Bitte beachten Sie:
Dieses Dokument einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes, ist ohne Zustimmung der Deutschen Stiftung Denkmalschutz unzulässig und kann strafbar sein. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

GMG Ingenieurgesellschaft

VORENTWURF/VARIANTEN

zur Translozierung des

Leuchtturms „Roter Sand“

Auftraggeber: **Deutsche Stiftung Denkmalschutz**
Schlegelstraße 1
53113 Bonn

Objekt: **Leuchtturm "Roter Sand"**
in der Wesermündung

Position: 53° 51' 11.4 N, 008° 04' 55.81 E (WGS84)

GMG
Ingenieurgesellschaft mbH

George-Bähr-Straße 10 • 01069 Dresden

Fon: 0049 351 / 87657 - 0
Fax: 0049 351 / 87657 - 28
Mail: info@gmg-dresden.de
Web: www.gmg-dresden.de

Dresden, 31. März 2022

Dr.-Ing. P. Lieberwirth

Projekt: GA222239
Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) L. Schöbitz
Dipl.-Ing. E. Seeger

Inhalt: **Teil I**: - **Vorentwurf/Varianten zur Translozierung des LT**

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen, Ausgangssituation, Zielstellung und Leitlinien 3
1.01 Grundlagen 3
1.01.1 Planunterlagen, Literatur und Normungen 3
1.02 Bauwerksbeschreibung 5
1.03 Ausgangssituation, Zielstellung und Leitlinien 8
1.03.1 Ausgangssituation 8
1.03.2 Zielstellung 9
1.03.3 Leitlinien 9
2 Grundlegende Aspekte der Translozierung 11
2.01 Standorteinordnung 11
2.02 Vorbereitende Maßnahmen 11
2.03 Transportgewichte 12
2.04 Demontage und Transportvorgang 13
2.04.1 Historische Bausubstanz 13
2.04.2 Ausführungszeitraum 13
2.04.3 Montagebehelfe 13
2.04.4 Transporthilfskonstruktion 14
2.04.5 Trennvorgang 14
2.04.6 Hub bzw. Kranung und Transport bis zum Hafen bzw. zur Werft 15
2.04.7 Umladung für Weitertransport bzw. Absetzen auf neuen Standort 16
2.04.8 Transport landeinwärts 17
2.05 Instandsetzung bzw. Sanierung der Konstruktion 18
2.05.1 Auswirkungen auf das Turmtragwerk aus Transport 18
2.05.2 Austausch und Ertüchtigung beschädigter Bauteile 18
2.05.3 Ertüchtigung (Gesamttragwerk) 19
2.05.4 Anschlusskonstruktion 19
2.05.5 Korrosionsschutz 19
2.06 Risikobewertung 19
3 Varianten der Translozierung 21
3.01 Überblick zu den Varianten der Translozierung 21
3.02 Variante V3.A: Transport des Turmes mit Teil des KG-Mauerwerks 22
3.02.1 Kurzbeschreibung, Schwerpunkte und Überblick 22
3.02.2 Vorarbeiten und Beeinträchtigung der historischen Bausubstanz 23
3.02.3 Transporthilfskonstruktion 24
3.02.4 Hub- und Transportmittel 26
3.02.5 Demontage und Transportvorgang 28
3.02.6 Weitere Verbringung bzw. mögliche neue Standorte 28
3.02.7 Instandsetzung und Sanierung 29
3.02.8 Bauliche Voraussetzungen am neuen Standort 30
3.02.9 Instandhaltung und Wartung 30
3.02.10 Risikobewertung 30
3.03 Variante V3.B: Transport des Bauwerkes ohne KG-Mauerwerk 31
3.03.1 Beschreibung und Schwerpunkte 31
3.03.2 Vorarbeiten und Beeinträchtigung der historischen Bausubstanz 32
3.03.3 Transporthilfskonstruktion 33
3.03.4 Hub- und Transportmittel 33
3.03.5 Demontage und Transportvorgang 34
3.03.6 Weitere Verbringung bzw. mögliche neue Standorte 34

3.03.7 Instandsetzung und Sanierung 34
3.03.8 Bauliche Voraussetzungen am neuen Standort 35
3.03.9 Instandhaltung und Wartung 35
3.03.10 Risikobewertung 35
3.04 Variante V3.C: Transport der Stahlkonstruktion ohne Ausbauten 36
3.04.1 Beschreibung und Schwerpunkte 36
3.04.2 Vorarbeiten und Beeinträchtigung der historischen Bausubstanz 37
3.04.3 Transporthilfskonstruktion 38
3.04.4 Hub- und Transportmittel 38
3.04.5 Demontage und Transportvorgang 39
3.04.6 Weitere Verbringung bzw. mögliche neue Standorte 39
3.04.7 Instandsetzung und Sanierung 39
3.04.8 Bauliche Voraussetzungen am neuen Standort 41
3.04.9 Instandhaltung und Wartung 41
3.04.10 Risikobewertung 41
3.05 Variante V3.D: Trennung des Bauwerkes in Geschoss-Segmente 42
3.05.1 Kurzbeschreibung und Schwerpunkte 42
3.05.2 Vorarbeiten und Beeinträchtigung der historischen Bausubstanz 44
3.05.3 Transporthilfskonstruktion 47
3.05.4 Hub- und Transportmittel 47
3.05.5 Demontage und Transportvorgang 48
3.05.6 Weitere Verbringung bzw. mögliche neue Standorte 48
3.05.7 Instandsetzung und Sanierung 49
3.05.8 Bauliche Voraussetzungen am neuen Standort 50
3.05.9 Instandhaltung und Wartung 50
3.05.10 Risikobewertung 50
3.07 Variante V3.E: Alternative zur Kranung des Bauwerks 51
3.07.1 Beschreibung und Schwerpunkte 51
3.07.2 Risikobewertung 53
4 Bauliche Voraussetzungen am neuen Standort 55
4.01 Lastannahmen 55
4.01.1 Ständige Lasten 55
4.01.2 Veränderliche Nutzlasten 55
4.01.3 Schnee- und Eislasten 55
4.01.4 Windlasten 55
4.01.5 Wellenlasten 56
4.01.6 Temperaturlasten 56
4.01.7 Außergewöhnliche Lasten 56
4.02 Gründungsplatte 56
4.02.1 Einwirkungen 56
4.02.2 Statisches System 56
4.02.3 Querschnitt 57
4.02.4 Bemessung 57
4.03 Hinweise zur baulichen Durchbildung 58
5 Sicherung des Caisson-Stumpfes am originären Standort 60
6 Variantenvergleich und Kostenfaktoren 61
6.01 Variantenvergleich 61
6.02 Kostenfaktoren 62
6.03 Ausblick 64

1 Grundlagen, Ausgangssituation, Zielstellung und Leitlinien

1.01 Grundlagen

1.01.1 Planunterlagen, Literatur und Normungen

Planunterlagen

[P_02] Erkundungen vor Ort am 14. bis 16.10.2018 durch
U. Steimann (Baualpin), C. Walther (Baualpin), L. Schöbitz (GMG), A. Metzle (GMG)

[P_03] Erkundungen vor Ort am 14. bis 16.05.2019 durch
J. Baldauf (Baualpin), C. Walther (Baualpin), E. Schulze (GMG)

[P_11] Plan-Nr. K-0-5/87.e: Stahlschale des Fundamentsockels, vom 03. Juli 1987,
erstellt durch die Ludwig Voss GmbH & Co. KG, Cuxhaven

Literatur und grundlegende Dokumente

Literaturverzeichnis:

[L_01] W. NEß, C. ONNEN, D. J. PETERS (2010): Der Leuchtturm Roter Sand in der Reihe: Historische Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst in Deutschland. (Hrsg. Bundesingenieurkammer), Band 7, 1. Aufl., o. O.

[L_02] H. BARGMANN (2008): Historische Bautabellen. 4. Auflage, Werner Verlag, Köln

[L_03] O.V. (o. J.): Homepage des Fördervereins Leuchtturm Roter Sand, https://www.foerderverein-leuchtturm-roter-sand.de/seite/118533/daten+kennung.html, Einsichtnahme: 20.12.2018

[L_04] S. STÖLTING (HRSG.) U.A. (2005): Leuchtturm Roter Sand. 1. Aufl, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven

Dokumentenverzeichnis:

[D_01] Untersuchungen am Leuchtturm „Rotersand“ im Sommer 1955,
erstellt vom Wasser- und Schiffahrtsamt Bremerhaven, Januar 1956

[D_02] Statische Berechnung Nr. 2800/26, Bauvorhaben: Leuchtturm Rotersand,
Bauteil: Fundament-Instandsetzung / Spannungsuntersuchung,
erstellt von Gustav W. Rogge Ingenieurplanung, Bremerhaven, Juli 1984

[D_03] Statische Berechnung, Bauwerk: Sanierung des L.Turms „Roter Sand“
erstellt von Ludwig Voss GmbH & Co. KG Hoch- und Tiefbau, Cuxhaven, Juli 1987

[D_04] Leuchtturm Roter Sand – Bauhistorische Untersuchung erstellt von der Arbeitsgruppe Altstadt - Architekten und Bauhistorische Gutachter, Braunschweig, August 1989

[D_05] Verbringmenge Roter Grund in den Jahren 2000 bis 2011
erstellt vom Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Bremerhaven

[D_06] Leuchtturm Roter Sand – zur Frage der Bauwerkssicherung
erstellt von Prof. Dr.-Ing. Nasner, Bremen, März 2011

[D_07] Verbesserung des Kolkschutzes im unmittelbaren Umfeld des Leuchtturms Roter Sand, Teil I: Baubeschreibung, vom 22. März 2013,
erstellt vom der IMS Ingenieur-GmbH, Hamburg

[D_08] Planung des Kolkschutzes im unmittelbaren Umfeld des Leuchtturms Roter Sand, Entwurfsplanung, vom 24. Mai 2013,
erstellt durch die IMS Ingenieurgesellschaft mbH, Hamburg

[D_10] Gutachten zur Sanierung des Leuchtturmes „Roter Sand“,
Teil 0: Vorbemerkungen, vom 14. Juni 2019,
erstellt durch die GMG Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden

[D_11] Gutachten zur Sanierung des Leuchtturmes „Roter Sand“,
Teil 1: Grundlagen, Erkenntnisse und Ergebnisse, vom 14. Juni 2019,
erstellt durch die GMG Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden

[D_12] Gutachten zur Sanierung des Leuchtturmes „Roter Sand“,
Teil 2: Dokumentation zur Bauwerksprüfung, vom 14. Juni 2019,
erstellt durch die GMG Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden

[D_13] Gutachten zur Sanierung des Leuchtturmes „Roter Sand“,
Teil 3: Nachrechnung des stählernen Turmhaupttragwerkes, vom 14. Juni 2019,
erstellt durch die GMG Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden

[D_14] Gutachten zur Sanierung des Leuchtturmes „Roter Sand“,
Teil 4: Nachrechnung des Turmsockels und des Caissons, vom 14. Juni 2019,
erstellt durch die GMG Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden

[D_15] Untersuchungen zu Belastungen des Leuchtturms „Roter Sand“ infolge Wellenschlags, vom 05. Juli 2019, erstellt durch die GWT-TUD GmbH, Dresden

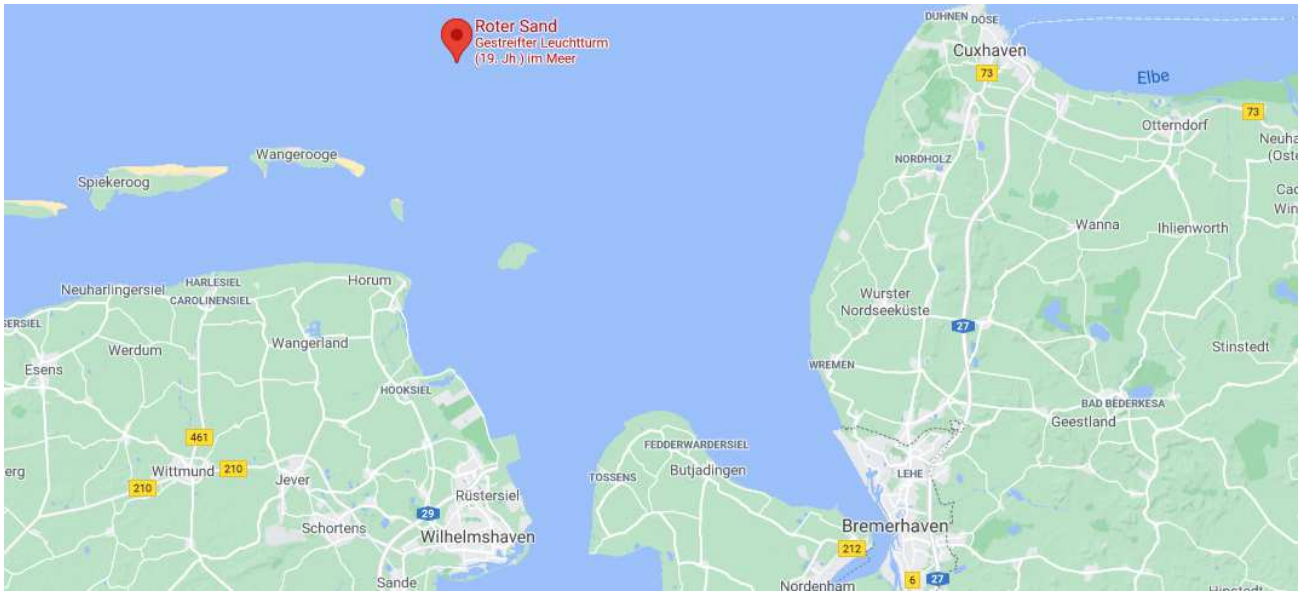
[D_21] Vorentwurf zur Sicherung des Leuchtturms „Roter Sand“,
Teil I: Vorentwurf zur Sicherung des LT „in situ“, vom 31. August 2021,
erstellte durch die GMG Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden

1.02 Bauwerksbeschreibung

Bei dem Leuchtturm ROTER SAND handelt es sich um das erste in der offenen See gegründet und errichtete Bauwerk. Das maritime Wahrzeichen wird in den folgenden Absätzen beschrieben.

