

## Abteilung II — Seeschifffahrt

### Thema 1

#### Technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte der festen oder schwimmenden Bauwerke auf offener See und im tiefen Wasser:

- Schutzbauten gegen das Meer
- Anlagen für das Löschen und Lagern der Güter
- Anlagen für die Suche und Ausnutzung der Bodenschätze
- Anlagen für Seezeichen

von

Dr.-Ing. Hans D a h m e, Ltd.Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Kiel; Dipl.-Ing. Wolfgang G e r l a c h, Oberregierungsbaurat, Wasser- und Schiffahrtsamt Kiel; Dipl.-Ing. Hans N a g e l, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Hamburg; Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Wolfram S c h e n c k, Direktor der Philipp Holzmann AG., Hamburg; Dipl.-Ing. Jürgen Z a n d e r, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Bremen.

#### Zusammenfassung

Der Bericht beschränkt sich auf die Errichtung von Leuchttürmen in der offenen See und fußt auf den vor der deutschen Küste gewonnenen praktischen Erfahrungen.

Nach einer Schilderung der besonderen Verhältnisse der deutschen Küste werden zunächst ausgeführte Bauwerke in der Wesermündung und in der Ostsee gebracht. Vor der Weser sind dies besonders die Leuchttürme „Alte Weser“ und „Tegeler Plate“, die unter sehr unterschiedlichen örtlichen Verhältnissen errichtet wurden, und zwar „Alte Weser“ im tiefen Wasser mit Brunnengründung, „Tegeler Plate“ im flachen, brandungsgefährdeten Wasser durch Einspülung als vollständiges Fertigteil. In der Ostsee werden die Leuchttürme „Kalkgrund“ vor der Flensburger Förde sowie „Kiel“ und „Friedrichsort“ in der Kieler Förde behandelt, von denen die beiden ersten je ein Feuerschiff ersetzt haben. Die Wassertiefen sind hier nicht grundsätzlich verschieden, doch bedingen die unterschiedlichen Bodenverhältnisse jeweils ein anderes Gründungsverfahren: Pfahlgründung für „Kalkgrund“, Schwimmkastengründung für „Kiel“ und künstliche Sandinsel für „Friedrichsort“. Konstruktion und Bauvorgang werden einzeln beschrieben.

Sodann befaßt sich der Bericht mit zwei geplanten Leuchttürmen in der Elbemündung, die ebenfalls zwei Feuerschiffe ersetzen sollen. Bei annähernd gleichen Gründungsvoraussetzungen wird ein vorliegender Entwurf mit Brunnengründung erläutert.

Ein weiterer Abschnitt enthält allgemeine technische und wirtschaftliche Betrachtungen zu dem Problem und beschreibt weitere mögliche Konstruktionen sowie Gründungs- und Bauverfahren.

Schließlich werden die an der deutschen Küste gesammelten Erfahrungen zusammengefaßt: Seegang, Wind, Strömung, Eisdruck, Schiffsstöße, Korrosion und Sandschliff sind die wesentlichen äußeren Einwirkungen, die beachtet werden müssen. Eisdruck wird mit 50—100 Mp/m<sup>2</sup> angesetzt, die Angriffsflächen sind daher möglichst klein zu halten.

Kolke können durch den Baukörper oder das Bauverfahren entstehen; ihnen ist durch runde Form der Einbauten und entsprechende Sohlenbefestigung zu begegnen.

Gerüste sind nicht zu vermeiden, sie müssen schwer und hochliegend sein sowie Baugeräte und Unterkünfte aufnehmen können. Hubinseln haben sich bewährt, sind aber teuer und nur für große Objekte vertretbar.

Ein oder mehrere Fertigteile aus Stahl können beträchtliche wirtschaftliche Vorteile bieten, setzen aber entsprechende Kräne und ruhige Wetterlage voraus. Aufteilung in mehrere Fertigteile, die verschraubt werden, ermöglicht spätere Korrektur von Position und Stellung.

Für Transport, Absetzen, Absenken und Montage großer Stahlbetonfertigteile sind in Deutschland vier Verfahren erprobt; ihre Wahl hängt von den örtlichen Verhältnissen und dem Bauwerk selbst ab.

Genauigkeit von Position und Stellung des Bauwerkes werden zwar vorwiegend von den seezeichentechnischen Forderungen bestimmt, zu kleine Toleranzen führen jedoch zu erheblichen Kostensteigerungen. Die Forderungen sollten daher nicht zu hoch geschraubt werden.

### Inhalt

	Seite
1. Veranlassung zu Leuchtturmbauten in offener See .....	172
2. Ausgeführte Bauwerke .....	172
2.1 Leuchttürme in der Wesermündung .....	172
2.1.1 Entwurfsgrundlagen .....	172
2.1.2 Konstruktion und Baudurchführung .....	174
2.1.2.1 Leuchtturm „Alte Weser“ .....	175
2.1.2.2 Leuchtturm „Tegeler Plate“ .....	176
2.1.2.3 Weitere Leuchttürme .....	177
2.2 Leuchttürme in der Ostsee .....	177
2.2.1 Entwurfsgrundlagen .....	177
2.2.2 Konstruktion und Baudurchführung .....	180
2.2.2.1 Leuchtturm „Kalkgrund“ .....	180
2.2.2.2 Leuchtturm „Kiel“ .....	182
2.2.2.3 Leuchtturm „Friedrichsort“ .....	185
3. Geplante Leuchttürme in der Elbemündung .....	187
3.1 Entwurfsgrundlagen .....	187
3.2 Stand der Entwurfsarbeiten .....	188
4. Technik und Wirtschaftlichkeit .....	190
4.1 Allgemeine Betrachtungen .....	190
4.2 Brunnengründung .....	192
4.3 Pfahlgründung .....	193
5. Erfahrungen und Folgerungen .....	193
	171

## 1. Veranlassung zu Leuchtturmbauten in offener See

Die deutsche Küste bietet der Schifffahrt von und zu den deutschen Häfen besondere Gefahren, die in der Gestaltung der Küstenlinie und des Küstenvorfeldes ihre Ursachen haben.

Die der Tide unterworfenen deutsche Nordseeküste ist gekennzeichnet durch tiefeingeschnittene, trichterförmige Flußmündungen sowie umfangreiche Sände, die der Küste bis zu 30 m Breite vorgelagert und langfristigen Veränderungen unterworfen sind. Anhand von Vergleichen der 100 Jahre und mehr zurückreichenden Seekarten lassen sich dabei vielfach gesetzmäßig verlaufende, periodische Veränderungen innerhalb einiger Jahrzehnte nachweisen. Innerhalb der Sände verlaufen lange, schmale und gewundene Fahrwasser, die neben Tiefen über 20 m auch Stellen geringer Tiefe vor den Flußmündungen und in Bereichen geringer Tideströmung aufweisen.

Die tidefreie Ostsee war während der Eiszeit ganz mit Eis überdeckt, füllte sich bei dessen Rückzug mit Schmelzwasser, wurde durch eine Landhebung zum Binnenmeer und erhielt bei einer nachfolgenden Erhöhung des Wasserspiegels durch die Belte und den Oresund ihre Verbindung zur Nordsee. Die Eiszeit bescherte der deutschen Ostseeküste zwar hervorragende Naturhäfen, die in die Moränenlandschaft eingebettet und tief ins Land eingeschnittenen Förden erschwerten aber die Zufahrt zu den aus Sicherheitsgründen und wegen der kürzeren Landverbindungen am inneren Ende der Förden angelegten Häfen. Nachweislich sind daher schon seit dem 14. Jahrhundert mit der Blüte der Hansezeit zahlreiche Seezeichen vor der deutschen Küste als schwimmende Fahrwassertonnen oder feste Leuchttürme errichtet und betrieben worden, die der Schifffahrt als sicherer Wegweiser durch das Küstenvorfeld zu den Häfen dienen sollten.

Die Entwicklung der Schifffahrt in den letzten Jahrzehnten, die Zunahme der Schiffsgrößen und das aus Gründen der Wirtschaftlichkeit bedingte Bedürfnis nach einer gefahrlosen Benutzbarkeit der Seeschiffahrtstraßen auch bei unsichtigem Wetter zwingt die Bundes-Wasser- und Schifffahrtsverwaltung zu einer durchgreifenden Verbesserung des Befahrungssystems vor den deutschen Küsten unter Ausnutzung der heutigen wasserbau- und seezeichentechnischen Erkenntnisse. Im Zuge der in diesem Zusammenhang ergriffenen Maßnahmen sind u. a. 9 Leuchttürme in der offenen See errichtet worden; weitere Türme sind in der Planung bzw. Bauvorbereitung. Sie sind Eckpfeiler des im Aufbau befindlichen automatisierten und ferngesteuerten Seezeichensystems der deutschen Küste. Über technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte, die Standort, Konstruktion und Durchführung dieser Bauwerke bestimmen, soll nachfolgend berichtet werden, wobei auch ein Blick auf die Zukunft geworfen wird und Folgerungen aus den deutschen Erfahrungen gezogen werden.

## 2. Ausgeführte Bauwerke

### 2.1 Leuchttürme in der Wesermündung

#### 2.1.1 Entwurfsgrundlagen

An der Außenweser wurden 1961 bis 1964 der Leuchtturm „Alte Weser“ und 1964 bis 1965 der Leuchtturm „Tegeler Plate“ errichtet. Beide stehen rd. 50 bzw. 40 km vom nächstgelegenen Hafen Bremerhaven entfernt und sind dem Seegang, der in die nach Nordwesten offene Wesermündung ungehindert einläuft, in vollem Umfang ausgesetzt (Abb. 1). Vier kleinere Türme folgten weseraufwärts in geschützterer Lage.

In der Außenweser verlagern sich umfangreiche Sände im Laufe von einigen Jahrzehnten periodisch. Kartenvergleiche zeigen, daß stets zwei durch einen Mittelgrund

