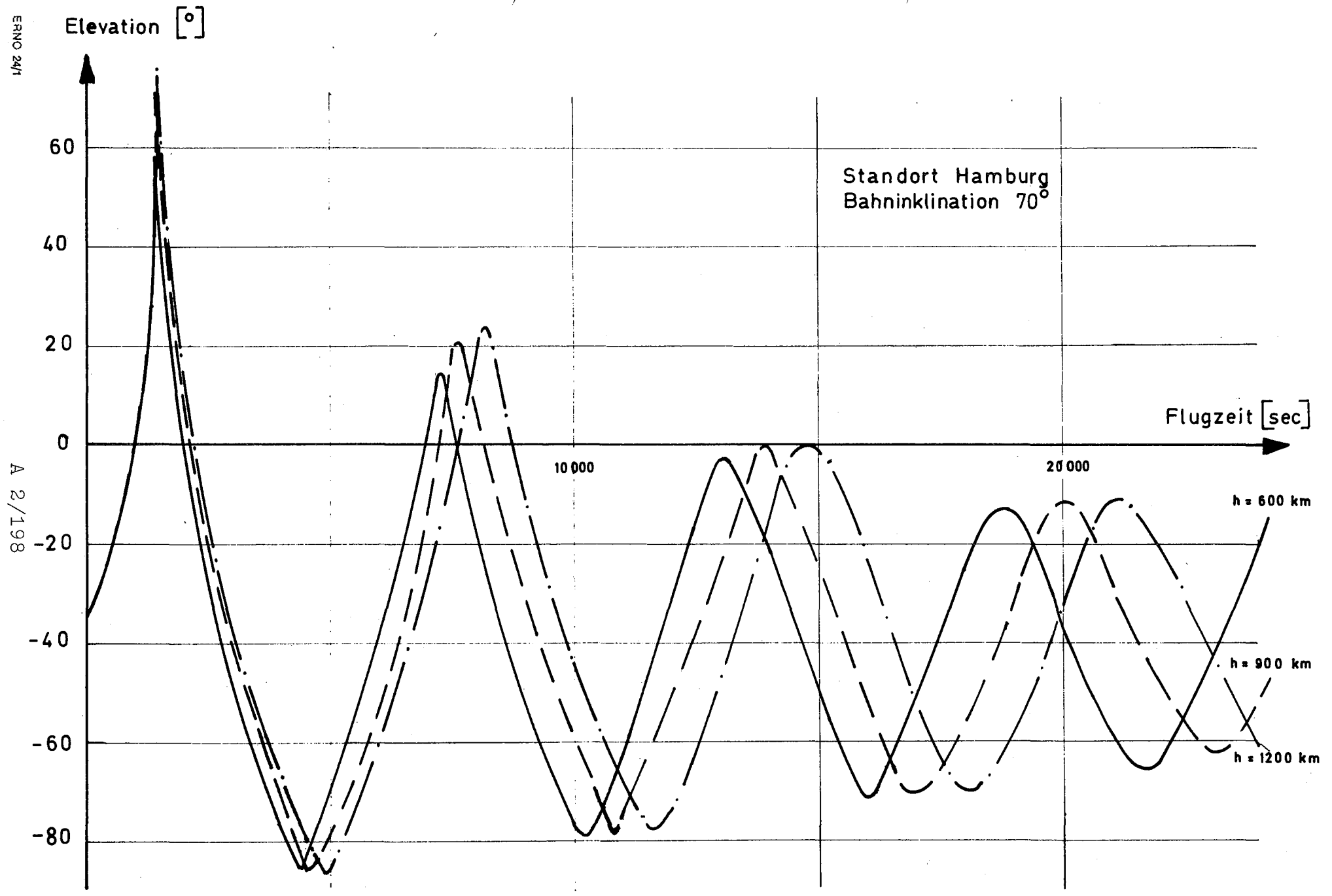


Abb.4.6.2-19 Sichtbarkeit des Satelliten in Abhängigkeit von der Bahnhöhe

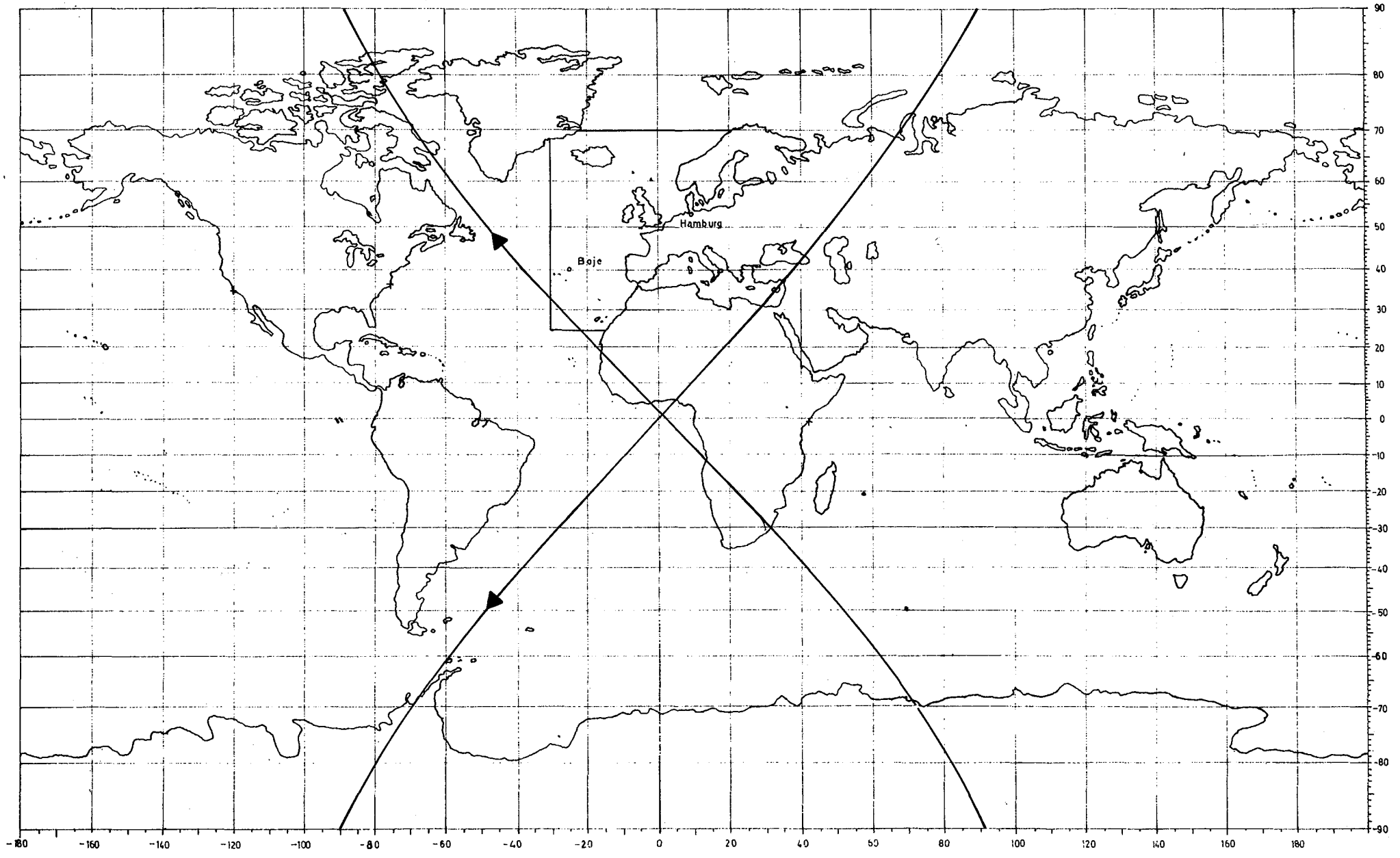


Abb.4.6.2-20 Polare 24-Stundenbahn

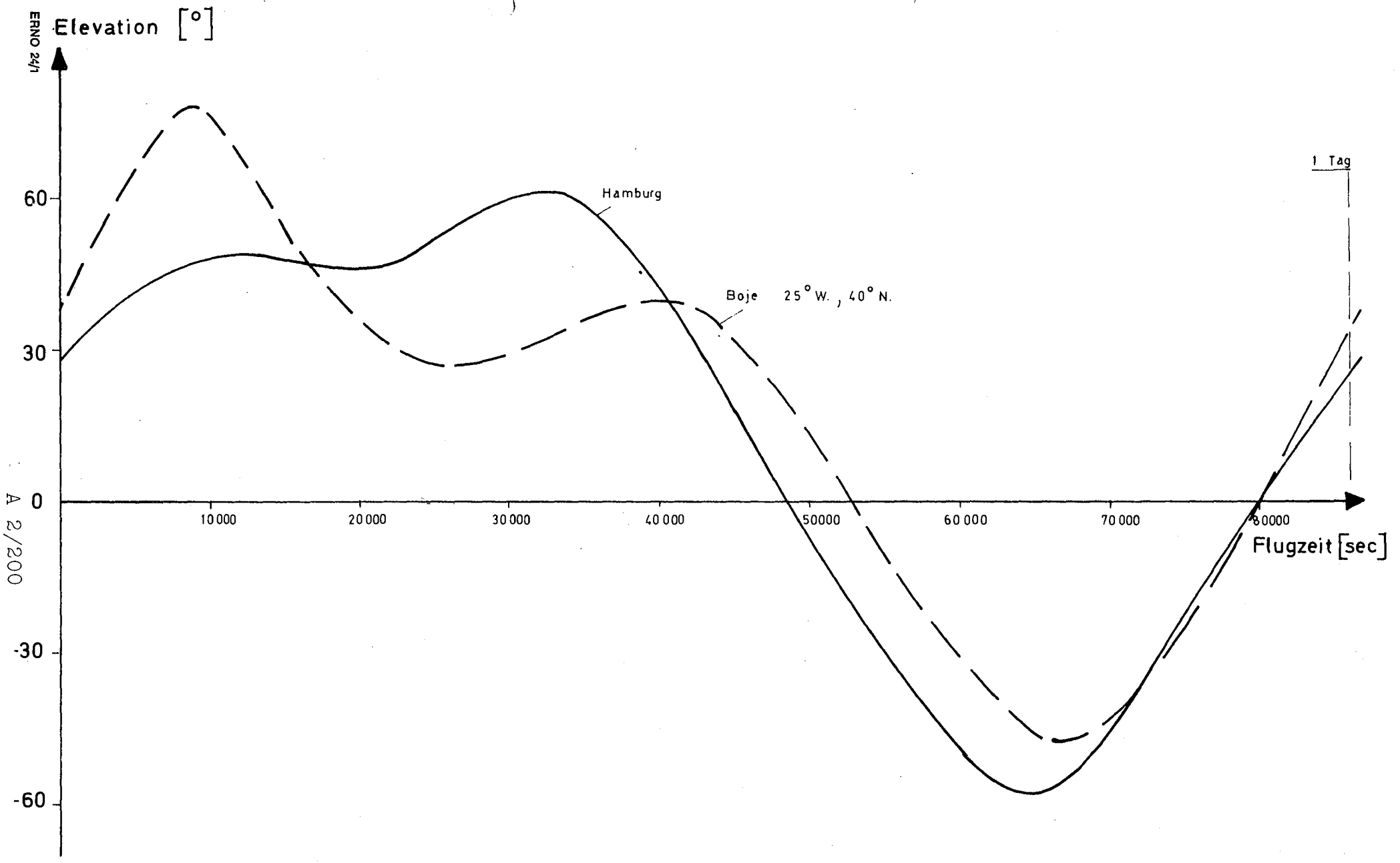
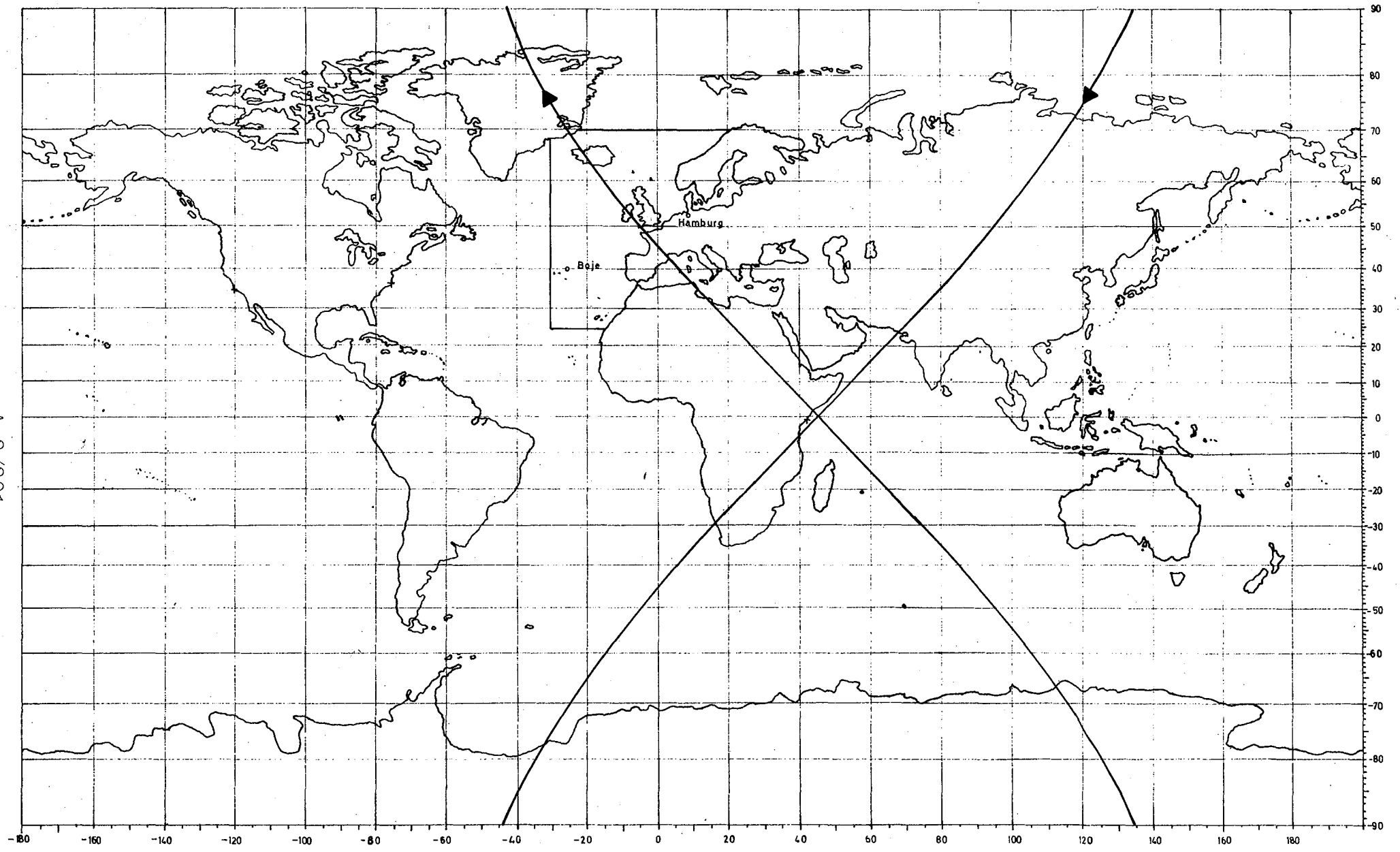


Abb. 4.6.2-21 Sichtwinkel der Polarbahn eines 24-h Satelliten



A 2/201

Abb.4.6.2-22 Polare 24 - Stundenbahn

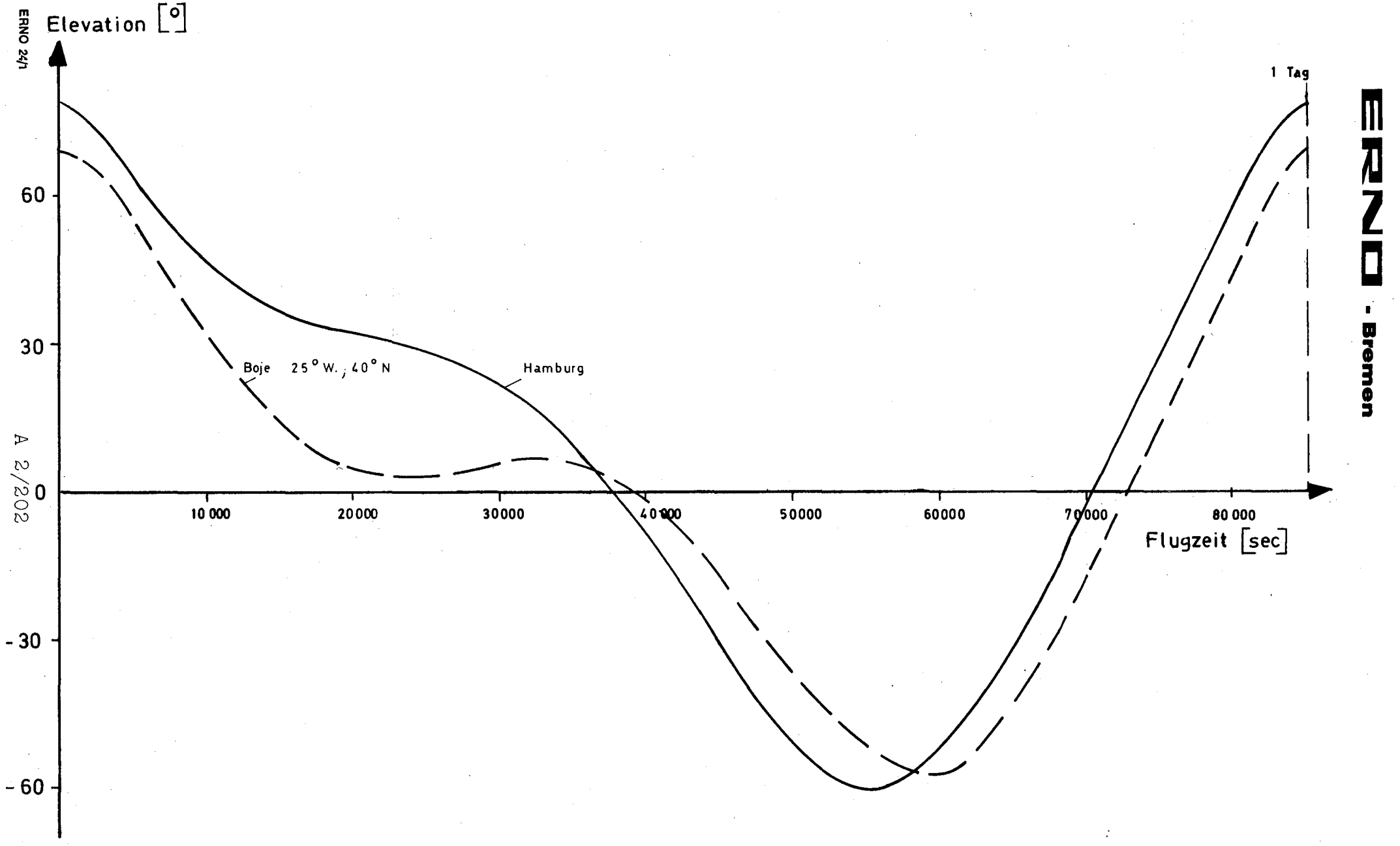
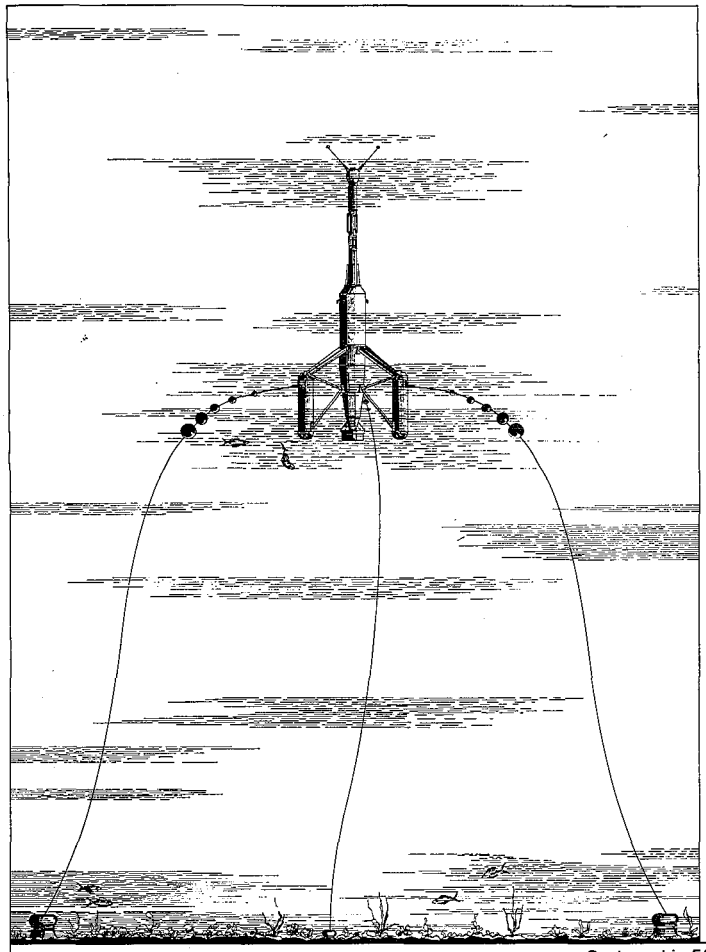
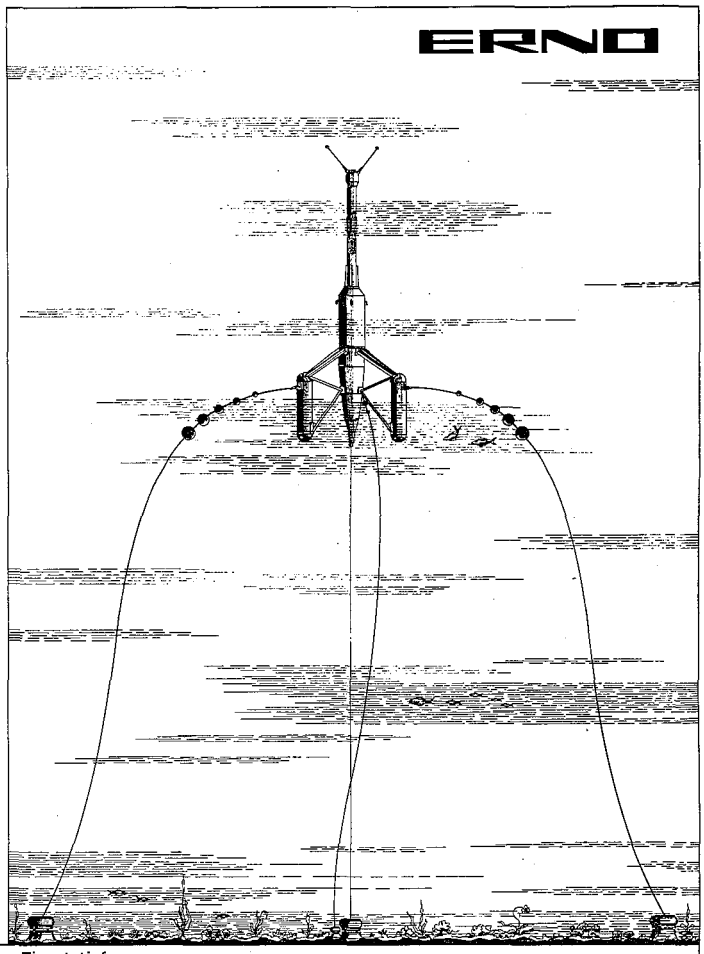


Abb.4.6.2-23 Sichtwinkel der Polarbahn eines 24-h Satelliten

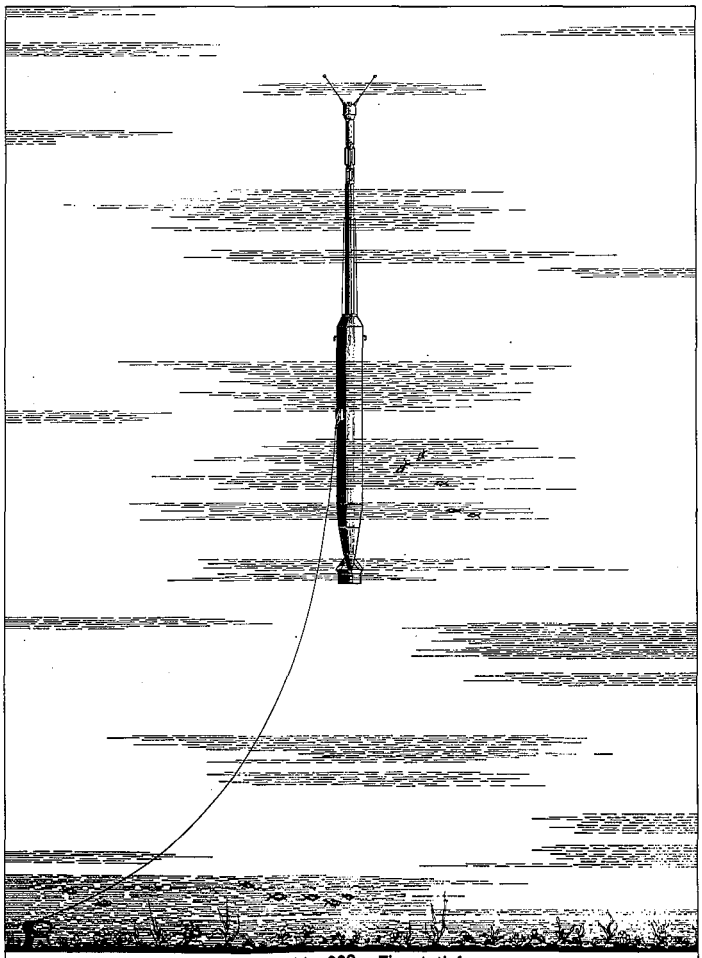
4.7 Systemvorschläge

Die bis hierher aufgeführten Baugruppen und Sektionen lassen sich zu Systemen zusammenfügen. An einigen Beispielen soll nun demonstriert werden, wie sich funktionsfähige Tauchbojensysteme zusammenstellen lassen. Die Vorschläge stellen eine Auswahl der optimalen Möglichkeiten dar, die sich zur Zeit anbieten. Es darf indes daraufhingewiesen werden, daß dies bei weitem nicht die einzigen sind. Bei entsprechendem Bedarf lassen sie sich ohne weiteres umgruppieren.