Standort:

Der Leuchtturm ROTER SAND steht in der Deutschen Bucht auf der namensgebenden Sandbank „Roter Sand“ in der Außenweser zwischen dem Fahrwasser Wurster Arm/Tegeler Rinne (im Nordosten, ursprünglich Alte Weser) und Fedderwarder Fahrwasser/Hohewegrinne (im Südwesten, ursprünglich Neue Weser). Der Leuchtturm befindet ist sich ungefähr 48 km nordwestlich von Bremerhaven und 11 km nordöstlich der Insel Wangerooge auf der Position 53° 51' 11.4 N, 008° 04' 55.81 E (WGS84) [L_03].



Lage des Leuchtturms ROTER SAND (Quelle: Google Maps 08/2021)

Bauwerksbeschreibung:

Das Bauwerk Leuchtturm ROTER SAND ist insgesamt 52,50 m hoch und lässt sich in die drei Bauteile Caisson, Sockel und Turmoberteil gliedern (siehe Abbildung auf der folgenden Seite). In allen Bauteilen sind die verwendeten Stahlbauteile aus Blechen und Walzprofilen zusammengesetzt. Die Anschlüsse zwischen den Bauteilen sind genietet. Die nachfolgende Beschreibung der Bauteile basiert vorwiegend auf der Auswertung der Ortstermine [P_02] und [P_03] sowie den vorhandenen Planunterlagen. Auf weitere Quellen wird an entsprechender Stelle verwiesen. Die Gründung des Leuchtturms auf bzw. im Meeresboden bewirkt eine starke Interaktion zwischen der Gründung (Caisson) und der umgebenden Meeressohle. Daher wird im Folgenden zuerst auf die Situation des Meeresbodens eingegangen, wobei die Untersuchungen und Ergebnisse des Gutachtens von Prof. Dr.-Ing. Nasner [D_06] erläutert werden:

1) Hinsichtlich des **Meeresbodens** war den Planern und Erbauern des Leuchtturms ROTER SAND eine Beeinflussung der Gründung des Leuchtturms auf dem „Roten Sand“ durch hydrodynamischen Einwirkungen und damit einhergehender morphologischer Reaktionen des Sohlmaterials wohl bewusst. Dennoch wurde die nach der Fertigstellung der Gründung eingetretene Bodenabtragung bzw. Kolkbildung von ca. 2 bis 4 m Tiefe in „Entfernungen von Hunderten von Metern vom Turm“ [L_04, S. 84] so nicht erwartet. Die Kolke wurden daraufhin mit Faschinenpackungen verfüllt. Des Weiteren wurde um den Gründungskörper in einem Umkreis von ca. 15 m eine Steinschüttung angeordnet [L_04, S. 84] und damit der umgebende Meeresboden bis in ca. 7 bis 8 m Wassertiefe [D_06, S. 3] aufgefüllt und befestigt. Diese Gründungssicherung hat noch heute Bestand und wurde laut [L_04, S. 112] bzw. [D_06, S. 3] im Jahr 1933 durch eine zusätzliche Steinschüttung erhöht.

Die Auswertung der Peilungen aus den Jahren 1992 bis einschließlich 2010 durch Prof. Dr.-Ing. Nasner [D_06] ergab, dass die oben beschriebene Steinschüttung noch grundsätzlich intakt ist. Allerdings haben sich um den Kegel der künstlichen Befestigung Kolke in einem Abstand von ca. 30 bis 40 m um den Turm gebildet. Der nord-nord-westliche Kolk ist dabei der tiefste mit ca. 18 m unter NHN. Kritisch zu bewerten ist hier vor allem die Böschungsneigung. Diese ist mit einem Verhältnis von ca. 1:2 (26°) im sandigen Meeresboden ohne Sicherungsmaßnahme als nicht dauerhaft standsicher einzustufen.

2) Der **Caisson** dient als Gründungsbauteil und soll alle Einwirkungen aus dem Leuchtturm sowie direkt angreifende Beanspruchungen in den Meeresboden abtragen. Seine Höhe beträgt ca. 24 m, wobei ca. 15 m in den Meeresgrund bzw. die Baugrundauffüllung (Faschinen und Steinschüttung) einbinden.
Der Caisson aus dem Jahr 1883 besteht aus einem mit Stahlträgern versteiften, genieteten Stahlmantel und der massiven Stampfbeton- bzw. Mauerwerkausfachung. An der Unterkante des Caissons befindet sich ein ca. 2,5 m hoher seitlich verstärkter Bereich ohne Zwischenträger. Dieser Teil war ursprünglich der Arbeitsraum und diente dem Absaugen des Sohlmaterials wodurch der Caisson in den Meeresboden abgeteuft wurde [L_04, S. 72]. Die Außenkante des Grundrisses setzt sich aus zwei ca. 150°-Kreisabschnitten mit einem Radius von ca. 7,3 m zusammen. Durch die exzentrische Anordnung der Kreismittelpunkte mit einem Abstand von ca. 3,5 m zueinander, entsteht ein mandelförmiger Grundriss mit spitz zulaufenden Enden, an denen sich die beiden Kreisabschnitte schneiden. Diese Form ist an einen Schiffsrumpf angelehnt und soll die angreifenden Kräfte durch die Gezeitenströmung verringern. Daher ist die längere Mittelachse entlang der Richtung dieser Strömung auf der Achse von Süd-Süd-Ost nach Nord-Nord-West ausgerichtet. Der Caisson hat eine maximale Breite von ca. 11 m bei einer Länge von ca. 14 m. Im Mittelpunkt des Caissons befindet sich ein senkrecht verlaufender runder Schacht mit ca. 1 m Durchmesser. Er diente während der Bauzeit als Absaugschacht für das entnommene Bodenmaterial. Im Betrieb waren in diesem Schacht die Flutmessapparatur und das Telegrafenkabel eingebaut. Laut [D_02, S. 24] wurde dieser Schacht mit Beton verfüllt, um eine größere Eigenlast der Gründung zu bewirken. Bei den Ortsterminen konnte die Ausführung dieser Planung nicht überprüft werden.

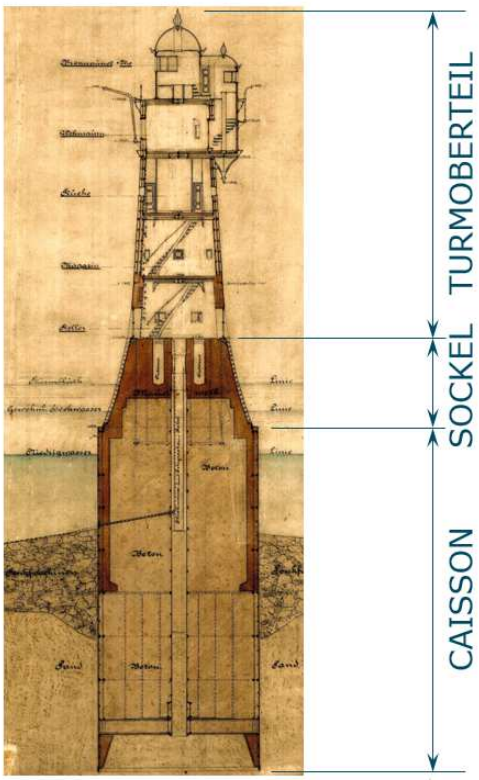


Abb. Bauwerksübersicht Stand 1883

Bei den Untersuchungen im Sommer 1955 [D_01] wurden starke Beschädigungen des oben beschriebenen Caissonstahlmantels festgestellt. Die Notwendigkeit einer Ertüchtigung des Caissons wurde in [D_02] deutlich gemacht und 1987 durch das Überstülpen eines zweiten Stahlmantels realisiert. Der zweite Stahlmantel konnte allerdings nicht auf die Tiefe des ersten Caissons abgesenkt werden, sondern bindet nur ca. 1 bis 2 m in den Meeresboden ein. Der Raum zwischen neuem und altem Stahlmantel ist ca. 30 cm breit und wurde bei der Sanierung mit Unterwasserbeton verfüllt [L_04, S. 36 ff.]. Außerdem wurde über die Oberkante des alten Caissons eine Stahlbetonmanschette mit einer Höhe von ca. 45 bis 55 cm zur Sicherstellung des Formschlusses mit dem Turmsockel aufgebracht.

3) Der **Turmsockel** ist das Verbindungsglied zwischen Caisson und stählernem Turmoberteil. Er besitzt einen kreisförmigen Grundriss, der sich von ca. 10,1 m Durchmesser auf ca. 6,4 m über die Höhe von ca. 6,1 m verjüngt.

Die Außenhaut des Turmsockels wurde, wie beim Caisson, aus einem mit Steifen verstärkten, genieteten Stahlmantel hergestellt und ist mit einer schwarzen Korrosionsschutzbeschichtung versehen.
Der Sockel ist, wie der Caisson, mit Mauerwerk und Beton massiv ausgefacht. Als Ausnahme sind der durchlaufende zentrisch angeordnete Schacht des oben genannten Flutmessers und die beiden über die ca. halbe Schafthöhe reichenden Zisternen zu erwähnen. Inwieweit der Schacht verfüllt ist, ist unklar (s.o.). Bei dem Ortstermin im Mai 2019 wurde festgestellt, dass die Zisternen noch (unverfüllt, als Hohlräume) vorhanden sind.
Die auf dem Sockel aufstehenden Stahlstützen des Turmes sind mit Zugankern, welche bis zur Oberkante des alten Caissons reichen, im Sockel verankert.
Auf der Außenseite des Turmsockels liegen die beiden zur Erschließung notwendigen 19-sprossigen Leitern. Sie liegen Richtung Ost-Nord-Ost und West-Süd-West, sind in Vertiefungen der Mantelkonstruktion angeordnet und führen über die gesamte Höhe des Sockels.

4) Das **Turmoberteil** steht direkt auf dem Turmsockel und gliedert sich in fünf Ebenen. Das Kellergeschoss, den Schlafraum und die Küche mit einer lichten Raumhöhe von ca. 3,8 bis 3,9 m sowie den Dienstraum mit einer Höhe von ca. 3,2 m und das Laternengeschoss mit ca. 2,4 m Höhe. Der kreisförmige Grundriss des Turmsockels setzt sich im Turmoberteil fort. Bis zur Unterkante der Küchengeschossdecke verjüngt sich der Turm über eine Höhe von ca. 12,7 m von ca. 6,4 m auf einen Außendurchmesser von ca. 5,1 m.
Der im Grundriss kreisrunde Dienstraum ist durch drei Erker (welche Richtung Süd, West-Nord-West und Nord-Ost ausgerichtet sind) erweitert. Die Erkergrundrisse haben jeweils einen Durchmesser von ca. 1,9 m, decken einen Kreisabschnitt von ca. 270° ab und verschneiden sich mit dem kreisförmigen Grundriss des Dienstraumes. In dem südlichen sowie in dem west-nord-westlichen Erker waren einst Nebenfeuer positioniert [L_04, S. 63]. Abweichend von diesen beiden Erkern erstreckt sich der nord-östliche Erker über diese Geschossebene hinaus. In dem nord-östlichen Erker befindet sich die Treppe, über die das Laternengeschoss zugänglich gemacht wird.
Der Grundriss des Laternengeschosses setzt sich aus dem oben erwähnten Kreisabschnitt des Treppenerkers und dem kreisförmigen Laternenraum mit einem Durchmesser von ca. 4 m zusammen. Durch den kleineren Durchmesser des Laternenraums entsteht auf der Decke über Dienstraum ein umlaufender balkonartiger Außenbereich, der sich auch über die beiden Erker im Süden und West-Nord-Westen erstreckt. Über den Verbindungsraum zwischen Treppenerker und Laternenraum werden der Außenbereich und ein nachträglich angebauter Batterieraum im Osten erschlossen.
Der Fußboden des Laternenraums liegt ca. 0,7 m über der Oberkante der Decke über Dienstraum und ist über drei zusätzliche Stufen im Laternenraum betretbar. Durch den Höhenversatz entsteht ein Hohlraum zwischen der Decke über Dienstraum und dem begehbaren Boden des Laternengeschosses.
Der Laternenraum ist mit einer kupfernen Rundkuppel überdacht. Der Treppenerker und der Verbindungsbereich sind ebenso durch eine Kuppel bzw. ein Tonnendach oberseitig abgeschlossen.
Die Tragstruktur des Turmoberteils besteht aus einer genieteten Stahlkonstruktion mit einfachen, zusammengesetzten, genieteten Walzprofilen und Blechen. Insgesamt führen von der Oberkante des Kellerfußbodens zwölf regelmäßig im 30°-Winkel angeordnete Stahlstützen bis zur Oberkante der Decke über Dienstraum. Der Anschluss der Stützen an die in den Turmsockel führenden Anker liegt im Bodenaufbau des Kellergeschosses verborgen und konnte bei den Ortsterminen nicht erkundet werden. Das I-Profil der Stützen verjüngt sich stockwerksweise, wodurch sich an der Innenseite der Stützen Höheversätze an den Unterkanten der Geschossdeckenträger ergeben. Die Wandabschnitte zwischen den Stützen sind im Kellergeschoss ausgemauert, dadurch sind nur die innenliegenden Flansche der Stützenprofile sichtbar. Ab dem Schlafraum ist die tragende Wandkonstruktion mit einer zweischaligen, innenseitig verputzten Holzkonstruktion verkleidet.
Die zwölf Stahlträger der Geschossdecken sind achsengleich zu den Stützen angeordnet. Die Konstruktion der Decken über Kellergeschoss, Schlafraum und Küche haben nach-