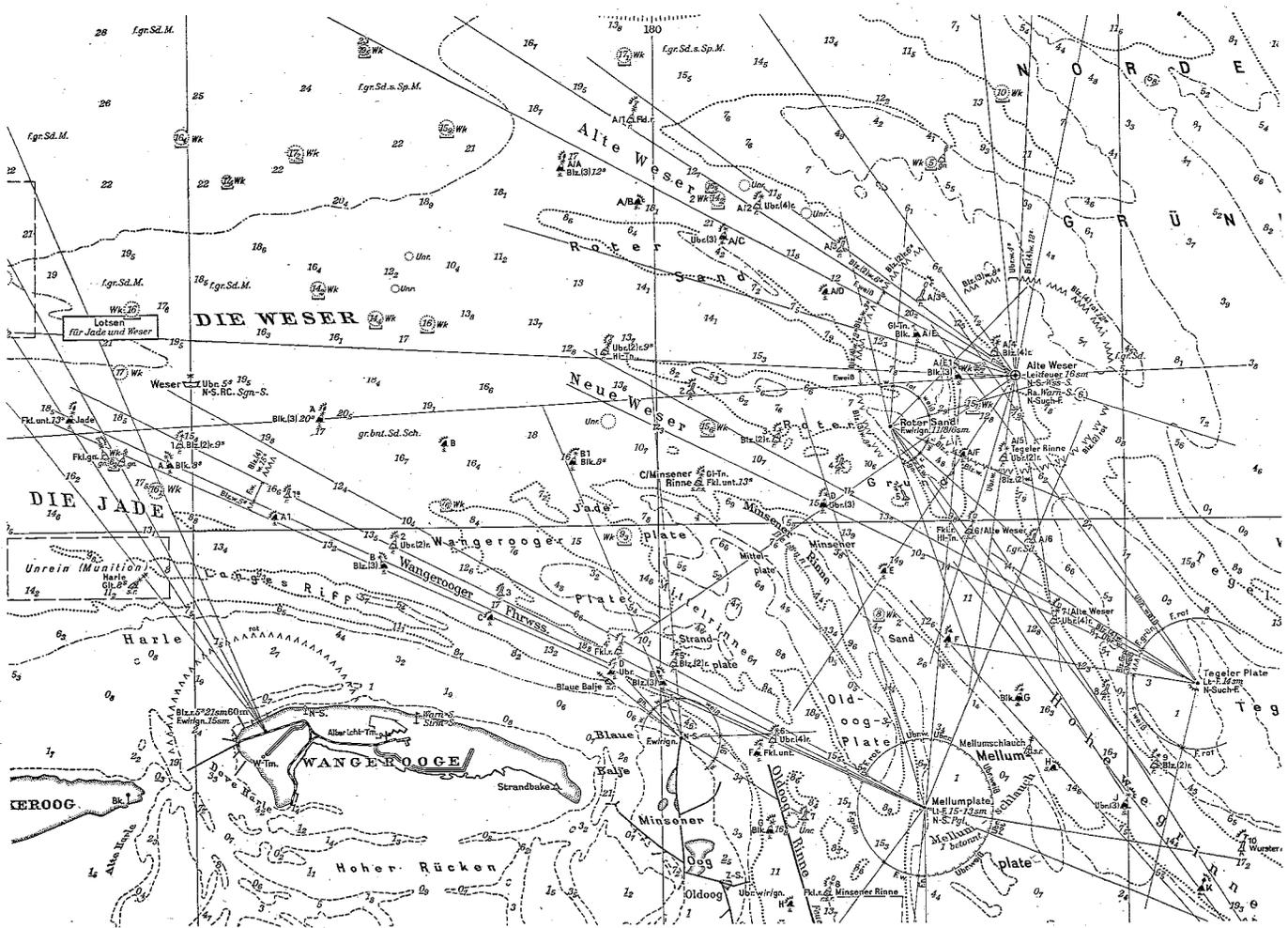


Abb. 1: Seekartenausschnitt Außenweser

getrennte Stromrinnen, die Alte Weser und die Neue Weser, der Schifffahrt zur Verfügung stehen. Die mittlere Wassertiefe bei MTnw beträgt beim Leuchtturm „Alte Weser“ 10 m, beim Leuchtturm „Tegeler Plate“ 2 m bei einem mittleren Tidehub von 2,70 m. Wegen der laufenden Umbildung der Stromrinnen waren erhebliche Tiefenänderungen zu berücksichtigen. Der Baugrund ist tragfähig und besteht überwiegend aus Mittel- bis Feinsanden. Als angreifende Kräfte wurden Winddruck mit 250 kp je m<sup>2</sup>, maximale Wellenhöhen von 7,5 m und Eisdruck mit 50 Mp/m Turmdurchmesser sowie zusätzlich für den Leuchtturm „Alte Weser“ Schiffsstoß von 830 Mp angesetzt.

Dieser schwierige Fahrwasserbereich war bisher durch den auf dem Mittelgrund stehenden Leuchtturm „Roter Sand“, das an der Vereinigung der Stromrinnen ausliegende Feuerschiff „Bremen“ und zahlreiche Leuchtkorven bezeichnet. Eine eingehende Prüfung des Leuchtturmes „Roter Sand“ hatte ergeben, daß die Standsicherheit dieses Bauwerks wegen zerstörender Korrosion des Stahlmantels gefährdet war. Eine Sicherung des rd. 80 Jahre alten Turmes war wirtschaftlich nicht vertretbar. So fiel die Entscheidung für zwei Neubauten, die zusätzlich das in zwei Schichten mit insgesamt 20 Mann besetzte Feuerschiff „Bremen“ ersetzen konnten und damit erhebliche Betriebs- und Unterhaltungskosten einsparten.

Die Überlegungen über die günstigsten Standorte gingen von der Forderung aus, beide Schifffahrtsrinnen möglichst jederzeit durch Leit- und Warnsektoren bezeichnen zu können. Aufgrund eingehender Untersuchungen wurde eine Position am Rande der Alten Weser sowie eine zweite auf einer Sandbank rd. 8 km weiter südöstlich, der „Tegeler Plate“ ausgewählt (Abb. 1).

Die vielseitigen Aufgaben der beiden Leuchtfeuer erforderten eine umfangreiche seezeichentechnische Ausrüstung. Dabei war zu berücksichtigen, daß der Leuchtturm „Tegeler Plate“ von vornherein und „Alte Weser“ zu einem späteren Zeitpunkt unbemannt betrieben werden sollten.

Die Aufgaben des Leuchtturmes „Alte Weser“ erforderten:

Leuchtfeuer in rd. 33 m Höhe über MThw mit einer Tragweite von 28 sm

Luftnebelschallsender

Radaranlage mit Fernübertragung der Radarinformation nach Bremerhaven

UKW-Sprechfunkanlagen

Schreibpegel und weitere Geräte zur Messung meteorologischer und meereskundlicher Daten

Energieversorgung durch Hochspannungsseekabel über rd. 35 km Entfernung und zwei Notstromaggregate von je 60 KVA

Anlagen zur Fernsteuerung der Seezeichengeräte und Fernübertragung von Meßwerten

Unterkunftsräume für je 4 Mann Besatzung in zwei Schichten sowie zeitweise Handwerker oder Personal für wissenschaftliche Beobachtungen

Auf dem Leuchtturm „Tegeler Plate“ befinden sich nur ein Leuchtfeuer in rd. 21 m Höhe über MThw mit 18 sm Tragweite und Anlagen zur Fernsteuerung. Die Energieversorgung erfolgt über das gleiche Hochspannungsseekabel wie beim Leuchtturm „Alte Weser“. Für die Notstromversorgung ist ein 15 KVA-Aggregat eingebaut.

## 2.1.2 Konstruktion und Baudurchführung

Die ungeschützte Lage der Baustellen erforderte Konstruktionen und Bauverfahren, die es erlaubten, die Arbeiten auf See weitgehend einzuschränken und einen möglichst

großen Teil der Fertigung an Land durchzuführen; für unvermeidbare Bauvorgänge vor Ort mußten feste Arbeitsplattformen geschaffen werden. Diesen Bedingungen trugen zwei bei den Ausschreibungen eingereichte Sonderentwürfe am besten Rechnung.

#### 2.1.2.1 Leuchtturm „Alte Weser“

Der Leuchtturm „Alte Weser“ (Abb. 2) hat einen sehr schlanken Turmschaft mit einem Durchmesser von nur 6,50 m im Bereich der Wasserwechselzone; der in die Sohle einbindende Fuß verbreitert sich auf 15,00 m. Sämtliche betrieblichen Anlagen und Wohnräume sind in mehreren Geschossen übereinander in dem weit ausladenden Turmkopf untergebracht (Abb. 3). Diese Form bietet Seegang und Eis nur eine kleine Angriffsfläche. Wegen der Korrosionsgefahr wurde Stahl für tragende Konstruktionsteile nur dort verwendet, wo eine laufende Erneuerung des Korrosionsschutzes gewährleistet war. Daher besteht der Turmschaft von der Sohle bis zur Oberkante des konischen Teils aus wasserdichtem, seewasserbeständigem Stahlbeton; die äußere Stahlhaut dient lediglich als Schalung und ist statisch nicht berücksichtigt. Sie ergab sich auch aus dem gewählten Bauvorgang, da der Turm mit den erforderlichen Aussteifungen in 3 Teilen in einem Trockendock hergestellt wurde. Turmfuß und -schaft wurden auf einer Hubinsel über rd. 70 sm nach Cuxhaven und von dort rd. 35 sm über See zur Baustelle geschleppt. Nach Hochjacken der Plattform wurde der Turmschaft als offener Brunnen mittels zahlreicher an der Innenkante der Brunnenschneide angebrachter Spüldüsen auf 10 m unter Meeressohle abgesenkt, der gelöste Boden mit einer Unterwasserpumpe ausgeworfen und eine rd. 5 m starke Sohle als Unterwasserbeton eingebracht. Nunmehr konnten der abgedichtete Stahlmantel leergepumpt und der Stahlbeton im Trockenen eingebracht werden, wobei gleichzeitig Treppen, Pegelschaft, Wasser- und Treibstoffbehälter eingebaut wurden.

Im 2. Bauabschnitt wurde der inzwischen mit allen Einbauten fertiggestellte Turmkopf auf der Hubinsel zur Seebaustelle transportiert. Die Hubinsel wurde dort so abgesetzt, daß ein U-förmiger Ausschnitt der Hubinsel den Turmschaft umfaßte. So war es mög-

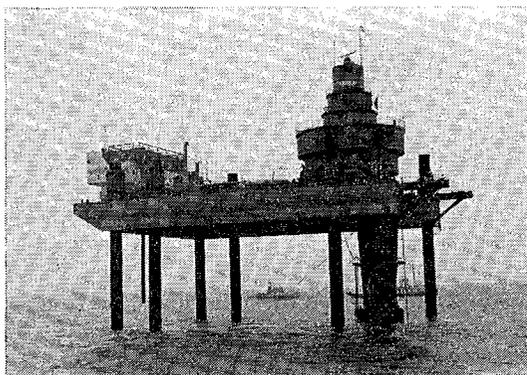


Abb. 2: Leuchtturm „Alte Weser“ (Bauzustand)

lich, nach Hochjacken den Turmkopf auf Traversen seitwärts über den Turmschaft zu schieben, auf diesem abzusenken und mit ihm zu verschweißen. Damit war die Aufgabe der Hubinsel auf der Seebaustelle als Abstützung des entstehenden Bauwerks, Standort für die Baustelleneinrichtung, Lagerplatz für die benötigten Baustoffe und als Unterkunft für das gesamte Baustellenpersonal beendet. Die restlichen Ausbaurbeiten umfaßten

das Einführen des Stromversorgungskabels, Anstricharbeiten und Montage der seezeichentechnischen Anlagen sowie die Vervollständigung der Sohlensicherung, die z. T. schon vor Absenken des Turmes aufgebracht worden war, durch Senkstücke und Schüttsteine.

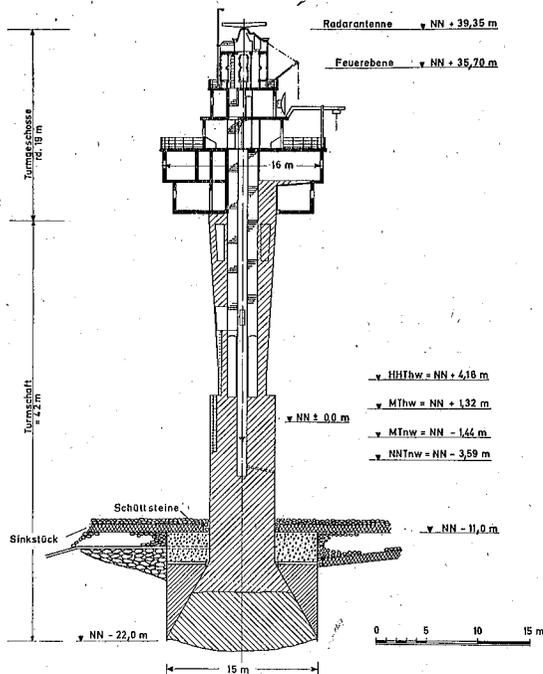


Abb. 3: Querschnitt „Alte Weser“

### 2.1.2.2 Leuchtturm „Tegeler Plate“

Für die grundsätzlich andere Gestaltung des Leuchtturmes „Tegeler Plate“ war maßgebend, daß auf der flachen Tegeler Plate wegen starker Brandung eine regelmäßige Versorgung dieser Baustelle mit Schiffen nicht sichergestellt war. Es mußte daher die Bauzeit auf See auf die denkbar kürzeste Zeitspanne eingeschränkt werden. Dieses Ziel wurde erreicht durch Fertigung des gesamten Turmes aus Stahl an Land. Der Korrosionsgefahr wurde durch eine erheblich verstärkte Rohrwandung in der Wasserwechselzone begegnet. Nach Fertigstellung des 30 m langen Gründungsrohres mit 2,5 m Durchmesser, des 7,5 m langen Schaftes und des 8 m im Durchmesser messenden Turmkopfes mit Laterne wurden zunächst das Gründungsrohr senkrecht in den Kran eines speziell für diese Arbeit hergerichteten Hebeschiffes eingehängt und danach Schaft und Turmkopf, die bereits vorher miteinander verbunden und voll ausgerüstet waren, auf das Gründungsrohr aufgesetzt. Das insgesamt 47 m lange Bauwerk ragte jetzt 42 m aus dem Wasser heraus, da die Wassertiefen an der Baustelle nur ein 5 m tiefes Eintauchen des Gründungsrohres gestatteten. Nach einem Schleppweg von rd. 30 sm über See konnte der 140 Kp schwere Turm mit Hilfe von 6 Spülrüttlern in nur wenigen Stunden auf die planmäßige Einspültiefe von 18 m abgesenkt werden. Anschließend waren nur noch die Kabeleinführung mit Sohlensicherung sowie Anstricharbeiten und Montage der seezeichentechnischen Anlagen durchzuführen.