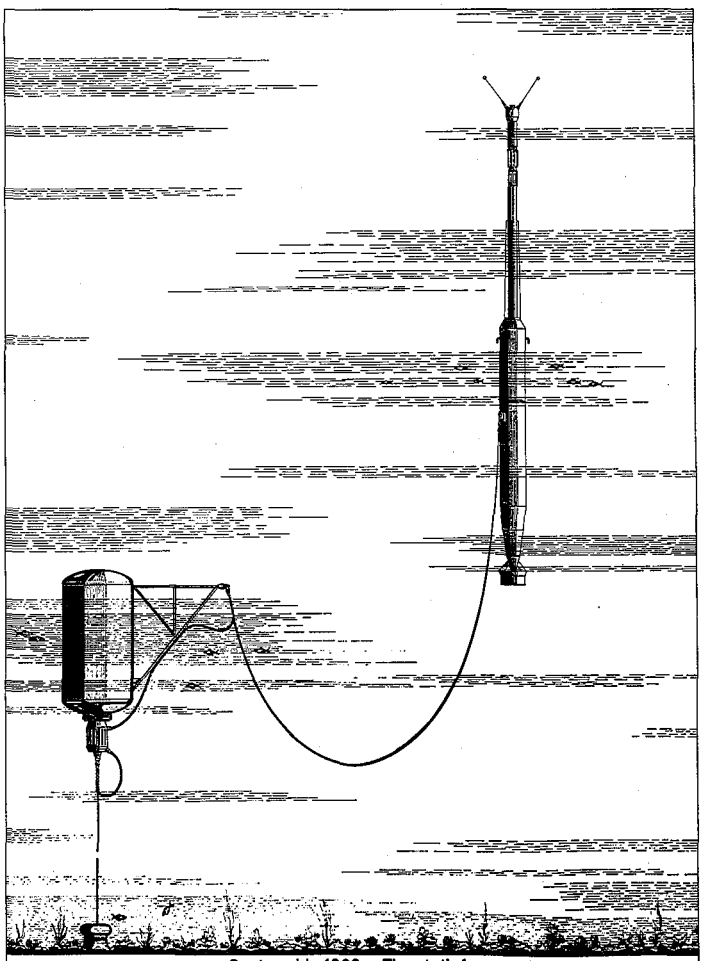




Systeme bis 50m Einsatztiefe



System bis 200m Einsatztiefe



System bis 1200m Einsatztiefe

Vorschläge für Tauchbojensysteme

4.7.1 System bis 50 m Einsatztiefe

Das für die nächste Zukunft wohl aktuellste System in einem nationalen Programm wird ein solches mit einer maximalen Tauchtiefe von 50 m sein. Der Grund ist, daß hier der Bereich der noch nicht näher erforschten Tiefen beginnt. Bis 20 m Tiefe war man noch in der Lage, mit Meßpfählen zu arbeiten, die fest im Meeresgrund verankert werden. Dies ist für mehr als 20 m nicht - oder nur unter größtem Aufwand - möglich.

Ein weiterer Punkt ist, daß der Tiefenbereich von 50 m quasi vor der Haustür liegt und sich geradezu aufdrängt. Die Deutsche Bucht hat sicher noch manche ozeanographische Überraschung zu bieten. Sie hat den Vorteil der Küstennähe, d.h. die Kosten für Wartung und Betrieb halten sich in Grenzen. Dies kommt ganz besonders der Erprobung eines neuartigen Tauchbojensystems zu Gute. Und hier liegt der entscheidende Vorteil des 50 m-Systems: Der erprobte Prototyp kann sogleich ohne große Umstände als Betriebsgerät in dem Seegebiet eingesetzt werden. Eine günstigere Konstellation müßte erst noch erdacht werden.

Das 50 m-System setzt sich aus folgenden Baugruppen - und darin wieder Sektionen - zusammen, die in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurden:

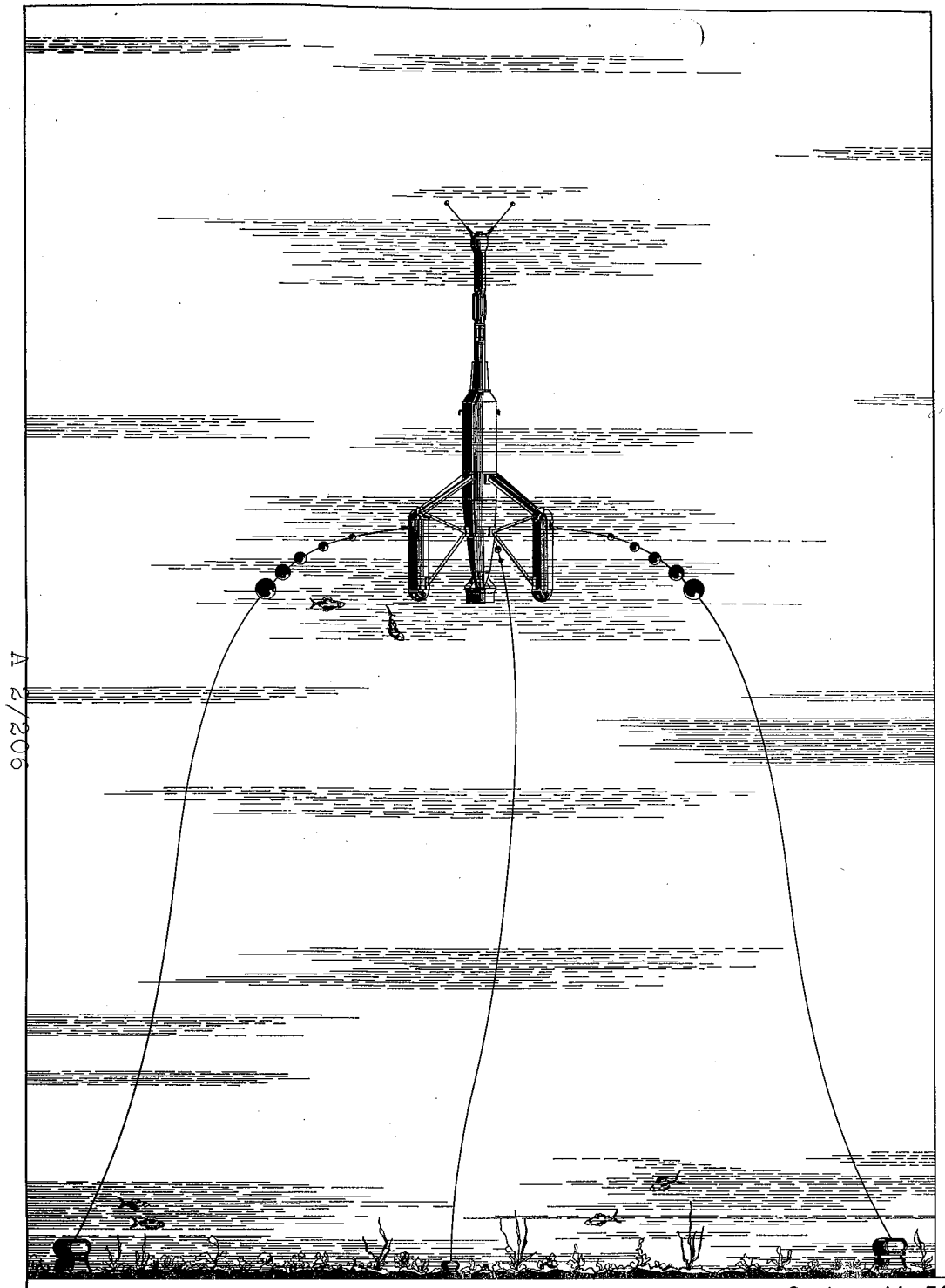
A. Baugruppen

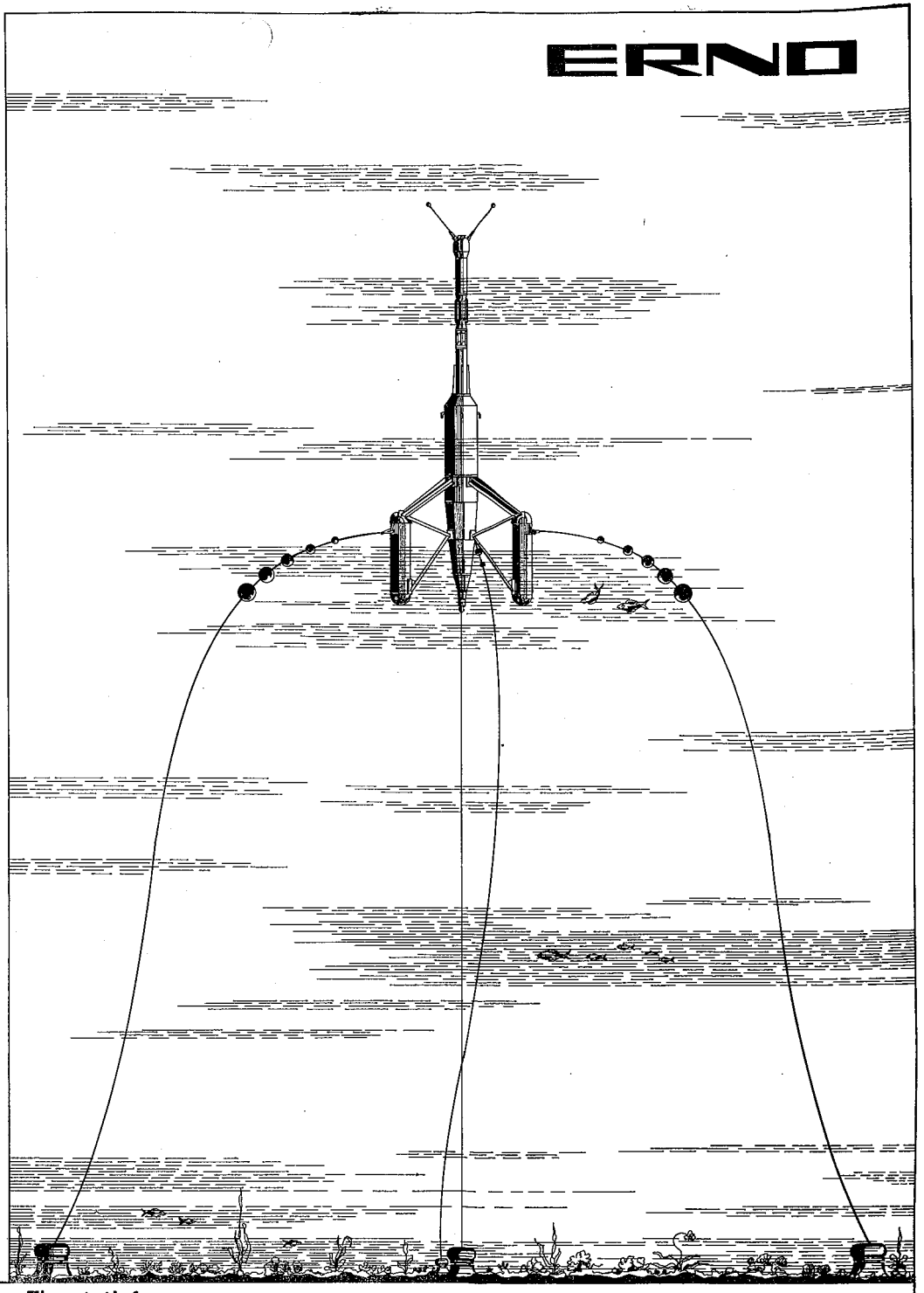
-Tauchkörper (Flachwasserversion)
-Fesselung
-Bodengerät

B. Sektionen

Aufschlußreicher als die Baugruppen bei denen zwangsläufig wenig Ermessensspielraum besteht, sind deren Sektionen:

ERNO





Systeme bis 50m Einsatztiefe

A 2/206

1. Tauchkörper

Die sogenannnte Flachwasserversion setzt sich zusammen aus den Sektionen

- Mast I
- Auftrieb I
- Batterie und Elektronik
- Antrieb
- Stabilisierungskörper

Ein besonderes Spezifikum sind die Stabilisierungskörper die dem Tauchkörper erst die Eignung für das Flachwassergebiet verleihen.

Über Mast und Auftriebssektion sowie Batterie und Elektronik muß an dieser Stelle nichts mehr gesagt werden. Sie sind bereits im Kapitel 4.2.1 "Konfiguration" beschrieben.

Der Antrieb bedarf noch einer gesonderten Betrachtung. Zur Auswahl steht ein Propellerantrieb im Tauchkörper oder ein Windenantrieb im Bodengerät. Für diese Wassertiefe dürfen beide als gleichberechtigte Konkurrenten angesehen werden, wenngleich der Propeller für die weitschauende Planung größere Aussichten in tieferen Gewässern hat. Die Winde im Bodengerät kann auch nicht in Gegenden mit starker Grundströmung (Kolkung) eingesetzt werden, weil sie in kürzester Zeit versandet. Darauf ist bei der Wahl des Auslegungsorts zu achten.

2. Fesselung

Das flache Wasser der Deutschen Bucht ist stark bewegt, nicht zuletzt wegen der Gezeiten. Ein Umschlagen der Strömung geschieht während eines Tagesablaufs recht häufig (meistens ausgelöst durch die Gezeiten). Um unter solchen Bedingungen eine verläßliche Aussage über die Strömungsgeschwindigkeit

zu erhalten, darf der Meßträger nicht weit von der Strömung mitgetragen werden. Dies bedingt eine Dreipunktfesselung mit relativ wenig Spielraum für den Tauchkörper (Driftradius ca. 10 m). Er liegt quasi fest im Zügel, jedoch nicht so, daß er in seiner Auf- und Abbewegung behindert ist.

Die ziemlich straffe Fesselung bewirkt zugleich, daß bei einer gegenläufigen Strömung am Boden keine übermäßig lange Zeit vergeht, bis der Tauchkörper wieder fest in den Leinen hängt und echte Strömungsgeschwindigkeiten mißt.

Von den drei Fesselseilen wird eins mit Kupferleitern zur Energie- und Datenübermittlung aus einem Bodengerät ausgerüstet sein. Wichtig ist ferner, daß sie ein spezifisches Gewicht kleiner als Wasser besitzen. Dies wird notfalls durch kleine Auftriebskörper erreicht, die wie Perlen auf einer Kette das Seil tragen.

3. Bodengerät

Eine Dreipunktfesselung braucht drei Bodengeräte, von denen zwei als einfache Anker ausgebildet sind, die nichts weiter zu tun haben, als eine feste Verbindung mit dem Meeresboden herzustellen. Das dritte Bodengerät trägt außerdem noch die Isotopenbatterie und einen Geräteaufsatz. Zu diesem Bodengerät führt auch das mit Kupferleitern versehene dritte Fesselseil.

Für den Fall eines Windenantriebs braucht man ein viertes Bodengerät, welches im Zentrum der drei anderen steht. Das Zugseil greift direkt am Tauchkörper an und zwar an dem anstelle des Propellerantriebs eingebauten Bindestück (gleiche Abmaße). Dieses Bodengerät setzt sich zusammen aus:

-Anker
-Isotopenbatterie
-Winde
-Meßgeräteaufsatz

Natürlich sind in diesem Fall die drei übrigen Bodengeräte nur als Anker ausgebildet, da sich die Isotopenbatterie und der Meßgerätesatz bereits im vierten Bodengerät befinden.

4.7.2 System bis 200 m Einsatztiefe

Dies stellt bereits eine Übergangstiefe zur Tiefseeversion dar. Die Wasserverhältnisse haben sich im Gegensatz zur 50 m-Tiefe schon gründlich geändert, weil der Einfluß der Gezeiten nicht mehr so stark ist. Auch sind die Probleme der Stabilisierung gering, weil eine Beschränkung in der Baulänge des Tauchkörpers entfällt.

Das 200 m System besteht aus:

A. Baugruppen

-Tauchkörper (Tiefwasserversion)
-Fesselung
-Bodengerät

B. Sektionen

Die Baugruppen setzen sich aus folgenden Sektionen zusammen:

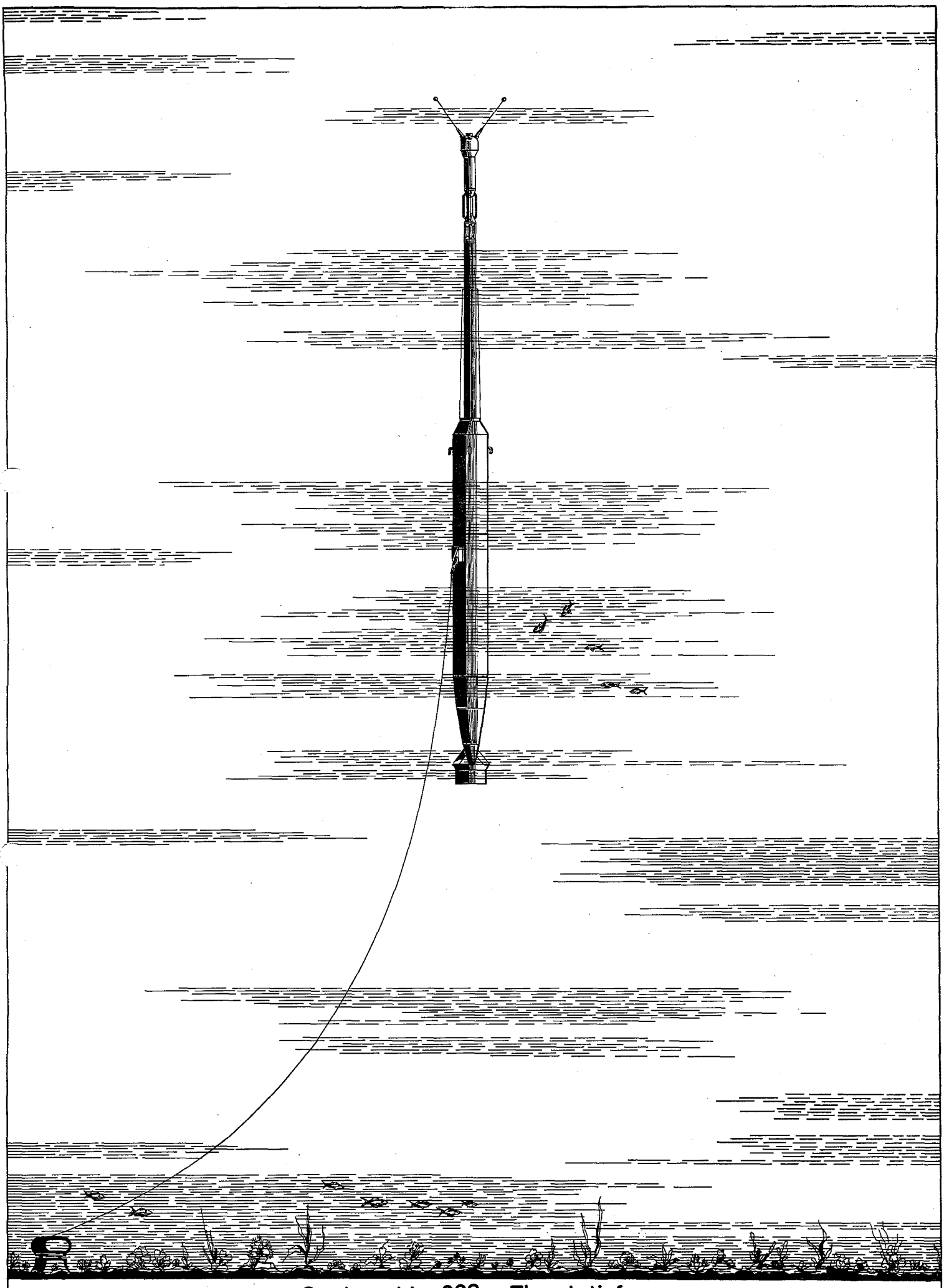
1. Tauchkörper

Die Tiefwasserversion verzichtet auf die Stabilisierungskörper und erhält stattdessen ein Ergänzungsteil, welches das Gerät schlanker macht. Der Mast ist länger, weil mit höheren Wellengang zu rechnen ist.

-Mast II
-Auftrieb II
-Ergänzung
-Batterie und Elektronik
-Antrieb

2. Fesselung

Im Normalfall ist eine Einpunktfesselung ausreichend. Das Fesselseil besitzt Kupferleiter für die Energie- und Datenübertragung. Die Länge des Fesselseils sollte der doppelten Tauchtiefe entsprechen.



System bis 200 m Einsatztiefe

In besonderen Fällen kann auch eine Dreipunktfesselung erwogen werden. Das kann eintreten, wenn eine starke Schichtung des Wassers vorliegt, so daß horizontale Differentialbewegungen auftreten. Dann ist mit genauen Messungen zu rechnen. Man begegnet dem Problem auf die gleiche Weise wie bei der 50 m-Version durch eine straffe Fesselung.

3. Bodengerät

Es ist im Normalfall nur ein Bodengerät nötig mit den Sektionen:

-Anker
-Isotopenbatterie
-Meßgerätesatz

Die Funktion des Bodengerätes ist genau wie die des entsprechenden in der 50 m-Version.

4.7.3 System bis 1.200 m Einsatztiefe

Zwischen dem 200 m-System und dem 1.200 m-System besteht lediglich ein Unterschied in der Fesselung. Es ist nicht möglich, die 200 m-Fesselung einfach auf 1.200 m auszudehnen, weil die geometrischen Verhältnisse einen zu großen Leistungsbedarf für den Antrieb ergeben würden. Aus diesem Grunde setzt man in die halbe Operationstiefe einen Zwischenkörper mit hohem Auftriebsüberschuß, der quasi einen Anker darstellt, denn er bewegt sich unter Horizontalkräften nur wenig seitwärts. Es ist ziemlich unwichtig, in welcher Tiefe der Halteanker des Zwischenkörpers liegt. Die Entfernung wird von einem straffen Halteseil überbrückt.