folgend beschriebenen Aufbau. Die Träger der Decken lassen sich in vier zueinander rechtwinklig angeordnete Hauptträger, die annähernd Richtung Norden, Osten, Süden und Westen ausgerichtet sind, und acht dazwischenliegende Nebenträger differenzieren. Die Hauptträger haben eine größere Profilhöhe und sind an die entsprechende Stütze über ein zusätzliches Voutenblech rahmeneckartig angeschlossen. Die Nebenträger haben eine geringere Höhe und sind ohne Voutenblech an den Stützen befestigt. In der Mitte der Deckenebenen sind alle Träger über eine aufwendige Stahlblechknotenkonstruktion verbunden. Die Hauptträger sind untereinander durch Laschenstöße biegesteif verbunden. In der Decke über der Küche sind zusätzliche, längere und nach außen auskragende Stahlträger, die zwischen den oben beschriebenen Deckenträgern angeordnet sind, als Basis für die drei Erker angeordnet.
Die Konstruktion der Decke über dem Dienstraum ist stärker ausgeführt. Hier sind alle zwölf Deckenträger mit Vouten an die Stützen angeschlossen. Es entstehen dadurch sechs Rahmen, die die oberste Geschossebene stabilisieren. Auf den Trägern der Decke über dem Dienstzimmer ist ein Deckblech angeordnet und mit den Obergurten der Träger vernietet. Unter den um 15 ° versetzt angeordneten Stützen im Laternengeschoss wurden Abfangträger zur Lastweiterleitung eingebaut.
Der Deckenaufbau der Kellergeschossdecke unterscheidet sich von den übrigen Geschossen. Hier befindet sich über den (von unten) zugänglichen Stahlträgern ein Wellblech auf dem eine unbewehrte Betonschicht aufgebracht wurde. Über dieser massiven Tragschicht ist eine Holzdielung als Fußboden des Schlafraums angeordnet. Die weiteren Geschossdecken sind vergleichsweise leicht mit Holzdielungen (und unterseitigem Verputz auf Vollschalung) ausgeführt.
Die Wandkonstruktion der Erker wurde mit kleinformatigen U-Profilen und einem doppelten Blechmantel (innen und außen) bis zur Oberkante des Dienstraumes hergestellt. Ab dem Laternengeschoss wurden nur noch der äußere Blechmantel bzw. verglaste Lichtbänder verwendet, wodurch die Profile von innen zugänglich sind. Die Unterkonstruktion für die kuppelartigen Dachtragwerke wurde aus schlanken rechteckigen Vollprofilen und zusätzlichen Winkelprofilen gebaut. Auf der Unterkante der Kuppel werden die Schubkräfte durch horizontal verlaufende Vollprofile kurzgeschlossen.

1.03 Ausgangssituation, Zielstellung und Leitlinien

1.03.1 Ausgangssituation

Statische Vorüberlegungen zur Sanierung des Leuchtturms ROTER SAND zeigen, dass eine Ertüchtigung der bestehenden Baukonstruktion für zukünftige Lasten (insbesondere aus Wellengang) am Standort (durch innenliegende Verstärkungsmaßnahmen) kaum möglich ist bzw. grundlegende Eingriffe in die denkmalgeschützte und erhaltenswerte Bausubstanz (v.a. den inneren Ausbau) erfordert (vgl. [D_11]). Innenliegende Verstärkungsmaßnahmen zur Sicherstellung der Standsicherheit und Dauerhaftigkeit stellen aufgrund ihres Umfangs unter besonderer Berücksichtigung der historischen Bestandskonstruktion nach derzeitigem Kenntnisstand keinen praktikablen Lösungsansatz dar.
Die in [D_21] entworfene äußere, umhüllende Verstärkung zur Erhaltung des Leuchtturmes an seinem Standort beeinträchtigt das Erscheinungsbild (siehe Abbildung). Die Belange des Denkmalschutzes werden damit nicht vollumfänglich erfüllt.

Abb. Ansichten (vergleichende Darstellung)

1.03.2 Zielstellung

Alternativ zu der Erhaltung des Leuchtturmes an seinem Standort werden im Rahmen der vorliegenden Variantenstudie die Möglichkeiten einer Translozierung des Bauwerkes erörtert und Konzeptionen zur Realisierung dieser Maßnahme erarbeitet.

Gegenstand der Dokumentation

In dem vorliegenden Dokument werden eingangs grundlegende Aspekte, technische Problemstellungen und Risiken des Transportvorgangs beleuchtet und darauf aufbauend Varianten zur Translozierung des Bauwerkes skizziert. Abschließend wird die Gründung an einem landseitigen Standort vordimensioniert.
Die Varianten zur Umsetzung des Bauwerkes unterscheiden sich im Umfang des zu transportierenden Bauwerks, in der Transportart bzw. den -mitteln, in den Möglichkeiten zum weiteren (landseitigen) Transport und den Möglichkeiten zur Sanierung der Bestandskonstruktion.

Unabhängig von dem betrachteten Translozierungsvorgang sind die vorhandenen Schäden an dem Bauwerk zu sanieren. Diesbezüglich wird auf das Gutachten [D_11] verwiesen.

Planungstiefe

Die vorliegende Konzeption zeigt Varianten zur Translozierung des Leuchtturmes ROTER SAND auf. Die Bearbeitungstiefe entspricht einer Vorentwurfsplanung. Mit der Entscheidung für eine Variante der Sanierung bzw. Translozierung ist die Planung dahingehend zu vertiefen. Neben einer Konkretisierung der Planung und behördlichen Genehmigungen sind dabei Details mit den an der Ausführung Beteiligten abzustimmen.

1.03.3 Leitlinien

Bauwerksumfang als bestimmendes Kriterium

Die denkmalgeschützte Bausubstanz soll im größtmöglichen Umfang erhalten werden. Beeinflusst wird der Umfang der erhaltbaren Baukonstruktion v.a. durch die zur Verfügung stehenden Transportmittel und die Lage des neuen Standortes.
Eine Priorisierung bauhistorisch besonders wertvoller und erhaltens- bzw. schützenswerter Baugruppen kann die Flexibilität des Translozierungsvorgangs erhöhen. Im Wesentlichen sind die Baugruppen Primärtragwerk (stählernes Haupttragwerk) und Sekundärtragwerk, bestehend aus der Ausmauerung im Keller-Geschoss und den hölzernen Ausbauten in den oberen Geschossebenen, zu unterscheiden. Eine schematische Darstellung der wesentlichen Baugruppen ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.
Eine Priorisierung durch den Auftraggeber liegt derzeit nicht vor, ist jedoch im Zuge der Entscheidungsfindung zum weiteren Verfahren mit dem Leuchtturm zu treffen.

Grundsätzlich wird im Folgenden die Translozierung des stählernen, aufgehenden, rot-weiß gestrichenen und in der folgenden Abbildung farbig markierten Turmoberteils betrachtet. Die massiv ausgeführten Gründungsbauteile Caisson und Sockel müssen aufgrund ihres hohen Eigengewichts und der Einbindung in den Meeresboden am originären Standort verbleiben und sind nicht Gegenstand der Versetzungsmaßnahme.

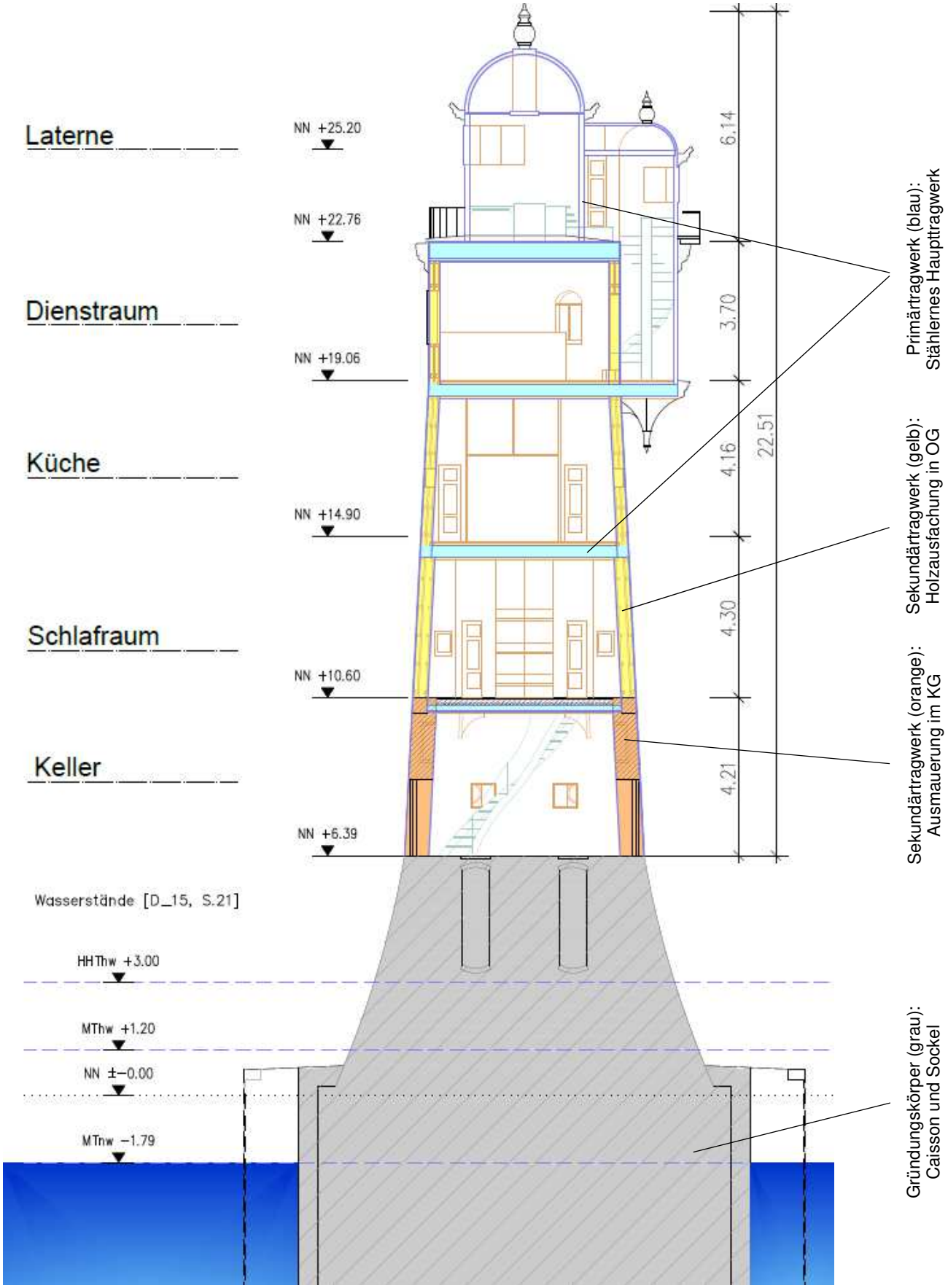


Abb. Schematische Übersicht wesentlicher Baugruppen

2 Grundlegende Aspekte der Translozierung

2.01 Standorteinordnung

Standort des Leuchtturmes (aktuell)

Der Leuchtturm ROTER SAND befindet sich im Bereich der Außenweser in der Deutschen Bucht. Schifffahrtstechnisch liegt der Standort außerhalb der Binnenzone im Seebereich.

Die für die Translozierung im Umfeld des originären Standortes des Leuchtturmes (offene See) erforderlichen (Wasser-) Fahrzeuge bzw. Transportmittel müssen für diesen Fahrtenbereich zugelassen sein.

Aufgrund der exponierten Lage sind sämtliche (Bau-, Hub- und Kran-) Arbeiten am Bauwerk sowie der Transport maßgeblich durch äußere Einflüsse, wie Wind, Seegang, Tidenhub und Gezeitenströmung, beeinflusst. Der Vorgang der Translozierung und die damit einhergehenden Bauzustände sind unter Berücksichtigung der genannten äußeren Einflüsse, im Besondern unter Beachtung der nur begrenzt prognostizierbaren Wind- und Seegangsverhältnisse, zu betrachten.

Wahl des neuen Standorts für das Turmoberteil

Der neue Standort wird maßgeblich durch die Möglichkeiten des landseitigen Transports beschränkt. Eine nahezu freie Wahl des neuen Standortes ist nur dann möglich, wenn das Bauwerk für den Transport in kleinformatige Bauteile bzw. -gruppen zerteilt wird. Dieser Ansatz wird im Folgenden aufgrund der umfangreichen Zerstörungen des historischen Bauwerkes im Zuge der Demontage u.a. Risiken nicht weiter erörtert.