### 2.1.2.3 Weitere Leuchttürme

Die Erfahrungen beim Bau des Leuchtturmes „Tegeler Plate“ hatten gelehrt, daß es außerordentlich schwierig ist, ein Rohr mit diesen Abmessungen von einem schwimmenden Gerät aus genau senkrecht einzuspülen und danach noch so lange in der senkrechten Stellung festzuhalten, bis der durch die Spülung in Schwebelage gehaltene Boden sich genügend abgesetzt hat, um das Rohr einzuspannen. Beim Bau weiterer kleiner Leuchttürme, die allerdings nicht so exponiert und auf noch geringeren Wassertiefen wasser- aufwärts stehen, hat man daher das Bauwerk in zwei Abschnitten errichtet. Im ersten Arbeitsgang wurde nur das Gründungsrohr eingespült, im zweiten Arbeitsgang das restliche Bauwerk aufgesetzt und beide Teile miteinander verschraubt. Dadurch ergibt sich bei nicht exakt senkrecht eingespültem Gründungsrohr die Möglichkeit einer Korrektur. Mit dieser Methode sind inzwischen an der Außenweser 4 und in der Jade 2 Leuchttürme errichtet worden, von denen das Langlütjen-Unterfeuer, das neben dem Leuchtfeuer noch eine ferngesteuerte Schaltstelle für 5 Leuchtfeuer in einem größeren Turmkopf enthält, das bemerkenswerteste Beispiel ist (Abb. 4).

## 2.2 Leuchttürme in der Ostsee

### 2.2.1 Entwurfsgrundlagen

Vor der Ostseeküste wurden bisher 3 Leuchttürme in der offenen See errichtet, und zwar 1962/63 „Kalkgrund“ vor der Flensburger Förde, 1964/67 „Kiel“ vor der Kieler Förde, der gleichzeitig Lotsenstation ist, und 1969/71 „Friedrichsort“ in der Kieler Förde (Abb. 5). Alle drei Türme sind zwar den wesentlich geringeren Seegangseinwirkungen der Ostsee ausgesetzt, erhalten aber in starken Eiswintern, die durchschnittlich alle 5 bis 7 Jahre auftreten, erheblich größeren Eisdruck.

Die eiszeitliche Entstehung des Ostseebeckens bildete zwar die Steilufer und die Erhebungen unter Wasser aus festem, von Findlingen durchsetztem Mergel mit zwischengelagerten Sandschichten, füllte die Tiefen der Förden und Rinnen aber mit Torf und kleiartigen Weichschichten sowie schluffreichem Sand auf. Schon in ganz ufernaher Zone steht daher oft der tragfähige Grund erst in über 20 m Tiefe an.

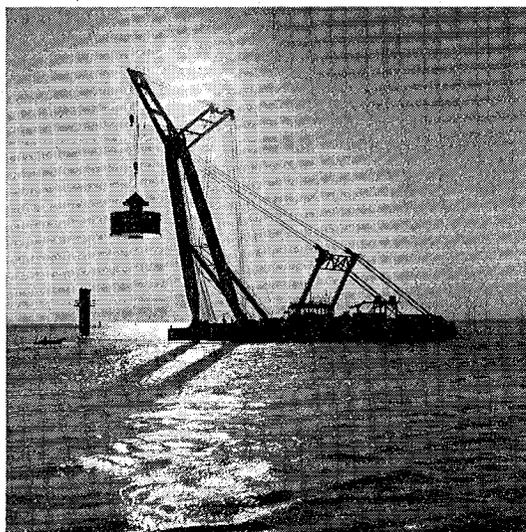


Abb. 4: Langlütjen-Unterfeuer, Leuchtfeuer

Die Kieler Bucht hat sich durch den Bau des Nord-Ostsee-Kanals zu einem Sammelbecken des Schiffsverkehrs entwickelt (Abb. 5). Der Hauptverkehr kommt aus dem Osten durch den Fehmarnbelt; vor der Kieler Förde trifft der Teilverkehr aus dem Norden auf ihn. In der inneren Kieler Förde, im Schutze der Friedrichsorter Enge, erreicht der Verkehrsstrom die Eingangsschleusen zum Nord-Ostsee-Kanal.

Wie heute noch im Fehmarnbelt lagen vor der Kieler Förde und vor der Flensburger Förde Feuerschiffe als Ansteuerungsziele aus. Daß beide Feuerschiffe durch feste Türme ersetzt wurden, hatte im wesentlichen folgende Gründe:

Die starke Zunahme des Verkehrs und das Anwachsen der Schiffsgrößen führte zu einer steigenden Gefährdung der Feuerschiffe

Moderne, leistungsstarke Schiffe und Eisbrecher ermöglichen im Winter auch dann noch Verkehr, wenn sich die Feuerschiffe nicht mehr auf Position halten können; sie mußten im Mittel alle fünf Jahre für 3 bis 4 Wochen eingezogen werden

Feuerschiffe sind Seegang und Strömung unterworfen und können deshalb nur ein Rundumfeuer in geringer Höhe über dem Wasserspiegel tragen, während Leuchttürme durch große Feuerhöhen mehr Sichtweite erzielen sowie durch Leit- und Warnsektoren Schiffsfahrtswege bezeichnen und Untiefen begrenzen können

Leuchttürme lassen sich einfacher automatisieren und von zentralen Schaltstellen aus überwachen; an der deutschen Küste ist zur Rationalisierung und besseren Überwachung ein solches System im Aufbau, an das die 3 genannten Türme angeschlossen sind

Die Einsparung der hohen Personal-, Betriebs- und Unterhaltungskosten eines Feuerschiffes deckt die Gesamtkosten eines Leuchtturmes für Bau, Unterhaltung und Betrieb in kurzer Zeit

Die Wasserstandsverhältnisse in der Kieler und Flensburger Förde sind einander ähnlich. Das höchste bekannte Hochwasser (HHW) liegt ca. 3 m über dem mittleren Wasserstand und das niedrigste bekannte Niedrigwasser (NNW) rd. 2 m unter Mittelwasser (MW). Das mittlere Hochwasser (MHW) und mittlere Niedrigwasser weichen rd. 1,2 m vom Mittelwasser ab. Die Eisverhältnisse sind nicht einheitlich und wechseln mit dem Standort. Mit unseren derzeitigen Kenntnissen kann die mögliche Angriffskraft nur roh abgeschätzt werden. In der westlichen Ostsee werden im allgemeinen 100 Mp/m Fundamentbreite innerhalb des Bereiches von 1 m über Hochwasser bis 1 m unter Niedrigwasser angesetzt. Mit wachsender Ausdehnung des Bauwerkes kann dieser Ansatz abgemindert werden. Erheblich größere Kräfte können sich dagegen bei Schiffskollisionen ergeben, weshalb im Einzelfall geprüft werden muß, bis zu welchem Umfang es nötig und wirtschaftlich vertretbar ist, das Kollisionsrisiko zu verringern. Gegenüber der Eispressung tritt in der Standsicherheitsbetrachtung der Wellendruck zurück. Für die Festigkeitsberechnungen bei Bauwerk und Abschlüssen wurden Berechnungswellen zugrunde gelegt, die sich bei höchstem Hochwasser vor der Flensburger Förde 4 m, in der Kieler Bucht 5 m und in der inneren Kieler Förde noch 2 m über den Ruhewasserspiegel erheben. Für die Gestaltung der Landeanlagen ist der häufige Seegang wichtig, Extremwerte können dabei ausgeschlossen bleiben.

Der Leuchtturm Kalkgrund steht rd. 1½ sm, der Leuchtturm Kiel rd. ¾ sm abseits der früheren Feuerschiffsposition. Die Standorte beider Türme ermöglichten eine günstige Bezeichnung der Fahrwasser und Untiefen und gestatteten ein vom Verkehr nur wenig gestörtes Bauen. An beiden Stellen steht der tragfähige Mergelgrund etwa 13 m unter Mittelwasser an. Bei „Kiel“ liegt die Mergeloberfläche frei und ist nur leicht aufgeweicht, bei „Kalkgrund“ liegt sie unter 8 m Sand und Schluff. Bei „Friedrichsort“ je-

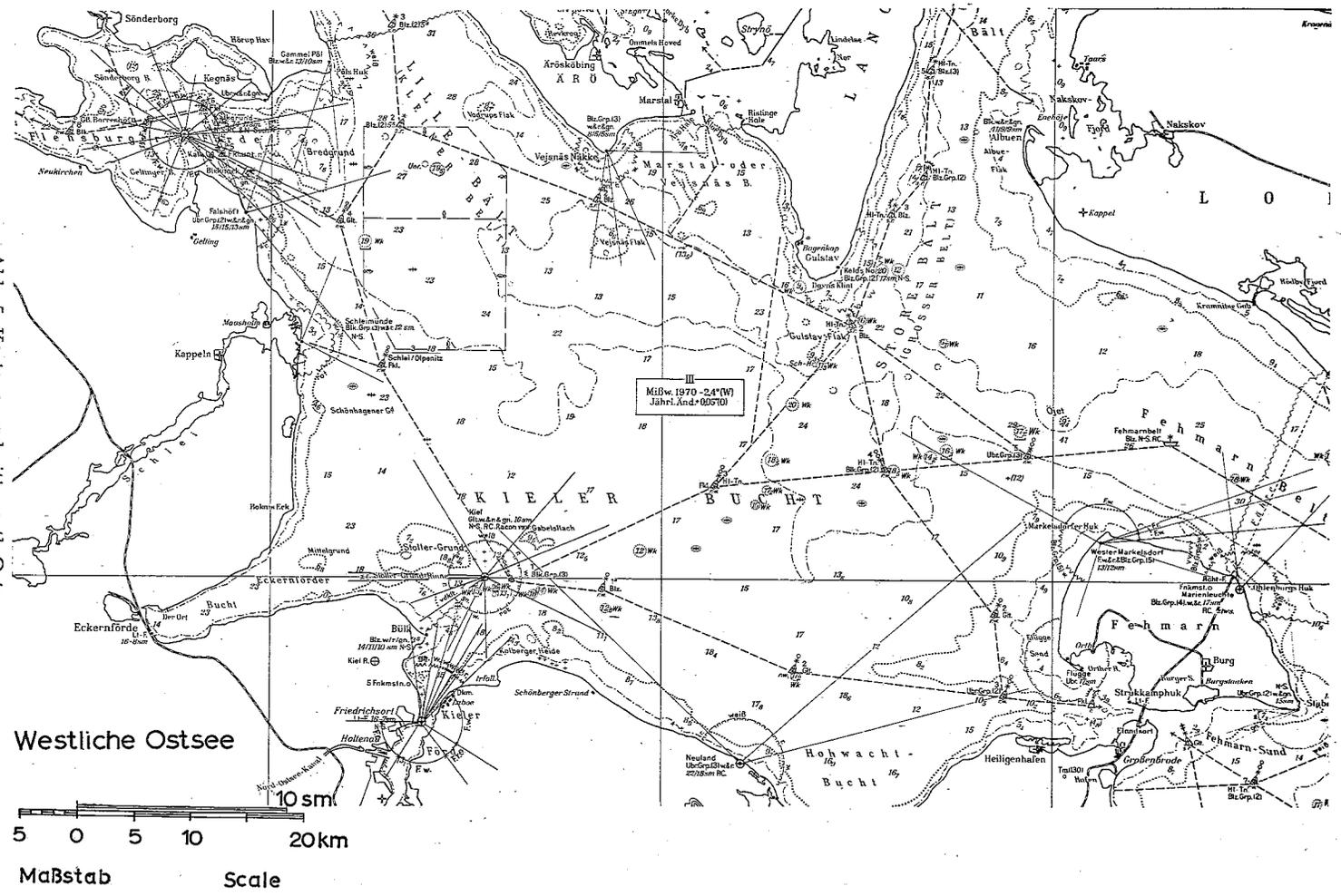


Abb. 5: Kartenausschnitt westl. Ostsee

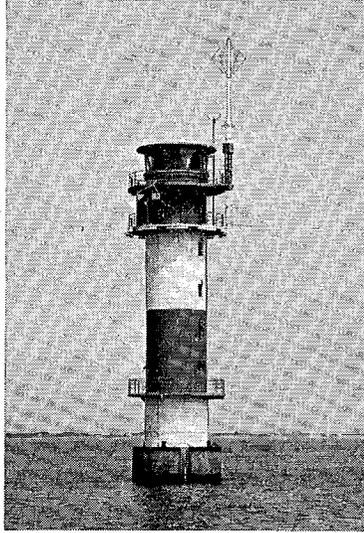


Abb. 6: Leuchtturm „Kalkgrund“

doch wird die Kieler Förde durch eine Sandbank eingeschnürt, die organische Weichschichten überdeckt; erst in 24 m Tiefe steht hier wieder tragfähiger Sand an. Die Entfernung zum Land beträgt bei „Kalkgrund“  $1\frac{1}{2}$  sm, bei „Kiel“ 4 sm und bei „Friedrichsort“ nur  $\frac{1}{10}$  sm. Das erlaubt in jedem Fall, die Türme von Land her mit elektrischer Energie zu versorgen. Unterzubringen waren folgende technische Anlagen:

Leuchtfeuer	} nicht auf „Friedrichsort“
Luftnebelschallanlage	
meteorologische Meßstation	
Funkfeuer	
hydrologische Meßstation mit Pegel	
Fernwirkeinrichtung und Richtfunkübertragungsanlage	
Netzersatzanlage	
Umspannstation für Netzstrom	

## 2.2.2 Konstruktion und Baudurchführung

### 2.2.2.1 Leuchtturm Kalkgrund

Der Leuchtturm Kalkgrund (Abb. 6) wurde von vornherein ausschließlich als fernbedienter und fernüberwachter Leuchtturm geplant. Bis auf einen kleinen Raum für den Meßtrupp konnten daher Personalräume eingespart werden. Für die Unterbringung der Geräte genügten 5 gegenüber dem Treppenhaus abgeschlossene Geschosse im Turmschaft.