A. Baugruppen

- -Tauchkörper (Tiefwasserversion)
- -Fesselung I
- -Zwischenkörper
- -Fesselung II
- -Bodengerät

B. Sektionen

1. Tauchkörper

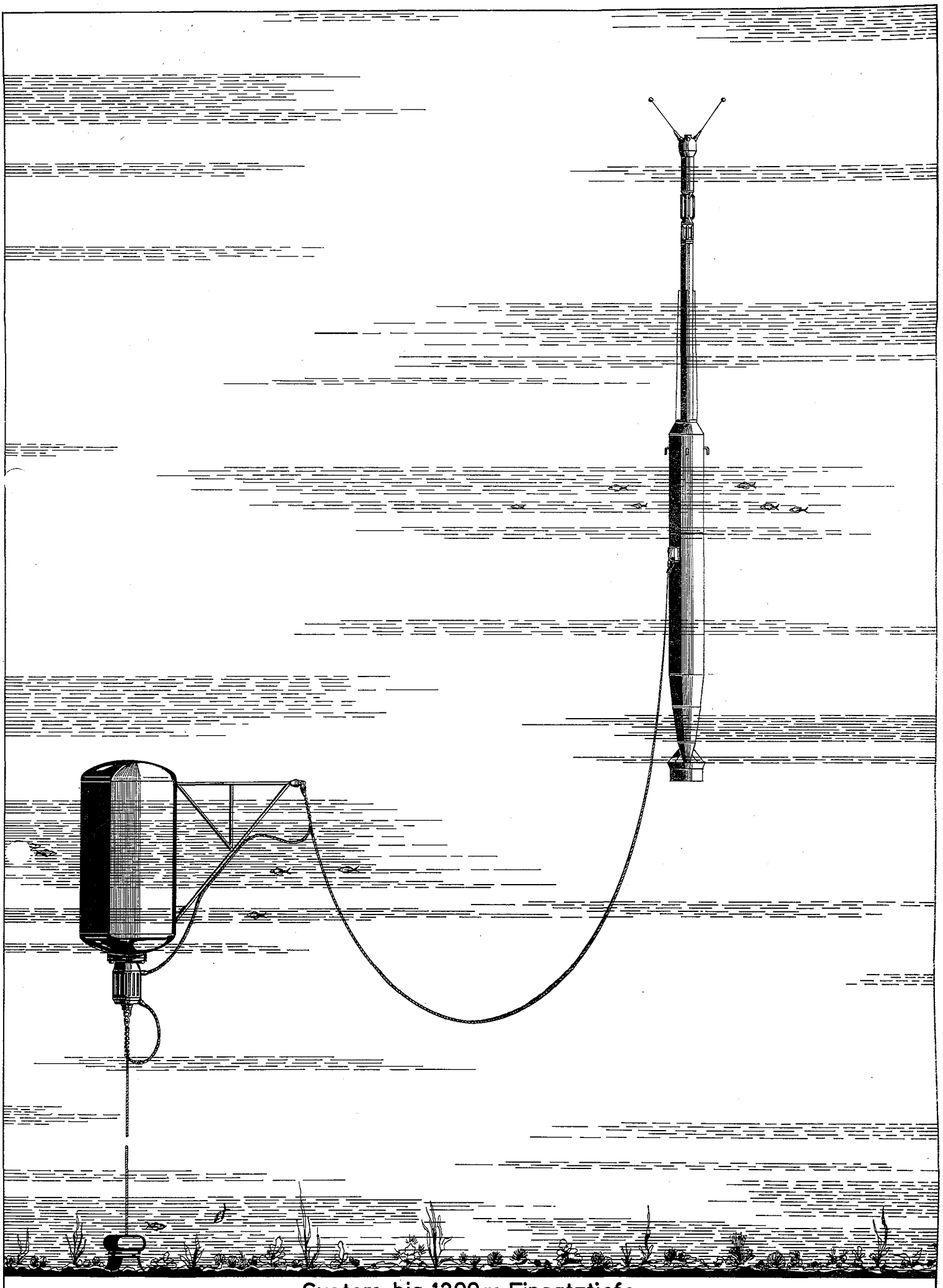
   Es handelt sich um den gleichen Tauchkörper, der in der 200 m-Version Verwendung findet. Probleme bezüglich des hohen Wasserdrucks bestehen nicht, weil alle Sektionen des Tauchkörpers von Anfang an auf max. Tauchtiefe ausgelegt sind.

2. Fesselung I

   Es wird eine Einpunktfesselung verwendet, die Kupferleiter zur Daten- und Energieübertragung trägt. Sie unterscheidet sich nicht von der 200 m-Version.

3. Zwischenkörper

   Der Zwischenkörper befindet sich etwa in 1.200 m Tiefe und trägt als Sektionen:



System bis 1200 m Einsatztiefe

-Auftriebskörper
-Isotopenbatterie
-Meßgerätesatz

Durch die große Masse und den hohen Auftriebsüberschuß wirkt er als Festpunkt.

4. Fesselung II

Der Zwischenkörper wird durch ein kräftiges Fesselseil mit dem Bodengerät verbunden. Die Zugfestigkeit muß ausreichend sein, um den Auftrieb von ca. 6 to zu halten. Eine dritte Leitung für elektrische Zwecke zum Bodengerät ist seperat außen am Seil angebracht.

5. Bodengerät

Ein massiver Betonklotz befindet sich auf dem Meeresboden und hält den Zwischenkörper an seinem Platz. Falls erforderlich, kann noch ein Meßgerätesatz montiert sein, um den Meereszustand tief auf dem Grund zu erforschen.

4.8 Aussetzung und Wartung

4.8.1 Aussetzung:

Die Aussetzung eines Tauchbojensystems erfordert folgende Arbeitsgänge:

- Übernahme des Bojensystems auf ein geeignetes Aussetzungsfahrzeug
- Transport in das für die Aussetzung vorgesehene Seegebiet
- Aufsuchen der genauen Aussetzungsposition
- Aussetzung des Bojensystems
- Inbetriebnahme des Bojensystems
- Kontrolle der Funktion
- Weiterfahrt zur nächsten Aussetzungsposition bzw. Rückfahrt zum Ausgangshafen.

Der Vorgang der Aussetzung wurde in Zusammenarbeit mit der Bergungsfirma Ulrich Harms, Hamburg, erarbeitet und ist in den Abb. 4.8.-1 bis 4.8-5 im einzelnen dargestellt. Als Aussetzungsfahrzeug wurde das MS "VARIUS III" mit Heckgeschirr (Harms) vorgesehen. Der Ablauf der Aussetzung richtet sich danach, ob das jeweilige Bojensystem eine Einpunkt- oder eine Mehrpunktverankerung besitzt.

Einpunktverankerung:

Grundsätzlich werden Bojenkörper und Bodengerät nacheinander ausgebracht. Wie die Abb. 4.8.-1 zeigt, wird der Bojenkörper bei geringer Fahrt mit dem Heckgeschirr zu Wasser gelassen, bleibt jedoch über das Ankerkabel mit dem noch an Bord befindlichen Bodengerät verbunden. Nachdem die Boje sich genügend weit hinter dem Schiff befindet, wird mit dem Heckgeschirr das Bodengerät ausgebracht und an einem Hilfsseil auf

den Meeresgrund abgelassen (Abb. 4.8.-2).
Abschließend wird das Hilfsseil durch eine Fernbedienung vom Bodengerät gelöst.

Das Aufsuchen der Aussetzungsposition erfolgt nach dem DECCA-System, das es-abhängig von Erfahrungen und Geschicklichkeit der Schiffsführung - ermöglicht, das Bodengerät relativ genau an den gewünschten geographischen Ort zu bringen.

Mehrpunktverankerung:

Für eine Tauchboje mit hydrodynamischem Antrieb kann in relativ geringen Wassertiefen auch eine Dreipunkt-Verankerung, die in Form eines gleichseitigen Dreiecks auszusetzen wäre, infrage kommen. In diesem Falle werden zunächst die 3 Bodengeräte bzw. Ankersteine an ihren Ankerseilen bzw. -kabeln nacheinander abgesenkt.
Die geographische Genauigkeit beim Absetzen des ersten Ankersteines hängt von der mehr oder minder guten Beschickung des Ortungsgerätes (DECCA) ab.
Die anschließend auszusetzenden Steine können mit den gleichen Fehlern der Ortung geometrisch zum ersten Stein angeordnet werden. Die Geschicklichkeit der Schiffsführung ist dabei ein wesentlicher Faktor. Erfahrene Kapitäne werden eine Genauigkeit von ± 5 m erreichen.
Nachdem das jeweilige Bodengerät den Meeresgrund erreicht hat, wird an dem oberen Ende des Ankerseils ein Schwimmkörper angebracht, der es an der Wasseroberfläche hält und als Markierung dient. Als letztes wird der Bojenkörper, an dem 3 Seilenden befestigt sind, die ebenfalls Schwimmkörper tragen, zu Wasser gelassen (Abb. 4.8.-3) Mit Hilfe eines Arbeitsbootes werden anschließend die Enden der Bojenseile mit den Enden der Ankerseile zusammengeschäkelt. Überhaupt sollte der Ablauf der Arbeitsgänge stets so vorbereitet werden, daß es möglich wird, Seilverbindungen an der Boje mittels Arbeitsbooten herzustellen, da nur selten so gutes Wetter herrscht, daß die Boje vom Hauptschiff längsseits genommen werden kann. Bei einem mit Windenantrieb versehenen Bojensystem kommt in die Mitte der im

Dreieck angeordneten Anker noch ein viertes Bodengerät, das u. a. die Winde und die Energieversorgung aufnimmt. Hier erfolgt die Aussetzung so, daß man zunächst die Boje und Bodengerät wie bei der Einpunktverankerung aussetzt, wobei an der Boje 3 mit Schwimmkörpern versehene Seilenden befestigt sind. Anschließend werden die 3 weiteren Ankergeräte, wie bei der Dreipunkteverankerung beschrieben, ausgesetzt, wobei man ihre jeweilige Position auf das mittlere Bodengerät bezieht. Nach der Verbindung der Ankerseile mit den Bojenseilen ist das System einsatzfähig.

4.8.2 Wartung:

Der anfängliche Wartungsturnus für ein Tauchbojensystem liegt - wie bereits im Zwischenbericht B2, S. 408, begründet - etwa bei 1/2 Jahr. Die Wartung sollte zweckmäßigerweise vom Bojenhersteller durchgeführt werden. Dabei gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- Wartung auf See und
- Wartung an Land.

Im wesentlichen wird der Umfang der notwndigen Wartungsarbeiten den jeweiligen Ort der Wartung bestimmen. In jedem Falle muß jedoch entweder das gesamte Bojensystem oder ein Teil desselben auf See an Bord genommen werden. Daher lassen sich allgemein folgende ständig wiederkehrende Arbeitsgänge für die Wartung definieren:

- Ausrüstung des Wartungsfahrzeuges mit Spezialwerkzeugen etc.
- Fahrt zum Einsatzort
- Einfangen der zu wartenden Boje
- Übernahme des Bojensystems (oder eines Teilsystems) an Bord
- Überprüfung bzw. Reparatur oder Austausch des Bojensystems (oder der Teile)
- erneute Aussetzung des Bojensystems
- Inbetriebnahme des Bojensystems

- Kontrolle der Funktion
- Weiterfahrt zur nächsten Boje bzw.
  Rückfahrt zum Ausgangshafen.

Die Lösung der Boje vom Ankerkabel erfolgt bei einer Einpunktverankerung mittels einer ca. 20 m unterhalb der Boje im Kabel befindlichen Trennstelle, die man mit einer Seilschlinge an die Oberfläche holt und von Hand an Deck lösen kann. Da sich bei normalen (schlechtem) Wetter das Mutterschiff in Bewegung befindet, steht für die Lösung dieser Trennstelle nur eine sehr kurze Zeitspanne zur Verfügung. Beide Kabelenden werden dabei mit Schwimmkörpern versehen, um das spätere Wiederverbinden zu sichern (Abb. 4.8.-4). Bei einer Vierpunktverankerung müssen zunächst die drei äußeren Ankerseile getrennt werden, bevor das Kabel gelöst werden und die Boje an Bord genommen werden kann. Hierbei ist man auf eine besonders ruhige See angewiesen.

Soll das gesamte System gewartet werden, so wird, nachdem der Bojenkörper aufgeschwommen ist, am Bodengerät der Geräteaufsatz vom Ankerteil durch ein akustisches Signal getrennt und kommt mit Hilfe seiner Auftriebskörper an die Meeresoberfläche (Abb. 4.8.-5). Von hier wird der Geräteaufsatz und der Bojenkörper an Bord übernommen, während das Ankerteil als Verlustgerät am Boden bleibt. Nach beendeter Wartung kann der Geräteaufsatz mit einem neuen Ankerteil versehen mit dem gesamten Bojensystem erneut ausgesetzt werden.

Eine kritische Phase in der o. a. Arbeitsfolge stellt das Einfangen und die Übernahme des Bojenkörpers an Bord dar. Da man sich mit dem Wartungsschiff einer im Meer schwimmenden Boje aufgrund der Wellendynamik nicht so sehr nähern kann, daß man sie ohne weiteres an Bord nehmen könnte, wird aufbauend auf die praktischen Erfahrung der Bergungsfirma U. Harms, folgendes Verfahren vorgeschlagen:

Von einem Arbeitsboot aus wird ein Seil in geeignetem Abstand kreisförmig um die Boje gefahren. Die so entstandene Schlinge legt sich dabei unter drei speziell für diesen Zweck am Bojen-

körperoberteil befindliche Nasen (Abb. 4.8.-4).

Das Wartungsfahrzeug sollte möglichst so ausgerüstet sein, daß Aufgaben wie:

- Auswechseln der Meßgeräte
- Überprüfung des Systems auf Korrosions- oder andere Schäden
- Reinigen der Oberflächen von Bewuchs
- Ausbesserung der Schutzanstriche usw.

an Bord durchgeführt werden können. Außerdem sollte es mindestens ein vollständiges Bojensystem und die verschiedenen Bauteile (wie z. B. Meßgerätesätze, Ankerteile für die Bodengeräte, Antennenmaste) in genügender Anzahl zu Austauschzwecken mitführen.

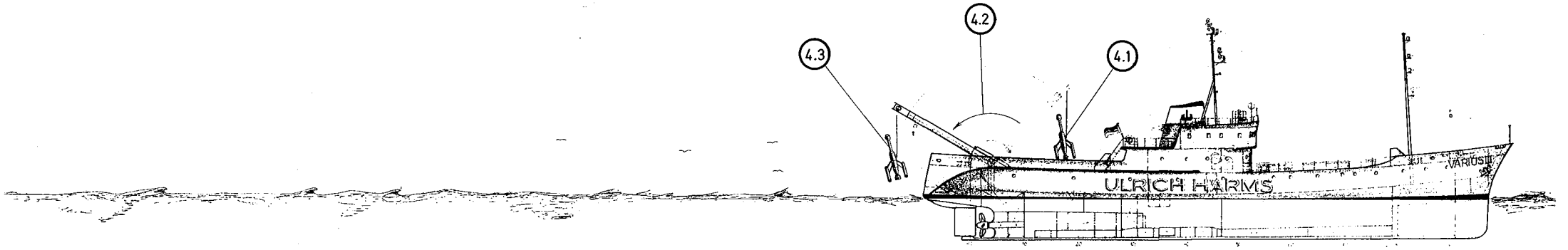
Wesentlich ist, daß das zum Einsatz gelangende Schiff folgende Bedingungen erfüllt:

- ruhige Lage auch bei grober See, sowie Seefähigkeit für den Atlantik
- möglichst große Reisegeschwindigkeit 15 - 16 Knoten.
- genügend Raum für Wissenschaftler und Techniker, die neben der Besatzung an Bord sind.
- ausreichende Lagerräume für Ersatzteile sowie Werkstätten zur Durchführung kleinerer Reparaturen der Austauschteile.

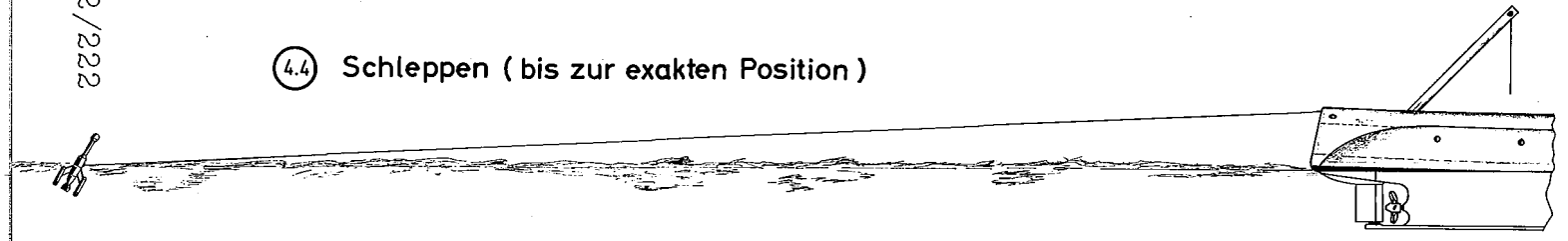
Ein geeignetes Schiff wäre ebenfalls die "VARIUS III" der Fa. U. Harms, dessen technische Daten in der folgenden Tabelle enthalten sind.

Baujahr-Nr./Werft	S 905, 1963 H.C. Stülcken Sohn
Unterscheidungssignal	DNDE
Heimathafen	Hamburg
Brutto-Reg-Tons	724,25
Brutto-Kubikmeter	2,027
Netto-Reg-Tons	273,68
Netto-Kubikmeter	766
Deplacement	
Länge über alles	66,60 m
Länge cwl	58,50
Breite auf Spanten	10,20 m
Seitenhöhe I. Deck	7,10 m
Seitenhöhe II. Deck	4,65 m
Tiefgang ohne Kiel	4,23 m + 100 A 4 (E) Fischereifahrz.
Bunkerraum	83 m^3 = Tonnen
Hauptmaschine	8 Zylinder 4 Takt-Dieselmotor mit Aufladung Klöckner-Humboldt-Deutz Typ S (R) BV 8M 358 Leistung 2.830 PS bis 875 U/min.
1 Generator	Leitung 500 KVA
Hafendiesel	8 Zylinder 4 Takt-Dieselmotor in V Form Klöckner-Humboldt-Deutz Typ A8L 714 Leistung 115 PS bei 1500 U/min.

Die Hauptmaschine treibt mit 275 Umdrehungen einen Escher Wyss-Verstell-propeller an.



(4.4) Schleppen (bis zur exakten Position)



Arbeitsgänge :

(4.1) Anschlagen

(4.2) Aussetzen

(4.3) Ausklinken

(4.4) Schleppen

Aufgabenübersicht :

(1) Verladung

(2) Seetransport

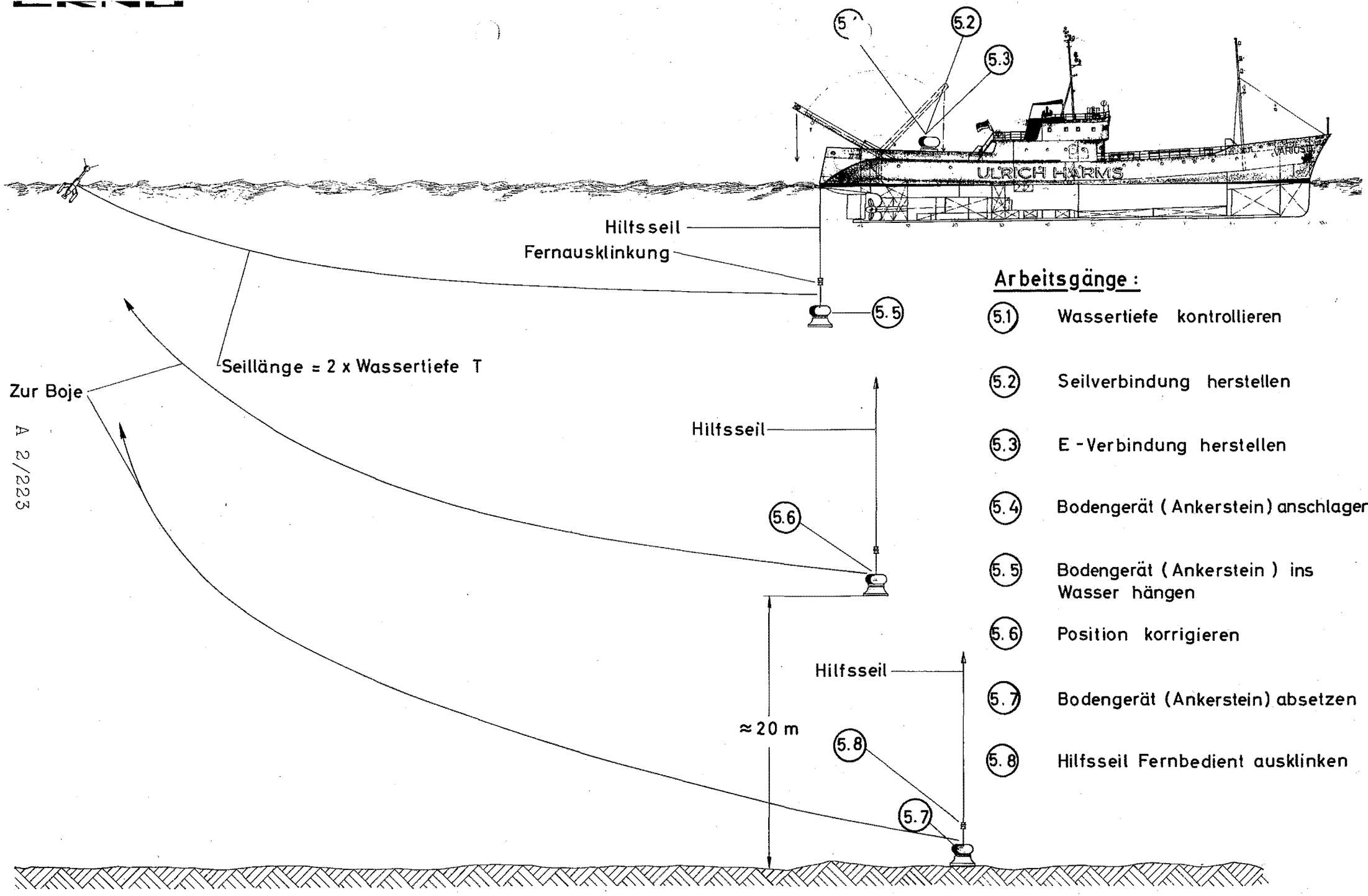
(3) Montagen an Deck

(4) Aussetzen der Boje

(5) Aussetzen des Bodengerätes

(6) Aufnehmen des Bojensystems

Abb. 4.8.-1
Aussetzen der Boje (4)



A 2/223

Arbeitsgänge:

(5.1) Wassertiefe kontrollieren

(5.2) Seilverbindung herstellen

(5.3) E-Verbindung herstellen

(5.4) Bodengerät (Ankerstein) anschlagen

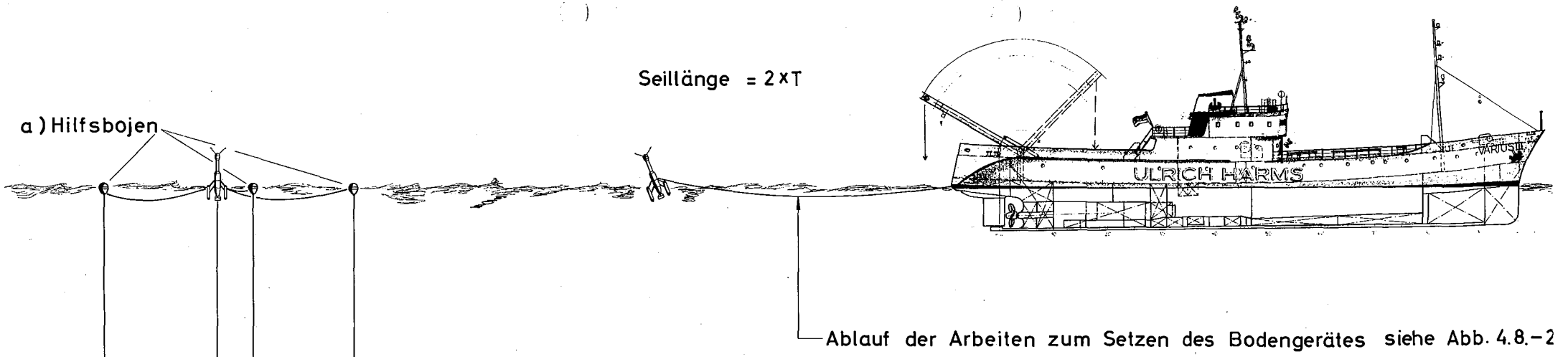
(5.5) Bodengerät (Ankerstein) ins Wasser hängen

(5.6) Position korrigieren

(5.7) Bodengerät (Ankerstein) absetzen

(5.8) Hilfsseil Fernbedient ausklinken

Abb. 4.8.-2
Aussetzen des Bodengerätes (5)
(Einpunktverankerung)