Einschränkend auf die Wahl des neuen Standortes wirken v.a. die Abmessungen und das Gewicht des Bauwerks bzw. der zu bewegenden Bauwerksteile.
Die Abmessungen des Bauwerkes sind, selbst bei einer Zerlegung in Geschosssegmente, größer als die Regel-Lichtraumprofile des öffentlichen (Straßen-) Verkehrsraums (nach RAL, RAA, BASt).
Weitere Einordnungen und Hinweise zum landseitigen Transport sind unter *Kapitel 2.04.8* vermerkt.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich der neue Standort unmittelbar im oder zumindest nahe eines Hafen (-geländes) oder eines anderen für die Wasser-Transportfahrzeuge schiffbaren Gewässers mit kaiartiger Uferbefestigung befinden muss.
Je weiter der neue Standort vom Endpunkt des Wassertransports entfernt liegt, umso höher ist der Grad der erforderlichen Zergliederung des Bauwerkes. Die mögliche Segmentgröße wird durch die Infrastruktur und Zwangspunkte in der Streckenführung eingeschränkt.

2.02 Vorbereitende Maßnahmen

Die im Folgenden aufgeführten Maßnahmen sind <u>unabhängig von der Variante der Translozierung</u> in Vorbereitung bzw. während der Bauausführung am originären Standort erforderlich.

Vorarbeiten (Baufreimachung)

In Vorbereitung auf die Bauarbeiten und den Transport ist das Gebäude zu beräumen und baufrei zu machen. Dabei ist u.a. folgendes auszuführen:

- Dokumentation des aktuellen Ist-Zustandes
- Ausräumen und Sichern der Einrichtungen und Möblierungen
- Demontage und Sicherung der Linse u.a. technischer Einrichtungen
- Demontage der Sanitärzelle im Keller

Baustelleneinrichtung

Unabhängig von der Art der Translozierung ist im unmittelbaren Umfeld des Leuchtturmes eine Basisplattform für Unterkünfte und die Baustelleneinrichtung zu positionieren.

Alternativ zu einem aufstelzbaren Ponton kann ein Errichterschiff als Basisplattform dienen. Diese vornehmlich zur Montage von (Offshore-) Windenergieanlagen konzipierten Fahrzeuge haben einen

eigenen Antrieb, können dadurch ohne Schlepper navigieren und sind (im Vergleich zu Pontons) schneller verfahrbar. Darüber hinaus schränkt Seegang diese mit Hubbeinen ausgestatteten Schiffe weniger ein.

Die Basisplattform verbleibt nach dem Abheben des Leuchtturmes bis zum Abschluss der Restarbeiten (Rückbau Hilfskonstruktionen auf dem Caisson bzw. Sockel, Bestandssicherung etc.) vor Ort.

Die Basisplattform hat folgende Mindest-Ausstattung:

- Büro- und Sanitärcontainer
- Wohnunterkünfte
- Baustelleneinrichtungen (Stromerzeuger, Brauch- und Trinkwasser usw.)
- Baumaterialien, vorgefertigte Montage- und Transporthilfskonstruktionen
- Montagekran
- Entsorgungscontainer
- Lagerfläche

Arbeitsgerüst

Am Turm ist ein Arbeitsgerüst zur Montage der Transporthilfskonstruktion zu errichten.
Je nach Variante unterscheidet sich der Umfang, die Ausdehnung und Höhe der Rüstung. Ggf. sind durch den Einsatz von mit Alpintechnik ausgestatteten Monteuren Teile der Rüstung verzichtbar.
Das Arbeitsgerüst muss objektbezogen konstruiert werden und zügig zu montieren bzw. demontieren sein. Bei Extremwetterereignissen besteht ein Verlustrisiko, wenn Rückbau oder Sicherung der Baubehelfe nicht ausreichend kurzfristig erfolgen können.
Schweißanschlüsse an die Bestandskonstruktion sind aufgrund der vorhandenen Stahlzusammensetzung nicht möglich.

2.03 Transportgewichte

Gewicht der Baugruppen (überschlägliche Ermittlung):

Geschoss-ebene / Decke über	Stahlkonstruktion		Ausbauten *1)		Summe *7)	
	RFem-Modell	Zuschlag *3)	RFem-Modell	Zuschlag *4)		
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[t]
Laterne	38	20	2+7	20	56	6
Dienstzi. *2)	108	20	61+27	20	235	24
Küche	85	20	42+65	20	230	23
Schlafzi.	100	20	26+90	20	259	26
Keller *5)	99	20	119+102	20	384	38
Zwischen-Σ UK KG *5)	430	20	541	20	1165	117
MW KG *6)	0	0	1054	5	1106	111
Zwischen-Σ UK KG (gesamt)	430	20	1595	20	2430	243
Sockel	0	0	7082	5	7436	744
Gesamt-Σ OK Caisson	430	20	8677	20	10928	1093

1) Mit Fußbodenaufbau und inneren Trennwänden. Ohne Möbel, technische Einrichtung u.ä..
2) Inkl. der drei Erker.
3) Zuschlag für im Modell nicht erfasst Anschlussbleche, Kleinteile, Verbindungsmittel usw.
4) Zuschlag für im Modell nicht erfasste Ausbauten.
5) Ohne Mauerwerksausfachung zwischen den Stützen im KG.
6) Ausmauerung Keller-Außenwandung mit D = 0,64 m; $Ø_u$ = 7,2 m; $Ø_o$ = 6,1 m; h = 4,36 m und ρ = 20 kN/m³.
7) Werte gerundet. Zeilenweise Aufsummierung.

2.04 Demontage und Transportvorgang

Für die Demontage und den Transport des Leuchtturmes wurden die im *Kapitel 3* genauer beschriebenen Entwürfe ausgearbeitet. Diese unterscheiden sich im Umfang des zu translozierenden Bauwerks, in den Abmessungen und der Tonnage des bzw. der Transportstücke sowie in der Möglichkeit des landseitigen Transports.
Die Varianten der Translozierung sind unter Berücksichtigung der folgenden Aspekte zu bewerten.

2.04.1 Historische Bausubstanz

Oberste Zielstellung der Translozierung des denkmalgeschützten Bauwerkes ist es, die historische Bausubstanz möglichst vollumfänglich zu erhalten und Eingriffe in den Bauwerksbestand auf ein Minimum zu beschränken.
Dieser Zielstellung steht der Transportvorgang mit den zur Verfügung stehenden Transportmitteln und mit den Einschränkungen des Transportweges gegenüber. Die Problematik kann in folgendem Gleichnis vereinfachend beschrieben werden: Je kleiner bzw. weniger tragfähig die Transportmittel und je länger v.a. der landseitige Transportweg ist, umso tiefgreifendere Eingriffe in das Bauwerk sind erforderlich.

2.04.2 Ausführungszeitraum

Die Ausführung der Demontage auf dem Roten Sand erstreckt sich je nach Variante über einen Zeitraum von mehreren Wochen bis hin zu ca. drei Monaten. Darüber hinaus ist mit (in den vorgenannten Ausführungszeiträumen nicht enthaltenen) witterungsbedingten Unterbrechungen zu rechnen.
Da die Witterung die Arbeiten, wie auch die während der Maßnahme herabgesetzte Standsicherheit des Bauwerkes, beeinträchtigt, ist für die Ausführung ein Zeitraum mit möglichst milden Witterungsbedingungen zu wählen. Die Wahl des frühen Sommerquartals zwischen den Frühjahrs- und Herbststürmen erscheint naheliegend. Die Vorarbeiten sind so zu beginnen, dass die die Standsicherheit beeinträchtigenden Maßnahmen zu Beginn der günstigen Witterungsperiode begonnen werden können und sich ein möglichst langes Zeitfenster für die Durchführung der Demontage am originären Standort (in der offenen See) ergibt.

2.04.3 Montagebehelfe

Bei allen Varianten der Translozierung sind Montagebehelfe erforderlich. Die Montagebehelfe ersetzen im Zuge der Maßnahme entfernte oder beeinträchtigte Tragelemente (Bauteile und Verbindungen), entlasten die Trennfuge und sichern die Konstruktion für den Hub sowie Transport.

Bei einer geschossweisen Demontage muss das Gebäude (jeweils oberhalb der obersten Geschossebene) behelfsmäßig abgedichtet werden, um Beschädigungen der Bausubstanz infolge Feuchteeintrag zu vermeiden und die weiteren Arbeiten zu ermöglichen. Dazu kann eine (EPDM-) Membran über eine entsprechende, ausreichend zu verankernde und auf die Hubkonstruktion abzustimmende Unterkonstruktion gespannt werden.

Weiterhin sind Maßnahmen zur Sicherung des Bauwerks im Falle schweren Wetters und/oder hohen Seegangs vorzuhalten. Die Sicherungskonstruktion muss, entsprechend den Vorwarnzeiten für Starkwind und hohen Wellengang von maximal vier bis fünf Tagen, kurzfristig installiert werden können.

Folgende Konstruktionen können (variantenabhängig) erforderlich werden:
- Durchstützungen (innere, äußere und/oder Sockelgerüst)
- Kopplungen (bspw. von zu lösenden Stützenfüßen)
- Zugbänder (außen umlaufend)
- Abdichtungen (v.a. bei geschossweiser Segmentierung)
- Notsicherungen (für schweres Wetter)

2.04.4 Transporthilfskonstruktion

Der Transport setzt sich aus dem Kranhub, dem Absetzen auf das Transportmittel und dem eigentlichen Verfahren zusammen. Die Vorgänge Umladen, landseitiger Weitertransport und Absetzen auf neuen Standort werden nachfolgend in separaten Kapiteln betrachtet.

Der Transport und der dafür erforderliche Trennvorgang sind für das Bauwerk hinsichtlich des Tragverhaltens besondere Zustände. Diese Zustände, in denen das Bauwerk vom Sockel bzw. Bauwerksteile vom übrigen Turmschaft getrennt werden, müssen durch Hilfskonstruktionen gesichert werden.

Grundsätzlich sind Änderungen des vorhandenen statischen Systems und bisher nicht aufgetretene Beanspruchungen zu vermeiden. U.a. bedeutet das, dass der Turm (bei einer nicht segmentierten Translozierung) auch **im Transportzustand im Keller-Geschoss aufzulagern** ist. Die Stützenstöße in den Ebenen der Geschossdecken sind nach den vorliegenden Planunterlagen nicht zur Aufnahme (relevanter) Zugbeanspruchungen geeignet, wodurch ein „Anhängen“ des zu translozierenden Turmoberteils nicht ohne weiteres möglich ist.

Die Transporthilfskonstruktion ist vor dem Trennvorgang form- und kraftschlüssig an das Bauwerk anzuschließen und abzufangen, sodass die zu trennenden Bauteile möglichst lastfrei sind.

Die Transporthilfskonstruktionen werden in den *Kapiteln 3.02.3* und *3.05.3* für den nicht segmentierten bzw. den segmentierten Transport beschrieben.

Für den Transport ist die Transporthilfskonstruktion mit dem Leuchtturm (-segment) auf einer Unterkonstruktion auf dem Transportfahrzeug abzusetzen und zu verankern. Zusätzlich ist eine Abspannung vorzusehen.

Als Transporthilfskonstruktion können (in Abhängigkeit der Translozierungsvariante) folgende Konstruktionen erforderlich werden:

- Anschluss- und Anschlagpunkte
- Sockelgerüst und/oder Hilfssockel
- Grundträger (als polares Trägerrost)
- Transportgestell,
  bestehend aus Grundträgern, Zugstäben, Kronenkonstruktion, Kopplungen und Verbänden
- Traverseträger
- Zugstangen und zugeh. Anschlussbauteilen
- Absetzgestell und Abspannungen zur Lagesicherung während des Transports

2.04.5 Trennvorgang

Voraussetzung für den Trennvorgang ist, dass das Bauwerk bereits auf die Transporthilfskonstruktion und eine diese abfangende Konstruktion umgelastet ist und damit die zu trennenden Bauteile entlastet sind.

Grundsätzlich sollten vorrangig vorhandene Nietverbindungen durch ausbohren gelöst werden, um die Eingriffe in den Bestand auf ein Mindestmaß zu begrenzen.
Dort wo ein Lösen vorhandener Verbindungen nicht möglich ist, sollten ausschließlich erschütterungsarme, schonende Schneidtrennverfahren zum Einsatz kommen. Ebenso kann die Anwendung von Trennverfahren mit Blick auf die Ausführungszeit während des kritischen Trennvorgangs angeraten sein.

Der Trennvorgang selbst ist zu beplanen. In der Planung muss das genaue Vorgehen mit der Reihenfolge der zu trennenden Bauteilgruppen und der Abfolge (bspw. wechselseitiges Vorgehen) definiert werden.
In dieser Thematik liegen dem Verfasser Erfahrungen, die u.a. bei der langjährigen Verstärkung der Eisenbahnhochbrücke Rendsburg angewendet wurden, vor.

2.04.6 Hub bzw. Kranung und Transport bis zum Hafen bzw. zur Werft

In Abhängigkeit der Translozierungsvariante und des damit einhergehenden Transportgewichtes (siehe *Kapitel 2.03*) sind entsprechend tragfähige Hebezeuge und Transportmittel erforderlich. Bei der Wahl des Hebezeugs sind die Auslage – der horizontale Abstand zwischen der Kranbasis und dem Anschlagpunkt – und die Hakenhöhe bestimmend. Die Auslage ergibt sich aus den Abmessungen des Leuchtturmes (wobei der über die Stahlkonstruktion hinausstehende Caisson maßgebend ist) und des Fahrzeugs mit dem Hebezeug sowie einem Sicherheitsabstand. Unter Umständen wird der Abstand weiterhin durch die Wassertiefe und die Morphologie des Meeresgrundes (Thematik Hubbeine/Stelzen) bestimmt. Die erforderliche Hakenhöhe variiert mit dem Gezeitengang und ist von der Kronenkonstruktion des Transportgerüstes, der Anschlagart, der Krangeometrie und einer evtl. vorhandenen Möglichkeit zur Aufstelzung des Wasserfahrzeugs abhängig.