Raumbedarf, Feuerhöhe und gute Erkennbarkeit ergaben als wirtschaftliche Lösung ein zylindrisches Bauwerk von 4,5 m Außendurchmesser und rund 24 m Höhe (Abb. 7), das bei Nacht angestrahlt wird. Eine Turmfassade aus Keramik ist dauerhaft, lichtecht und schmutzabweisend. Die geringe Verkehrsdichte und der abgelegene Standort ma-

chen eine Beschädigung durch Schiffe unwahrscheinlich, weshalb kein zusätzlicher Schiffsstoß berücksichtigt wurde.

Die Pfahlgründung mit Sohlensicherung ergab sich aus der Ausschreibung als günstigste Lösung. Maßgebend für Konstruktion und Baudurchführung war, daß für den Bau eine vierbeinige Hubinsel von 30 × 21 m Grundfläche mit Rammgerät zur Verfügung stand. Vor Inangriffnahme der Arbeiten an der Baustelle war in einem Kieler Trockendock eine ringförmige Stahlbetonglocke hergestellt worden. Sie wurde an die Hubinsel gehängt, zur Baustelle geschleppt und auf der Turmposition abgesetzt. Mit 4 schweren, mit der Bewehrung verschweißten Vertikalpfählen wurde zunächst die Lage der Glocke gesichert. Sie war dann Rammlehre für 12 Pfahlböcke.

Während die 31 m langen Vertikalpfähle ganz unter die Ramme genommen werden konnten, mußten die längeren Schrägpfähle einmal gestoßen werden. Beim Verschweißen ergaben sich hier Schwierigkeiten, indem ein ungewöhnlicher Magnetismus am Pfahlstoß kein Verschweißen zuließ. Jeder Pfahlstoß mußte mit einem Elektrokabel umwickelt und das Magnetfeld mit ständig umgepoltem Gleichstrom abnehmender Stärke stufenweise abgebaut werden.

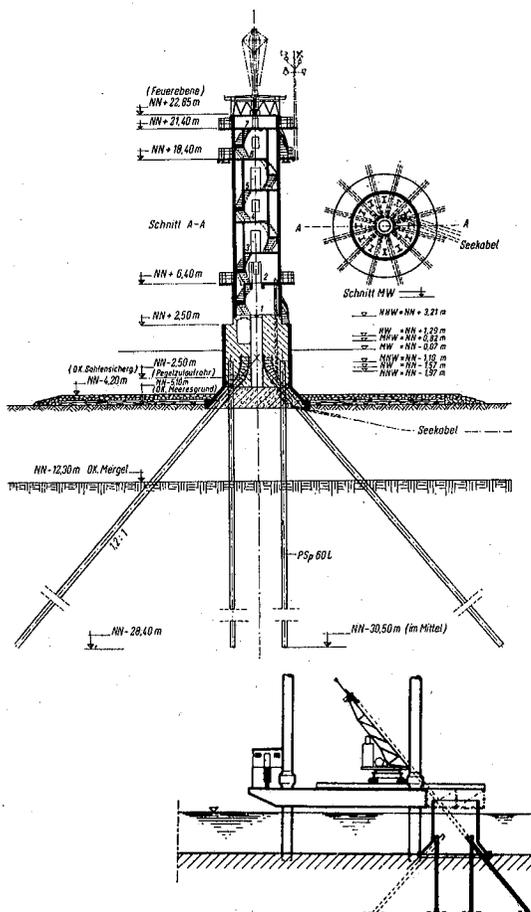


Abb. 7: Querschnitt Leuchtturm „Kalkgrund“

Nach dem Rammen wurde die Glocke durch eine 2 m dicke Colcrete-Betonschicht abgedichtet und leergepumpt, sodann wurden an den Pfahlköpfen Bewehrungsseisen angeschweißt, die Behälter für Dieselkraftstoff und Wasser sowie das Pegelschachtrohr eingesetzt und das Fundament betoniert. Die Mischanlage war auf der Hubinsel aufgestellt, die Zuschlagstoffe lagerten auf längsseits liegenden Schuten. Mit 350 kg Sulfat-Hüttenzement je m<sup>3</sup> Beton wurden Festigkeiten bis zu 500 kp/cm<sup>2</sup> erzielt. Für den Turm und die Galerien wurden an Land gefertigte Schalungen verwendet. Die Laterne besteht aus Aluminiumlegierung Al Mg 3. Die elektrische Energie wird mit 6 kV Spannung über ein 10 km langes Erdkabel angeliefert. Das Kabel ist auf der 5 km langen Verlegestrecke im Seegebiet 2 bis 3 m tief eingespült und auf dieser Teilstrecke mit Runddraht bewehrt. Bei Spannungsausfall liefert ein Dieselgenerator den Strom. Die Fernsteuerung erfolgt von Kappeln aus.

Durch den Einsatz der Hubinsel und die Vorfertigung von Bauteilen und Schalungselementen an Land konnte der Turm trotz verhältnismäßig schlechten Wetters 15 Monate nach Beginn der Arbeiten in Betrieb genommen werden. Für den seebaulichen Teil wurden davon 6 Monate benötigt. Im Winter 1962/63 waren die Arbeiten wegen des schweren Eises für 3 Monate unterbrochen.

#### 2.2.2.2 Leuchtturm Kiel

Der Leuchtturm Kiel (Abb. 8) dient nicht allein als Seezeichen, sondern muß als Lotsenversetzstation bei fast jeder Wetterlage für Lotsenversetzboote erreichbar sein. Jahrzehntelange Wetter- und Seegangbeobachtungen des Feuerschiffes „Kiel“ erwiesen, daß sich der stärkste Seegang aus Nordost entwickelt. Größere Wellen als 30 m lang und 2 m hoch sind in diesem Seeraum selten. Modellversuche zeigten, daß ausreichende Wellendämpfung nur erreicht werden kann, wenn beim Turm ein kleiner Hafen errichtet wird. An mindestens einer Seite von zwei rechtwinkelig zueinanderstehenden, je 50 m langen Molen (Abb. 9), deren Winkelspitze nach Nordost weist, können die Lotsenboote bis zu Wetterlagen anlegen, bei denen noch ein Versetzen möglich ist.

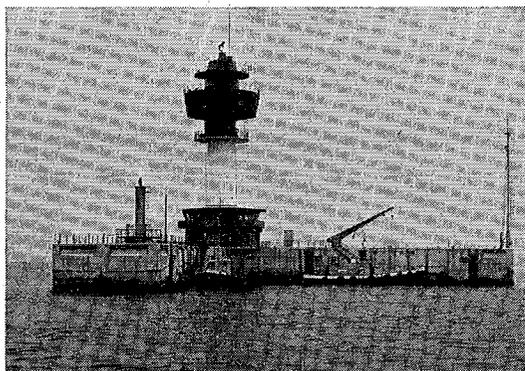


Abb. 8: Leuchtturm „Kiel“

Drei 17,5 m hohe und 12 m breite Schwimmkästen aus Stahlbeton sind auf der See-position in dieser Form zusammengestellt. Sie wurden bis zu einer bei 11,5 m Tiefgang ausreichenden Schwimmstabilität von knapp 30 cm metazentrischer Höhe im Kieler Hafen betoniert, dann mit Schleppern über die vorbereitete Kiesbettung auf der See-position gezogen, verankert, ausgerichtet, geflutet und mit Sand gefüllt. Die beiden Molenflügel nehmen die Anlegetreppen auf, der mittlere Schwimmkasten bildet die Nordost-Spitze

und das eigentliche Leuchtturmfundament. Sein Deck liegt 5 m über Mittelwasser. Er hat oberhalb der Sandkammern 2 Stockwerke. Im oberen Stockwerk sind Sanitär- und Übernachtungsräume der Lotsen untergebracht, im unteren Räume für schwere Anlagen wie Notstromaggregat und Transformator. Den Lotsen steht ein hochgelegener Beobachtungsstand zur Verfügung (Abb. 9), der allseitig verglast ist, darunter liegen Küche und Aufenthaltsraum der Lotsen. Der Turmschaft nimmt nur die Treppen und den Aufzugschacht auf. Alle Seezeichenanlagen sind im Turmkopf untergebracht und werden von Kiel aus ferngesteuert.

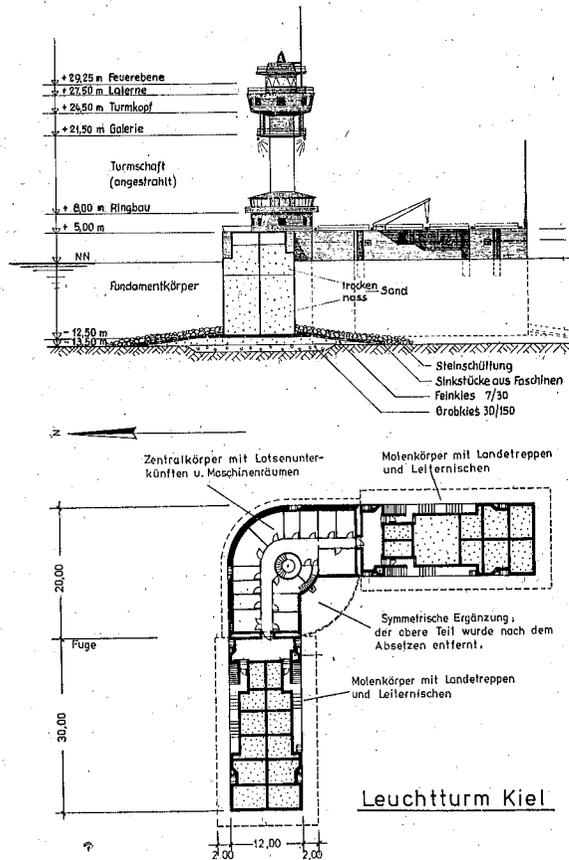


Abb. 9: Ansicht und Schnitt

Für den Bau der Schwimmkästen stand 1964/65 im Kieler Raum kein Dock zur Verfügung. Deshalb wurde im Kieler Hafen eine besondere Absenkanlage aus 2 parallelen Seebrücken errichtet, die über je 9 Lochstangen eine  $23 \times 30$  m große Betonierbühne trugen. Die Stangen konnten mit ölhdraulischen Pressen in Stufen von einem halben Meter gehoben oder gesenkt werden. Zur Gewichtsrelieherung wurden die Kästen in Abhängigkeit vom Baufortschritt immer nur so weit in das Wasser abgesenkt, daß der Auftrieb die Hängekonstruktion entlastete, aber noch nicht zum Aufschwimmen führte. Der Beton für die Fundamentkästen wurde mit 350 kg Hochofenzement und 170 kg Baustahl je  $m^3$  in Ausfallkörnung hergestellt. Damit das Absenkgerüst möglichst früh wieder frei wurde, wurden die Schwimmkästen ausgeschwommen, sobald die

Wände jeweils hoch genug waren, und neben der Zugangsbrücke abgesetzt oder schwimmend weiterbetoniert.

Schon im Sommer 1964 begann die Arbeit auf der Seebaustelle. Ein Eimerkettenbagger entfernte den durchweichten oberen Mergelboden. Die Baggergrube wurde durch eine Grobkiesschüttung aufgefüllt und darüber Feinkies aufgeschüttet, der die Gründungsfläche der Schwimmkästen allseitig um 4 m überragt. Mit einem Eimerbagger wurde dann das Planum abgebagert, Taucher planierten die Fläche in Handarbeit nach. Im Sommer 1965 konnten die Molenkörper nacheinander durch 2 Schlepper zur Seebaustelle bugsiert, an Ankern festgelegt, genau eingemessen und geflutet werden. Nur der Zentralkörper ließ sich zwar trotz steifer Brise und unruhiger See sicher schleppen, es war aber unmöglich, ihn neben dem Molenkörper abzusenken. Er mußte mit Abstand abgesetzt werden und konnte erst später bei ruhiger See wieder aufgeschwommen und in Sollposition gebracht werden. Der obere Teil der Längs- und Aussteifungswände sowie die Decke, rd. 650 m<sup>3</sup> Beton, mußten auf See verarbeitet werden, um beim Transport den Tiefgang von 11,5 m nicht zu überschreiten. Dabei wurde mehr als einmal eine Schalung vom Sturm zerschlagen. Keine Schwierigkeiten machte das Füllen mit Sand. Ein Hopperbagger brachte in wenigen Fahrten das nötige Material und spülte es ein. Die über NNW liegende Sandschicht wurde dräniert, damit sich kein Eis bilden kann. Der untere Teil blieb naß, um die Füllung so schwer wie möglich zu machen.