Ablauf der Arbeiten zum Setzen des Bodengerätes siehe Abb. 4.8.–2

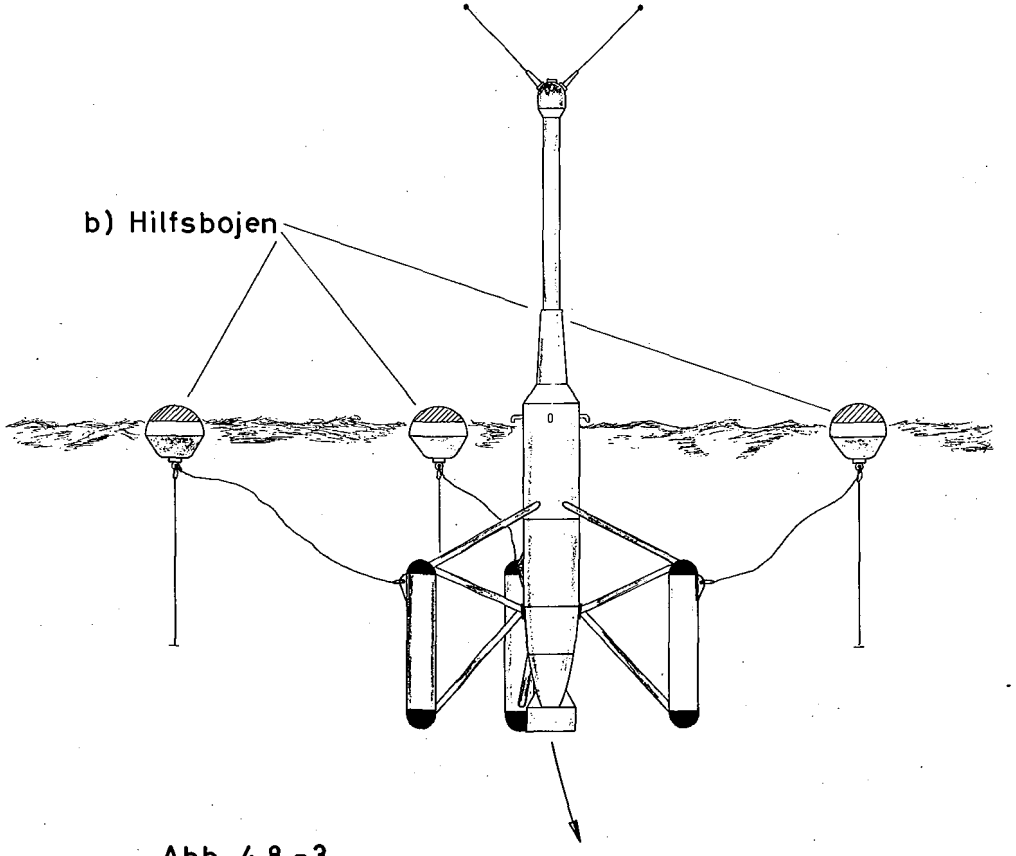
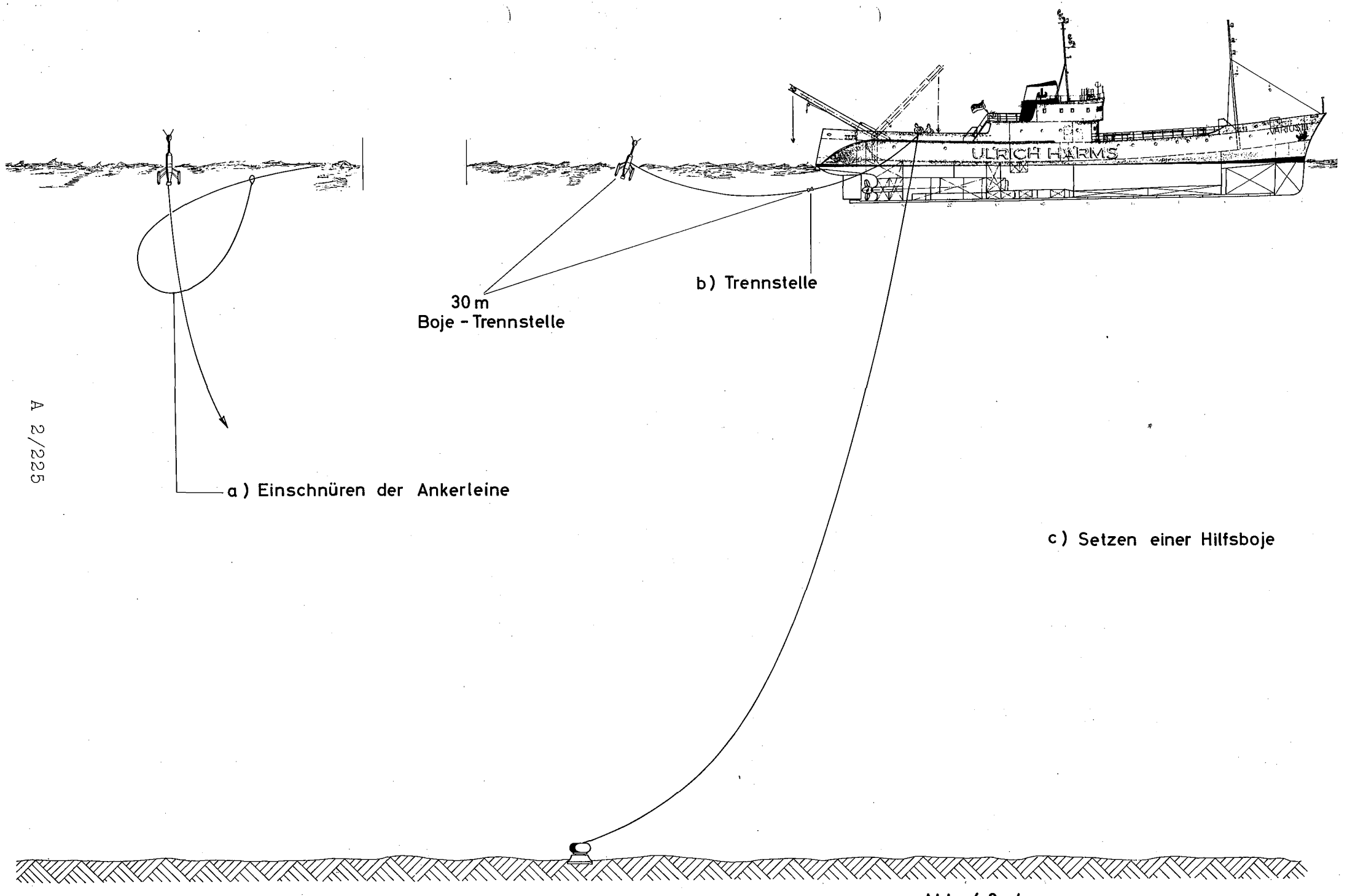


Abb. 4.8.-3
Aussetzen des Bodengerätes (Vierpunktverankerung) ⑤

A 2/224



A 2/225

Abb. 4.8.- 4
Aufnehmen des Bojenkörpers ⑥

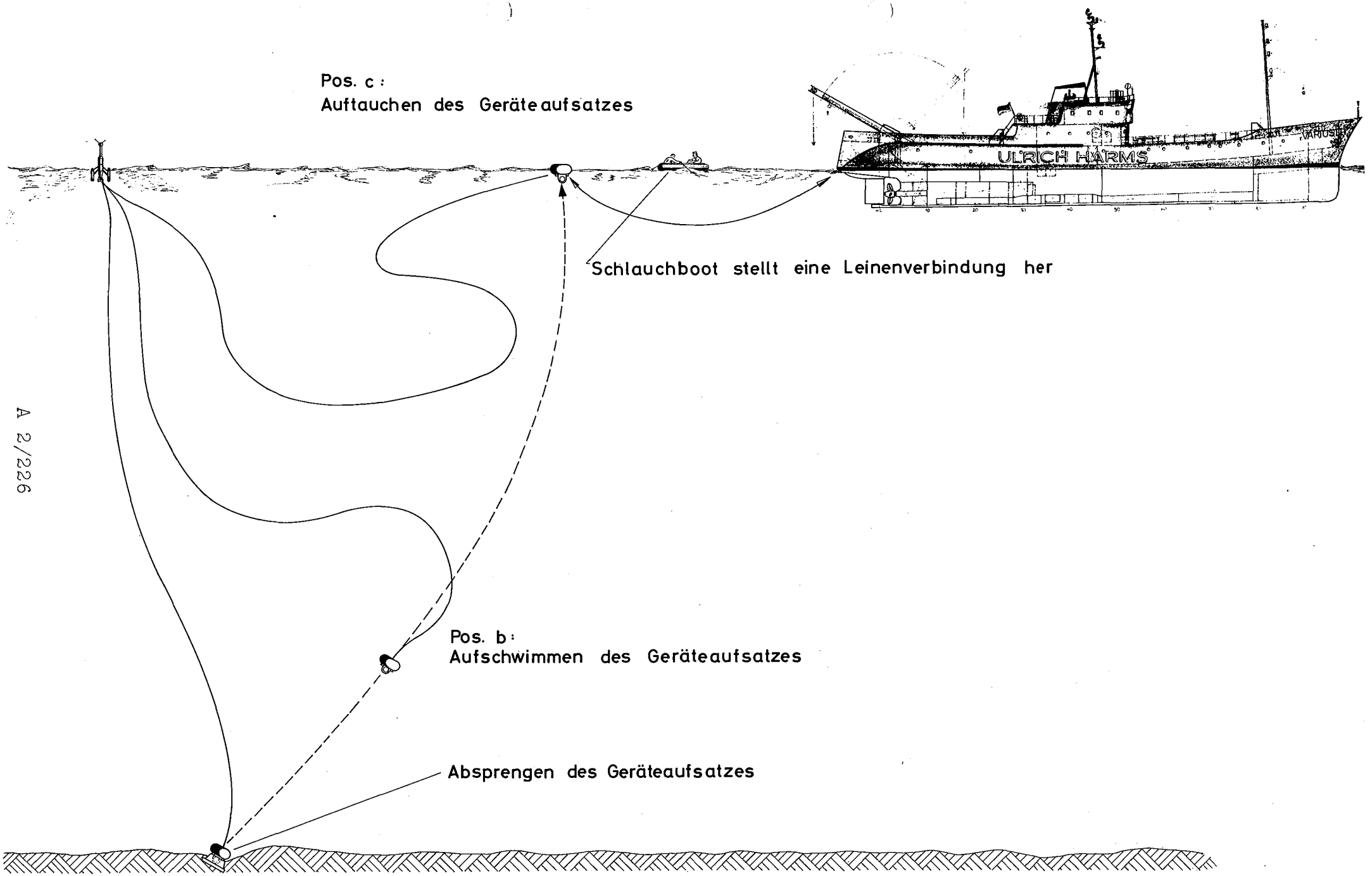


Abb. 4.8.-5
Aufnehmen des Bojensystems ⑥

4.9 Kosten- und Entwicklungsplan

In den nachstehenden Tabellen ist zur Beurteilung der Systeme ohne Schwimmkörper (Tauchbojensysteme) eine Übersicht über die entstehenden Kosten und benötigten Entwicklungszeiten gegeben.

Da es sich hierbei um eine grobe Schätzung handelt, muß auf den vorläufigen Charakter der Ergebnisse hingewiesen werden, da zur Zeit noch keine endgültige Aussage möglich ist.

Der für ERNO infrage kommende Entwicklungsumfang beinhaltet ein komplettes Tauchbojensystem, aufgebaut nach dem Baukastenprinzip, mit Ausnahme der Energieversorgung, der Ausrüstung mit ozeanographischen Meßgeräten, der Datenaufbereitung und -speicherung und der Datenfernübertragung.

Grundsätzlich setzen sich die Kosten für ein derartiges Tauchbojensystem zusammen aus:

a) Entwicklungskosten

b) Herstellungskosten

In den Entwicklungskosten sind im wesentlichen enthalten:

-Personalkosten

-Versuchskosten

-Rechenkosten

Die Herstellungskosten beinhalten:

-Personalkosten
-Materialkosten
-Beschaffungskosten
-Montagekosten
-Vorrichtungskosten
-Kosten für Erprobung und Abnahme

Den größten Anteil stellen die Personalkosten dar. Sie bestimmen zusammen mit den Versuchskosten im wesentlichen die Höhe der Gesamtsumme. Rechenkosten und Materialkosten bewegen sich dagegen erfahrungsgemäß in der Größenordnung von einigen Prozent.

Die Tabelle über Kosten zur Aussetzung und Wartung des Tauchbojensystems wurde von der Firma Harms erstellt. Grundlage dazu ist der von der Firma Dornier-System erstellte Vorschlag über die geographische Lage des Meßnetzes.

Wie der nachstehende Entwicklungsplan zeigt steht am Schluß der Prototypentwicklung die Erprobung auf See. Hier wird sich erweisen, welche Schwächen des Systems noch abgestellt werden müssen, wobei in diesem Zeitraum mit kürzeren Wartungsintervallen zu rechnen ist.

Insgesamt verteilt sich die Zeit für die Ablieferung eines funktionsfähigen Prototypen vom Zeitpunkt der Auftragserteilung über ca. 3 Jahre, beginnend mit dem Jahre 1970.

Kostenplan für Systeme ohne Schwimmkörper (Tauchbojensysteme)

Kosten in TDM	(1) Entwicklung	(2) 1. Prototyp	(3) (1) + (2)	(4) 10 Systeme	(5) (3) + (4)
System bis 50 m Tauchtiefe					
Bojenkörper, Bodengerät und Zusatzeinrichtungen (ERNO)	3.160	820	3.980	7.600	11.580
Datenerfassung und Datenaufbereitung (Plath)	5.240	580	5.820	2.900	8.720
Datenspeicherung und -übertragung (SEL)	310	381	691	3.000	3.691
Energieversorgung (BBC)	15	940	955	8.700	9.655
Summe:	8.725	2.721	11.446	22.200	33.646
Kosten für Erweiterung auf System bis 200 m Tauchtiefe	810	460	1.270	4.200	5.470
Kosten für Erweiterung auf System bis 1200 m Tauchtiefe	380	270	650	2.500	3.150
Gesamtkosten für Universalsystem (alle Tauchtiefen)	9.915	3.451	13.366	28.900	42.266

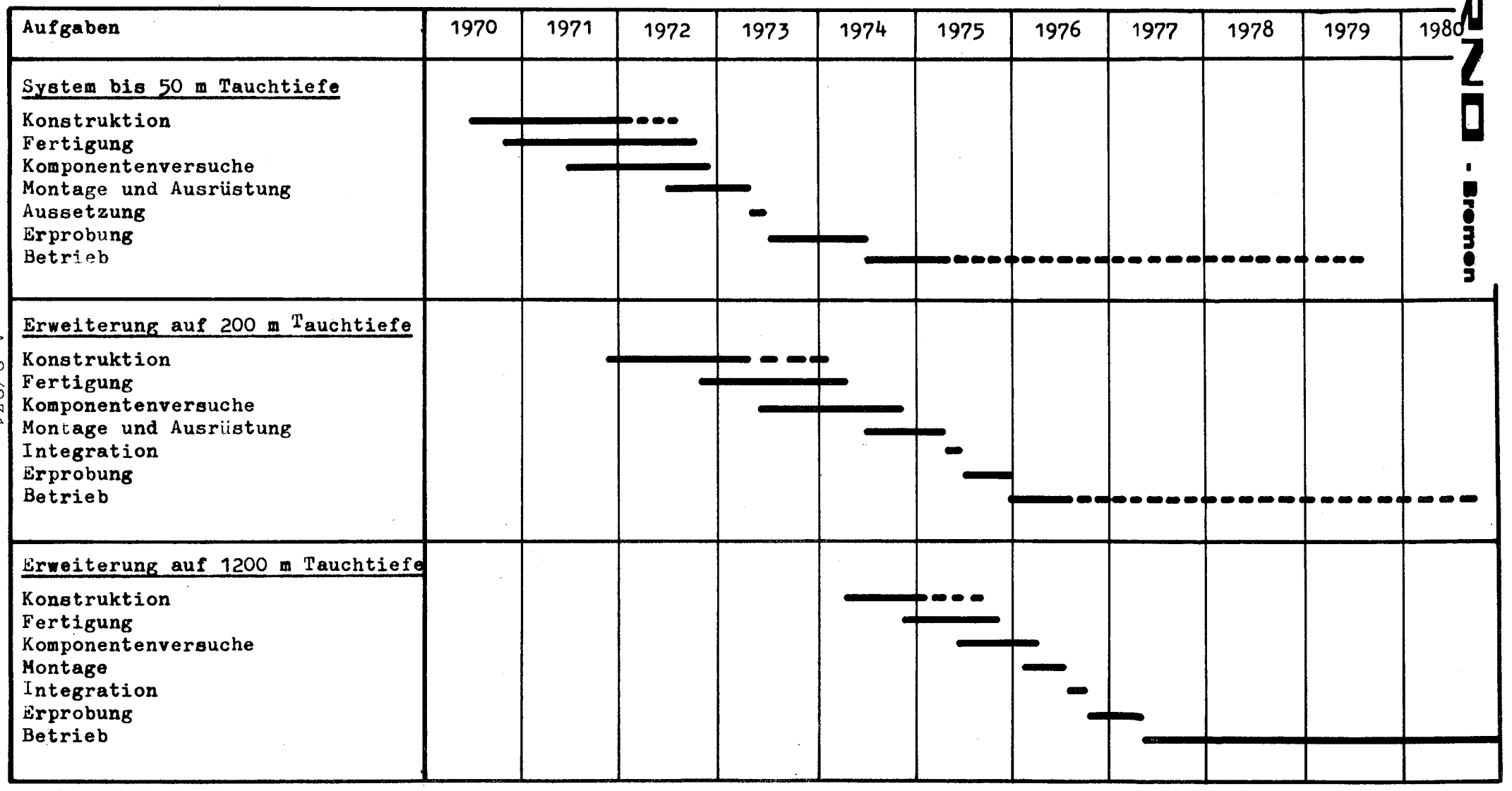
Aussetzung und Wartung von Bojensystemen (Kostenstudie)

Ausrüstung des Schiffes	An-Bord-nehmen der Bojen	Reise-zeit zum Einsatz-ort	Auslegung bzw. Wartung einer Bojenkette	Wartezeit wegen Wetter (grobe See)	Zwischen Reisen von Boje zu Boje	Rückreise und von Bordgehen der Bojen (Teile)	aufge-rundete Gesamt-zeiten	Richt-preise für jeweils 1 Kette = 1 Reise
Ostsee: 1 Tag	Ostsee: 1 Tag	Ostsee: 1 Tag*	Ostsee: 5 Tage**	Ostsee: ---	Ostsee: 1 Tag	Ostsee: 1 Tag	Ostsee: ca. 12 Tg.	80.000,--
Deutsche Bucht: 1 Tag	Deutsche Bucht: 1 Tag	Deutsche Bucht: 1 Tag	Deutsche Bucht: 5 Tage	Deutsche Bucht: 2 Tage	Deutsche Bucht: 2 Tage	Deutsche Bucht: 2 Tage	Deutsche Bucht: 14 Tage	100.000,--
Nordsee: 1 Tag	Nordsee: 1 Tag	Nordsee: 2 Tage	Nordsee: 5 Tage	Nordsee: 3 Tage	Nordsee: 2 Tage	Nordsee: 4 Tage	Nordsee: 20 Tage	125.000,--
Atlantik: 1 Tag	Atlantik: 1 Tag	Atlantik: 4 Tage	Atlantik: 5 Tage	Atlantik: 6 Tage	Atlantik: 8 Tage	Atlantik: 6 Tage	Atlantik: 40 Tage	250.000,--

* Ausgangshafen = Cuxhaven als Basis für VARIUS III

**zur Vereinfachung wird hier angenommen: 1 Bojenkette = 5 Stück

Entwicklungsplan für Systeme ohne Schwimmkörper (Tauchbojensysteme)



5. SYSTEME MIT SCHWIMMKÖRPER

(Abschlußbericht A 2)

5.1 Spezifikation

Systeme mit Schwimmkörper weisen im Gegensatz zu den Systemen ohne Schwimmkörper (Tauchbojen), wie sie bisher behandelt wurden, eine Trennung der Aufgaben und Aktivitäten auf. Der Schwimmkörper, gelegentlich auch als Oberflächenboje bezeichnet, wird im Rahmen dieser Studie von der Firma Dornier-System untersucht.
Die Arbeiten der ERNO Raumfahrttechnik GmbH erstrecken sich auf 3 Systeme, die im Zwischenbericht B2 bereits vorgestellt wurden bzw. aus den dort behandelten abgeleitet sind.

1. Tauchkörper mit Eigenantrieb
2. Tauchkörper mit Windenantrieb
3. Mehrfachmeßebenen mit Windenantrieb.

5.1.1 Schwimmkörper

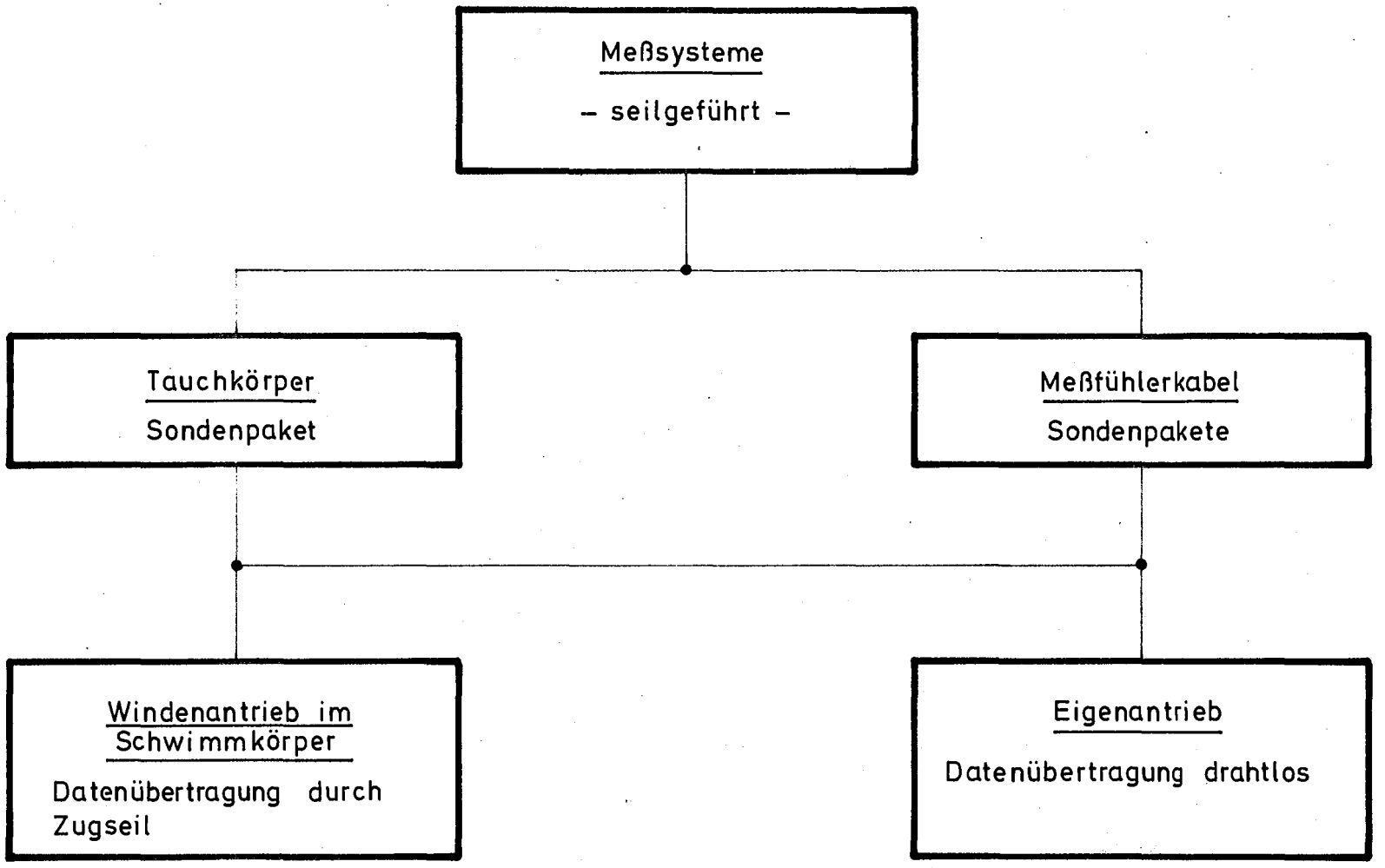
Im Schwimmkörper sind folgende Teilsysteme als Grundausrüstung vorhanden:

1) Energieversorgung
2) Meteorologische Instrumente
3) Sende- und Empfangsantennen
4) Sende- und Empfangselektronik
5) Datenaufbereitung
6) Fesselung

Je nach Ausbildung des Tauchkörpers, der die ozeanographischen Aufgaben wahrnimmt kommen hinzu:

Für Tauchkörper mit Eigenantrieb:

a) Energieübertragung auf den Tauchkörper
b) Datenübernahme vom Tauchkörper
c) Befehlsgabe an den Tauchkörper
d) Führungsseilbefestigung.



Systematik der Meßsysteme mit Schwimmkörper.

Abb. 5,-1

Für Tauchkörper mit Windenantrieb:

a) Überwasserwinde mit Motor und Getriebe
b) Energieübertragung für Meßprogramm
c) Datenübertragung Seil - Winde - Schwimmboje
d) Programmsteuerung.

Für Mehrfachmeßebenen mit Windenantrieb:

a) Überwasserwinde mit Motor und Getriebe
b) Energieübertragung für Meßprogramm
c) Datenübertragung Seil - Winde -Schwimmboje
d) Programmsteuerung und Schaltlogik zur Abfrage der Meßebenen.

5.1.2 Tauchkörper

An den Tauchkörper werden ähnliche Forderungen gestellt wie in Kap. 4.2 für den Tauchkörper des Systems ohne Oberflächenboje. Naturgemäß entfallen einige Einschränkungen wegen der verschiedenartigen Konstruktion.

Für die zu betrachtenden 3 Systeme gelten als gemeinsame Forderungen:

a) Abfahren eines gewissen Tiefenprofils nach einem Tauchprogramm
b) Aufnahme der ozeanographischen Sonden.
c) Verarbeitung der Meßdaten für Abgabe an ein Übertragungskabel.

Lediglich für den Tauchkörper mit Eigenantrieb kommen noch Forderungen hinzu:

a) Antrieb
b) Energieversorgung
c) Positionsregler
d) Datenübertragung auf Schwimmkörper
e) Energieübertragung vom Schwimmkörper
f) Konstanter Auftriebsraum.

5.2 Tauchkörper

Der Tauchkörper ist der eigentliche Sondenträger des Unterwassersystems. Im Vergleich mit der Konfiguration des Systems ohne Schwimmkörper, bei welchem der Tauchkörper eine weit umfassendere Funktion hat (siehe Kap. 4.2), läßt sich hier keine einheitliche aufgebaute Form finden.
Zu groß sind die Unterschiede bei den 3 Prinzipien, wie sie in der Spezifikation dargestellt wurden. So wird man sinnvollerweise der jeweiligen Ausführungsform einen eigenen Tauchkörper zuordnen.