Folgende Fahrzeuge bzw. Hebezeuge kommen in Frage (mit beispielhaften Fahrzeugen):

-	Errichterschiff	INNOVATION	o.glw.
-	Kranschiff	ENAK	o.glw.
-	Raupenkran	Liebherr LR 1400	o.glw., in Kombination mit
-	Hubinsel	SIMONE	o.glw.
-	Mobilkran	Liebherr LTM 1650-8.1	o.glw., in Kombination mit
-	Ponton	EMS PONTON 7	o.glw., mit zugehörigem
-	Schlepper		

Für die (genauere) Positionierung der Wasserfahrzeuge am Leuchtturm können auf dem Caisson sogenannte Ankerdrähte, die vom Wasserfahrzeug aus (bei entgegen wirkendem Maschinen- oder Schleppereinsatz) langsam eingeholt werden, fixiert werden.

Beim Einsatz des Kranschiffs ENAK oder eines gleichartigen Spezialfahrzeugs ist für den Transport des Leuchtturmes ein separates Fahrzeug, wie bspw. ein Ponton, erforderlich.

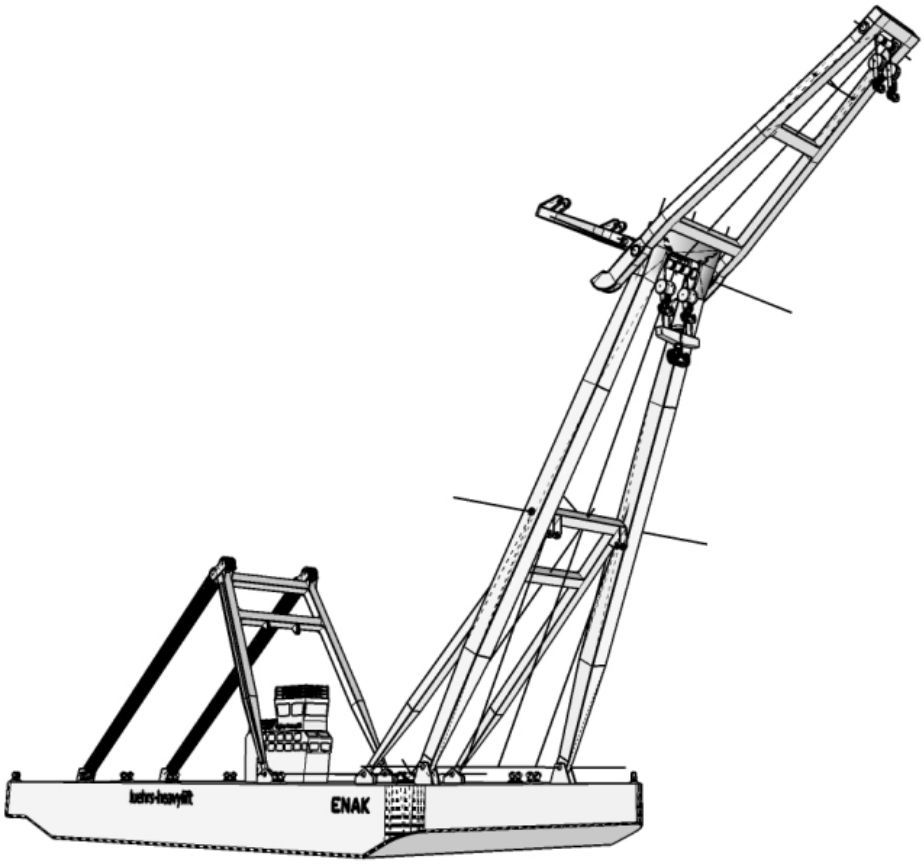


Abb. Beispiel Hebezeug: Kranschiff ENAK [Quelle: LÜHRS Schifffahrt GmbH & Co. KG]

Wird das Transportgewicht (durch eine Segmentierung oder eine Demontage der Ausbauten) stark reduziert, ist auch eine Kranung mit einem Mobilkran auf einer Hubinsel oder einem Ponton denkbar. Um die Arbeitsfähigkeit des Mobilkranes zu gewährleisten, benötigt die Hubinsel bzw. der Ponton eine ausreichende Tragfähigkeit. Neben der Gesamttragfähigkeit sind v.a. die Kränkungsbegrenzung und die Ballastierbarkeit (des Pontons), die lokale Belastbarkeit sowie erforderlichenfalls Lastverteilungsmaßnahmen zu beachten.

Beim Einsatz von Fahrzeugen mit Hubbeinen bzw. Stelzen ist die Morphologie der Meeressohle, die um den Caisson des Leuchtturmes aufgeschüttet ist, zu beachten und erforderlichenfalls zu sondieren. Die Aufschüttung wird in Bestandsunterlagen mit Senkfaschinen/Packwerk und (mehrfach aufgebrachter) Steinschüttung bezeichnet und fällt böschungsartig auf die natürliche Meeressohle ab. Die Neigung der Böschung beträgt lokal bis zu ca. 35°. In flacher geneigten Bereichen ist mit ca. 26° (und weniger) zu rechnen. Um die Aufschüttung haben sich in einem Abstand von ca. 30 bis 40 m (zum Leuchtturm) lokal Kolke ausgebildet.

In Abhängigkeit der Fußausbildung der Hubbeine und anderer das Hubfahrzeug betreffender Verträglichkeitsanforderungen kann eine Vorbereitung der Meeressohle in den betreffenden Aufstands-Bereichen erforderlich werden.

Falls ein geeignetes Fahrzeug bzw. Transportmittel nicht für den Fahrtenbereich Offene See zugelassen ist und nicht adäquat durch ein entsprechend klassifiziertes ersetzt werden kann, ist die Erlangung einer Sondergenehmigung erforderlich.

Das Hebezeug ist vor dem Lösen bzw. Trennen der letzten Bauteile anzuschlagen und bereits leicht „unter Zug“ zu setzen. Ist der zu transportierende Turmabschnitt getrennt, kann er von der Montageunterstützung gehoben werden.

Der Hub- und Transportvorgang ist als Bestandteil der weiteren Planung durch entsprechende Fachplaner zu detaillieren (Abstimmung auf Randbedingungen, Ausweisen von Behelfsmaßnahmen, auftragsbezogene Verstärkung/Modifizierung von Fahrzeugen/Geräten u.a. Themenstellungen in Abhängigkeit der Translozierungsvariante und nach Erfordernis).

2.04.7 Umladung für Weitertransport bzw. Absetzen auf neuen Standort

Der Transport nach Bremerhaven bietet sich wegen der vielen Hafenanlagen und anderer schifffahrtstechnischer Einrichtungen an. Neben Containerterminals und anderer spezialisierter Abfertigungsanlagen sind auch Umschlagplätze für Windenergiekomponenten vorhanden bzw. in Planung. Dort können sowohl schwere wie auch sperrige Bauteile mit entsprechender Technik bewegt und gehandhabt werden.
Die Häfen sind sowohl an das Straßen- wie auch Schienennetz angeschlossen und verfügen z.T. über betriebsinterne Gleisanlagen.
Alternativ kann der zu transportierende Leuchtturm (-abschnitt) mit dem Hebezeug, welches ihn (seeseitig) auf das Transportmittel gehoben hat, auf eine (ausreichend tragfähige) Kaianlage oder ähnliche Uferbefestigung gehoben werden. Dabei ist die mögliche Auslage begrenzend, sodass der Leuchtturm nahe der Kaimauer abgesetzt werden muss. Darüber hinaus kann (bei hohen Kaimauern und/oder Ebbe) die Hakenhöhe limitierend wirken.
Bei den Varianten der Translozierung mit relativ geringen Transportgewichten ist auch der Einsatz eines auf der Kaianlage positionierten Mobilkranes denkbar.
Am Kai kann ein Transportmittel für die Aufnahme des Leuchtturmes bzw. -segmentes und den weiteren landseitigen Transport bereitstehen.
Ebenso ist ein Absetzen unmittelbar auf den Sockel am neuen Standort denkbar. Dabei sind auch die begrenzte Ausladung und Hakenhöhe des Hebezeugs zu beachten. Das bedeutet, dass sich der neue Standort direkt am Ufer befinden und das Ufer kaiartig befestigt sein muss. Für die (gewässerseitigen) Transport- und ggf. Hubmittel muss eine ausreichende Wassertiefe und genügend Raum zum Manövrieren vorhanden sein.

2.04.8 Transport landeinwärts

Gewässerseitiger Transport

Ausgehend vom originären Standort kann der Leuchtturm mit entsprechenden Wasserfahrzeugen über einen Seehafen hinaus über Flüsse bzw. Kanäle landeinwärts transportiert werden. Der Transport auf Binnengewässern ist weniger durch das Gewicht als durch die Abmessungen beschränkt. Neben Schleusenabmessungen müssen dabei bspw. Brückendurchfahrtshöhen beachtet werden.

Der Unterlauf der Weser ist zwischen Bremen Überseestadt und der Mündung in die Deutsche Bucht frei von Brücken.

Landseitiger Transport

Der landseitige Transport des Leuchtturmes bzw. der Leuchtturm-Segmente ist aufgrund der Abmessungen stark eingeschränkt. Für den Transport außerhalb von Hafenanlagen oder ähnlich offenen Flächen im öffentlichen Straßenraum kommt nur der segmentierte Transport in Frage.

<u>Transport im Hafengelände oder auf ähnlich offenen Flächen</u>

Für das landseitige Verfahren schwerer und sperriger Transportgüter werden (z.T. koppelbare) Schwerlastmodule, bspw. von der Fa. Goldhofer, angeboten. Schwerlastmodule haben meist zwischen zwei und sechs Achsen und sind bspw. mit 25 t je Achse (und höher) belastbar. Es gibt gezogene und selbstfahrende Ausführungen.
Nicht ausreichend befestigte Untergründe müssen für den Transport (in der Art einer Baustraße) ertüchtigt werden.

<u>Straßentransport</u>

Alle Geschosssegmente sind (unter Berücksichtigung der Bauhöhe eines Straßenfahrzeuges) höher als das 4,0 m hohe Bemessungsfahrzeug und die daraus abgeleitete Höhe des Lichtraumprofils (4,5 m) einer anbaufreien Straße. Die Segmentdurchmesser sind breiter als ein Fahrstreifen.
Aufgrund der Segmentabmessungen sind für den Straßentransport mehrere zusammenhängende Fahrstreifen erforderlich. Darüber hinaus wird die Streckenführung durch die Segmenthöhe (die größer als die Regellichtraumhöhe ist) eingeschränkt. Für einen angedachten neuen Standort ist zu untersuchen, ob es eine Streckenführung für den Straßentransport gibt und welche Maßnahmen in diesem Zusammenhang getroffen werden müssen.

In dem durch die Bundesfachgruppe für Schwertransporte und Kranarbeiten (BSK) e.V. veröffentlichten Leitfaden „Anforderungen an Baustraßen und Kran-Aufstellplätze für die Errichtung von Windenergieanlagen“ wird folgendes Lichtraumprofil definiert:

- Lichtraumhöhe: 6,0 m
- Lichtraumbreite: 4,5 m (auf geraden Streckenabschnitten)

Darüber hinaus werden in dem genannten Dokument Anforderungen an den Straßen- bzw. Bodenaufbau (im Zuge von Baustraßen) genannt.

Die in der genannten Veröffentlichung beschriebenen Hinweise und Maßnahmen sind prinzipiell auf den Transport von Segmenten des Leuchtturmes übertragbar. Zu beachten ist, dass v.a. das Keller-Segment einen größeren Durchmesser als Türme von Windenergieanlagen hat. Dies übersteigt (bei auf die Seite gekippter Transportlage) zumindest in der Höhe das o.g. Lichtraumprofil.

Zusammenfassend bedingt ein landseitiger Straßen-Transport die Planung einer konkreten Streckenführung. Bestandteil der Planung sind u.a. die Beantragung, Genehmigung und Absicherung von Straßensperrungen und erforderlicher Eingriffe in den Verkehrsraum (Demontage von Beschilderungen, Beleuchtungen u.ä.).
Durch das Bauwerksgewicht bedingt, handelt es sich in jedem Falle um einen Schwertransport.

Schienentransport (auf Regelgleisen)

Das (maximal in Geschosssegmente zerteilte) Bauwerk überschreitet das in der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) geregelte Regellichtraumprofil.
Das heißt, dass ein Transport auf elektrifizierten Eisenbahnstrecken ausgeschlossen ist.
Auf nicht elektrifizierten Strecken (wie bspw. Gleisanlagen in Hafengeländen) ist ein Transport in Abhängigkeit des zur Verfügung stehenden Lichtraums, der Tragfähigkeit der Transportmittel wie auch der Gleisanlagen und der Genehmigungsfähigkeit denkbar, wird jedoch aufgrund der vorgenannten Einschränkungen nur über kurze Wegstrecken als praktikabel eingeschätzt.

Bei der Errichtung einer vorhabenspezifischen Sonder-Gleisanlage gelten prinzipiell die Randbedingungen wie beim Verfahren mit Schwerlastmodulen (siehe oben).