Der Turmaufbau mit Laterne besteht aus seewasserbeständigen Aluminiumlegierungen. Das niedrige Gewicht von 55 t ermöglichte, ihn an Land vorzufertigen, zu montieren und mit einem in Kiel stationierten Schwimmdrehkran auf dem Fundament abzusetzen.

Auch dieser Turm wird nachts angestrahlt und über ein 8 km langes Hochspannungsseekabel von Bülk aus mit Strom versorgt. Bei Stromausfall übernehmen 2 automatische Netzersatzanlagen die Energieversorgung.

Der Leuchtturm Kiel steht abseits des Verkehrs. Für den Turm selbst und für sein Fundament bilden die beiden Molenflügel einen hervorragenden Kollisionsschutz. Durch Anstrahlung der Molenköpfe und der Anleger wird visuell vor der Annäherung gewarnt. Eine Ausweitung des Kollisionsschutzes hätte die Baukosten unverträglich gesteigert.

Die Bauzeit betrug 4 Jahre. Davon waren ein Jahr für die Herstellung der Schwimmkästen erforderlich, ein Sommer für den Rohbau auf See, ein Sommer für den Innenausbau und ein gutes halbes Jahr für die Innenausrüstung. In zwei Wintern während der Bauzeit mußte die Seebaustelle jeweils 5 Monate lang stillliegen.

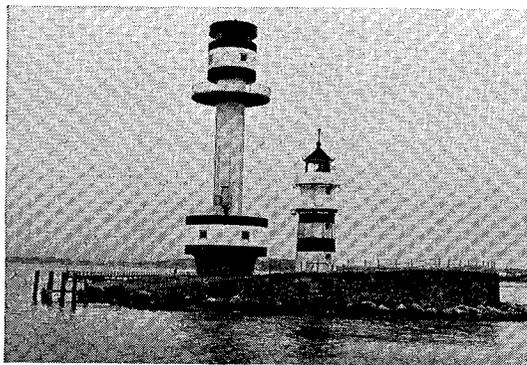


Abb. 10: Leuchtturm „Friedrichsort“

2.2.2.3 Leuchtturm Friedrichsort

Der Leuchtturm Friedrichsort (Abb.10) steht an der engsten Stelle der Kieler Förde. Sein Standort wird durch das Fundament seines Vorgängers und durch eine schwere sichelförmige Findlingsmauer geschützt, die unmittelbar seawärts des alten Turmes liegt. Am Bauplatz ist das Wasser seicht, aber schon wenige Meter weiter fällt der Grund auf größere Tiefe. Die natürliche Sohlengestalt kann für den Turm die Kollisionsgefahr nicht beseitigen. Die erhebliche Tiefe bis zum tragfähigen Grund und zu erwartende starke Eispressungen führten zu dem Entschluß, eine rd. 1500 m<sup>2</sup> große Sandinsel aufzuspülen, die auch die Bauarbeiten erleichterte. Im Norden wird sie von der vorhandenen Findlingsmauer gegen die See abgeschirmt, am Restumfang von feuerverzinkten Stahlspundbohlen eingefaßt. Die Oberfläche liegt 1,2 m über MW und wird nur selten überflutet. Nach dem Rammen der Spundwand wurde vom Ufer aus ein Sanddamm bis

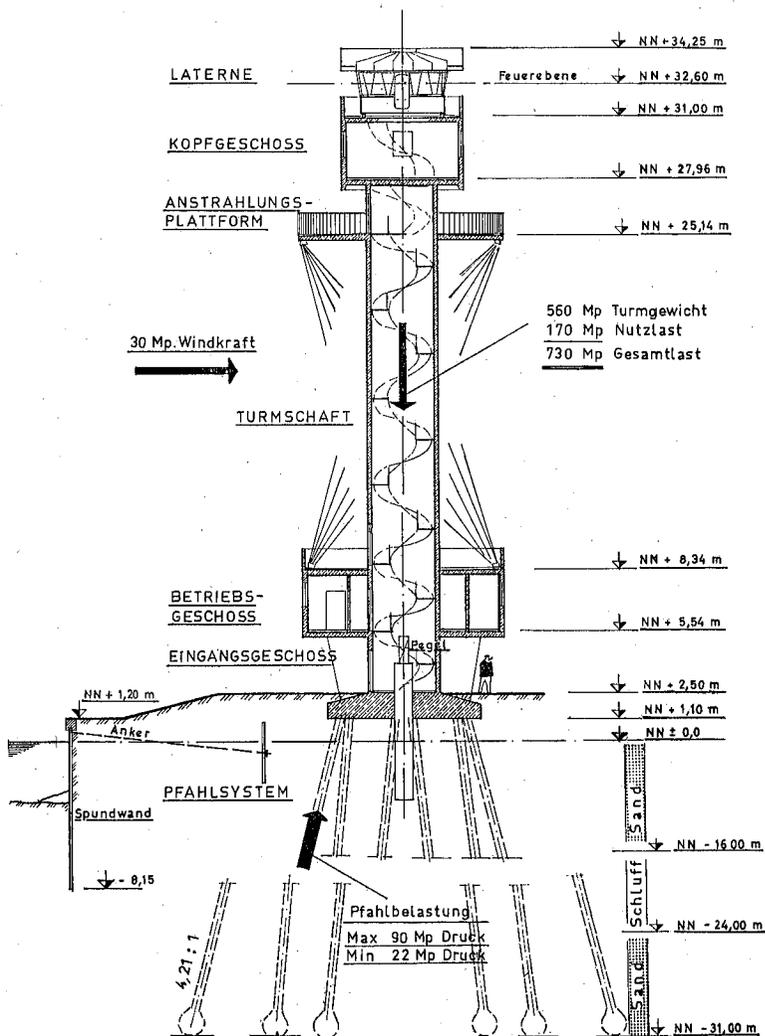


Abb. 11: Querschnitt Leuchtturm „Friedrichsort“

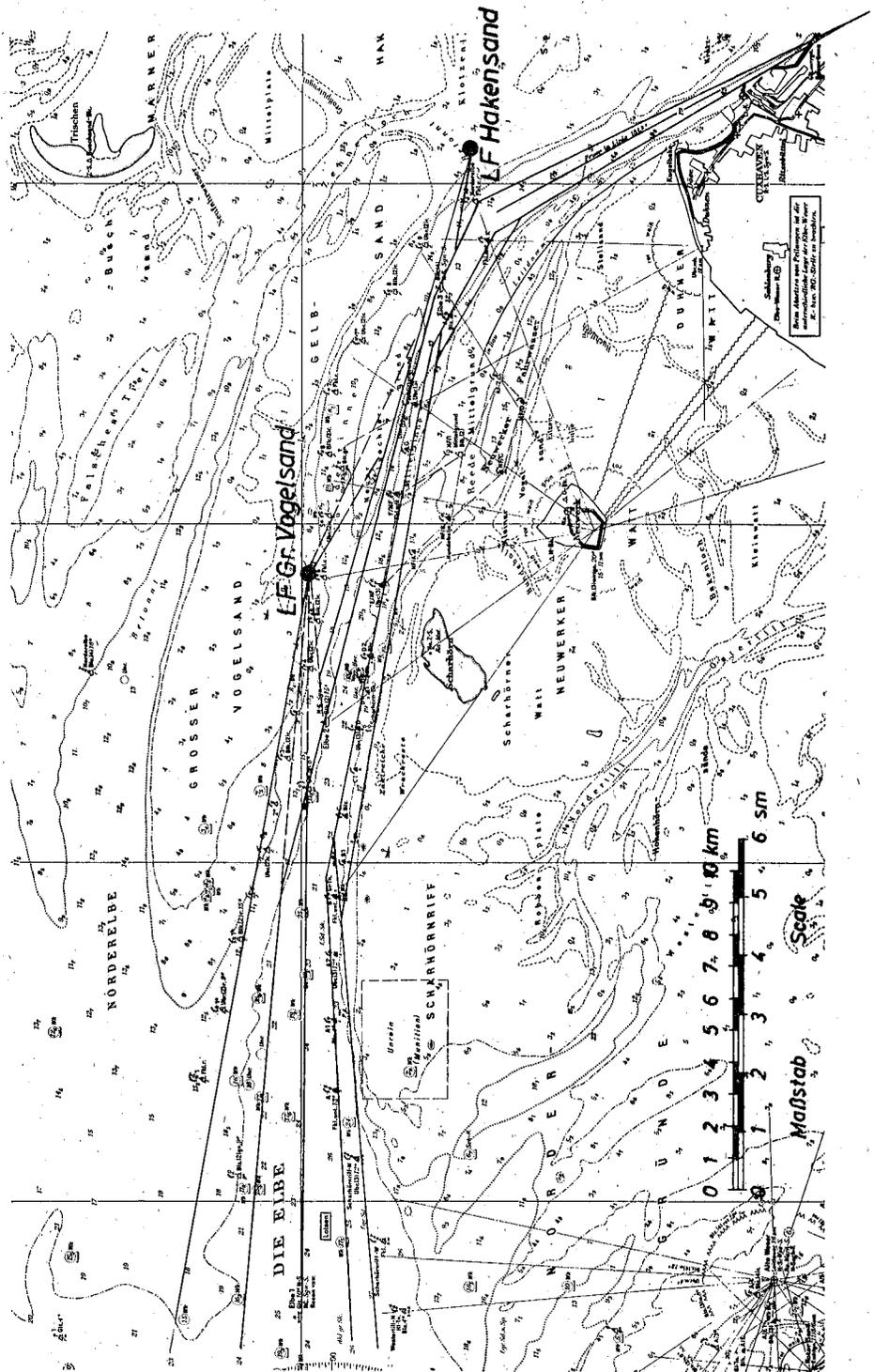


Abb. 12: Seekartenausschnitt Außenelbe

zur Baustelle vorgetrieben, so daß eine Landbaustelle entstand. Der Turm ist inmitten der Sandinsel auf Stahlbeton-Hülsenpfählen gegründet. Je zwei Pfahlköpfe treffen sich in der Fundamentplatte, so daß diese 6 schrägliegende Pfahlböcke verbindet (Abb. 11).

Das sternförmige Eingangsgeschoß darüber, das die Kräfte aus Turm und Betriebsgeschoß direkt in die Pfähle leitet, wird von außergewöhnlichem Hochwasser überflutet, das Betriebsgeschoß darüber liegt jedoch schon so hoch, daß es ungefährdet bleibt. Dort sind das Notstromaggregat mit Kraftstofftank und alle Schaltanlagen für die seezeichentechnischen Einrichtungen untergebracht. Eine gute Anstrahlung des Turmes ist hier unmittelbar neben dem Fahrwasser besonders wichtig. Mit der 400 m entfernten Schaltstelle an Land wird der Turm durch ein Energiekabel und ein vielpaariges Steuerkabel verbunden.

Bis auf die Laterne aus Al Mg 3 und die stählerne Treppe ist der Turm ein Stahlbetonbauwerk. Sternwände und Betriebsgeschoß wurden am Ort geschalt, der Turmschaft mit einer Kletterschalung, die weit ausladende Anstrahlungsplattform mit einer Hängeschalung betoniert. Das Leuchtfeuer wurde im November 1971 in Betrieb genommen.