5.2.1 Konfiguration

5.2.1.1 Einfacher Sondenträger

Die wohl am wenigsten aufwendige Form des Tauchkörpers ist ein einfacher Sondenträger, der über ein Seil mit einem Schwimmkörper verbunden ist.
Die ozeanographischen Geräte sind so in eine Struktur hineingebaut, daß sie als selbständige Einheit ihre Funktion wahrnehmen können. Die umhüllende oder tragende Struktur nimmt außer den Sonden folgende Komponenten auf:

A. Datenverarbeitung

Die Messungen der Meeresdaten fallen zum Teil als Analogwerte und zum Teil als Digitalwerte an. Zur Übertragung auf den Schwimmkörper stehen indes nicht beliebig viele Kanäle, d. h. Leitungen im Fesselseil, zur Verfügung. Es ist deshalb nötig, die Daten mit Hilfe eines Umsetzers so aufzubereiten, daß sie entweder rein digital oder durch FM analog über 2 Leitungen abgegeben werden können. Die hieraus resultierenden Detailprobleme werden nicht im Rahmen dieser Arbeit untersucht und fallen unter das allgemeine Thema Datenverarbeitung.

B. Stromversorgung

Die Stromverbraucher haben nicht alle die gleiche Betriebsspannung (Meßsonden, Umsetzer, Programmgeber). Da über das Fesselseil aber nur eine Spannung zur Verfügung gestellt werden kann, ist für jeden Verbraucher die Spannung anzupassen. Ein Stromspeicher, der eine Pufferfunktion wahrnehmen muß, ist bei dieser einfachen Konfiguration nicht erforderlich.

C. Tiefenmelder

Unter Umständen ist es nötig, unabhängig von der An-

zeige der im Sondenpaket eingebauten Druckmeßdose eine Tiefenreferenz zur Steuerung der Winde im Schwimmkörper zu besitzen (Abfahren eines Meßprogramms).
Die Notwendigkeit ergibt sich spätestens dann, wenn die Umformung der Meßdaten so erfolgt, daß eine analoge Tiefenanzeige nicht - oder nur mit großem Aufwand - zu bewerkstelligen wäre.

5.2.1.1.1 Interfaceprobleme

Die Nahtstellen, an denen der Sondenträger mit anderen Komponenten des Tauchbojensystems im Austausch steht, sind mechanischer und elektrischer Natur.
Mechanische Übergänge sind die Befestigungen des Zugseils am Oberteil des Trägers und des Ballastseils an dessen Unterteil. Beide werden konstruktiv in der Art der bewährten Seilbefestigungen gelöst.
Das Seil wird um eine Öse (Kausche) geschlungen und in einer Hülse zusammengepreßt, so daß es fest gehalten wird.
Der elektrische Übergang vom Träger auf das Seil geschieht mittels eines wasserdichten Steckers, der am Ende des Zugseils sitzt, das schleifenförmig aus der Befestigung der Öse herausläuft. So ist eine erhebliche Elastizität gewährleistet und ein Eindringen von Wasser in das Seil am Übergang zum Stecker wird vermieden.

5.2.1.2 Sondenträger mit Eigenantrieb

Im Zwischenbericht B2 wurde diese Konfiguration als K5 vorgestellt. Es ist eine verkleinerte Form des Tauchkörpers nach Kap. 4.2 mit einer Reihe weiterer Modifikationen. Das hervorstechendste Merkmal ist sein Eigenantrieb, der ihn unabhängig von einer Winde in der Oberflächenboje macht. Der Vorteil des Systems besteht darin, daß mit dem Sondenträger nahezu beliebige Tauchprogramme, besonders jedoch fast beliebige Tauchtiefen abgefahren werden können. Das Auf-

wickeln eines Fesselseils entfällt, was bei großen Tiefen sicher ein ernstes Hemmnis der Auslegung einer Seilwinde ist, will man die Oberflächenboje nicht unnötig groß machen, um Platz für die Seiltrommel zu gewinnen.

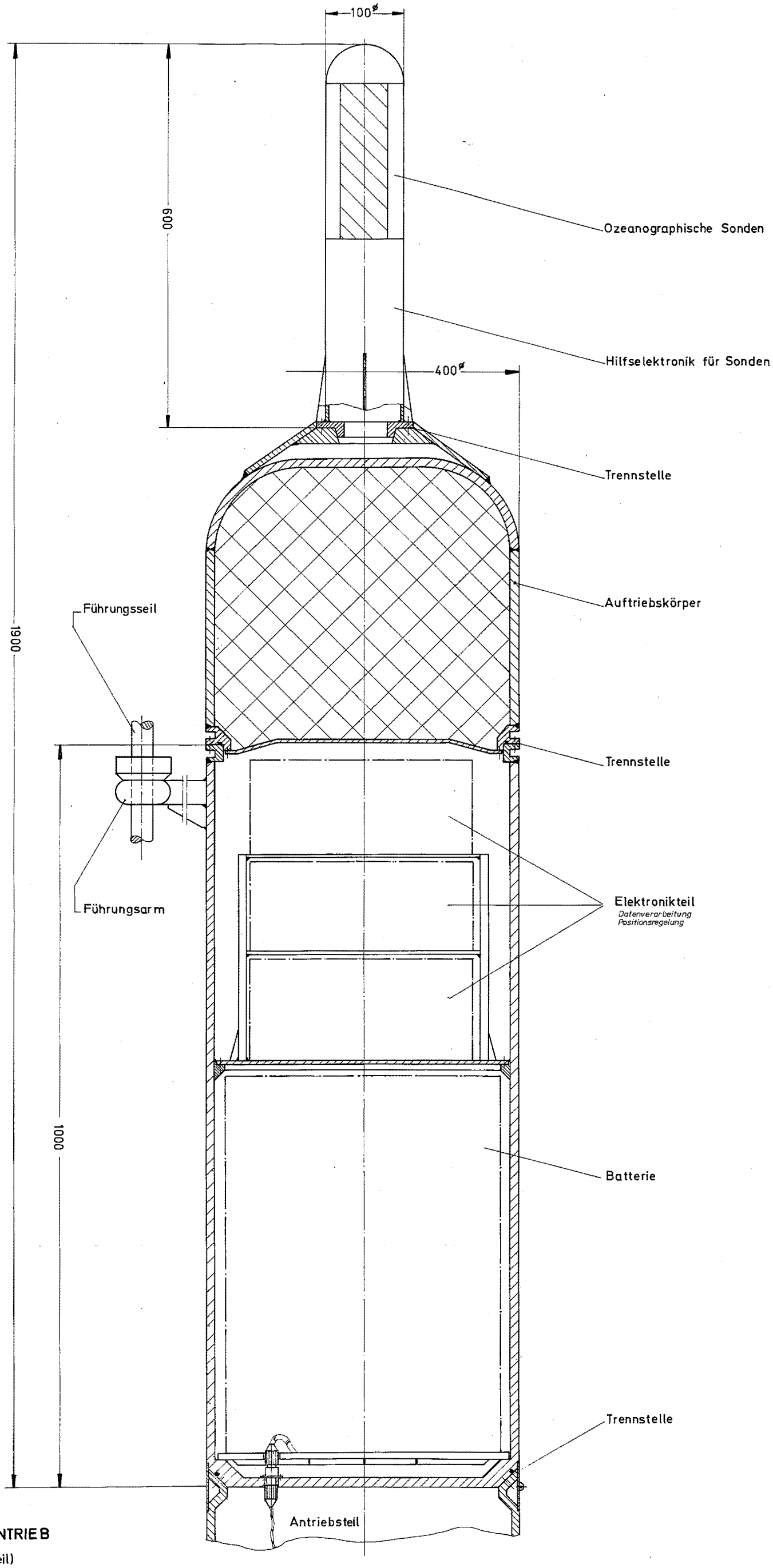
5.2.1.2.1 Struktur des Tauchkörpers

Der Tauchkörper (Abb. 5.2.1.-1u.2)wird in einer dem Baukastenprinzip nachempfundenen Art entworfen, ähnlich dem Tauchkörper ohne Oberflächenboje.
Die Struktur gliedert sich in 4 Teile:

1. Antrieb
2. Mittelteil
3. Auftriebsteil
4. ozeanographische Sonden.

Der Antrieb ist in Abschnitt 5.2.2 eingehend dargestellt und bedarf an dieser Stelle keiner näheren Erläuterung.
Das Endstück paßt mit seiner konischen Verbindung in ein entsprechendes Gegenstück des Mittelteils, Die Antriebssektion ist eine fertige Baueinheit, die funktionelle Verbindung zum Mittelteil (Energieübertragung) geschieht über einen Stecker, der beim Zusammenbau beider Teile mit einer Buchse des Mittelteils verbunden wird.
Das Mittelteil ist eine zylindrische Konstruktion, die eine druckfeste Hülle ergibt.
Die untere Hälfte ist als Batterieraum ausgebildet. Die Batterie wird von oben mit Hilfe eines Krans eingebaut und auf dem Tragreifen verschraubt. Über der Batterie befindet sich der Raum für die elektronischen Geräte. Je nach Größe und Gewicht werden sie sinnvoll angeordnet. Der Platz zwischen den Geräten ist reichlich bemessen.
Das spezifische Gewicht des Tauchkörpers bis zu dieser Stufe ist größer als 1, die Massenverteilung ist so angelegt, daß die schweren Bestandteile(Antrieb und Batterie) möglichst tief liegen. Daraus resultiert eine für die Stabilisierung

ERNO



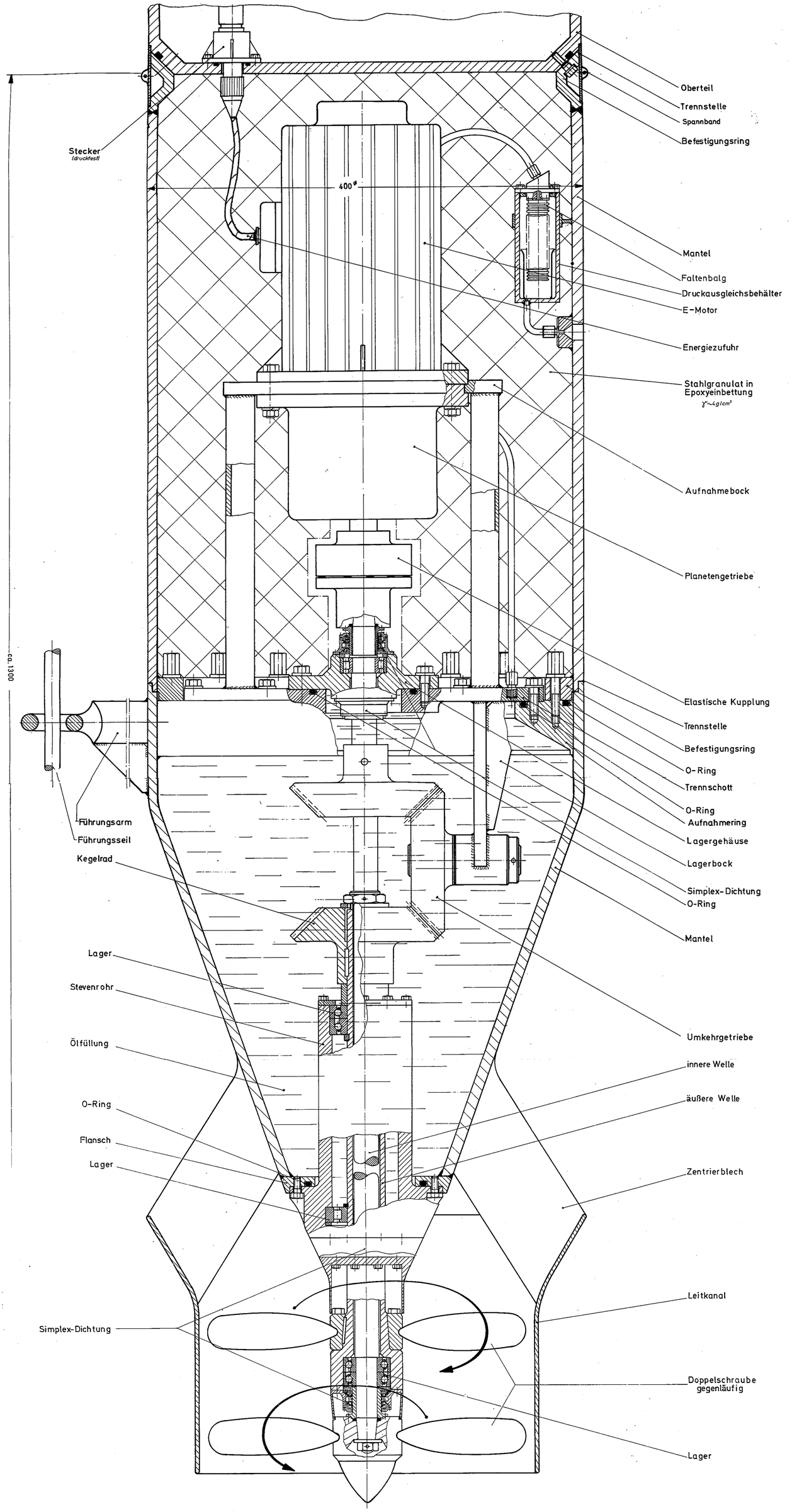
A 2/240

TAUCHKÖRPER MIT EIGENANTRIEB

(Meß-und Elektronikteil)

Abb. 5.2.1-1

ERNO



TAUCHKÖRPER MIT EIGENANTRIEB

(Antriebsteil)

Abb. 5.2.1-2

A 2/241

günstige Lage des Schwerpunktes in Bezug zum Auftriebsmittelpunkt. Der Ausgleich des spezifischen Gesamtgewichts zu 1 erfolgt durch den Auftriebsteil. Er wird in der gleichen Art wie der Antrieb mit dem Mittelteil verschraubt. Die Zelle allein braucht nicht druckfest zu sein, da sie mit Hartschaum gefüllt wird. So ergibt sich ein spezifisches Gewicht von ca. 0.3.

Die ozeanographischen Sonden werden als Baueinheit beigestellt. Sie werden an der Spitze des Auftriebsteils montiert. Die Übertragung der Meßdaten erfolgt über eine Steckverbindung.

Die Unterbringung der Sonden an der höchsten Stelle des Körpers gestattet eine möglichst optimale Aufnahme der Meßdaten, weil Störungen durch Turbulenzen nicht zu befürchten sind. Dies gilt zumindest für die Messungen bei Steigfahrt, worauf die Betonung bei der Auswahl der Programme gelegt wird (Siehe Kap. 3).

5.2.1.2.2 Komponenten des Tauchkörpers

Die prinzipielle Zusammenstellung der Komponenten zu K5 aus dem Zwischenbericht B2 gilt auch weiterhin.

A. Antrieb
Hierfür kommt nach dem jetzigen Stand der Kenntnisse das hydrodynamische Prinzip in die engere Wahl. Man kann auch das hydrostatische Prinzip verwirklichen, doch soll nicht übersehen werden, daß die Zahl der Verschleißteile höher ist. Hierzu siehe Kap. 5.2.2.

B. Energieversorgung
Die gesamte Energie für mindestens einen Meßzyklus muß in Speicherbatterien mitgeführt werden. Dies ist eine Forderung, die voraussetzt, daß am Ende eines Zyklus eine Energieübertragung vom Schwimmkörper her erfolgt. Ist das nicht möglich, so muß eine Primärquelle eingebaut sein (Siehe 5.2.7).

C. Datenverarbeitung

Die Meßdaten der Sonden fallen sowohl digital als auch analog an. Die Frage der Datenverarbeitung ist eng mit der Entscheidung über die Wahl der Datenabgabe an den Schwimmkörper verknüpft. Da eine galvanische Kopplung entfällt, wird man sich drahtloser Verfahren bedienen. Diese können indes nicht in beliebiger Tiefe von der Oberflächenboje betrieben werden. Die Daten sind zu speichern und werden bei Annäherung an die Oberflächenboje an diese abgegeben.

Bis zur Abgabe der Daten an die Oberflächenboje ist der Ablauf der Datenaufnahme, Verarbeitung und Speichern wie im Tauchkörper ohne Schwimmkörper.

D. Tiefenmelder (Positionsregler)

Unabhängig vom Tiefensensor als Referenzelement für die Meßdaten ist ein Tiefenmelder für Ermittlung der Tauchtiefe eingebaut. Diese quasi doppelte Bestückung ist notwendig, weil die Signale des Daten-Tiefenmelders nicht jederzeit zur Steuerung herangezogen werden können. Man verwendet gemeinhin für solche Zwecke Druckmeßdosen. Zum Ausgleich der Wellenschwankungen, die eine veränderliche Wassertiefe vortäuschen würden, (Wasserdruck!) sind Kompensatoren auf elektrischer Basis installiert, die einen mittleren Tiefen- bzw. Druckwert erzeugen.

Die Bandbreite der Unterdrückung von Druckschwankungen muß sorgfältig definiert werden, weil sie im gleichen Maß verhindert, die Tiefe über Grund genau zu messen. Dies kann bei einem unkompensiertem System ohnehin nur mit genauer Kentnis des Wellenspektrums geschehen.

Es ist einer Erwägung wert, den Grad der Kompensation von außen einstellbar zu machen, etwa durch ein Telemetriekommando. Große Wellenhöhen erfordern starke Kompensation, geringe Wellenhöhen kommen mit weniger aus. So ließe sich auch eine automatische Umschaltung mit der durch Bordgeräte gemessenen Wellenhöhe verwirklichen.

E. Konstanter Auftriebsraum

Der Körper soll im getauchten Zustand ein spezifisches Gewicht von 1 haben. Schwerkraft und Auftrieb heben sich gegenseitig auf. Dies ist die notwendige Bedingung für einen optimal ausgelegten Antrieb nach dem Gesichtspunkt des geringsten Energiebedarfs.
Der konstante Auftriebsraum befindet sich möglichst hoch, d. h. im oberen Teil des Tauchkörpers. So erfüllt er eine 2. Forderung, Stabilität um die Querachse zu gewährleisten. Sobald eine Störung auftritt, dergestalt, daß sich die Längsachse neigt, erzeugt das Kräftepaar aus Gewicht und Auftrieb ein Rückstellmoment. Voraussetzung ist natürlich, daß Auftriebsmittelpunkt und Schwerpunkt einen gewissen Abstand von einander aufweisen.

5.2.1.2.3 Interfaceprobleme

Die Interfacefragen sind im wesentlichen elektrischer Natur. Das mechanische Interface stellt sich in Form der Führung am Fesselseil. Es soll nicht weiter besprochen werden, weil es keine neuen Ingenieurprobleme aufwirft.

Die größte Aufgabe ist die Lösung der beiden elektrischen Übertragungsarten vom Schwimm- zum Tauchkörper

1. Energieübertragung
2. Datenübertragung.

Die Energie kann nicht auf galvanischem Wege direkt vom Fesselseil, etwa mit Schleifern, übertragen werden. Zu groß ist die Gefahr, daß durch elektrolytische Vorgänge schon in kürzester Zeit die notwendigerweise wasserumspülten Kontakte zersetzt sind. So bleibt nur eine drahtlose Übertragung mit Hilfe des Transformatorprinzips. Das Prinzip zeigt Abb. 5.2.1.-3.

Auf dem obersten Führungselement des Tauchkörpers sitzt in einem Kunststoffgehäuse der Sekundärteil eines Transformators (Eisenkern und Spulen).

ERNO

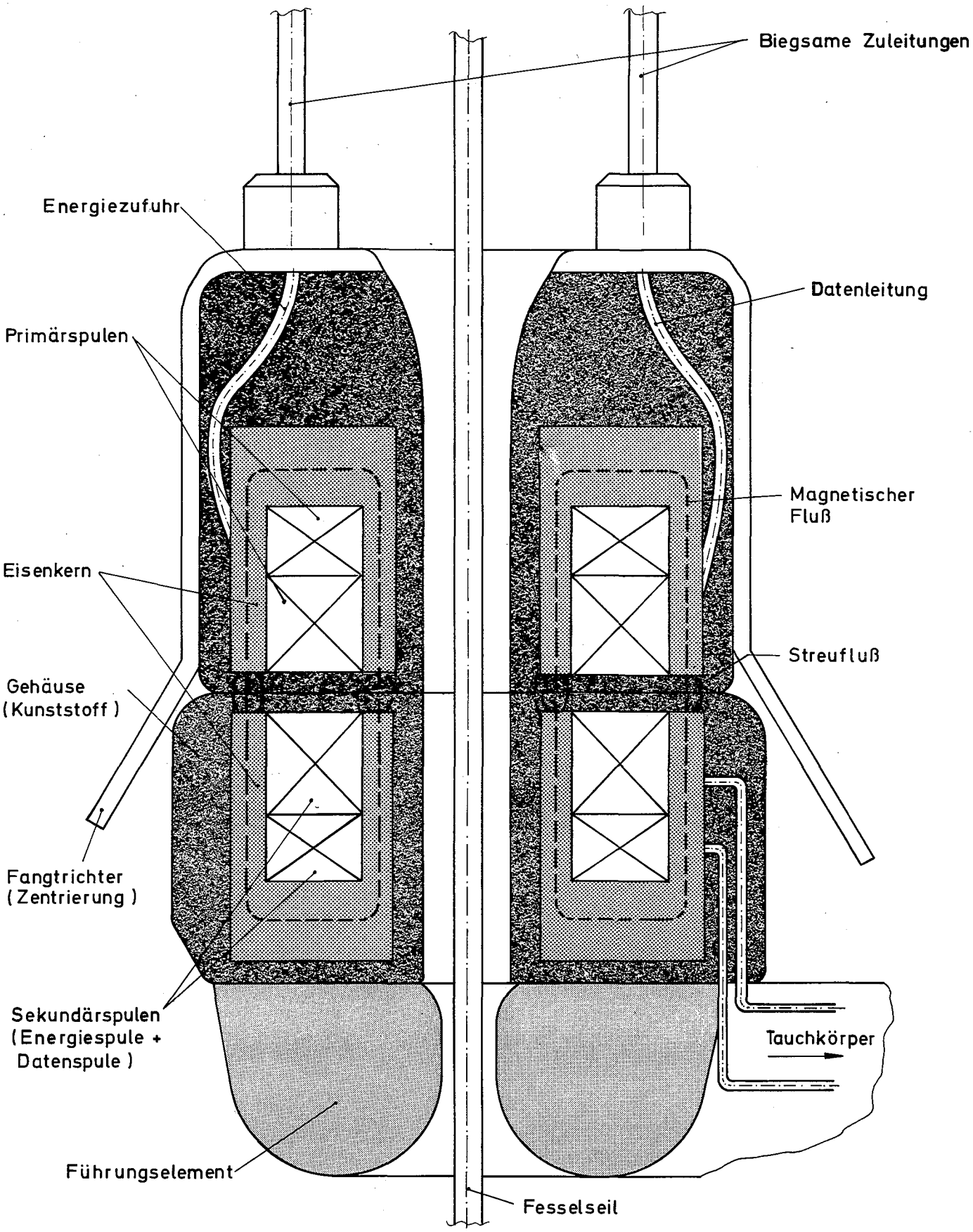


Abb. 5.2.1.-3
Prinzipskizze der Energie-und Datenübertragung vom Schwimmkörper – Tauchkörper

Die Spulen sind getrennt nach ihren Funktionen ausgelegt. Beim Emporfahren trifft dieser Teil auf den lose vom Schwimmkörper herabhängenden Primärteil, dessen Fangtrichter ihn zentriert. Der Tauchkörper fährt noch ca. 1 m weiter hoch und nimmt den Primärteil mit, so daß nunmehr ein geschlossener magnetischer Kreis zwischen Primär- und Sekundärteil besteht. Gewisse Streuverluste lassen sich nicht vermeiden, weil für Isolierung und Korrosionsschutz Kunststoffzwischenlagen erforderlich sind.
Die elektrische Energie wird dem Primärkreis der durch die lose hängenden Leitungskabel in Form von Wechselstrom zugeführt. Zu diesem Zweck sind im Schwimmkörper und im Tauchkörper Wandler erforderlich. Die Daten können frequenzmoduliert auf die gleiche Weise übertragen werden.
Der Wirkungsgrad eines solchen Systems ist nicht besonders gut. Verluste entstehen durch

- Umformen DC - AC im Schwimmkörper
- Magnetisches Streufeld im Transformator
- Umformen AC - DC im Tauchkörper.

Die übertragbare Leistung liegt in der Größenordnung bei ca. 100 W. Ein Ladevorgang der Speicherbatterie würde also einige Liegezeit an der Oberfläche erfordern. Dies ließe sich indes während der Tauchpausen durchaus im Meßprogramm verwirklichen.

5.2.1.3 Mehrfachmeßebenen

Der Unterschied der Mehrfachmeßebenen zum einfachen Sondenträger liegt nur in der Zahl der Meßebenen. Jede einzelne Meßebene ist als einfacher Sondenträger ausgebildet, wie er in Kap. 5.2.1.1 erläutert wurde.