2.05 Instandsetzung bzw. Sanierung der Konstruktion

2.05.1 Auswirkungen auf das Turmtragwerk aus Transport

Tragwerkseingriffe aus Hilfskonstruktion

Der Einbau der Hilfskonstruktionen erfordert zumindest lokale Eingriffe in die Bausubstanz. Der Umfang der Bestandseingriffe ist abhängig von der Variante der Translozierung.

Trennvorgang

Da der Leuchtturm aufgrund des großen Gewichtes und der Einbindung in den Meeresboden nicht mit den massiven Gründungsbauteilen (Sockel und Caisson) transportiert werden kann, ist es erforderlich, die aufgehende und zu transportierende Stahlkonstruktion abzutrennen (s. *Kapitel 2.04.5*).

Speziell an den Stützenfüßen in Höhe der Sockeloberkante (im Keller-Geschoss) ist ein Abtrennen durch Lösen der (Niet- bzw. Schraub-) Verbindung zwischen Stützenfuß und Zugverankerung (im Sockel) voraussichtlich nicht möglich. Darüber hinaus sind (v.a. im Bereich der Türöffnungen) nicht alle Niete der Mantelbleche zugänglich. In den Bereichen nicht zugänglicher oder nicht lösbarer Verbindungen müssen Bauteile mit Schneidetechnik getrennt werden. Der Einsatz von Schneidetechnik kann auch zur Verkürzung des kritischen Trennvorgangs erforderlich sein.
Im Besonderen beim Schneidtrennen der Konstruktion sind neben den örtlichen Gegebenheiten auch die Bedingungen zum Anschluss bzw. der Verankerung auf dem neuen Sockel zu beachten. Verallgemeinernd bedeutet dies, dass die Trennung soweit wie möglich unten (in Höhe Sockeloberkante) zu erfolgen hat.

Transportschäden

Nach dem Transport ist zu untersuchen, ob und in welchem Umfang sich dieser Vorgang auf die Konstruktion ausgewirkt hat. Aufgetretene Transportschäden sind zu beurteilen und erforderlichenfalls zu sanieren.

2.05.2 Austausch und Ertüchtigung beschädigter Bauteile

Gemäß den Ausführungen in den Gutachten-Teilen [D_11], [D_12] und [D_13] sind die z.T. stark durch Korrosion beschädigten Bauteile zu ersetzen. Darüber hinaus sind einzelne anderweitig beschädigte Bauteile (wie bspw. die Stegbleche der Träger der KG-Decke) lokal zu ertüchtigen.

Aufgetretene Transportschäden sind zu sanieren (s.o.).

Die Instandsetzung kann landseits unter Einbeziehung von Restauratoren u.a. Fachleuten ohne (witterungsbedingten und logistischen) Zeitdruck durchgeführt werden.

Die Sanierung des Leuchtturmes kann in einer Werft ausgeführt werden. Im Raum Bremerhaven und weseraufwärts in Bremen gibt es mehrere Werften. Für die Verbringung in ein Dock oder eine Halle können neben der werfteigenen Kran-/Transporttechnik auch die unter *Kapitel 2.04.6.* beschriebenen Verfahren eingesetzt werden.

Für die Sanierung des Leuchtturmes sind die in einer Werft gegebenen Randbedingungen optimal. Ist die Aufarbeitung in einer Werft nicht möglich, wirtschaftlich darstellbar oder mit dem Ablauf der Translozierung vereinbar, kann der Leuchtturm auf einer Hafenfläche oder am neuen Standort eingehaust werden. Die Einhausung ist v.a. für die Beschichtungsarbeiten notwendig, schirmt darüber hinaus auch Witterungseinflüsse für die übrigen Arbeiten ab.

2.05.3 Ertüchtigung (Gesamttragwerk)

Am neuen, landseitigen Standort sind keine Beanspruchungen aus Seegang vorhanden. In [D_11] und [D_13] wurde festgestellt, dass die Stahlkonstruktion des Leuchtturmes die (auf q = 3,0 kN/m² begrenzten) Verkehrslasten und die äußeren Windbeanspruchungen, unter der Voraussetzung einer schadfreien bzw. fachgerecht sanierten Konstruktion (bei der geschädigte Bauteile ertüchtigt oder ersetzt sind), aufnehmen kann.

Wird der Leuchtturm öffentlich zugänglich gemacht, ist der o.g., an Nutzlastkategorie B2 angelehnte Verkehrslastansatz q = 3,0 kN/m² formal nicht ausreichend. Für die maßgebende Kategorie C3 (frei begehbare Flächen, bspw. Museumsflächen) ist nach DIN EN 1991-1-1/NA eine Verkehrslast q = 5,0 kN/m² vorzuhalten.
Sollte das Bauwerk zur Aufnahme höherer Verkehrslasten entsprechend der Nutzlastkategorie C3 ertüchtigt werden, sind Verstärkungsmaßnahmen besonders im Bereich der Decken erforderlich. Die Ausführung bedingt ein Öffnen der Decken und damit den Rückbau historischer Bausubstanz. Die Verstärkungsmaßnahmen beeinträchtigen besonders an der Decke über Keller das Erscheinungsbild (zusätzliche und/oder höhere Deckenträger) und können sich auf die Decken- bzw. Fußbodenhöhen und damit auch auf die Treppenanlagen auswirken. Daher wird von einer dahingehenden Verstärkung, die als unverhältnismäßig eingeschätzt wird, abgeraten.
Mit Blick auf einen möglichst umfänglichen Erhalt der denkmalgeschützten Bausubstanz, sollte der Personenstrom entsprechend einer Verkehrslast q = 3,0 kN/m² beschränkt werden, was bei den beengten Raumverhältnissen, besonders auf den steilen Treppen, auch dem Aspekt der Verkehrssicherheit entspricht. Ebenso ist bei den Ausbauten, der Möblierung und den technischen Ausstattungen darauf zu achten, dass die bisherigen Belastungen nicht überschritten werden.

2.05.4 Anschlusskonstruktion

Im Zuge der Ausführung der Instandsetzungsmaßnahmen ist die Konstruktion, speziell die Stützenfüße, hinsichtlich der Verankerung auf dem neuen Gründungskörper zu modifizieren.

2.05.5 Korrosionsschutz

Es ist zumindest eine Teilerneuerung des Korrosionsschutzes auszuführen. Hinsichtlich der Korrosionsschutzmaßnahmen wird auf [D_11, 1.03.3] verwiesen.

2.06 Risikobewertung

Der Vorgang der Translozierung geht mit einem Risiko der Schädigung bis hin zum Verlust des Bauwerks einher. Einzelne Risikofaktoren werden im Folgenden erläutert.

<u>Lage in offener See sowie Beeinflussung durch Witterung, Wind und Seegang</u>

Die exponierte Lage in der Deutschen Bucht und die dort vorherrschenden äußeren Einflüsse, im Besonderen die nur begrenzt prognostizierbaren Wind- und Seegangsverhältnisse, stellen für den Vorgang der Translozierung ein besonderes Risiko dar.
Mit der Ausführungsdauer im See-Bereich steigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens schwerer Witterung und der Beschädigung des während der Maßnahme geschwächten Bauwerks (bspw. allein durch den Eintritt von Feuchtigkeit).

<u>Konstruktion und Planungstiefe</u>

Die Durchbildung der Konstruktion ist in vielen Bereichen aufgrund fehlender und z.T. uneinheitlicher Planunterlagen nicht bekannt bzw. unklar. Diese Ungewissheiten stellen ein Risiko für den Translo-

zierungsvorgang dar. Bei Varianten in denen die Ausbauten zumindest lokal demontiert werden müssen, können diese Unklarheiten im Zuge der Ausführung ausgeräumt werden. Im Bedarfsfall muss die Ausführung dahingehend modifiziert werden.

Außergewöhnliche Zustände

Unplanmäßige Reaktionen des Bauwerks auf Zwänge infolge der Umlastung auf die Transporthilfskonstruktion und der Trennvorgänge sowie auf dynamische Einflüsse können nach derzeitigem Kenntnisstand nicht ausgeschlossen werden. Das Risikopotenzial ist abhängig von der Art der Translozierung und kann durch eine Vertiefung der Kenntnisse der konstruktiven Durchbildung bzw. das Ausräumen bestehender Ungewissheiten im Zuge der weiteren Planungsphasen reduziert werden.

Unabhängig vom prinzipiellen Funktionieren der Maßnahme sind Schäden wie Rissbildungen an den Ausbauten zu erwarten.

3 Varianten der Translozierung

3.01 Überblick zu den Varianten der Translozierung

Bezugnehmend auf die oben genannten Leitlinien werden folgende Varianten zur Umsetzung des Bauwerkes untersucht (die Bezeichnung *V3* nimmt Bezug auf [D_11]):

Variante / Kategorie	V3.**A** Stahlkonstruktion mit Ausbauten inkl. KG-MW	V3.**B** Stahlkonstruktion mit Holzausbauten ohne KG-MW	V3.**C** Stahlkonstruktion ohne Ausbauten	V3.**D** Geschossweise Segmentierung	V3.**E** Stahlkonstruktion mit Ausbauten inkl. Sockel
Transportgewicht *1 - Bauwerk - Hilfskonstruktion - Hakenflasche	**335** t 250 t 75 t 10 t	**190** t 120 t 60 t 10 t	**85** t 55 t 25 t 5 t	**63** t *2 40 t 20 t 3 t	**1350** t 1100 t 250 t
Anz. Transportstk. *3	1	1	1	5	1
Transportabm. [m] *4	Ø7,1 x 23	Ø7,1 x 23	Ø7,1 x 23	Ø7,1 x 4,2	Ø10,6 x 28
Hebezeug *5	Errichterschiff INNOVATION o.ä.	Schwimmkran ENAK o.glw.	Raupenkran auf Hubinsel	Mobilkran auf Ponton	2 Pontons
Schwerpunkte (Wertung relativ zu anderen Varianten)	Erhalt Primär- und Sekundärtragwerk sowie historischer Ausbauten in OG Geringer Arbeitsumfang offshore	Erhalt Primär- und Sekundärtragwerk sowie historischer Ausbauten in OG Geringer Arbeitsumfang offshore	Erhalt Primärtragwerk Geringes Transportgewicht	Erhalt Primär- und Sekundärtragwerk bereichsweise Geringe Transportgewichte und -abmessungen	Vollständiger Erhalt Primär- und Sekundärtragwerk sowie historischer Ausbauten
Anmerkungen Wertung relativ zu anderen Varianten)	Bereichsweise Demontage der MW-Ausfachung im Keller Hohes Transportgewicht	Demontage der Mauerwerks-Ausfachung im Keller	Demontage Sekundärtragwerk und Ausbauten Großer Arbeitsumfang offshore Grundhafte Sanierung Stahlkonstruktion mögl.	Demontage Ausbauten und lokal Sekundärtragwerk Großer Arbeitsumfang offshore Tiefgehende Sanierung Stahlkonstruktion mögl. Landseitiger Transp. denkbar	Technische Umsetzbarkeit fraglich !

1) Transportgewicht aufgerundet, ohne Schwing- oder Sicherheitsbeiwert.
2) Inkl. Ausbauten, die zumind. teilw. im Bauwerk erhalten werden können.
3) Anzahl der Transportstücke. Damit sind nur die (großen) Transportsegmente gemeint. Bspw. die Demontage von Ausbauten ist darin nicht enthalten.
4) Ungefähre Außenabmessungen des Transportstücks ohne Transporthilfskonstruktion.
5) Bspw. einsetzbare Fahrzeuge bzw. Krane, die durch gleichwertige oder höhertragfähige Technik ersetzt werden können.

GMG Ingenieurgesellschaft
George-Bähr-Straße 10 · 01069 Dresden
0049 351 87657-0 · info@gmg-dresden.de · www.gmg-dresden.de

3.02 Variante V3.A: Transport des Turmes mit Teil des KG-Mauerwerks

3.02.1 Kurzbeschreibung, Schwerpunkte und Überblick

Im Folgenden wird die in der Übersicht (*Kapitel 3.01*) stichpunktartig skizzierte Variante der Translozierung genauer beschrieben und auf deren Fokus eingegangen.

Kurzbeschreibung

Die *Variante V3.A* sieht eine Translozierung des nahezu vollumfänglichen Gebäudebestandes oberhalb der Gründungsbauteile vor. Neben den Ausbauten in den Obergeschossen wird auch die Mauerwerksausfachung zwischen den Stützen im Keller zum Großteil erhalten und transloziert. Das damit einhergehende hohe Eigengewicht (siehe *Kapitel 2.03* und *3.01*) schränkt sowohl die Wahl der Hub- und Transportmittel als auch die Wahl des künftigen Standorts ein.

Neben den generell erforderlichen Vorarbeiten (wie dem Ausräumen der Einrichtung) beschränken sich die mit dem Transportvorgang im Zusammenhang stehenden Arbeiten und die Eingriffe in den Bauwerksbestand auf das Keller-Geschoss.
Im Keller ist die Mauerwerksausfachung im unteren Bereich zwischen den Stahlstützen zurückzubauen, um eine tragende Verbindung zwischen der Hubkonstruktion und dem Bauwerk herstellen zu können. Darüber hinaus wird die Konstruktion am neuen Standort in diesem Bereich an den neuen Stahlbeton-Sockel angeschlossen.

Die Fuge zwischen dem zu translozierenden Bauwerksteil und dem am Standort verbleibenden Abschnitt befindet sich an der Oberkante des Sockels bzw. an der Unterkante des Keller-Geschosses.