### 3. Geplante Leuchttürme in der Elbemündung

#### 3.1 Entwurfsgrundlagen

Auch das rd. 24 sm lange Fahrwasser der Außenelbe vom Feuerschiff „Elbe 1“ bis Cuxhaven verläuft zwischen ausgedehnten Sänden und Watten (Abb. 12) und ist ständigem Sandtransport in Quer- und Längsrichtung und damit unterschiedlichen Veränderungen der Strömungs- und Tiefenverhältnisse unterworfen. Ihr periodischer Verlauf ließ eine Bezeichnung durch ortsfeste Leuchtfeuer bisher nicht zu, sie erfolgte daher durch eine große Anzahl Leuchttonnen und 3, zeitweilig auch 4 Feuerschiffe. Erst mit der Fertigstellung eines rd. 9,2 km langen Leitdammes von der Kugelbake aus seewärts, dessen Bau 1939 begann und erst 1968 in einer ersten Ausbaustufe beendet werden konnte, ist im Zusammenwirken mit modernen Großraumbaggern eine teilweise Stabilisierung der Fahrwasserverhältnisse erreicht worden, verbunden mit einer erwünschten Schwächung des Neuwerker Fahrwassers, einer Verbesserung der nördlich davon gelegenen, navigatorisch günstig verlaufenden Mittelrinne und einer allmählichen Verflachung der Norderrinne. Heute wird das Fahrwasser der Außenelbe nur noch im mittleren Bereich durch den Neuen Luechtergrund in die Norderrinne und Mittelrinne geteilt, die beide als Fahrwasser benutzt und durch Tonnen und Feuerschiffe einheitlich bezeichnet werden. Als weiteres wichtiges Hilfsmittel steht der Schifffahrt eine Radarkette zur Beratung bei unsichtigem Wetter, Eisgang und Sturm zur Verfügung.

Mit der erheblichen Zunahme der Schiffstiefgänge in den letzten Jahren reicht diese Bezeichnung für die Verhältnisse der Außenelbe nicht mehr aus. Massengutschiffe und Container sind auf schmale und nur durch Baggereinsatz tiefgehaltene Fahrrinnen angewiesen, die zur sicheren Ortsbestimmung bei jedem Wetter mit festen Seezeichen bezeichnet werden müssen. Damit wird der Aufbau eines zusätzlichen Befuerungssystems erforderlich, an das folgende Forderungen gestellt werden:

Es muß verkehrstechnisch, nautisch und wirtschaftlich befriedigen sowie für die Schiffführung einfach und klar überschaubar sein, d. h. es sollen bei der geringsten Anzahl von Feuerträgern die besten Navigationshilfen gegeben werden

Es müssen ausreichend hohe Feuerträger errichtet werden, deren Lichtstärke genügend stark im äußeren Wirkungsbereich ist, aber im Nahbereich keine Blendung hervorruft

Die Feuerträger müssen Sicherheit gegen Eisgang, Sturm und Wellenangriff sowie Besteigbarkeit bei den meisten Wetterlagen bieten

Die Leuchtfeuer müssen ferngesteuert und fernüberwacht werden können

Die Wirtschaftlichkeit des neuen Systems muß durch Fortfall der beiden inneren Feuerschiffe „Elbe 2“ und „Elbe 3“ erreicht werden.

Folgende Maßnahmen sollen nunmehr Zug um Zug durchgeführt werden (Abb. 12):

Errichtung eines Leuchtfeuers am „Großen Vogelsand“ zur Erfassung des Fahrwassers zwischen den Feuerschiffen „Elbe 1“ und „Elbe 2“ und im oberen Bereich bei Feuerschiff „Elbe 3“ mit Leit- und Warnsektoren sowie Funkfeuer, Radarantwortbake und LNS-Anlage

Errichtung eines Leuchtfeuers im Gebiet des „Hakensandes“ zur Erfassung des Fahrwassers im Bereich der Mittelrinne zwischen den Feuerschiffen „Elbe 2“ und „Elbe 3“ wie vor

Errichtung von 4 großen Radar-Reflektorbaken zur besseren Erfassung des Gebietes der Mittelrinne im Schiffsradargerät

Auslegen von Großleuchttonnen im Bereich der größeren Kursänderungen, etwa im heutigen Bereich der Feuerschiffe „Elbe 2“ und „Elbe 3“

Verstärkung des Leuchtfeuers Neuwerk als Quermarke zur weiteren Markierung der Mittelrinne

Einziehen der Feuerschiffe „Elbe 2“ und „Elbe 3“ und Außerdienststellung des zugehörigen Reserve-Feuerschiffes nach Beendigung der vorgenannten Maßnahmen

Die Standorte der beiden Leuchttürme „Großer Vogelsand“ und „Hakensand“ wurden anhand von Kartenvergleichen über die großräumige Wanderung der Sände so festgelegt, daß eine Gefährdung der Bauwerke in überschaubarer Zeit mit großer Wahrscheinlichkeit nicht zu befürchten ist. Der „Große Vogelsand“ soll als erster Turm gebaut werden; der endgültige Standort für „Hakensand“ kann erst nach weiterer Beobachtung der Mittelrinne festgelegt werden.

Der Leuchtturm „Großer Vogelsand“ soll das Fahrwasser nördlich des gefährlichen Scharhörner-Riffs mit zwei scharf gebündelten Leitsektoren unterschiedlicher Kennung und einer maximalen Tragweite von 13 sm bis zum Feuerschiff „Elbe 1“ bezeichnen, um für die ein- und auslaufende Schifffahrt getrennte Wege zu schaffen. Der Turm wird zum Schutz vor Kollisionen angestrahlt und über Funk von der Seezeichenschaltstelle Cuxhaven ferngesteuert. Von einer Stromversorgung über ein teures und wegen der veränderlichen Wattengebiete gefährdetes Seekabel wird vorerst Abstand genommen; die Versorgung soll aus 3 im Turm untergebrachten Dieselaggregaten erfolgen. Außer den seezeichentechnischen hat der Leuchtturm noch hydrologische Aufgaben zu übernehmen. Zur routinemäßigen Wartung und zur Beseitigung über Funk gemeldeter Störungen und Ausfälle muß ein Wartungstrupp per Schiff oder Hubschrauber den Turm aufsuchen können und für länger dauernde Instandsetzungsarbeiten entsprechende Notunterkünfte zur Verfügung haben.

### 3.2 *Stand der Entwurfsarbeiten*

Diese Bedingungen führten in der Entwurfsbearbeitung zu der in der Abb. 13 dargestellten Turmform und Turmaufteilung. Neben den vorerwähnten Forderungen war dabei noch folgendes zu beachten:

Die Wassertiefe beträgt am vorgesehenen Standort z. Z. etwa 7 m unter Seekarten-Null (SKN); mit Rücksicht auf beobachtete Auskolkungen an anderen Türmen mußte eine rechnerische Sohle von rd. 12 m unter SKN angenommen werden

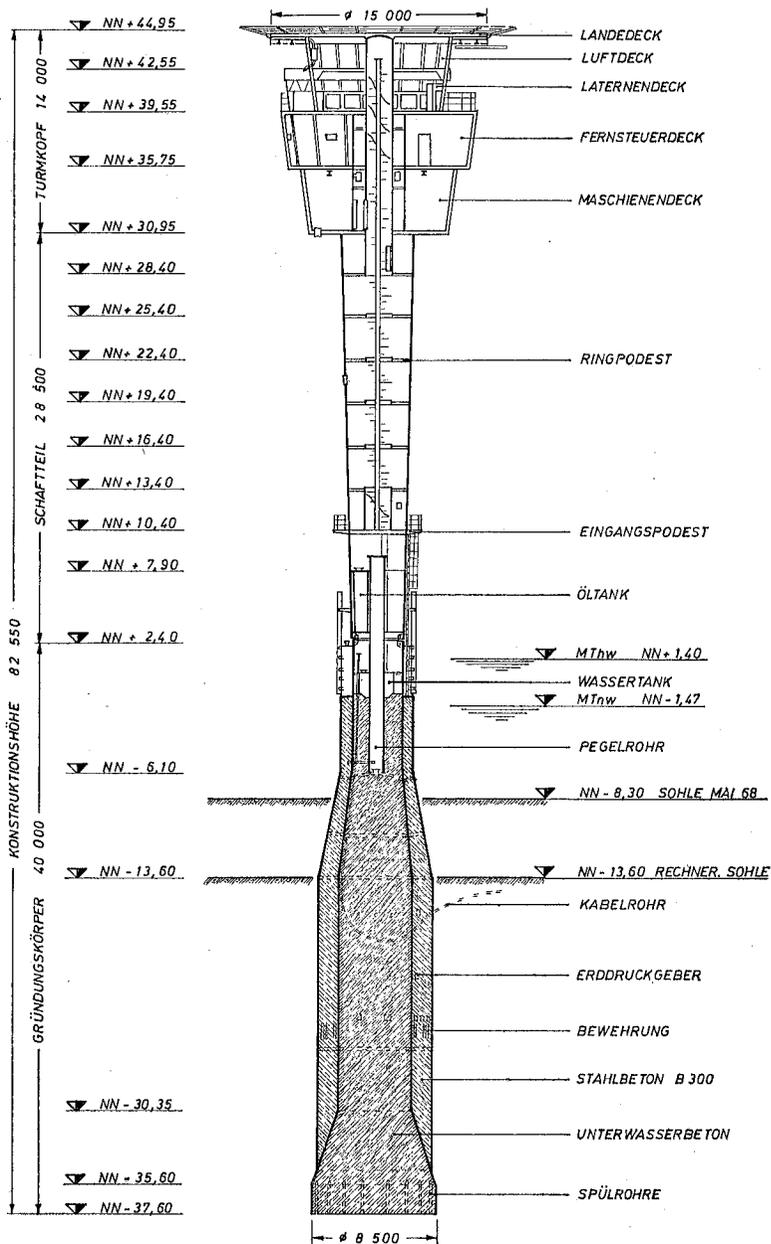


Abb. 13: Querschnitt geplanter Leuchtturm „Großer Vogelsand“

Der Untergrund in dem Gebiet besteht im wesentlichen aus Sanden unterschiedlicher Korngröße, die schichtweise mit bindigen und humosen Kleibeimengungen vermischt sind; bei Brunnengründungen muß daher mit erschwerten Verhältnissen gerechnet werden

Beim Ansatz der Windstärken wird als Staudruck über die ganze Bauhöhe mit einer konstanten Windgeschwindigkeit von 50 m/s gerechnet

Als Eisdruck wird mit einer Linienlast von 50 Mp/m projizierter Gründungskörperbreite bei 1 m über MThw gerechnet

Für die Berechnung des Wellendrucks ist das HHThw bei festgesetzter rechnerischer Sohle von 12 m unter SKN zu berücksichtigen

Für den Strömungsdruck wird über die ganze Wassertiefe mit einer konstanten Strömungsgeschwindigkeit von 2 m/s gerechnet

Die Toleranzen für Durchbiegung und Verdrehung des Turmes in Leuchtfeuerhöhe müssen sich für den rechnerischen Lastfall mit Rücksicht auf die Benutzbarkeit der scharf gebündelten Leuchtfeuer-Projektoren in folgenden Grenzen halten: Durchbiegung  $\pm 12'$ , Verdrehung  $\pm 3'$

Die Turmform wurde hinsichtlich ihrer optimalen Ausbildung mit dem geforderten Hubschrauberlandedeck im Windkanal untersucht. Das auf der Spitze des Turmes angeordnete Landedeck wird nach den deutschen Richtlinien als Klasse 2 mit einem Durchmesser von 15 m konstruiert und für ein Abfluggewicht von 6000 kg bemessen. Auslaufender Treibstoff muß getrennt vom Regenwasser abzuführen sein. Die Landefläche ist verschleißfest, ölfest und rutschsicher auszubilden. Die freie Aufständering des Landedecks über dem Laternendeck wurde im Windkanal als günstigste Lösung ermittelt.

Der Turmkopf besteht aus 3 Geschossen:

Das Laternendeck, in dem die mit Xenon-Hochdrucklampen ausgerüsteten Leuchtfeuer-Projektoren angeordnet sind

Das Fernsteuerdeck mit Schalt- und Steuerschränken, der Notunterkunft für 4 Personen, der LNS-Anlage, einem Batterieraum u.a.m.

Das Maschinendeck mit den 3 Dieselaggregaten mit Elektrozügen für Montage und Transport schwerer Lasten

Um Personen und kleinere Güter bei unruhiger See vom Schiff auf dem Turm absetzen zu können, ist eine von der Energieversorgung unabhängige, rein mechanische Aufzugsvorrichtung entwickelt worden.

Im Turmschaft selbst sind um den Pegelschaft herum die Öltanks angeordnet. Der Turmschaft nimmt u. a. die Wendeltreppe, das Eingangspodest, mehrere Ringpodeste sowie Rohrleitungs- und Kabelkanäle auf.

Der Leuchtturm „Hakensand“ wird etwa dem gleichen Konzept folgen.

#### 4. Technik und Wirtschaftlichkeit

##### 4.1 Allgemeine Betrachtungen

Es ist über ausgeführte wie in Planung befindliche Leuchttürme in der Weser- und Elbemündung sowie in der westlichen Ostsee berichtet worden. Hierbei ist festzustellen, daß keinerlei generelle Übereinstimmung im Hinblick auf die gewählten Bauweisen und Bauverfahren, speziell auch für die Gründung der Bauwerke, besteht. Vielmehr sind die unterschiedlichsten Konstruktionen angewendet und immer wieder andere Wege zu ihrer Realisierung beschritten worden, jeweils in bester Anpassung an die örtlichen Verhältnisse.