Grundsätzlich bringt die Anordnung mehrere Meßebenen gegenüber einer einzigen den Vorteil des geringeren Energiebedarfs für den Antrieb.
Nicht mehr die gesamte Tauchtiefe muß von der Winde bewältigt

werden, sondern der entsprechende Bruchteil, der sich aus der Zahl der Ebenen ergibt, wenn man gleiche Abstände untereinander annimmt. Der Aufwand für das Abfragen der Sensorpakete steigt indes beträchtlich, auch der Energiebedarf ist größer, so daß ein Teil der in der Winde eingesparten Energie wieder in den Sonden investiert werden muß. Bei den nicht geringen Kosten der Sensorpakete ist auch mit einer Steigerung der Gesamtkosten des Systems im Vergleich zum Einfachmeßträger zu rechnen.

5.2.2 Hydrodynamischer Antrieb

Der Tauchkörper mit Eigenantrieb verwendet das hydrodynamische Prinzip des Propellers zur Vortriebserzeugung. Dieser Art wurde der Vorzug gegeben gegenüber dem hydrostatischen Prinzip mit einer hydraulischen Auftriebsänderung (siehe Zwischenbericht B2, Abschn. 7.1.2.2).

5.2.2.1 Aufbau und Wirkungsweise des Antriebs

Zum Ausgleich des Drehmoments (Drall) finden 2 gegenläufige Propeller Anwendung, wie schon im Zwischenbericht B2, Abschn. 7.1.3 erklärt. Zur Vergrößerung des Wirkungsgrades werden die Propeller mit einem Mantel umgeben. Dies erhöht gleichzeitig die Sicherheit, daß sich das Führungsseil nicht im Propeller verfangen kann.
Der Antrieb ist als kompakte Baueinheit konstruiert. Er besteht aus Motorteil, Umkehrgetriebe und Propellersektion. Besondere Sorgfalt muß auf die Dimensionierung der Dichtelemente verwendet werden. Dabei liegt das Schwergewicht auf der Abdichtung der Propellersektion gegen das Seewasser. Zu diesem Zweck sind die vielfach bewährten "Simplex"-Dichtungen eingebaut. Sie bilden ein sehr zuverlässiges und über lange Zeiträume wartungsfreies Konstruktionselement.

Abb. 5.2.1.-2 zeigt den konstruktiven Aufbau des Antriebs. Als Krafterzeuger dient ein Niederspannung-Gleichstrommotor mit Druckkapselung und 200 Watt Leistung. Ein angeflanschtes Planetengetriebe reduziert die Motordrehzahl von 3 000 U/min auf ca. 500 U/min der Propellerwelle.

Das Drehmoment wird über eine elastische Kupplung in das Umkehrgetriebe eingeleitet. Radiale Kräfte werden von einem Zylinderrollenlager aufgenommen, dass in einem sog. Trennschott zentrierbar befestigt ist. Das Trennschott ist der Montageträger für den Aufnahmebock des Motors. Selbiger ist erforderlich, um Platz zu schaffen für die elastische Kupplung, so daß der Motor etwas weiter nach oben rückt.

Zugleich ist am Trennschott das Zwischenrad des Umkehrgetriebes befestigt. Auf diese Weise ist eine sehr einfache Montage bzw. Demontage von Motor, Kupplung und Getriebe gewährleistet. Ein Aufnahmering in der Außenwand stellt die Verbindung von Trennschott zum Tauchkörpergehäuse her.

Der Getrieberaum ist durch Trennschott, Aufnahmering und Simplexdichtung hermetisch gegen das übrige Innere des Tauchkörpers abgeschlossen. Dies ist die Voraussetzung für ein einwandfreies Funktionieren der Dichtungen, besonders für große Tauchtiefen. (Siehe 5.2.2.2)

Die Umkehr des Drehsinns für den gegenläufigen Propeller erfolgt im Umkehrgetriebe über 3 Kegelräder.

Die vom Motor kommende Hauptwelle trägt ein Kegelrad, in das ein Zwischenkegelrad eingreift. Die Drehachsen sind um 90° gegeneinander verdreht, so daß ein 3. Kegelrad, daß auf einer zur Hauptwelle koachsialen Welle läuft, nunmehr den gegengerichteten Drehsinn erzeugt. Es findet keine Drehmomentänderung statt.

Die äußere Welle ist im Stevenrohr mit einem Doppelkugellager gelagert. Dies bildet den Festpunkt der Gesamtwellenlagerung und überträgt die Schubkräfte beider Propeller auf das Stevenrohr und damit in den Tauchkörper.

Das Loslager der äußeren Welle ist ein einfaches Zylinderrollenlager, das nur Radialkräfte überträgt. Die Abdichtung gegen das Gehäuse erfolgt wiederum mit einer "Simplex"-Dichtung.

Die durchgehende innere Welle ist an ihrem unteren Ende mit einem Doppelkugellager in der äußeren Welle gelagert. Es überträgt die Schubkräfte des unteren Propellers und bildet das Festlager der inneren Welle. Die Abdichtung gegen die gegensinnig rotierende äußere Welle wird mit einer "Simplex"-Dichtung erreicht.

Die beschriebene Ausführung der Konstruktion des Antriebs gestattet eine einfache und übersichtliche Montage. Der Ab-

lauf ist folgender:

I. Vormontage außerhalb des Tauchkörpers

1. Montage der Propeller auf die Wellen
2. Einbau der Kugel- und Rollenlager in Wellen und Stevenrohr
3. Einbau der unteren Dichtungen
4. Einschieben der inneren Welle in die äußere
5. Einbau der äußeren Welle (mit innerer) in das Stevenrohr

II. Montage innerhalb des Tauchkörpers

1. Einbau des fertig montierten Stevenrohrs in das Gehäuse
2. Montage des unteren Kegelrades auf die äußere Welle
3. Montage des Umlaufkegelrades auf das Trennschott
4. Einfügen von Trennschott und oberem Kegelrad. Zentrieren und Ausrichten der Kegelräder wurde auf einer Vorrichtung vorgenommen.
5. Montage des oberen Lagerbocks mit Zylinderrollenlager und "Simplex"-Dichtung. Zentrierung mit vorher bestimmten Markierungen.
6. Aufbringen der elastischen Kupplung
7. Einbau des Motors mit Aufnahmebock und Planetengetriebe
8. Einbringen der Ölfüllung
9. Aufsetzen des Mantelteils mit Druckausgleichsbehälter

5.2.2.2 Druckentlastung der Dichtelemente

Für Tauchtiefen über 200 m reicht die Qualität der Dichtelemente nicht mehr aus, über längere Zeiträume Wartungsfreiheit zu garantieren. Der Unterschied zwischen dem Innendruck und dem umgebenden Wasserdruck wird zu groß. Besonders kritisch ist dies bei den unteren Dichtungen, die gegen das

Seewasser arbeiten. Hier führen die hohen Anpreßkräfte zu starkem Verschleiß. (Annahme: Innendruck ca. 0.5 atü, Außendruck 20 atü). Die oberen Dichtungen sind weniger gefährdet, weil sie gegen Luft arbeiten und immer genügend schmierfähiges Öl zur Verfügung steht.

Abhilfe läßt sich schaffen durch Einfügen eines Druckausgleichsbehälters im Motorraum, der durch eine dünne Rohrleitung mit dem Getrieberaum verbunden ist. Es ist nötig, den gesamten Getrieberaum mit Öl zu füllen. Dies bedingt eine besonders sorgfältige Konstruktion der Kegelräder, damit das "Quetschöl" zwischen den Zähnen keinen Schaden stiftet.

Der Ausgleichsbehälter enthält eine Faltenbalg aus Cr-Ni-Stahl und überträgt den Außendruck abzüglich einer Federvorspannung auf die Ölfüllung. Damit sind die unteren Dichtungen entlastet und die besser arbeitenden oberen Dichtungen übernehmen einen Teil des Druckunterschieds zum Motorraum. Ölverluste durch Lecks gleichen sich automatisch aus, weil der Ausgleichsbehälter ausreichend dimensioniert ist.

5.2.2.3 Leistungsberechnung

Die allgemeinen Grundlagen der Leistungsberechnung und des Energiebedarfs eines hydrodynamischen Antriebs sind bereits im Zwischenbericht B2, Kapitel 8.2, dargestellt worden. Aus Wirtschaftlichkeitserwägungen soll der Leistungsbedarf des Antriebs für den Tauchkörper mit Eigenantrieb nicht größer als 200 Watt sein.

Die gleiche Leistung wird die Winde in der Oberflächenboje für die beiden anderen Versionen haben.
Die Gesamtenergie reduziert sich im Vergleich zum Tauchkörper mit Eigenantrieb bei dem einfachen Sondenträger um ca. 20 % und bei den Mehrfachmeßebenen um ca. 30 %. Diese letzte Zahl soll indes nicht darüber hinwegtäuschen, daß die Gesamtenergiebilanz nicht so günstig ausfällt, weil sich durch die Vielzahl

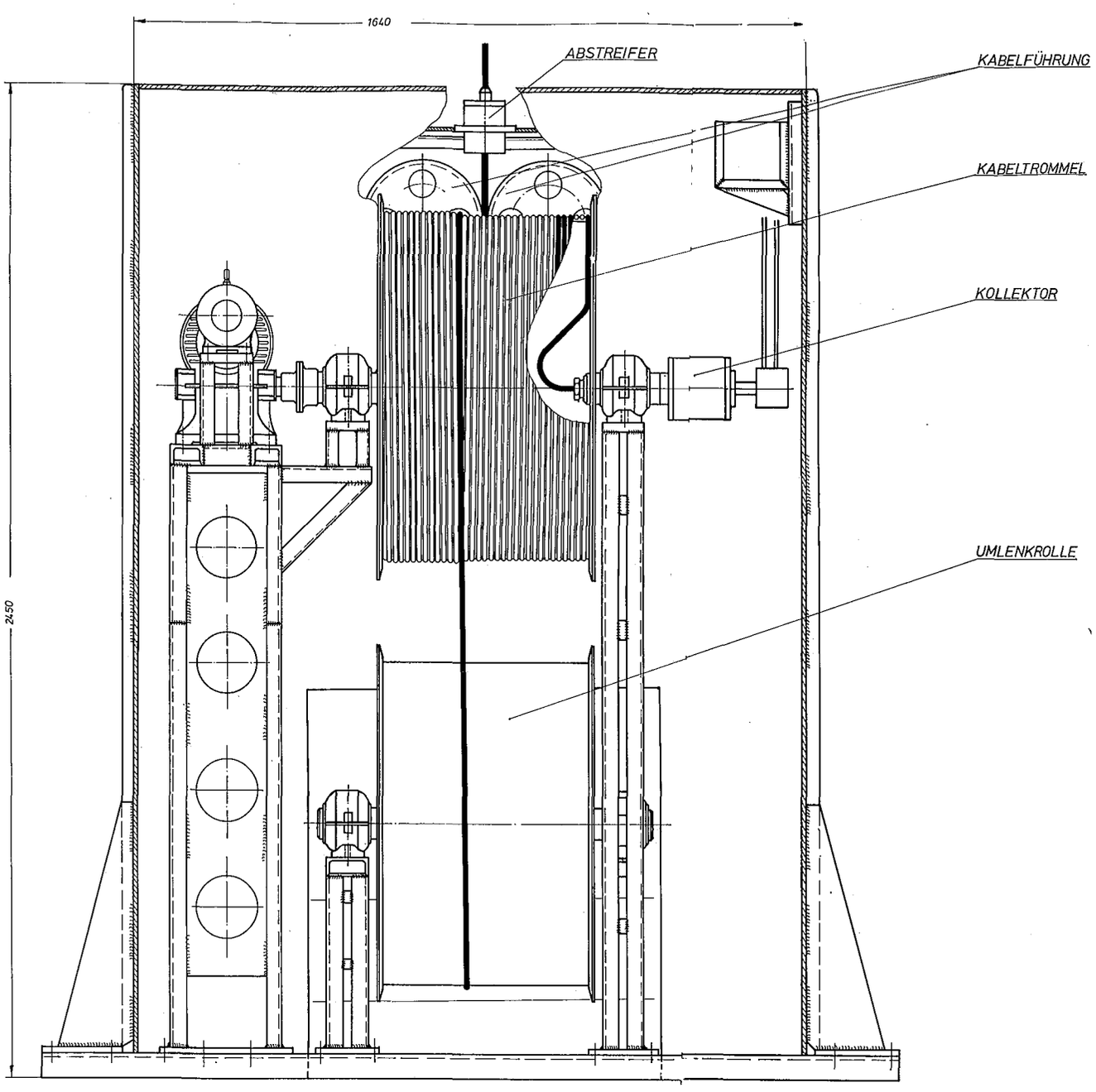
der Meßebenen ein entsprechend höherer Energieverbrauch zur Erregung der Sensoren ergibt.

5.2.3 Windenantrieb (Überwasserwinde)

Die Überwasserwinde wird auf die Schwimmboje aufgesetzt und hat die Funktion den Tauchkörper(oder einzelne Meßebenen) durch eine zentrale Öffnung im Schwimmkörper auf die gewünschte Tauchtiefe abzusenken und lt. Funktionsprogramm vertikal zu bewegen. Als Hauptkriterium für den Windenantrieb ist die Tatsache anzusehen, daß die Anlage über der Wasseroberfläche installiert ist. Sie ist damit Seegang, Frost und anderen Einflüssen erheblich ausgesetzt.
Aus diesem Grund wird ein nach oben vollkommen geschlossenes Gehäuse vorgesehen (wie Abb. 5.2.3-1 zeigt), aus dem das Kabel durch eine Stoffbuchse mit Vorrichtung zum Eisabstreifen nach oben zu einer Umlenkrolle und von dort abwärts zum Tauchkörper geführt wird. Diese Umlenkrolle kann für das evtl. Eisbrechen am Kabel durch ihren Biegeradius von ausschlaggebender Bedeutung sein.

Das Windengehäuse ist nach unten so geöffnet, das alles einströmende Wasser jederzeit wieder abfließen kann. Das Prinzip der Winde entspricht mit Ausnahme der hier nicht vorgesehenen Ölfüllung dem der Unterwasserwinde.
Es werden die gleichen Elemente vorgesehen. Einströmendes Wasser wird den Windenraum wegen des sich bildenden Gaspolsters nie vollständig füllen, alle Baueinheiten können also unter normalen Umweltbedingungen arbeiten.

Die Überwasserwinde wird aufgrund des Verzichtes auf eine Schutzölfüllung, die für diesen Einsatz ungeeignet ist, etwa nur halb so groß wie die Unterwasserwinde.
Durch den Einsatz gleicher Komponenten ist auch hierbei das Prinzip des Baukastensystems gewährleistet.



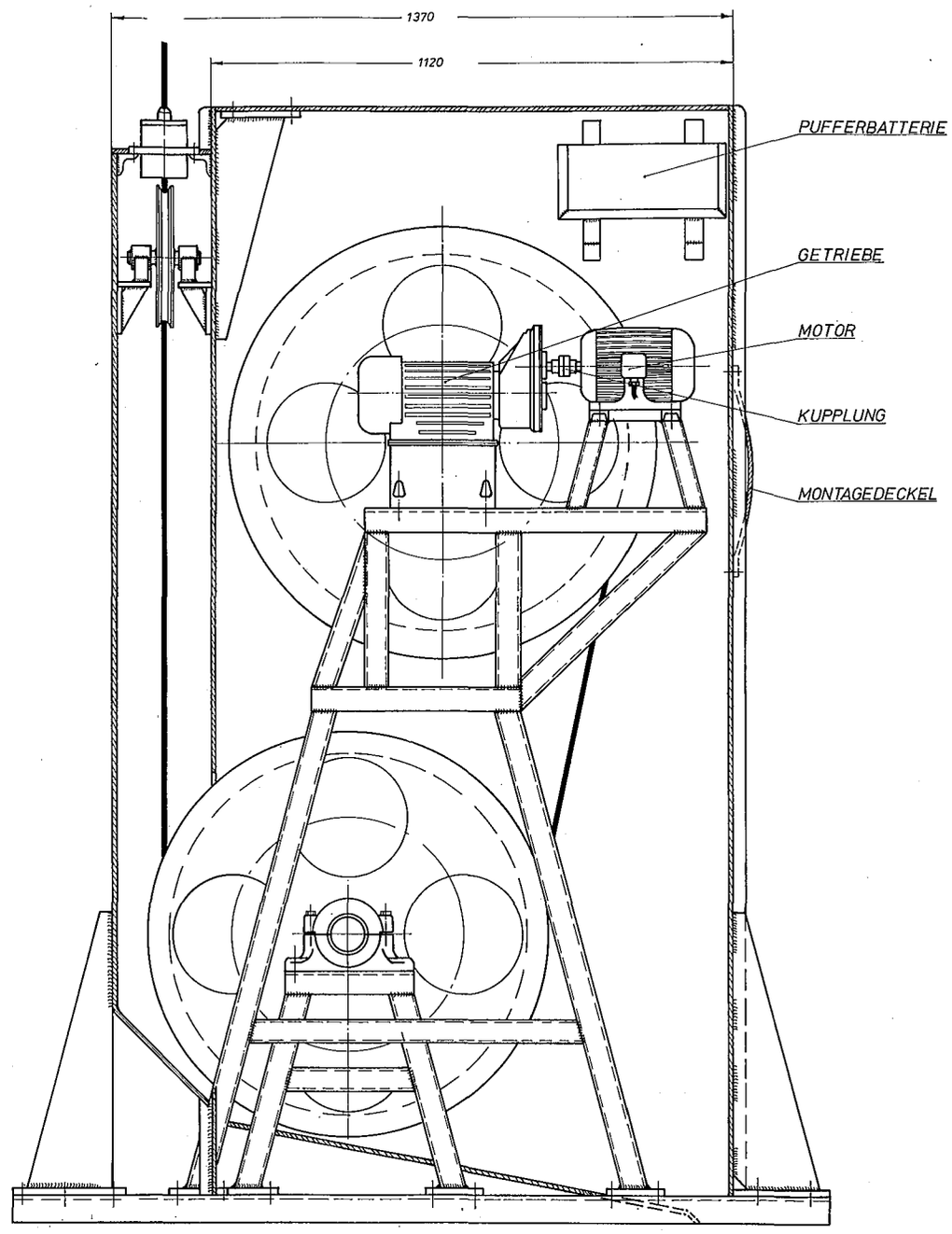


Abb. 5.2.3.-1 ÜBERWASSERWINDE

5.2.4 Programmgeber

In Kapitel 4.2.5 sind die Funktionen des Programmgebers beschrieben.
Bezüglich seiner Funktionen ist der Programmgeber für die Tauchboje ohne Schwimmkörper auch geeignet für den Einsatz der Schwimmkörperversion. Grundsätzliche Änderungen sind nicht erforderlich. Nur die Anordnung der verschiedenen Baugruppen ist zu verändern.

a) Der Schwimmkörper wird den Programmgeber enthalten.

b) Die Steuereinheiten für den Antriebsmotor und die ozeanografischen Meßgeber werden im Tauchkörper untergebracht sein.

Der Vorteil dieser Geräteanordnung besteht darin, daß der Schwimmkörper eine wesentlich bessere Zugänglichkeit garantiert, was aus Gründen der Wartung und Störbehebung wünschenswert ist. Dieser Vorteil ist stärker zu bewerten als der Nachteil des zusätzlichen Kabelaufwandes.

5.2.5 Einrichtung zur Kabeltrennung

Eine automatische Kabeltrennung, etwa wie in Kap. 4.2.8 für die Tauchboje aufgezeigt, ist in den hier behandelten Versionen nicht erforderlich. Man wird sich auf manuelle Trenn- und Verriegelungsmechaniken verlassen, die in der Seefahrt seit langem im Einsatz sind z. B. Schäkel mit Seilkausche. Unter diesem Aspekt ist die Abhandlung in Kap. 4.2.8 gültig, wenn die Sprengbolzen durch massive Bolzen ersetzt werden. Da in allen Fällen eine elektrische Verbindung hergestellt werden muß, kann auch die Anordnung des Steckers übernommen werden. Für den speziellen Einsatz sind nur leichte Modifikationen nötig.

5.2.6 Materialauswahl

Für den Tauchkörper bestehen Beschränkungen hinsichtlich der Materialauswahl durch 3 Forderungen:

1. Nicht-Beeinflussung der ozeanographischen Meßgeräte.

   Dies bezieht sich im wesentlichen auf Geräte, die auf Magnetfeldänderungen ansprechen. Werkstoffe mit geringer Permeabilität (z. B. austenitische Stähle) erfüllen diese Forderung. Bei Werkstoffen mit hoher Permeabilität (z. B. St 37) läßt sich der Einfluß mindern, wenn man das empfindliche Meßgerät weit genug entfernt einbaut. Der Abstand wird nach rein meßtechnischen Gesichtspunkten bestimmt.
   Das bedeutet, daß u. U. konstruktive Schwierigkeiten auftauchen.

2. Beständigkeit gegen Seewasserangriff.

   Einige Stahlsorten mit geringer Permeabilität sind auch beständig gegen den Angriff des Seewassers. Gegen Bewuchs müssen sie indes gezielt geschützt werden. Nichtbeständige Baustähle lassen sich durch geeignete Schutzüberzüge wirkungsvoll seewasserfest machen.

3. Ausreichende Festigkeit gegen hohen Außendruck.

   Fast alle diskutablen Werkstoffe lassen sich konstruktiv so verarbeiten, daß durckfeste Behälter entstehen.

Im Zwischenbericht B2 wurde im Kap. 9.1 eine breite Untersuchung der geeigneten Trägermaterialien vorgenommen. Für die allgemeinen Gesichtspunkte sei darauf verwiesen. Im speziellen Anwendungsfall für die 3 genannten Systeme (Einfachmeßträger, Mehrfachmeßebenen und Tauchkörper mit Eigenantrieb ergeben sich die in den folgenden Abschnitten darge-

stellten Konstellationen.

5.2.6.1 Materialauswahl für Einfachmeßträger.

Der Einfluß von Werkstoffen mit hoher Permeabilität auf die Meßgeräte ist bei der räumlich gedrängten Ausführung sehr groß. Es ist deshalb erforderlich, auf seewasserbeständige Edelstähle zurückzugreifen. Der Meßgeräteteil wird wesentlich den Aufbau des Trägers bestimmen, so daß aus dieser Sicht die Entscheidung über die zu verwendenden Materialien getroffen wird.

5.2.6.2 Trägermaterial für Mehrfachmeßebenen.

Hierfür gelten die gleichen Gedanken wie für den Einfachmeßträger, da die Mehrfachmeßebenen aus einer Vielzahl von Einfachmeßträgern bestehen.

5.2.6.3 Trägermaterial für den Tauchkörper mit Eigenantrieb.

Hier bieten sich grundsätzlich die gleichen Überlegungen an, die bei der Materialauswahl des Tauchkörpers ohne Schwimmkörper angestellt wurden. Zu den in 5.2.6 genannten Forderungen kommt noch eine weitere hinzu:

- Das Material der unteren Sektion soll ein möglichst hohes spezifisches Gewicht besitzen, damit der Schwerpunkt des Gesamtsystems im unteren Drittel des Körpers liegt. Entsprechend soll das obere Viertel ein geringeres spez. Gewicht aufweisen.

Diese Forderung läßt sich aus Stabilisierungsrechnungen ableiten (Siehe 5.2.8).

5.2.6.3.1 Antriebsteil

Die untere Sektion des Antriebsteils besteht aus einem ge-

schweißten Kegelstumpf ohne Innenverstärkungen. Der Übergang zum zylindrischen Mantel wird durch den eingeschweißten Aufnahmering versteift. Der Mantel ist zylindrisch mit angeschweißtem oberen und unteren Befestigungsring. Innenversteifungen sind wegen der vorgesehenen Füllung mit Stahlgranulat in Epoxyeinbettung nicht erforderlich.

Als Trägermaterial kommt in Frage:

1. Seewasserbeständiger Stahl
2. Kohlenstoffstahl mit Schutzbeschichtung.

Wichtige Gründe sprechen für den Einsatz eines seewasserbeständigen Stahls, z. B. dem im U-Bootbau erfolgreichen "Phönix Permex AM 35", oder seinem Vorgänger, dem Stahl x 4 Cr Ni Mn Mo N 19 15. Beide Sorten zeichnen sich durch ihre geringe Permeabilität ($\sim$ 1,01 G/Oe) sowie eine hohe σ_5 - Grenze von ca. 41 Kp/mm^2 aus. Schweißbarkeit, spanende und spanlose Verformung sind gut und verursachen keine Probleme, die nicht schon lange im Umgang mit Cr-Ni-Stählen gelöst sind.