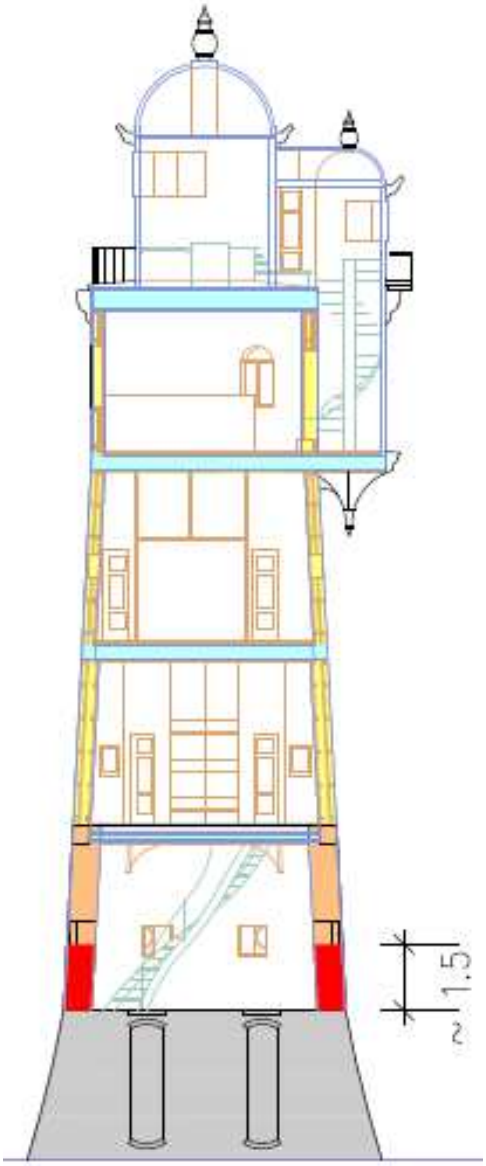


Abb. V3.A: Übersicht Bestandseingriffe (rot markiert)

Schwerpunkte

Das äußere Erscheinungsbild, das Primärtragwerk (Stahlkonstruktion), die dem Sekundärtragwerk zuzuordnenden Holzausfachungen und die festen Ausbauten in den oberen Geschossen des Turmoberteils bleiben in ihrer historischen Substanz vollständig erhalten. Darüber hinaus wird ein Großteil der historischen Mauerwerksausfachung im Keller-Geschoss mit an den neuen Standort überführt.
Da sich die Arbeiten auf das Keller-Geschoss beschränken, ist der am originären Standort auf See zu erbringende Arbeitsumfang relativ gering und der erforderliche Ausführungszeitraum (für die Arbeiten in See-Umgebung) verhältnismäßig kurz.

Zusammenfassung der Vorzüge:
- Umfänglicher Erhalt der historischen Bausubstanz des Turmoberteils
- Minimale Beeinträchtigung des Bauwerksbestandes
- Verhältnismäßig geringer Arbeits- und Zeitaufwand am originären Standort

Maßnahmenüberblick zum Lösungsvorgang

Im Folgenden sind die den Transport vorbereitenden Maßnahmen stichpunktartig zusammengefasst. In den anschließenden Kapiteln wird auf einzelne Punkte tiefgründig eingegangen.

1. Vorarbeiten (Gebäude baufrei machen, s. *Kapitel 2.02*)
2. Baustelleneinrichtung und vorbereitende Maßnahmen
   - Baustelleneinrichtung, Arbeitsgerüst u.a. Grundlagen s. *Kapitel 2.02*
   - Montage und Verankerung eines umlfd. Stahl-Sockelgerüstes (zur späteren Umlastung)
3. Sicherung und partielles Ausbauen des KG-Mauerwerks
   - Montage von außen umlaufenden Zugbändern am Kellergeschoss
   - Herstellung von Verspillungen zur Sicherung des Mauerwerks (gegen Herausfallen) inkl. einer zugehörigen, innenseitigen Stahlkonstruktion
   - Ausbau des KG-Mauerwerks (bis ca. +1,5 m)
4. Einbau der Grund- und Anschlussträger
   - Herstellung von 6 Mantelblech-Durchdringungen (ca. 60 x 40 cm²)
   - Einbau und Schraubmontage der 6 polar angeordneten Grundträger (ca. HEB 500)
   - Montage der 6 Anschlussträger und Herstellung der Anschlüsse (an Stützenstege)
   - Montage der 6 Koppelträger (in den nicht von Grundträgern durchdrungenen Feldern)
   - Herstellung Anschluss zwischen Mantelblech und Grundträger (optional) und Montage Zusatzkonstruktion zur Sicherung des Mantelblechs gegen Beulen
   - Einbau zusätzlicher Verspillungen (zur Sicherung des Mantelblechs gegen Beulen)
   - Schwindarmes Ausbetonieren des Raumes zw. Anschlussträger-UK u. Bestandsmauerwerk
5. Errichtung Transporthilfskonstruktion
   - Montage der aufgehenden Stahlkonstruktion auf den Grundträgern
   - Herstellung von Anschlüssen an Deckenebenen (zumindest über Schlafzimmer)
6. Umlastung auf Sockelgerüst
   - Installation von Pressen zwischen Sockelgerüst und Grundträgern
   - Aktivierung der Grund- und Anschlussträger durch Hochpressen
   - Form- und kraftschlüssiges Ausfüllen der Distanz zwischen Sockelgerüst und Grundträgern
7. Bereitstellung Errichterschiff und Aktivierung Kran
   - Anschlagen des Kranes an die Transporthilfskonstruktion
8. Trennung des Turmes an Unterkante Kellergeschoss
   - Abtrennen des Mantelblechs
   - Trennung der Stützen (wechselseitiges Vorgehen)
9. Hubvorgang
   - Kraftschlüssiges Anziehen des Kranes
   - Lösen der (Zug-) Sicherung der Transporthilfskonstruktion
   - Hub und Versatz auf Unterkonstruktion auf Transportfahrzeug
   - Sicherung auf Transportfahrzeug (Abspannung)

3.02.2 Vorarbeiten und Beeinträchtigung der historischen Bausubstanz

<u>Vorarbeiten</u>

Hinsichtlich der allgemeinen Vorarbeiten wird auf *Kapitel 2.02* verwiesen.
Für die im folgenden *Kapitel 3.02.3* beschriebene Montage der Transportbehelfe sind darüber hinaus keine weiteren Vorarbeiten erforderlich.

<u>Beeinträchtigungen der historischen Bausubstanz</u>

Primärtragwerk

Das stählerne Primärtragwerk wird lediglich an der Trennfuge in Höhe der Unterkante des Keller-Geschosses und im Bereich der Mantelblechdurchdringungen für die Grundträger sowie Verbindungsmittel beeinträchtigt.
Die Kopplungen in Höhe der Decken über Schlafzimmer und erforderlichenfalls über Dienstzimmer können indirekt über umlaufende Zugbänder mit entsprechenden Anschlusspunkten erfolgen.

Sekundärtragwerk

Die zimmermannsmäßig hergestellte Holzausfachung der Außenwandung in den Obergeschossen ist von der Maßnahme nicht berührt.
Die Mauerwerksausfachung im Keller muss zum Anschluss der Transporthilfskonstruktion und zur Verankerung am neuen Standort wie beschrieben im unteren Wandbereich ausgebrochen werden. Im Zuge der Maßnahme wird das Mauerwerk partiell durch Stahlbeton ersetzt.

Sonstiges (wie Treppen)

Die übrigen festen Ausbauten (Trennwände u.a. in den Berechnungen berücksichtigte) können im Gebäude verbleiben. Allein die vom Keller in das Schlafzimmer führende Stahltreppe muss (zur Schaffung des erforderlichen Arbeitsraums) demontiert werden.

3.02.3 Transporthilfskonstruktion

Transportgewicht

Das Transportgewicht setzt sich aus den Eigengewichten des Turmoberteils einschließlich Ausbauten (Primär- und Sekundärtragwerk), der Transporthilfskonstruktion und der Hakenflasche zusammen. Es ergibt sich folgende Summe:

Turmsegment	~ 250 t	Stahlkonstr. mit Ausbauten, vgl. *Pkt. 2.03*
Transporthilfskonstruktion	~ 75 t	
Hakenflasche	~ 10 t	
Summe	~ 335 t	ohne Sicherheits- und Dynamikbeiwerte

Konstruktionsprinzip

Prinzipielle Hinweise zur Transporthilfskonstruktion sind unter *Kapitel 2.04.4* beschrieben.

Bei den Transporthilfskonstruktionen handelt es sich um räumliche Fachwerke mit sechseckigem Grundriss, die den Bestand außen umhüllen. Die Lasten aus der Stahlkonstruktion des Turmes werden im Keller-Geschoss auf horizontale, den Leuchtturm durchdringende Grundträger (Abbildung rechts) übertragen. Die Lastübergabe bzw. die Auflagerung des Leuchtturmes im Transportzustand erfolgt im Keller-Geschoss, um das ursprüngliche Tragsystem beizubehalten und die Stützenstöße in den Ebenen der Geschossdecken nicht auf Zug zu belasten.
Im Montagezustand werden die Bauwerkslasten über die Grundträger auf ein Sockelgerüst (siehe nebenstehende Abbildung), welches einen polygonal, sechseckigem Grundriss hat und auf dem Caisson verankert ist, abgetragen. Das nach oben aufbauende Hubgerüst dient der zentrischen Anhängung an den Kranhaken über dem Bauwerk.

Die Transporthilfskonstruktion ist vor dem Trennvorgang form- und kraftschlüssig an das Bauwerk anzuschließen, sodass die zu trennenden Bauteile möglichst lastfrei sind. Zur Entlastung der zu trennenden Bauteile sind die Bauwerkslasten durch die lastaufnehmenden Grundträger der Transporthilfskonstruktion auf das Sockelgerüst umzulagern. Zusätzlich können die Grundträger im Turminneren unterstützt werden.

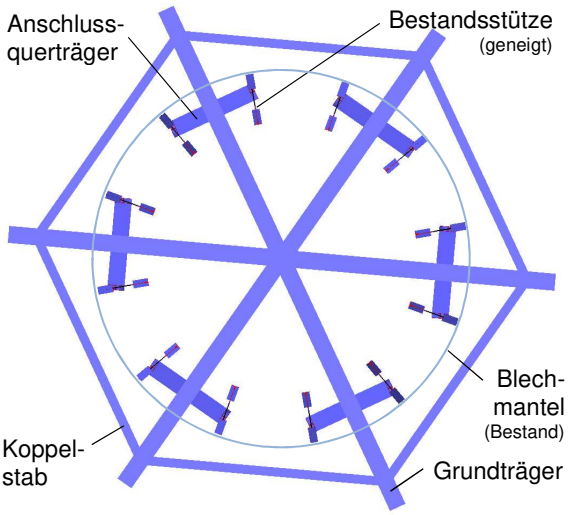


Abb. Grundriss Grundträger

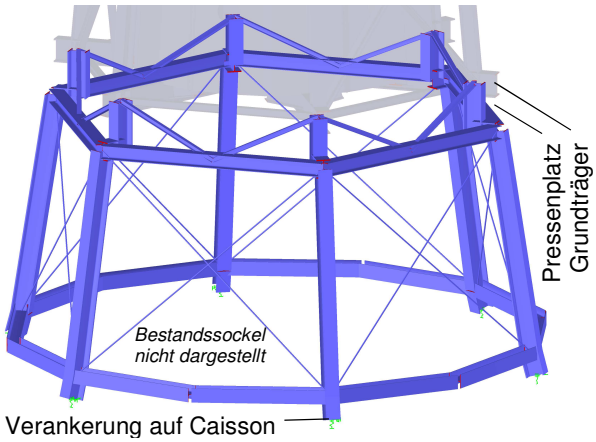


Abb. Isometrie Sockelgerüst

Um den Kraftschluss herzustellen, sind (gekoppelte) Pressen zwischen den Grundträgern und der Abfangkonstruktion vorzusehen.
An die Grundträger der Transporthilfskonstruktion werden nach oben verlaufende Zugstäbe montiert. Je zwei Zugstäbe werden über bzw. in Höhe der Laterne des Turms an einen (von drei) Traverseträger, der wiederum mittig an einer dreieckförmigen Kronenkonstruktion zur Zentrierung des Anschlagpunktes angeschlossen ist, angeschraubt (siehe folgende Abbildung).
Zwischen je zwei Zugstäben werden umlaufend drei Verbandsfelder (über die gesamte Höhe des Hubgerüstes) zur Stabilisierung der Konstruktion angeordnet. Die Verbände sind jeweils in den Feldern zwischen den Erkern angeordnet.
Zur Stabilisierung des Leuchtturmes ist dieser (zusätzlich zu den Hauptanschlüssen an den Stützen im Keller-Geschoss) in Höhe der Decke über Schlafzimmer sowie ggf. in Höhe der Decke über Dienstzimmer an die Hilfskonstruktion zu koppeln.