Für Leuchtturmbauten in offener See sind besondere Anstrengungen erforderlich. Da ihr Standort meist weit vom Land entfernt ist, sind sie den wechselnden Einflüssen aus Wetter und See voll ausgesetzt. In der Deutschen Bucht z. B. treten selbst in den

Sommermonaten meist nur in einem Drittel der Zeit Wetterlagen mit Windstärken unter 4 ein, und es gibt kaum eine zusammenhängende Periode, in der nicht mit einem Sturm gerechnet werden müßte. Solche Verhältnisse erzwingen Bauverfahren, die

weitgehend von der Vorfertigung an Land Gebrauch machen,

es ermöglichen, daß die einzelnen Arbeitsvorgänge auf See bei Windstärken bis 6 noch fortgeführt und auch bei kurzfristiger Sturmwarnung leicht unterbrochen werden können,

über längere Zeit unabhängig von einer Landstation bleiben und

möglichst in einer Sommersaison mit den Arbeiten auf See abschließen.

Bei der Standortwahl solcher Türme werden in erster Linie seezeichentechnische Gesichtspunkte berücksichtigt, es sollte aber auch Spielraum für die Belange des Seebauers bleiben. Dann lassen sich u. U. erhebliche preisliche und terminliche Vorteile erzielen. Das gleiche gilt für die Positionstoleranzen und die Unverschieblichkeit des Bauwerkes.

Voraussetzung ist zunächst eine genaue Untersuchung des Meeresbodens und seines geologischen Aufbaues. Es muß sichergestellt sein, daß keine Hindernisse wie Wracks, Anker, Ketten, Trossen u. dgl. angetroffen werden. In der Deutschen Bucht wie auch in der westlichen Ostsee sind fast durchweg bewegliche Sohlen vorhanden. Langfristige Veränderungen der Sohle haben auf die Gründung und damit auch auf die gesamte Konzeption des Turmes einen erheblichen Einfluß. Wo ein Leuchtturm in solchen Seebereichen errichtet werden muß, ist es notwendig, genaue langfristige Prognosen über Tiefenveränderungen und deren Grenzwerte aufzustellen. Für Brunnengründungen ist dies besonders wichtig, da spätere Unterschreitungen der rechnerischen Sohle zu einer Verminderung der Einspanntiefe und damit zu einer quadratischen Steigerung der Verformungsgröße bei horizontaler Belastung führen.

Auch der Einfluß des Bauwerkes selbst als Dauereinrichtung ist zu berücksichtigen. Alles, was der Mensch im Meer und an seinen Küsten durch künstliche Maßnahmen bewirkt, hat Rückwirkungen auf die Umgebung. Hier muß auch die Gefahr, daß im Zuge von Baumaßnahmen bei beweglicher Sohle Kolke auftreten, immer im Auge behalten werden. Neben dem Aufbau des oberflächennahen Bodens, der Größe der Strömungsgeschwindigkeit und der Dauer der Einwirkung ist Größe und Form der Einbauten von besonderer Bedeutung. Durch behindernde Einbauten werden die Stromlinien geteilt, die Strömungsgeschwindigkeit u. U. erhöht. Außerdem bilden sich Wirbelzonen, die in erster Linie für das Auflockern und Herauslösen der Bodenkörner aus dem Bodenverband verantwortlich sind.

Ein sinnfälliges Beispiel liefert der Bau des Leuchtturmes „Roter Sand“, der in den Jahren 1880—85 vierzig Seemeilen unterhalb Bremerhavens in der Nordsee errichtet wurde (Abb. 14). Es war der erste Leuchtturm der Welt, der in offener See auf einer echten Caissongründung errichtet wurde. Der Caisson hatte Linsenform und wurde 16 m tief abgesenkt. Er wurde damals mit sämtlichen maschinellen Drucklufteinrichtungen sowie der Besatzung an Bord einfach durch Flutung auf dem Meeresboden abgesetzt. Beim ersten Versuch stellte er sich infolge einseitiger Kolkungen zunächst schief, und zwar zunehmend bis zu 21°, so daß die Besatzung ihn überstürzt verlassen mußte. In den folgenden Tagen ging diese Neigung auf 10° zurück. Wegen eines einsetzenden Sturmes mußte man die Baustelle sich selbst überlassen, und als es möglich war, zurückzukehren — das war erst drei volle Wochen danach — hatte der Sturm, der in diesem Falle aus einer sehr günstigen Richtung geweht hatte, durch Kolkungen auf der entgegengesetzten Seite den Caisson wieder vollständig aufgerichtet, wobei dieser um 5 m von

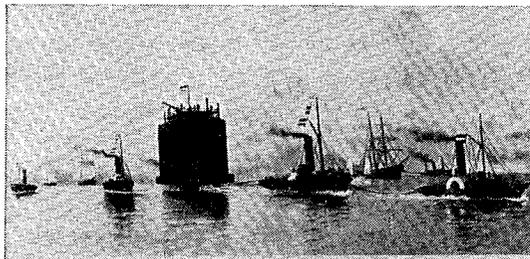


Abb. 14: Ausfahrt des Caissons des „Roter Sand“-Leuchtturmes

selbst eingesunken war. Bekanntlich ging dieser Caisson während der ersten Herbststurmflut dann vollständig verloren. Beim zweiten Versuch trat dieselbe Erscheinung ein, und der Caisson grub sich in vier Tagen durch ständiges Hin- und Herneigen im Takte des Tidewechsels ebenfalls um 4 m in den Meeresgrund.

Art und Schichtung des Untergrundes haben auf die Baukonstruktion und das Bauverfahren erheblichen Einfluß, wobei die Gründungstiefe von besonderer Bedeutung ist. Bei beweglichen Sohlen ist eine Flachgründung nur dann zu vertreten, wenn ausgedehnte Sicherungen auf der Meeressohle ausgelegt werden, was sehr kostspielig ist und keine absolute Sicherheit bietet, vielmehr einer laufenden Kontrolle bedarf. Für die Deutsche Bucht kommen daher nur Tiefgründungen in Frage, in erster Linie Brunnengründungen und Pfahlgründungen mit tiefliegendem oder hochliegendem Rost. Caissongründungen scheiden in Zukunft aus, da sie aus drucklufttechnischen und arbeitsphysiologischen Gründen auf Tiefen von 20 bis 25 m unterhalb des höchsten Wasserstandes beschränkt sind. In neuerer Zeit werden auch aufgelöste Gerüstkonstruktionen vorgeschlagen, ähnlich den Offshore-Einrichtungen der Erdölindustrie.

#### 4.2 Brunnengründung

Für eine Brunnengründung liegen die günstigsten Verhältnisse dann vor, wenn der Untergrund einheitlich aus spülfähigem Sandboden besteht. Mit einem kombinierten Spülverfahren aus Wasser und Luft kann dann ein guter Wirkungsgrad erzielt werden, allerdings ist mit dem verbesserten Auflockerungseffekt die Gefahr tieferer Kolkungen gegeben. Wegen der gewöhnlich sehr großen Förderhöhe des Bodens und der Notwendigkeit, diesen unmittelbar an den Schneidkanten abzubauen, scheidet konventionelle Verfahren z. B. mit schweren Greifkörben oder Polypgreifern aus. Ehe man jedoch eine solche Entscheidung fällt, sollte vorher Klarheit darüber herrschen, daß nicht doch bindige Schichten angetroffen werden, da eine Umstellung während der Baudurchführung nur schwer und mit erheblichem finanziellen und zeitlichen Aufwand zu bewerkstelligen ist. Es bleibt dann meistens nur der Tauchereinsatz mit bekanntlich sehr geringen Leistungen bei hohen Kosten.

Will man einen Brunnen in geschichteten Böden mit bindigen Einschlüssen niederbringen, müssen andere Möglichkeiten geprüft werden, z. B. das Absenken mit Hilfe neuerer Bohrverfahren, wie sie zum Niederbringen von Großbohrpfählen angewendet werden, oder der Einsatz eines Druckluftbaggers mit Drehkopf der nach dem Lufthebeverfahren arbeitet: Der Mantel seines Bohrkopfes rotiert um die Längsachse. Außen angebrachte Zähne lockern dabei den Boden auf. Zur Unterstützung, besonders bei bindigem Boden, kann Druckwasser an der Spitze des Bohrkopfes zugegeben werden. Mit Hilfe eines Hydraulikzylinders und eines Gelenkes kann der untere Teil des Gerätes abge-

knickt werden. Ein Kreiskolben in Höhe der Abstützung ermöglicht es dann, durch Drehung des Gerätes um seine Längsachse bei gleichzeitigem Abknicken mit dem Bohrkopf jeden Punkt in der Sohlfläche zu erreichen.

Eine weitere Möglichkeit ist, vor dem Absetzen des Brunnens einen Bodenersatz durchzuführen, z. B. mittels Perforationsgroßbohrungen, vorwiegend im Umfangsbereich des Gründungskörpers, und Wiederauffüllen mit spülfähigem Sandboden.

### 4.3 Pfahlgründung

Bei einer Pfahlgründung mit tiefem Rost werden die Pfähle so angeordnet, daß sie lediglich durch Normalkraft beansprucht werden. Es treten dann nur relativ geringe Verformungen auf. Die Pfahlköpfe können im Schutze einer Stahlbetonglocke bei offener Wasserhaltung im Trockenen bearbeitet und in das Stahlbetonfundament eingebunden werden (Abb. 7), so daß die wesentlichen Arbeiten sicher, schnell und gut überschaubar ablaufen können. Pfähle lassen sich auch bei wechselnden und bindigen Bodenschichten mit großer Sicherheit einbringen. Ihre Tragfähigkeit kann anhand von Probebelastungen festgestellt werden. Pfahlgründungen sind bei genügender Tiefe unempfindlich gegen Kolkungen. Frei liegende Pfahlabschnitte müssen allerdings gegen Korrosion und Sandschliff geschützt werden.

Für das Niederbringen von Pfählen auf See wird z. Z. allgemein das Rammverfahren bevorzugt, weil sie, zumeist aus Stahl, vorgefertigt in ganzer Länge angeliefert und eingestellt werden können; beim Niederbringen bewirken sie keine nachteiligen Veränderungen, im Gegenteil eine Verdichtung des Bodens. Da das Einrammen am schnellsten geht, lassen sich die Arbeiten auf See kurzfristig abwickeln. Voraussetzung ist, daß feststehende Gerüste für die Aufnahme der Rammen vorhanden sind, meist in Form von Hubinseln. Schwimmende Rammung ist von vornherein auf Bereiche begrenzt, wo genügend lange Ruhigwasserperioden mit nicht zu starken Strömungen und Strömungswechseln zu erwarten und Fluchthäfen in gut erreichbarer Nähe vorhanden sind.

Pfahlgründungen mit hochliegendem Rost in der klassischen Weise sind für die Gründung von Leuchttürmen auf hoher See bisher nicht verwendet worden. In erweitertem Sinn könnte man dazu aber die amerikanische Bauweise, von der auch die Japaner und neuerdings die Holländer Gebrauch machen, zählen. Sie verwenden als Unterbau vorfabrizierte vierfüßige Stahlfachwerk-Konstruktionen, durch deren geneigte Eckrohre Gründungspfähle in große Tiefe gerammt werden.

Aber auch Lösungen, die eine Hubinsel als Dauerbauwerk vorsehen, lassen sich hier einordnen, womit die Vorfertigung an Land ein Höchstmaß erreicht. Ein Schwimmkörper, der beim Transport bereits die Beine (Pfähle) trägt, bildet nach dem Hochjucken am Einbauort die obere Plattform, auf welche der Turmschaft aufgesetzt wird. Diese Plattform steht auf den später auszubetonierenden Stahlrohrstützen großen Durchmessers so weit über dem höchsten Hochwasserspiegel, daß sie frei von Wellenberührung bleibt. Ein Landeplatz für Hubschrauber berücksichtigt neuzeitliche Forderungen. Eine solche Bauweise verkürzt die Bauzeit auf See und verringert das Wetterrisiko. Diese Bauweise bedarf jedoch bei hohen Belastungen aus Eisdruck zusätzlicher Maßnahmen. Die Pfähle sind gegen Korrosion und Sandschliff zu schützen.