Die wichtigsten Argumente für den Einsatz dieser Sorten sind die guten technologischen Eigenschaften und der Wegfall eines zusätzlichen Schutzüberzugs. So würde man sicher die gesamte Propellersektion mit Leitkanal, Propeller (evtl. Spezialbronze) Wellen und Flanschen aus diesen Werkstoffen herstellen. Ein Aufbringen von Schutzüberzügen ist an diesen stark beanspruchten Teilen wenig sinnvoll.
Die Fertigung des kegligen Teils sowie des Mantels empfiehlt sich ebenfalls aus einem der genannten seewasserbeständigen Sorten. Durch das Zusammenfügen mittels Schrauben bilden sich feine Fugen, die bei einer Beschichtung infolge der Dehnung bzw. Schrumpfung unter dem Einfluß des Außendruckes zu Rissen führen können. Zudem ist ein Aufbringen der Beschichtung erst nach völligem Zusammenbau möglich.

Der Einsatz eines niedrig legierten Kohlenstoffstahls ohne Seewasserbeständigkeit hat seinen Vorteil ganz eindeutig im

Preis. Die einfachere Handhabung beim Schweißen sowie bei der spanenden und spanlosen Bearbeitung überwiegt indes nicht mehr die guten Werkstatterfahrungen mit den genannten seewasserbeständigen Stählen. So wird man als Quintessenz diesen trotz des etwa doppelten Preises den Vorzug geben.

5.2.6.3.2 Mittelteil

Das Mittelteil ist eine zylindrische Röhre, die zur Aufnahme der Stromversorgung und der Elektronik mit allen Einheiten (Speicher, Encoder, Decoder, Sender,Positionsregler) druckfest sein muß. Der untere Abschluß erfolgt durch die Antriebssektion, die durch ihre Füllung sehr druckfest ist. Für die Werkstoffauswahl gelten die gleichen Argumente, die für den Antrieb herangezogen wurden. Wiederum besteht die Alternative zwischen einem seewasserbeständigen Stahl und einem Kohlenstoffstahl mit Schutzüberzug.

Die Verwendung des "Marinestahls" löst alle derzeit bekannten Probleme.
Der Kohlenstoffstahl mit Beschichtung kann mit dem Vorbehalt eingesetzt werden, daß die Beschichtung den elastischen Verformungen der Wandung unter Druck folgt. Die Hersteller solcher Beschichtungen beurteilen dies optimistisch. So bleiben als gravierendstes Handicap die 3 Trennebenen zum Antrieb und zum Auftriebsteil.
Die Beschichtung kann erst nach endgültigem Zusammenbau erfolgen.

Weit ernster ist indes die Konsequenz aus der alle Sektionen gemeinsam überziehenden Beschichtungen für die Wartbarkeit. Beim Ausfall eines Untersystems muß zur Demontage die Beschichtung an der Trennstelle zerstört werden.
Es ist fraglich, ob nach der Reparatur wieder eine saubere Beschichtung hergestellt werden kann. Da besonders in der Zeit der Erprobung wiederholtes Demontieren der Einzelteile erfolgen wird, stößt das Verfahren auf große Schwierigkeiten.

Besonders der Vorteil der Preiswürdigkeit geht rapide verloren.

5.2.6.3.3 Auftriebsraum

Seiner Funktion entsprechend soll dieser Raum das Auftriebszentrum des Gesamtkörpers heben, den gemeinsamen Schwerpunkt der bisher montierten Sektionen indes nicht stark beeinflussen. Das erfordert eine spezielle leichte Konstruktion aus Aluminium. Der Innenraum enthält keine funktionellen Teile mehr (bis auf durchgehende Kabel), er kann also mit druckfestem Hartschaum (bis ca. 140 Kp/m^2) gefüllt werden. Die Hülle aus Aluminium wird druckentlastet und das spezifische Gewicht liegt bei ca. 0,2.

Im Entwurf ist darauf zu achten, daß der Montageflansch zum Mittelteil besonders stabil ausgebildet wird, weil er die axiale Drucklast auf das Mittelteil übertragen muß. Er wirkt wie ein Deckel. Das gleiche gilt im abgeschwächten Maß für die Aufnahmeöffnung des ozeanographischen Sondenträgers an der Spitze.

Von Bedeutung ist die Verhinderung der elektrolytischen Korrosion an den Berührungsstellen der Montageflansche zum Mittelteil und zum Sondenträger. Durch Teflonzwischenlagen läßt sich die Elementbildung vermeiden, sowohl gegenüber seewasserbeständigem Stahl als auch normalem Stahl. Zwar gibt es seewasserbeständige Aluminiumsorten, doch scheint es angebracht, eine zusätzliche Kunststoffbeschichtung aufzubringen.

Sollte sich wider Erwarten die Herstellung der Zelle aus Aluminium nicht bewähren, so kann man jederzeit auf dünnwandigen seewasserbeständigen Stahl der genannten Art zurückgreifen. Der Unterschied im Preis ist nicht übermäßig groß.

5.2.6.3.4 Sondenaufsatz

Der Sondenaufsatz wird von der Firma C. Plath bearbeitet.

Über die Materialauswahl ist bekannt, daß es sich um seewasserbeständigen Stahl mit geringer Permeabilität handelt. Die Kriterien sind die gleichen wie in 5.2.6.3.1 angedeutet.

5.2.7 Energieversorgung

Der Tauchkörper mit Eigenantrieb besitzt keine eigene Primärenergiequelle, sondern bezieht seine elektrische Energie aus einer Pufferbatterie. Sie wird am Ende eines jeden Tauchzyklus vom Schwimmkörper wieder aufgeladen. Die Größe des einzubauenden Akkus richtet sich nach dem Energiebedarf der Geräte des Tauchkörpers.

Legt man zugrunde, daß die elektronischen Geräte insgesamt eine Durchschnittsdauerleistung von 30 Watt benötigen (darin sind enthalten: ozeanographische Sonden, Speicher, Programmsteuerung, Positionsregeler), so muß die Pufferbatterie im wesentlichen für die Bedürfnisse des Antriebs ausgelegt sein.

Die genaue Auslegung der Speichergröße sowie die verwendete Art werden von der Fa. BBC im Abschlußbericht A4 dargelegt. Hierin sind auch die Energieversorgung des einfachen Sondenträgers sowie der Mehrfachmeßebenen behandelt, die im Tauchkörper selbst keine Pufferbatterie mehr haben, sondern durch das Halteseil galvanisch an den Energiekreis des Schwimmkörpers gekoppelt sind.

Bei einer abgegebenen Leistung von 200 Watt, dem entspricht bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 80 % eine aufgenommene Leistung von 250 Watt ergibt sich nach der Darstellung aus den Leistungsberechnungen eine Kapazität des Speichers von mindestens 66 Ah. Der im Tauchkörper vorgesehene Raum reicht bei weitem aus, um einen Akku dieser Art (Ni - Cd - Akku) mit ca. 72 kg Gewicht und 33 l Volumen unterzubringen. Der nicht benötigte Raum wird mit Füllstoffen ausgeschäumt, um die Stabilitätseigenschaften des Tauchkörpers zu wahren.

5.2.8 Stabilisierung

1. Tauchboje mit Eigenantrieb

Die Tauchboje besitzt ein Führungsseil, das zwischen Oberflächenboje und Endgewicht gespannt ist. Dieses erteilt ihr eine horizontal wirkende, der Auslenkung proportionale Rückstellkraft. Bei hinreichend großem Endgewicht (das bei den Tauchmanövern nicht mit bewegt wird) läßt sich die durch eine konstante Querströmung verursachte Drift genügend klein halten. Beim Tauchkörper kann deshalb auf den Auftriebsüberschuß verzichtet werden, der bei der einfach gefesselten Boje die Drift begrenzt.
Ein weiterer Vorteil des Systems liegt darin, daß durch die Seilkraft ein zusätzliches Richtmoment erzeugt wird, das gemeinsam mit dem Kräftepaar Auftrieb-Gewicht den Tauchkörper in die Vertikale zu stellen sucht. Gegenüber der freischwebenden Boje ist also das gleiche Richtmoment mit kleineren und leichteren Tauchkörpern zu erreichen. Hierdurch wird sowohl die Eigenfrequenz des Tauchkörpers als auch sein Strömungswiderstand günstig beeinflußt.

Auf die Tiefenstabilisierung hat das Führungsseil keinen unmittelbaren Einfluß. Die geringeren Abmessungen der Tauchkörper und der dadurch reduzierte Strömungswiderstand erlauben jedoch bei gleichem Energiebedarf eine wirksame aktive Tiefenstabilisierung bereits in geringerer Tauchtiefe, als das bei einer freischwebenden Boje der Fall ist.

Die Nachteile des Systems liegen darin, daß das Führungsseil durch die Oberflächenboje und das Endgewicht mitbewegt wird. Folgt die Oberflächenboje dem Seegang, so wird ihre Horizontalbewegung im wesentlichen gedämpft durch das Seil auf den Tauchkörper übertragen, obwohl dieser der (der Tauchtiefe entsprechenden) wesentlich ruhigeren Strömung ausgesetzt ist.
Es ist also notwendig, daß die Oberflächenboje durch Fesselung oder eigene Trägheit dem Seegang nicht zu folgen

vermag. Weiter kann das Endgewicht als Pendel in Resonanz mit der Strömung durch den Seegang liegen, so daß es merklich von der Vertikalen abweicht, was sich sowohl auf die Horizontal- als auf die Lagestabilität ungünstig auswirkt.

2. Tauchkörper mit Windenantrieb

Das System weist hinsichtlich der Stabilität keine Vorteile gegenüber einer am Boden verankerten Tauchboje auf. Dagegen wirken sich alle Nachteile,die unter 1 angeführt sind aus. Das trifft vor allem auch auf die Vertikalbewegung zu, die in vollem Maße von der Oberflächenboje über das Seil auf den Tauchkörper übertragen wird.

3. Mehrfachmeßebenen mit Windenantrieb

Hinsichtlich seiner Stabilisierung liegt dieses System zwischen 1 und 2. Aufgrund des kleineren Hubs pro Tauchzyklus kann bei gleichem Energieverbrauch ein wesentlich größeres Übergewicht gegenüber dem Auftrieb als unter 2. zugelassen werden.Die Stabilisierende Wirkung der Seilkraft sowohl gegenüber der horizontalen Drift als auch gegen die Verdrehung aus der Vertikalen wird entsprechend größer. Das erlaubt eine Verkleinerung der Meßträger. Trotzdem wird der Gesamtströmungswiderstand aufgrund ihrer größeren Zahl nicht reduziert.
Wie unter 2 wird die horizontale und in vollem Maße auch die Vertikalbewegung der Oberflächenboje auf die Meßträger durch das Seil übertragen. Der Vorteil für die Stabilisierung, der in der Dämpfung der Wellenbewegung mit wachsender Eintauchtiefe liegt, geht damit verloren.

5.3 Ballastgewicht

5.3.1 Aufgabe

Das Ballastgewicht erfüllt den Zweck, das Seil, an dem der Sondenträger befestigt ist bzw. gleitet, straff zu spannen.

5.3.2 Dimensionierungskriterien

Es besteht ein Unterschied zwischen dem Ballastgewicht für den einfachen Sondenträger bzw. den Mehrfachmeßebenen und dem Ballastgewicht für den Tauchkörper mit eigenem Antrieb. In den beiden erstgenannten Fällen ist die zeitliche Abdrift infolge der Querströmung wesentlich geringer als im letztgenannten. Damit sind auch die Abdriftkräfte, hervorgerufen durch Querströmung und Angriffsfläche,relativ klein, so daß eine mäßige Vertikalkraft ausreicht, das Halteseil senkrecht zu halten. Zudem wirkt das Gewicht des Sondenträgers, der fest mit dem Seil verbunden ist, zusätzlich zum Eigengewicht des Seils als Vertikalkrafterzeuger. Unter diesen Bedingungen ist ein Gewicht von ca. 50 kg als ausreichend anzusehen.

Beim Sondenträger mit Eigenantrieb liegen die Verhältnisse etwas anders. Der Tauchkörper gleitet am Halteseil und erfährt wegen seiner größeren Abmaße bei gleicher Querströmung eine weit stärkere Auslenkung aus der Lotrechten.
Zudem wandert der Angriffspunkt der Querkraft mit der Tauchbewegung, was besonders im Bereich der maximalen Tauchtiefe bei geringstem Abstand vom Ballastgewicht zu großen Auslenkungen führt.

Aus den genannten Gründen wird das Gewicht sinnvollerweise zu ca. 500 kg dimensioniert. Dies ist bei einem kompensiertem Eigengewicht des Tauchkörpers von ca. 200 kg ein annehmbarer Wert. Größere Gewichte verleihen zwar dem System bessere

Vertikaleigenschaften, belasten aber Halteseil und Schwimmkörper unnötig.

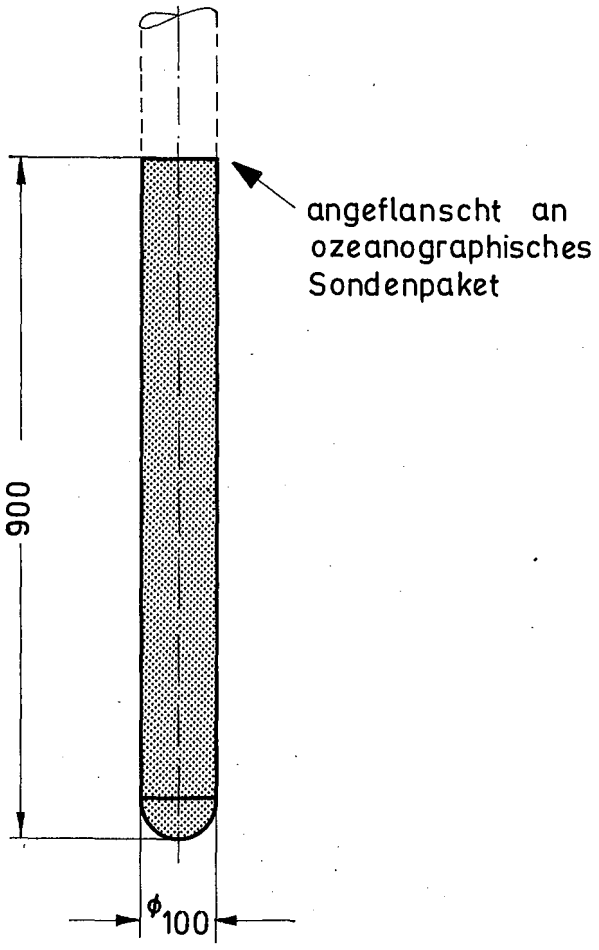
5.3.3 Werkstoffauswahl

Für alle genannten Ballastgewichte verwendet man im einfachsten Fall Stahl bzw. Gußeisen. Die Oberfläche ist mit einem Schutzanstrich gegen Korrosion und Bewuchs versehen. Auf Schutz gegen Bewuchs ist weniger bei dem 500 kg - Gewicht zu achten als beim 50 kg - Gewicht, weil der Bewuchs den axialen Widerstandsbeiwert vergrößert. Somit würde der Energiebedarf für das Auf- und Abfahren der Winde größer.

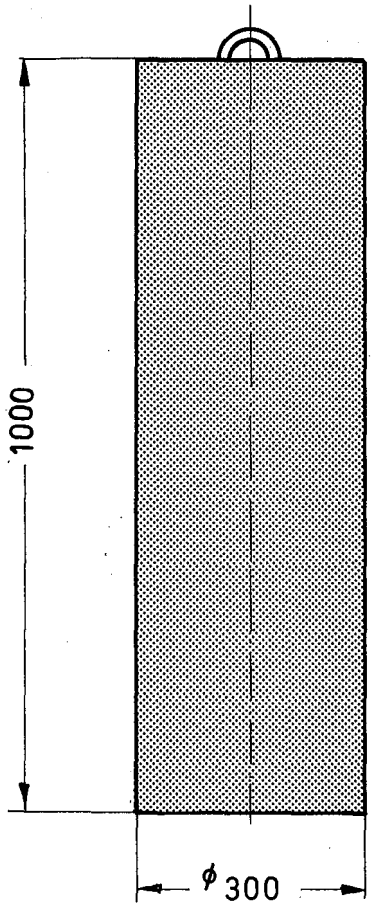
Das Ballastgewicht für den Tauchkörper mit Eigenantrieb kann natürlich auch aus Beton hergestellt werden. Die Abmaße vergrößern sich dann wesentlich. Der Preisunterschied schlägt sich zugunsten der Betonausführung aus. Ausbringungsprobleme auf See bestehen nicht.

5.3.4 Formgebung

Die Gestaltung des Ballastgewichtes wird im wesentlichen von Fertigungsgesichtspunkten bestimmt. Hier bietet sich die zylindrische Form an. Sie erhält für den einfachen Sondenträger und den letzten Sondenträger der Mehrfachmeßebenen hydrodynamisch ausgebildete Kappen, um den Widerstand bei axialer Bewegung zu verringern (sh. Abb. 5.3.-1).
Beim Ballastgewicht für den Tauchkörper mit Eigenantrieb können die Stirnflächen gerade sein. Bei einer Fertigung aus Beton kommt auch eine Quaderform in Betracht.



Ballastgewicht für einfachen Sondenträger und Mehrfach-meßebenen.



Ballastgewicht für das Führungsseil des Tauchkörpers mit Eigenantrieb.

Abb. 5.3.-1

5.4 Fesselung

Im Gegensatz zur Fesselung des Tauchkörpers ohne Schwimmkörper (Kap. 4.5) sind die Anforderungen an die Fesselung der Tauchkörper mit Schwimmkörper gering. Als Fesselung soll verstanden sein:

1) Das Führungsseil des Tauchkörpers mit Eigenantrieb
2) Das Halteseil des einfachen Sondenträgers und der Mehrfachmeßebenen.

Als Führungsseil ist ein Produkt der Firma ICI "Parafil" besonders gut geeignet. Es zeichnet sich durch sein niedriges spezifisches Gewicht aus, so daß das Problem der Reißlänge nicht besteht. Das Seil ist eine reine Kunststoffversion. Die Zugkräfte werden von den parallel verlegten Terylene-Fasern aufgenommen. Der Schutz gegen Eindringen von Seewasser und Abrasion beim Gleiten der Führungsösen wird durch eine "Alkalene"-Schutzschicht gewährleistet, die das Faserbündel umschließt.

Als Halteseil der Meßsonden bietet sich ein Produkt der Kabelwerke "Reinshagen " an. Dies ist ein Kabel mit eingebauten Kupferleitern für Datenübertragung und Energieversorgung.
Das Grundprinzip dieser Kabelkonstruktion stellt einen Aufbau dar, bei dem der Versorgungsteil durch eine sehr widerstandsfähige Stahlarmierung gegen äußere mechanische Beschädigungen völlig geschützt ist. Das Kabel hat darüberhinaus eine hohe Zugfestigkeit.

5.5 Systemvorschläge

Aus den Untersuchungen über Tauchkörper in Verbindung mit Oberflächenbojen lassen sich Vorschläge für einsatzfähige Systeme erstellen. Sie sollen in ihren Eigenschaften verglichen werden mit dem Ziel, ein möglichst optimales System zu finden.

Allen Systemen ist gemeinsam, daß sie einen Schwimmkörper besitzen, der ständig an der Oberfläche des Wassers bleibt. Er selbst ist durch eine Verankerung gegen Abtreiben gesichert. Die Verankerung ist so angebracht, daß sie unter Wasser befindliche Meßsonden nicht behindert. Der Schwimmkörper wird in diesem Bericht als vorhanden angenommen.

5.5.1 Tauchkörper mit Eigenantrieb

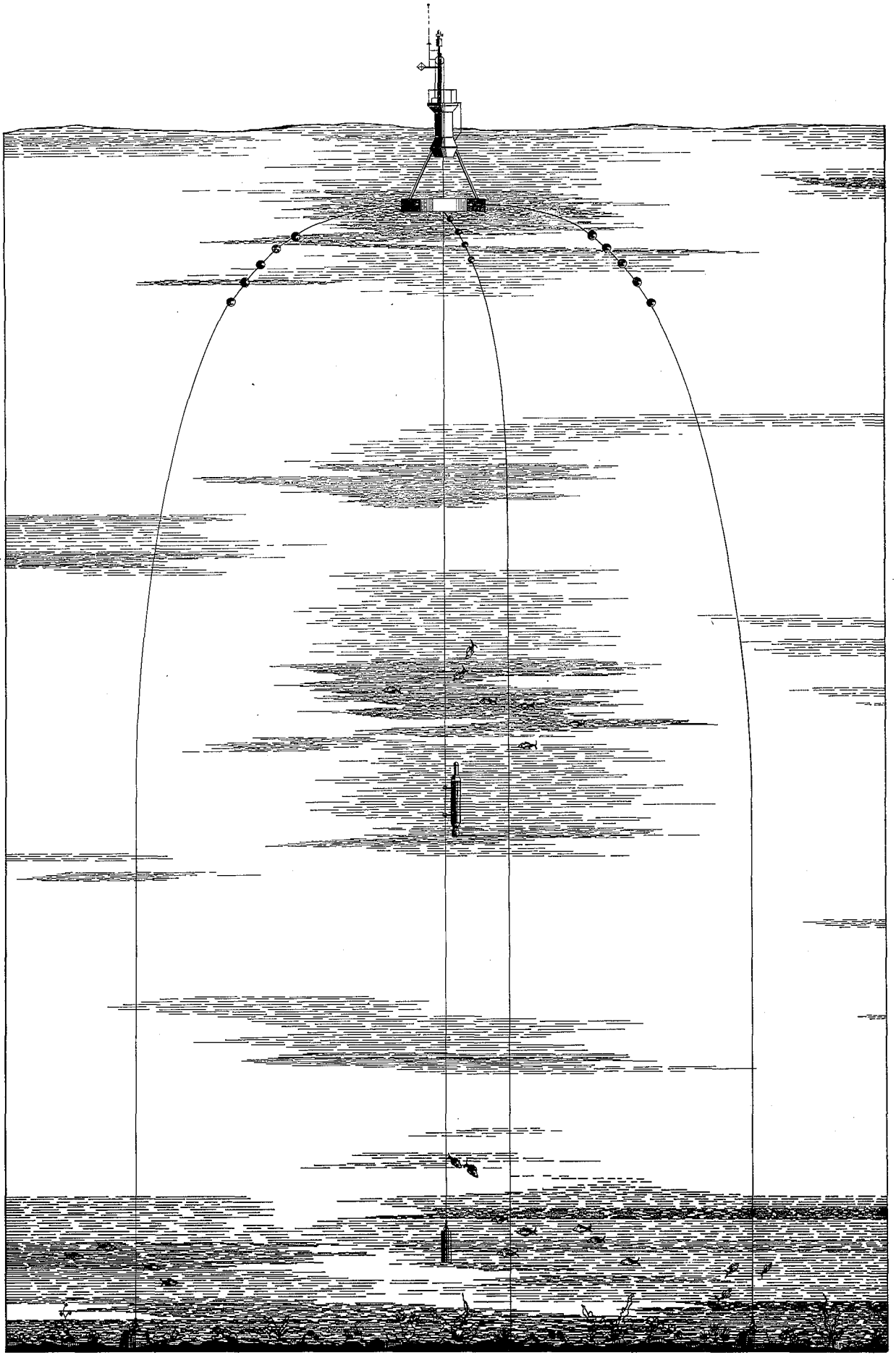
Die größte Ähnlichkeit mit einer reinen Tauchboje hat der Tauchkörper mit Eigenantrieb. Er gleitet mittels Führungsösen an einem Fesselseil, das an einem Schwimmkörper befestigt ist. Der Schwimmkörper ist ortsfest verankert. Zur Straffung des Seils ist am unteren Ende ein Ballastgewicht angebracht. Dies sorgt auch dafür, daß bei Querströmung eine zulässige Neigung des Tauchkörpers gegen die Vertikale nicht überschritten wird (Siehe Abb. 5.5.-1).

Die Arbeitsteilung des Systems ist wie folgt:

1) Ozeanographische Daten werden im Tauchkörper während des Tauchprogrammes gemessen, verarbeitet und gespeichert.

2) Am Ende des Tauchprogramms (1. Zyklus) werden die Daten über einen elektrodynamischen Übertrager an den Schwimmkörper weitergegeben. Gleichzeitig beginnt die Aufladung der Speicherbatterie des Tauchkörpers aus dem Schwimmkörper. Der neue Zyklus beginnt auf Befehl des Sequenzers.

ERNO



Tauchkörper mit Eigenantrieb
(System)

A 2/271

Abb. 5.5.-1

3) Die Erfassung der meteorologischen Daten und die Wellenmessung erfolgen durch den Schwimmkörper.

4) Die Aufbereitung und Speicherung aller Meßdaten sowie die Datenübertragung gehören zu den Funktionen des Schwimmkörpers.

Vorteile des Systems:

- Trennung der ozeanographischen und meteorologischen Funktionen.
- Tauchkörper kann große Tauchtiefen abfahren.
- Gute Auslegbarkeit der Antennen.
- Gute Wartbarkeit des Schwimmkörpers.

Nachteile des Systems:

- Schwierige Energie- und Datenübertragung vom Tauchkörper zum Schwimmkörper.
- Schlechte Wartbarkeit des Tauchkörpers.
- Teuere Konstruktion des Tauchkörpers
- 2 Energieversorgungen nötig (Tauchkörper u. Schwimmkörper).
- Schwierige Sicherung des Tauchkörpers gegen Verlust beim Seilriß.

Gesamtwertung:

Das System stellt hohe Anforderungen an die drahtlose Energieübertragungstechnik unter Wasser. Der Tauchkörper ist ein recht teures Gebilde im Vergleich zu den Leistungen, die er vollbringen soll. Es ist nicht zu verneinen, daß solch ein System zufriedenstellend arbeiten wird, wenn man die hohen Kosten der Anschaffung nicht scheut. Gemessen an den weiteren angebotenen Systemen stellt dieses nicht das Optimum dar.

5.5.2 Tauchkörper mit Windenantrieb

Eine Abwandlung der bislang in einigen Versionen gebauten integrierten Meßfühlerkabel läßt sich erzielen, wenn man ein einziges Sondenpaket mit einer Seilwinde das gewünschte Tiefenprofil abfahren läßt. Der Gewinn gegenüber einem integrierten Kabel ist beträchtlich.

1) Man braucht nur 1 Sondenpaket. Das reduziert die hohen Kosten der Meßausrüstung nahezu linear mit der Anzahl der eingesparten Sondenpakete.

2) Die Tiefenlage der Sonden ist variabel entsprechend dem gewünschten Tauchprogramm. Es ist möglich, innerhalb eines Programms jede beliebige Position einzunehmen.

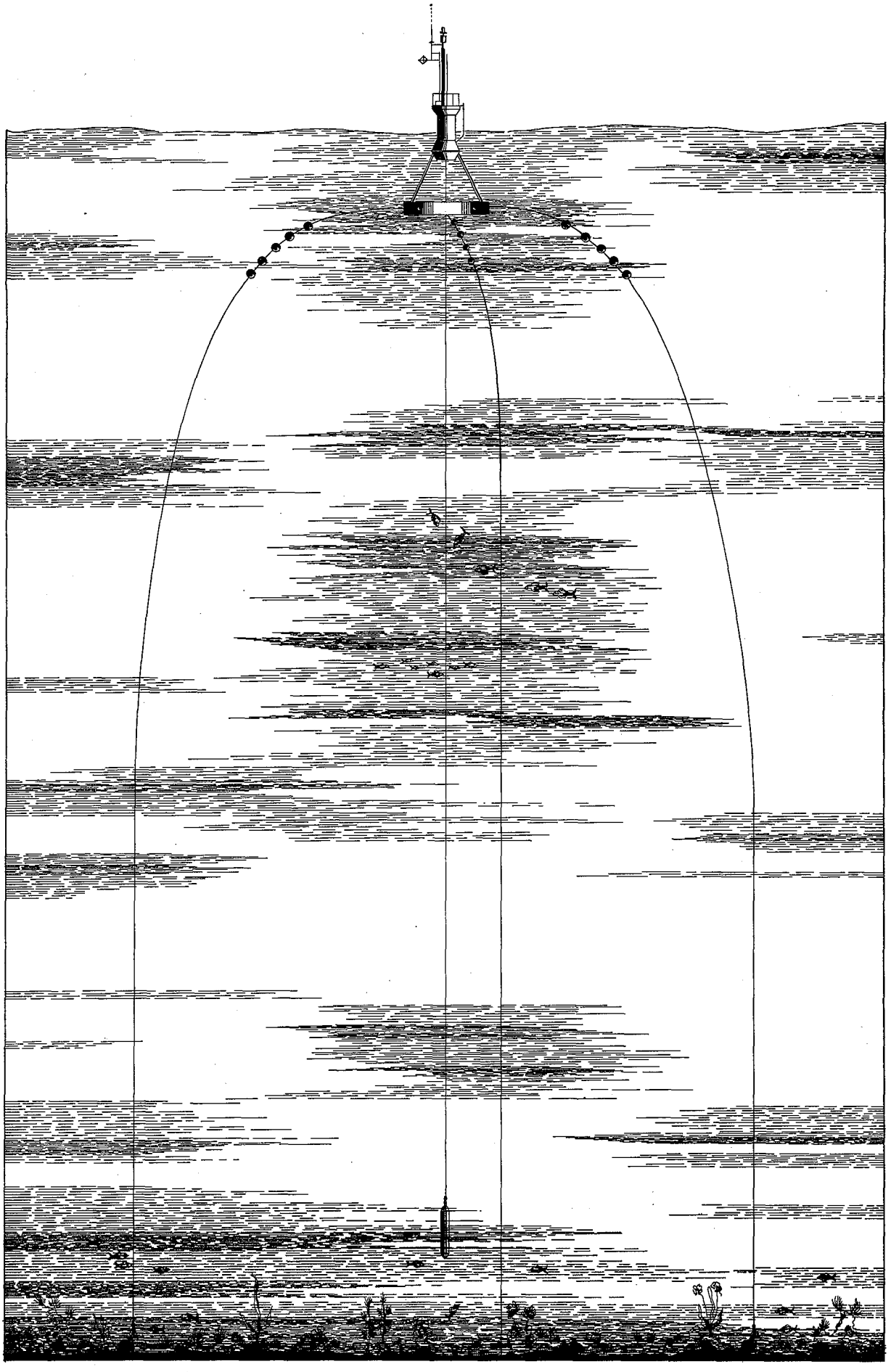
Das zur Diskussion gestellte System(Abb. 5.5.-2) hat eine Winde im Schwimmkörper, die von einem Elektromotor angetrieben wird. Je nach Länge des Seils, an dem der Tauchkörper hängt, ist die Trommel zum Aufwickeln bemessen. Die gesamte Energieversorgung und Elektronik, soweit sie nicht unmittelbar im Sondenträger untergebracht ist, befindet sich im Schwimmkörper.

Die Arbeitsteilung zwischen Tauchkörper und Schwimmkörper läuft nach folgendem Schema ab:

1) Ozeanographische Daten werden im Tauchkörper während des Tauchprogramms gemessen. Die Daten werden von einer Logik abgefragt und simultan über das Seil an den Schwimmkörper übertragen.

2) Meteorologische Daten werden im Schwimmkörper kontinuierlich und auf Sequencerbefehl abgefragt. Die Speicherung erfolgt im Schwimmkörper. Auf die gleiche Weise wird die Wellenmessung gehandhabt.

ERNO



Tauchkörper mit Windenantrieb
(System)

A 2/274

Abb. 5.5.- 2

3) Aufbereitung der ozeanographischen und meteorologischen Daten im Schwimmkörper zur Abgabe an Landstationen oder Satelliten.

Vorteile des Systems:

- Trennung der ozeanographischen und meteorologischen Funktionen.
- Tauchkörper kann große Tauchtiefen abfahren.
- Gute Auslegbarkeit der Antennen
- Gute Wartbarkeit des Schwimmkörpers.

Nachteile des Systems:

- Bei langem Seil Gefahr der Verzerrung oder des Verlustes der Meßdaten bei der Übertragung.
- Großer Platzbedarf auf der Schwimmboje für Seilwinde.
- Schwierige Sicherung des Sondenpakets gegen Seilriß.

Gesamtwertung:

Die Reduktion der Kosten für die ozeanographischen Sonden ist ein erheblicher Vorteil, der durch die zusätzliche Unterbringung einer Seilwinde nicht wieder ausgeglichen wird. Die Datenübertragung durch das Seil ist zu meistern. Der Wartungsbedarf ist weit geringer als bei 5.5.1. Für große Tauchtiefen ist das System weniger geeignet, weil das Seilgewicht und damit der Energiebedarf zum Aufwickeln recht groß wird.

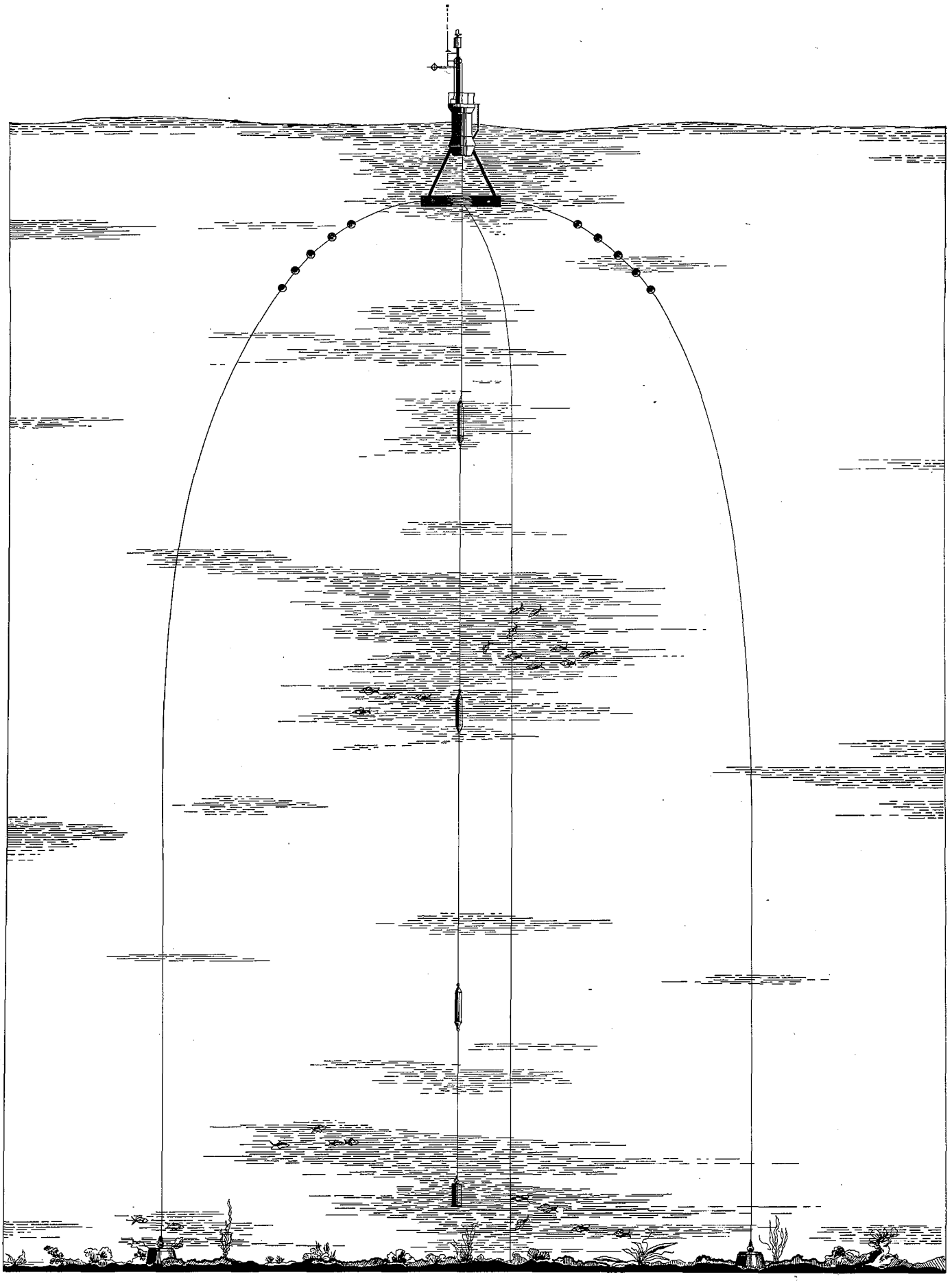
5.5.3 Mehrfachmeßebenen mit Windenantrieb

Eine Zwischenlösung aus integriertem Meßfühlerkabel und dem

Tauchkörper mit Windenantrieb sind die Mehrfachmeßebenen mit Windenantrieb (Siehe Abb. 5.5.-3).
Sie vermeiden den hohen Energiebedarf beim Auf- und Abfahren, weil sie nur um den Bruchteil der Strecke zu bewegen sind, der der Anzahl der Meßebenen entspricht. Die Vor- und Nachteile sind bis auf diesen Punkt die gleichen wie für 5.5.2.

In der Gesamtwertung muß ganz deutlich gesagt werden, daß dies System nur für große Tiefen sinnvoll eingesetzt werden kann, weil die Sensorkosten fast linear mit der Zahl der Ebenen steigen. Für geringere Tiefen ist ein Systen nach 5.5.2 besser geeignet, weil es billiger ist.

ERNO



Mehrfachmeßebenen mit Windenantrieb
(System)

Abb. 5.5.- 3

5.6 Systemauswahl

Alle drei Systeme unter Kapitel 5.5 sind ihrer Natur nach Kompromisse zwischen einer reinen Tauchboje und einer reinen Schwimmboje. Die Frage ist nicht unberechtigt, ob es sich lohnt, solche Kompromisse einzugehen. In der technischen Leistungsfähigkeit ist ein Kompromiß niemals das Optimum des Erreichbaren.

Betrachtet man die 3 Variationen in Konkurrenz gegeneinander, so stellt die Version des einfachen Sondenträgers mit Windenantrieb im Schwimmkörper Abb. 5.5.-2 den sinnvollsten Kompromiß dar. Die Gründe seien kurz genannt:

1) Der Tauchkörper ist ein relativ einfaches und billiges Gerät.

2) Es gibt keine Schwierigkeiten in der Korrelation mehrerer Meßebenen (Fehler infolge ungleicher Charakteristik).

3) Der Energiebedarf ist gering bei Tiefen bis 100 m.

Diese Gesichtspunkte würden bei einem internen Wettbewerb schwerer wiegen als der ernste systemeigene Nachteil, daß der Windenantrieb infolge der harten Bedingungen auf See (Seegang, Eisbildung, Korrosion, Bewuchs) zur Zeit noch nicht mit einer Wartungsfreiheit von mehr als 1 Jahr arbeitet. Ein weiterer Systemnachteil führt die Entwicklung in eine Sackgasse: Es ist wenig sinnvoll, die Version für größere Tiefen als 100 m einzusetzen, weil

- das Halteseil zu lang wird, woraus ein hoher Energiebedarf zum Heben des reinen Seilgewichts resultiert;

- die typische Oberflächenboje, die nicht an den Seegang gekoppelt ist, bei dem in den Einsatzgebieten zu erwartenden Seeverhältnissen nicht mehr

einsetzbar ist. Eine mit der Welle gehende Boje macht exakte Unterwassermessungen mit Tiefenreferenz unmöglich.

So muß die Frage, ob es sich lohnt, den Kompromiß zu schließen, nach Lage der Dinge negativ beantwortet werden. Die Forderungen nach einem brauchbaren Gesamtkonzept für die Erforschung des Ozeans lassen sich nicht generell erfüllen. Das schließt nicht aus, daß eines der genannten Systeme für ganz spezielle Einsätze seine Bedeutung haben kann. Richtungsweisend wird es indes nicht sein.

5.7 Kosten- und Entwicklungsplan

Zur Beurteilung der Systeme mit Schwimmkörper ist eine Übersicht über die entstehenden Kosten und Entwicklungszeiten von Interesse. Es ist versucht worden, eine grobe Schätzung durchzuführen, wobei jedoch auf den vorläufigen Charakter der Ergebnisse hingewiesen werden muß, da zur Zeit keine endgültige Schätzung möglich ist.

In den nachstehenden Tabellen sind die Kosten und Entwicklungszeiten für den Schwimmkörper und dessen Ausrüstung, bis auf Winde und Programmgeber, nicht enthalten. Die Kosten und Entwicklungszeiten für den Schwimmkörper mit seinen Komponenten, sowie die Kosten für Aussetzung und Wartung sind im Abschlußbericht der Firma Dornier-System enthalten.

Kostenplan für Systeme mit Schwimmkörper

Kosten in TDM	(1) Entwicklung	(2) 1. Prototyp	(3) (1) + (2)	(4) 10 Systeme	(5) (3) + (4)
Tauchkörper mit Eigenantrieb	4.070	638	4.708	5.740	10.448
Tauchkörper mit Windenantrieb	3.770	340	4.110	3.060	7.170
Mehrfachmeßebenen mit Windenantrieb (Annahme 3 Meßebenen)	3.720	650	4.370	5.850	10.220

Entwicklungsplan für Systeme mit Schwimmkörper

Tauchkörper mit Eigenantrieb	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Konstruktion Fertigung Komponentenversuche Montage u. Ausrüstung Aussetzung Erprobung Betrieb						
Tauchkörper mit Windenantrieb	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Konstruktion Fertigung Komponentenversuche Montage u. Ausrüstung Aussetzung Erprobung Betrieb						
Mehrfachmeßebenen mit Windenantrieb (Annahme 3 Meßebenen)	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Konstruktion Fertigung Komponentenversuche Montage u. Ausrüstung Aussetzung Erprobung Betrieb						

6. Vorschläge für Vertiefungsuntersuchungen

1. Dynamik des Tauchkörpers und Kinematik der Bewegung

   a) Aufstellung eines Rechenprogramms

   b) Durchführung einer Berechnung auf dem Rechner

   Die Durchrechnung ist erforderlich, um diffizile Bewegungsvorgänge des Tauchkörpers und des Gesamtsystems kennenzulernen.

2. Bau eines Modells zur Simulierung der Schwimm- und Tauchcharakteristik. Ermittlung von Widerstandsbeiwerten, Regelzeitkonstanten, Eigenfrequenzen

   Am Modell lassen sich die Parameter einer Rechnung besser bestimmen als wenn man nur auf theoretische Annahmen angewiesen ist. Zudem vermitteltdas Modell einen Einblick in die praktische Auslegung für spätere Großversuche.

3. Theoretische Untersuchungen für Komponenten, die in großen Wassertiefen einzusetzen sind, z.B. Elektromotoren, Verdichter, Steuerventile, Betätigungselemente, Winden.

   Zur Zeit sind nur Komponenten auf dem Markt, die für normalen Seebetrieb gedacht sind. Für die Entwicklung von Komponenten im Tiefseebetrieb bestand in Deutschland noch kein Absatzmarkt. Durch die intensive Erforschung des Meeres wird sich hier jedoch in kurzer Zeit jenseits der Tauchboje eine kommerzielle Anwendung bieten (Erdöltechnik, Lagerstättenforschung, Mineralgewinnung)

4. Studie über Meerwasseranalyse durch Neutronenaktivierung und Durchführung eines repräsentativen Versuchs.

   Diese zukunftsweisende Meßmethode bedarf noch einiger Erforschung. Sie gestattet die Messung der Meereszusammensetzung mit Hilfe aktiver Neutronen. Der Gewinn gegenüber konventionellen Mitteln ist beträchtlich.

5. Einsatz von Satelliten zur Datenübertragung

Abfragung von Meßbojen mittels Satelliten, wartungsfreie Datenübermittlung gestattet Ausdehnung des nationalen Netzes an internationale Systeme.

7. Literaturangaben

Dieses Kapitel enthält eine Zusammenfassung der Literaturangaben aus Zwischenbericht B2 und Abschlußbericht A 2.

1. R.D.Terry,
   Energy Sources and Energy Conversion, in:
   Ocean Engineering, Vol III, National Security
   Industrial Association 1966.

2. Oceanology International 69, technical session
   Brighton, 17. - 21. 2. 1969.

3. U. Bauer, J. Beushausen, W. Mialki und W. Zeisset,
   Vorlesungsmanuskript "Energieversorgung für Tauchfahrzeuge und Unterwasserstationen", Inst. f. Kerntechnik, Techn. Universität Berlin.

4. R.S. Devreux und F. D. Jenning,
   Monster Bouy, Geo-Marine Technology, 1965/66, S 18, April 1966.

5. W. R. Corliss und D.G. Harvey,
   Radioisotopic Power Generation, Prentice-Hall,
   Inc. 1964

6. Ch.E. Leach und B.C. Fryer,
   A 7,3 kw (e) Radioisotope Energized Undersea
   Stirling Engine, IECEC 1968 Record, S. 830

7. C. Dominguez,
   Supply of Radioisotopes for Power, Paper 18 des
   Symposions "Industrial Applications for Isotope
   Power Generators", Harwell, 28. - 30. 9. 1966.

8. H.-J. Born,
   Actiniden für Radionuklidbatterien, Atompraxis
   15, 32 (1969).

9. C.K. Moorehouse et al
   Batteries
   Proceedings of the IRE, August 1958.

10. P. Rappaport,
Space Power: The Next Step
Space/Aeronautics Sept. 1965.

11. I.D. Gylfe,
Nuclear Power Systems for Advanced
High-Powered Communications Satellites
AIAA Paper No. 66-305.

12. W. Vielstich,
Brennstoffelemente
Verlag Chemie GmbH, 1965.

13. Space Power Systems State of the Art
J.Spacecraft Sept/Oct. 1965

14. K.J. Euler,
Energie-Direktumwandlung
Verlag Karl Thiemig KG München 1967

15. S. J. Rimschau,
Isotopic Power Data Sheate ORNL

16. J.S. Cochran,
Application of Fission Products
for Large Heat Sources. (USA "Isochem Inc.'s")
International Symposium A.E.R.E. Harwell 9. 66

17. E.E. Ketchen, R.E. Mc. Henry,
Termal Conductivities of ^{90}Sr Heat Source
Materials Isotopes Development Center ORNL.

18. M. Poskin,
Actinium 227 Radiation characteristics
Union Miniere Brüssel U.M.H.K. 1966.

19. Robert J. Urik,
Principles of Underwater Sound for Engineers.
Mc. Graw Hill, New York, 1967.

20. D.G. Tucher and B.K. Gazey
Applied Underwater Acoustics
Pergamon Press, Oxford, 1966.

21. van Tolstoy and C.S. Clay,
Ocean Aconstics
Mc Graw Hill, New York 1966.

22. J. M. Snodgrass,
"Radio Telecommunications for Data Telemetring from Ocean Bouys", Proceedings of RCTM Meeting, Williamsburg, Va., 9. March 1966.

23. A. L. Girard,
"Signal Design and Discrete Adressing in Oceanographic/ Meteorological Buoy Telemetry Using HF Radio".

24. F.Webster,
"Some Perils of Measurements from Moored Ocean Buoys"
Trans. 1964. Buoy Tech.Symp., Marin.Tech. Soc., Washington, D.C., S.33-48.

25. "Buoy Technology"
Buoy Technology Sympos., Marin.Tech.Soc.,March 1964.

26."Buoy Technology"
Transactions, 2nd International Buoy Technology Symposium 1967, Marine Tech.Soc., Washington, D.C.

27. R.F. Denton and P.C.Stahl
"Concept and Design of the Seas Buoy System, The New Thrust Seaward, "Marine Tech. Soc., S.493-501.

28. J.R.Graham
"Mooring Techniques", Ocean Industry, S.1A-5A.

29. W.G.Sherwood,
"Deep-Sea Mooring Systems", Undersea Technology, 8:6:14-17, 22 June, 1967.

30. J.E.Smith
"Structures in Deep Ocean. Chapter 7:Buoys and Anchorage Systems" U.S. Naval Civil Engineering Laboratory, U.S. NCEL-TR-284-7, AD 473928, Okt. 1965.

31. J.S.Warhurst,
A.Free Diving Oceanographic Buoy"
Data Control Division, Vol. 2,1965, S.1-25

32. H.W.Straub et al,
"Instrumented Telemetering Sea Buoys"
Technical Bulletin, Vol.26, 1965, S.1-25.

33. J. Marriott,
"Ocean Buoys.A Guide to Ocean Buoys, Their Instrumentation, Anchoring, and Power Supplies".

34. G. Dietrich und K.Kalle
"Allgemeine Meereskunde" Gebr. Bornträeger 1965.

35. "Deutscher Wetterdienst"
Veröffentlichungen 45 und 47.

36. W. Henschke
"Schiffbautechnisches Handbuch.

Typ 2: Tiefwasserversion

Abb. 4.2.1.-2 repräsentiert die Tiefwasserversion. Sie ist aus der Flachwasserversion hervorgegangen durch Wegfall der Stabilisierungskörper und Einfügen eines Ergänzungsteils. Der Tauchkörper ist insgesamt wesentlich schlanker. Auf diese Weise liegt der Schwerpunkt genügend weit unter dem Auftriebszentrum, so daß der Körper immer stabil vertikal steht. Das erlaubt auch, den Mast zu verlängern, um höheren Wellen in tiefen Seegebieten auszuweichen.

Die Version besteht aus den Sektionen:

- Mast II
- Auftrieb II
- Ergänzungsteil
- Batterie- und Elektronik
- Antrieb

Einsatzgebiet: 200 m bis 1.200 m Wassertiefe
Gesamtgewicht: 2.700 kg.

4.2.1.1 Mastsektion

Der Mast ist eine Leichtkonstruktion aus seewasserbeständigem Aluminium. Er befindet sich im aufgetauchten Zustand der Boje über Wasser. Strenggenommen gilt dies nur für ruhige See. Der Normalfall wird sein, daß der Mast mehr oder weniger hoch von Wellen umspült wird, weil die Tauchboje nur teilweise an die Bewegung der Wellen gekoppelt ist. Im ungünstigsten Fall müßte der Mast so lang sein wie die größten zu erwartenden Wellen hoch sind. Das führt indes zu unvertretbaren Dimensionen, denn je länger der Mast ist, desto größer ist das Moment unter dem Einfluß von Windkräften und Schwallwasser, das den Tauchkörper zu kentern versucht. Dieser Fall tritt nur bei starkem Sturm auf, dann bleibt die Tauchboje aber unter Wasser.