## 5. Erfahrungen und Folgerungen

Die in Deutschland gewonnenen Erfahrungen mit dem Bau von Anlagen für Seezeichen auf offener See und im tiefen Wasser sowie die daraus zu ziehenden Folgerungen können wie folgt zusammengefaßt werden:

5.1 Für die Konstruktion und die Baudurchführung ist die Kenntnis über die größten zu erwartenden Wellenhöhen, die dynamische Beanspruchung aus Seegang und Wind, die Richtung und Stärke von Strömungen sowie den möglichen Eisdruck erforderlich.

Auch Korrosion und Sandschliff spielen eine Rolle. Um das Schwingungsverhalten eines Turmes bei periodischer Wellen- und Windbelastung zu ermitteln, ist außer der Kenntnis seiner Eigenfrequenz eine genaue Beschreibung des zeitlichen Verlaufes der Wind- und Wellenkräfte, vor allem auch der Entfaltungsdauer einer Sturmbö, erforderlich. Solche Unterlagen fehlen noch in den meisten Fällen. Die Eigenfrequenz eines Turmes läßt sich probeweise z. B. aus Schiffsstößen feststellen.

5.2 Der Eisdruck spielt in unseren Breitengraden bereits eine erhebliche Rolle. Über ihn herrscht allgemein noch keine endgültige Klarheit. Zu den verschiedenen Eisqualitäten tritt die Abhängigkeit der Eisfestigkeit von der jeweiligen Temperatur und die Aufbereitung des Eises durch ständigen Tidewechsel oder Seegang. Zu berücksichtigen ist ferner der Einfluß von Größe und Form der vom Eis getroffenen Bauwerksfläche sowie der dynamische Beitrag aus Strömung und Wellen. Z. Z. wird an der deutschen Küste mit 50 — 100 Mp/m<sup>2</sup> projizierter Bauwerksfläche im Hauptangriffsbereich des Eises gerechnet. Unter diesem hohen Eisschub müssen die Angriffsflächen so klein wie möglich gestaltet werden, d. h. es sind schmale Türme vorzusehen. Andererseits werden aufgelöste Konstruktionen wie offene Gerüste oder hochliegende Pfahlroste dann bedenklich, wenn Gefahr besteht, daß sich deren Zwischenräume mit Eis verpacken und damit große widerstehende Flächen entstehen.

5.3 Sind Kolke durch Baukörper selbst oder durch das Bauverfahren zu erwarten, muß man ihr Entstehen in die Betrachtung einbeziehen oder Maßnahmen ergreifen, die sie verhindern. Dazu muß man wissen, welche Ausdehnung solche Kolke nach Tiefe und Weite erreichen können. Hierzu fehlt uns leider heute noch jede konkrete Unterlage. Bei längerer Dauer der Einwirkung wurden im Mündungsbereich der Elbe bereits Kolk-tiefen bis zu 10 m und mehr erreicht. Aber dies ist zweifellos nicht der höchstmögliche Wert. Bei Pfählen kann man allgemein nur mit einer Kolk-tiefe gleich dem Pfahldurchmesser rechnen. Bei großflächigen Gründungskörpern spielt ihre Form eine entscheidende Rolle. Runde Formen sind eckigen vorzuziehen. Bei beweglichen Sohlen sind Kolkungen während der Bauausführung selten zu vermeiden. Am fertigen Bauwerk ist aber dafür Sorge zu tragen, daß die Sohle im Bereich des Bauwerkes durch eine Oberflächensicherung gehalten wird; sie besteht in der Regel aus 1 m dicken Sinkstücklagen, die durch Wasserbauschüttsteine beschwert werden.

5.4 Für Baustellen auf hoher See kann auf ein festes Arbeits- und Absenkerüst meist nicht verzichtet werden, will man von Tide und Seegang unabhängig sein. Notwendig wird es aber, wenn sich der Standort des Turmes vor einer flachen Luvküste, vollkommen offen und ungeschützt gegen die Hauptwind- und -wellenrichtung, befindet. Oft ist ein Gerüst überhaupt die Voraussetzung dafür, Termine zu halten, die gewünschte Genauigkeit der Position und Stellung zu erzielen und ganz allgemein den Erfolg der Baumaßnahmen sicherzustellen.

5.5 Gerüste sind bei Sturmfluten und Eisgang besonders gefährdet und deshalb entsprechend schwer auszubilden und hochliegend anzuordnen. Dann wird aber jeder derartige Gerüstbau seinerseits zu einem besonderen Ingenieurbauwerk. Je nach der Entfernung vom nächsten Versorgungshafen werden die Ingenieure und Arbeiter auf solchen Gerüsten auch wohnen und wirtschaften müssen. Versorgungsschiffe sind zusätzlich in ausreichender Zahl vorzuhalten. Solche Hilfsbauwerke dienen aber nicht nur als Basis für die Belegschaft, sie müssen auch sämtliche Einrichtungen für die Baudurchführung aufnehmen. Hier hat sich der Einsatz von Hubinseln bewährt. Eine Hubinsel kann

in ihrer Höhenlage sehr gut den jeweiligen Arbeits- und Montagevorgängen angepaßt werden und läßt sich unter den Verhältnissen vor der deutschen Küste so hoch aus dem Wellenbereich herausheben, daß sie eine von Strömung und Seegang weitgehend unabhängige Arbeitsplattform bietet. Lediglich Baustoff- und Personentransporte werden dann durch Wind und Seegang beeinträchtigt; sie sind mitunter über mehrere Tage hinweg — auch im Sommer — nicht möglich. Das Hauptrisiko liegt im Antransport der Hubinsel mit fertigen Bauteilen. Der Einsatz einer Hubinsel ist jedoch wegen ihrer umfangreichen Einrichtungen teuer und daher nur für größere Bauobjekte vertretbar.

5.6 Die vollständige Fertigung einer Stahlkonstruktion an Land und ihre Einspülung in einem Stück kann beträchtliche wirtschaftliche Vorteile gegenüber dem Einsatz einer Hubinsel bringen, setzt jedoch wegen der großen, weit über der Wasserlinie abzufangenden Gewichte eine ruhige Wetterlage voraus. Dadurch können erhebliche Wartezeiten mit Bereithalten aller benötigten Geräte entstehen. Außerdem ist es kaum möglich, ein solches Bauwerk in einem Stück genau in Position zu bringen. Eine Aufteilung in mindestens 2 Abschnitte, die nacheinander eingebracht und verschraubt werden, ist daher zu empfehlen, sie ermöglicht auch jederzeit eine Korrektur der senkrechten Lage.

5.7 Für Antransport, Absetzen und Absenken oder Montage großer Fertigteile gibt es im wesentlichen vier Möglichkeiten:

5.7.1 Das Fertigteil wird so konstruiert, daß es selbst schwimmt und mit Schleppern zur Baustelle verholt wird. Das Absetzen und Absenken kann dann vor Anker geschehen, wobei u. U. eine Leithilfe gegeben wird.

5.7.2 Das Fertigteil wird auf einem Ponton entsprechender Abmessungen hergestellt und zur Einbaustelle transportiert, wo es von Absetzgeräten, z. B. einer Hubinsel, übernommen wird.

5.7.3 Das Fertigteil wird an Land gefertigt, von einer Hubinsel übernommen und mit dieser an die Einbaustelle geschleppt. Nach dem Einrichten und Hochjacken der Insel wird es abgesetzt.

5.7.4 Das Fertigteil wird an Land von einem Schwimmkran übernommen und in diesem hängend und evtl. den Eigenauftrieb ausnutzend herangebracht und abgesetzt.

Die beschriebenen Bauten haben alle Verfahren mit Erfolg erprobt. Welches Verfahren das technisch und wirtschaftlich optimale ist, hängt von den örtlichen Verhältnissen, Art und Form des Bauwerkes u. dgl. ab. Die Größe der Absenkstücke selbst richtet sich dabei nach der Tragfähigkeit der zur Verfügung stehenden Hubinseln, Schwimmkrane oder sonstigen Hebezeuge.

5.8 Das Einbauverfahren bestimmt schließlich auch, mit welcher Genauigkeit ein Turm errichtet werden kann. Für seine Wahl ist es daher von großer Bedeutung, welcher Grad an Genauigkeit, nicht nur in der Einhaltung der verlangten Position, sondern auch in der endgültigen Stellung nach Höhe, Richtung und Neigung verlangt wird. Hierfür sind zweifellos die seezeichentechnischen Forderungen maßgebend. Daneben können noch richtungsgebundene Anschlüsse für Versorgungseinrichtungen von Land her von Bedeutung sein. Auch früher ausgelegte Sohlensicherungen, die eine Aussparung für das Einsetzen des Turmes enthalten, müssen gelegentlich berücksichtigt werden. Die Einhaltung strenger Forderungen setzt voraus, daß feste Arbeitsplattformen verwendet werden, die ihrerseits sehr genau eingemessen sein müssen. Die Hochseevermessung ist bekanntlich schwierig, geeignete Peilmarken sind oft nicht verfügbar. Die Forderungen an die Genauigkeit einer Turmstellung dürfen daher nicht zu hoch geschraubt werden, abgesehen davon, daß bei einer größeren zugelassenen Toleranz u. U. auch erhebliche Kosten eingespart werden können.

## Schriftumsverzeichnis

- RUDELOFF: 50 Jahre Leuchtturm „Roter Sand“, Zentralbl. d. Bauverw. 1936, Heft 16.
- WIEDEMANN, G., BURGHART, W.: Die Leuchtfeuerneubauten im Küstengebiet der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1952 bis 1962, Hansa 101 (1964), S. 439—447.
- SCHAUBERGER, H., ROLLMANN, A.: Schifffahrtszeichen der Außenweser und Grundlagen für den Ersatz des Leuchtturmes „Roter Sand“, Hansa 101 (1964), S. 2402—2412.
- SMOLTZYK, H. U.: Statische und konstruktive Fragen beim Bau des Leuchtturmes „Alte Weser“, Bautechnik 41 (1964), S. 1—11.
- HAUSCHOPP, G.: Der Bau des Leuchtturmes „Alte Weser“, Baumaschine und Bautechnik 11 (1964), S. 1—11.
- SCHWITTERS, J.: Leuchtfeuerträger aus stählernen Großrohren, Deutscher Beitrag zur VII. Intern. Techn. Seezeichenkonferenz Rom 1965.
- BIESKE, H.: Stromversorgung der Leuchttürme Falshöft und Kalkgrund, Hansa 101 (1964) Nr. 5.
- HARTUNG, W.: Bau des Leuchtturmes „Kalkgrund“ vor der Flensburger Förde, Bautechnik 42 (1965), S. 73—78. — Der Bau des Leuchtturmes Kiel, Der Monierbauer (1965), Heft 3, (1966), Heft 3.
- THOMAS, H.: Neuer Aluminium-Leuchtturm ersetzt Feuerschiff Kiel, Aluminium (1965), S. 778—781.
- DAHME, H.: Leuchtturm Kiel, Hansa 103 (1966), S. 1267—1272.
- SCHULZE, H., GUTSCHE, H.: Konstruktion und Bauausführung des Leuchtturmes Kiel, Sonderdruck der Beton- und Monierbau AG (1967).
- GERLACH, W.: Bau eines Leuchtturmes in See mit Lotsenstation, Deutscher Beitrag zur VIII. Intern. Techn. Seezeichenkonferenz Stockholm 1970.
- Versuchsanstalt für Wasserbau u. Schiffbau, Berlin: Modellversuche für Leuchtturm Kiel, 1. und 2. Teil, Bericht Nr. 215/62 und 232/62 (1962).
- CICCOLELLA, J. A.: Tonnen? Oder feste Konstruktionen? The Engineer's Digest (1959) Nr. 117, S. 14 ff.
- ROBINSON, A. K., WIMAN, K. G.: United States Coast Guard Offshore Light Station, AISM-Bulletin (1962) Nr. 15, S. 7—15.
- OLSEN, J. A.: Construction of Ambrose Light Station, The Engineer's Digest (1968) Nr. 159, S. 1—9.
- SWANSBOURNE, F. C.: A lighthouse for Milford Haven, Dock and Harbour Authority (1967) Heft 8, S. 112—114.
- Royal Sovereign light tower, Dock and Harbour Authority (1967), Heft 11, S. 207—210.
- DANYS, J. V.: Leuchtturm Prince Shoal, Kanadischer Bericht zur VII. Intern. Techn. Seezeichenkonferenz Rom 1965.
- JOGO, I.: Konstruktionsverfahren von Leuchtbaken, Japanischer Bericht zur VII. Intern. Techn. Seezeichenkonferenz Rom 1965.
- WOISIN, G., GERLACH, W.: Beurteilung der Kräfte aus Schiffsstößen auf Leuchttürme in See, Deutscher Bericht zur VIII. Intern. Techn. Seezeichenkonferenz Stockholm 1970.