Montage der Konstruktion

Montage des Sockelgerüstes

Zur Durchführung der Abtrennung des zu translozierenden Turmschaftes müssen die zu trennenden Bauteile (Mantelblech und Stützen im Keller) entlastet werden. Zur Entlastung muss der zu versetzende Bauwerksteil (über der Trennfuge) auf eine Hilfskonstruktion – das Sockelgerüst – umgelastet werden.
Das Sockelgerüst ist als auf dem Caisson aufstehende Stahlkonstruktion konzipiert. Die Stützen der im Grundriss sechseckigen Konstruktion befinden sich direkt unter den Grundträgern der Transporthilfskonstruktion und sind zur Reduzierung der Stützweite der Grundträger der Transporthilfskonstruktion (der Sockelaußenkante folgend) schräg angeordnet. Am Kopf der Stützen ist ein Pressenstellplatz vorgesehen. Der Anschluss zwischen Sockelgerüst und Grundträger der Transporthilfskonstruktion muss die Beanspruchungen aus dem Turm übertragen, durch die Umlastung entstehende Toleranzen ausgleichen und für den Hub zügig gelöst werden können.
Zur Aufnahme und Ableitung von Stabilisierungslasten ist die Konstruktion mit Verbänden ausgesteift und an den Fußplatten mit (in vorab herzustellende Kernbohrungen eingreifende) Schubknaggen ausgestattet. Die Stützenfüße sind mit Klebeankern, die die Caisson-Deckplatte von 1987 durchdringen und in den „alten“ Caisson eingreifen, gegen abhebende Beanspruchungen verankert.

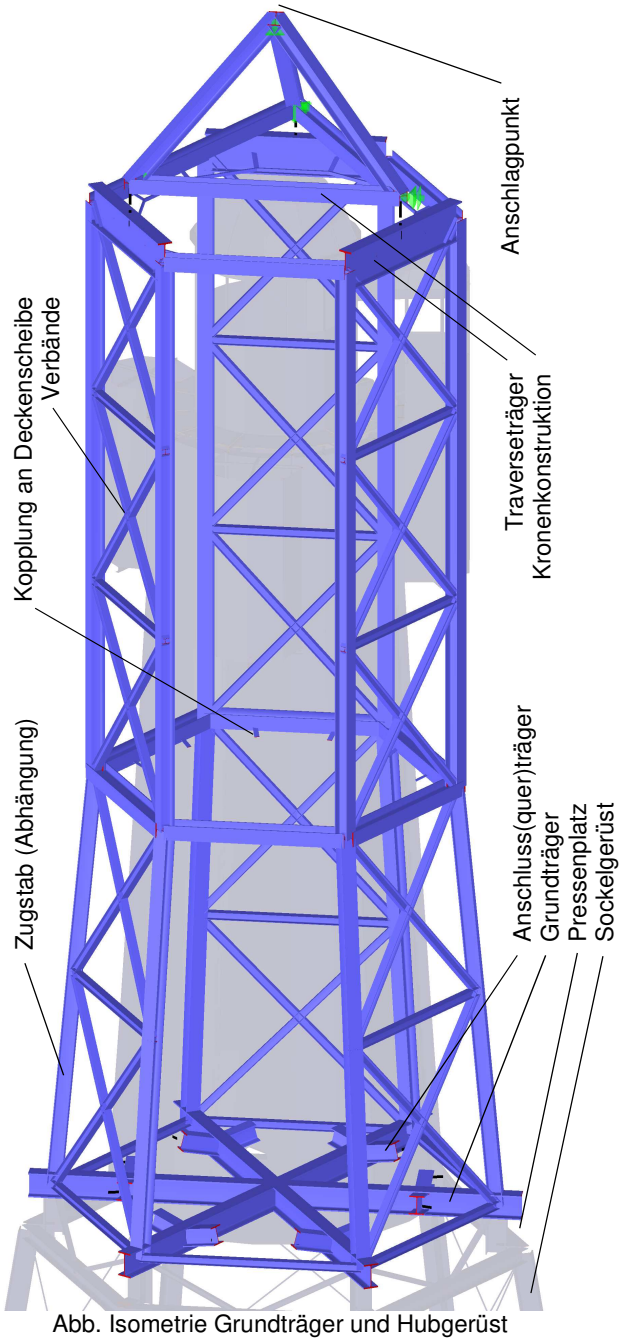


Abb. Isometrie Grundträger und Hubgerüst

Montage der Transporthilfskonstruktion

Die Transporthilfskonstruktion setzt sich aus folgenden Baugruppen zusammen:

- Grundträgerebene (zur Einleitung der Lasten in die Transporthilfskonstruktion)
- Hub- und Transportgerüst (Behelfskonstruktion zur Sicherung im Hub- und Transportzustand)

Montage der Grundträgerebene

In Vorbereitung auf den Ausbruch des Mauerwerks im unteren Wandabschnitt muss das darüber befindliche Mauerwerk gegen herunterfallen gesichert werden. Dazu sind über der Abbruchkante

Gewindestangen in entsprechende (die Wand quer zu ihrer Ebene und das Mantelblech durchdringende) Bohrungen einzubauen und beidseits mit Lastverteilungsblechen zu aktivieren („Durchspillung“). Ergänzend zu dem Mantelblech ist innenseitig eine Stahlkonstruktion zur sicheren Abfangung des Mauerwerks (bis zur Fertigstellung des Betonvergusses) vorzusehen.

Ist das verbleibende Mauerwerk gesichert, wird das zu entfernende Mauerwerk im unteren Wandabschnitt zurückgebaut. Dabei ist darauf zu achten, dass die Stahlbauteile (Stützen und Mantelblech) nicht beschädigt werden. Generell sind erschütterungsarme Abbruchverfahren (wie bspw. trennschneiden oder kernbohren) anzuwenden.

Das fehlende Mauerwerk ist durch eine leichte Hilfskonstruktion zu ersetzen (Stahlausfachung).

Anschließend werden die Öffnungen für die Grundträger in dem Mantelblech hergestellt und die Grundträger eingebaut. Die Grundträger liegen dabei auf dem außen umlaufenden Sockelgerüst (s.o.) auf. Über den Grundträgern werden die optional empfohlenen Anschlüsse an das Mantelblech hergestellt. Die quer zu den Grundträgern angeordneten Anschlussträger mit den an die Stützenstege anschließenden (Stirnplatten-) Anschlüssen, die den Gegebenheiten vor Ort (Schiefwinkligkeit im Grund- und Aufriss und Montagetoleranzen) angepasst werden müssen, werden danach montiert. Der Anschluss zwischen dem Grund- und Anschlussträger muss so ausgeführt sein, dass er von unten gelöst werden kann, da die Oberseite wegen der herzustellenden Betonausfachung nicht mehr zugänglich ist (bspw. Hutmuttern mit Verdrehsicherung).

In den freien (nicht von Grundträgern durchdrungenen) Feldern sind zwischen den Stützen Koppelträger in Analogie zu den Anschlussträgern einzubauen.

Ist die Stahlkonstruktion in der Ebene der Grundträger errichtet bzw. angeschlossen, wird der Raum zwischen der Unterkante des verbleibenden Mauerwerks und den Anschluss- bzw. Koppelträgern vollvolumig und schwindarm ausbetoniert.

Errichtung des Hubgerüstes

Nach Aushärten des Vergussbeton, wird die den Turm umhüllende Transporthilfskonstruktion errichtet. Die Fachwerkkonstruktion wird zur Stabilisierung in den Ebenen Decke über Schlafzimmer und evtl. Decke über Dienstzimmer an das Gebäude gekoppelt und dient der Zentrierung des Anschlagpunktes.

Konstruktionsskizze

Die Konstruktionsarten sind in den beiden vorangegangenen Abbildungen dargestellt.

3.02.4 Hub- und Transportmittel

Anschlagpunkte

Der Kranhaken wird an der Krone der Transporthilfskonstruktion angeschlagen. Der Anschlagpunkt befindet sich zentrisch über der (vertikalen) Turmachse. Das Hebezeug kann alternativ jeweils mittig an den drei Traverseträgern angeschlagen werden, wenn ein entsprechendes Ausgleichsgehänge eingesetzt wird.

Hubmittel

Das hohe Transportgewicht (siehe oben) und die Höhe des Leuchtturmes schränken die Auswahl der in Frage kommenden Hebezeuge ein.

Der zu transportierende Turmabschnitt kann mit folgenden Geräten gehoben werden:
- Kranschiff -> begrenzte Hakenhöhe beachten
- Errichterschiff

Zum Kranschiff

Bspw. die Tragfähigkeit des Schwimmkrans ENAK ist bei Anschlag im A-Bock (mit 2 x 300 t) ausreichend, um das Bauwerk zu heben. Die durch den Tidewasserstand und die Hakenflaschenabmessungen beeinflusste maßgebende Hakenhöhe befindet sich jedoch ungefähr in Höhe der Turmspitze,

sodass ein Einsatz nicht ohne tiefergehende Planung, Abstimmung und ggf. Anpassung der Transporthilfskonstruktion (Kronenhöhe) vorgesehen werden kann.

Zum Errichterschiff

Schiffe zur Montage von Windenergieanlagen, sogenannte Errichterschiffe, sind mit Krantechnik und Ladefläche für die Aufnahme, den Transport und die Montage schwerer und sperriger Anlagenkomponenten ausgestattet. Darüber hinaus verfügen diese Schiffe über auf den Meeresboden absenkbare „Beine“, die ein Arbeiten unabhängig von Seegang, Gezeitenströmung u.a. Einflüssen ermöglichen. Diese speziellen Schiffe sind mit der vorgenannten Ausstattungen auch für den Hub und den Transport des Leuchtturmes geeignet.
Bspw. der Kran des Errichterschiffs INNOVATION hat eine Tragfähigkeit von 1300 t bei 31,5 m Ausladung.

Abb. Beispiel Errichterschiff: INNOVATION [Quelle: Wikipedia]

Einschränkend ist die begrenzte Wassertiefe am Leuchtturm. Durch den Tidenhub könnte der Operationszeitraum eingeschränkt werden. Bei der Wahl eines Errichterschiffs ist demnach neben der Krantragfähigkeit auch der Tiefgang (zumindest während der Positionierung und dem Auf- bzw. Absenken der Hubbeine) zu beachten.

<u>Transportmittel (zur Verbringung in Hafen)</u>

Das zu transportierende Bauwerk kann auf einem Ponton (mit den zugehörigen Schleppern) oder auf dem Deck eines Errichterschiffs transportiert werden.

3.02.5 Demontage und Transportvorgang

Nachfolgend sind die Teilschritte vom Lösen des Turmoberteils vom Sockel bis zur Entladung am Zielort (bzw. im Hafen) nach Abschluss sämtlicher vorbereitender Maßnahmen dargestellt.

Umlasten und Trennen des Bestandes

Sind die Grundträger (mit den anschließenden Querträgern und den Anschlusskonstruktionen) eingebaut und der Raum zwischen den Anschluss- und Koppelträgern und der Mauerwerksunterkante ausbetoniert (und ausgehärtet), erfolgt die Umlastung auf das Sockelgerüst durch ein Anfahren der Pressen.
Zunächst sind die Pressen nur auf Kontakt heranzufahren, sodass ein Form- und Kraftschluss entsteht. Durch das leichte Vergrößern des Drucks ist ein Test der Hub-Konstruktion möglich. Der Druck ist dabei so zu begrenzen, dass keine Schäden am Bestand entstehen.
Sind die zu trennenden Stützen und das Mantelblech soweit möglich entlastet, ist der Anschluss zwischen den Grundträgern und dem Sockelgerüst auszufüttern und zu verschrauben.
Die Anschlussträger müssen nahe an den (Bestands-) Stützen unterstützt werden, um eine Torsionsbeanspruchung der Grundträger infolge dem Trennen einer (ersten) angeschlossenen Stütze auszuschließen.
Nach Fertigstellung der Hubkonstruktion, erfolgt die Trennung des Mantelblechs an bzw. über der Sockeloberkante. Mit Blick auf die Begrenzung der Beeinträchtigung der historischen Bausubstanz sind die Niete möglichst auszubohren. Dort, wo die Niete nicht zugänglich sind, muss das Mantelblech durch Trennschleifen getrennt werden. Beim Trennen ist abschnittsweise und wechselseitig vorzugehen, um Zwänge zu begrenzen.
Ist das Mantelblech getrennt, werden anschließend die Stützen getrennt. Auch hier ist ein wechselseitiges Vorgehen durchzuführen. Mit der Durchtrennung der letzten Stütze steht das Gebäude vollkommen auf der Transporthilfskonstruktion und dem Sockelgerüst auf.

Anheben und Verschwenken

Die auf dem Sockelgerüst aufstehende Transporthilfskonstruktion mit dem Leuchtturm wird (falls noch nicht geschehen) an das Hebezeug angeschlagen, nach dem Lösen der Verbindung zwischen Grundträgern und Sockelgerüst angehoben und auf das Transportmittel (Errichterschiff oder Ponton) verschwenkt.

Absetzen und Transportsicherung

Der Turm wird mit der Transporthilfskonstruktion auf einer dem Sockelgerüst ähnelnden (jedoch deutlich weniger hohen) Unterkonstruktion auf dem Transportmittel (Errichterschiff oder Ponton) abgesetzt und zur Transportsicherung abgespannt.

Transport

Das Transportmittel (Errichterschiff) fährt autark Richtung Hafen. Sollte ein Ponton eingesetzt werden, ist dieser von Schleppern zu bewegen.

Entladung

Zur Entladung kann eine hafen-/werftseitige Krananlage, der Bordkran des Errichterschiffs oder ein Kranschiff verwendet werden.

3.02.6 Weitere Verbringung bzw. mögliche neue Standorte

Die Abmessungen und das Gewicht des Leuchtturmes (in der Transporthilfskonstruktion) limitieren den weiteren Transport deutlich. Zu den Randbedingungen und Möglichkeiten des weiteren Transports siehe *Kapitel 2.04.6 ff*.
Der neue Standort muss demnach über einen Wasserweg erreichbar sein. Die Gewässer im Zuge des Transportwegs und am Zielort müssen ausreichend tief und breit sein sowie ein ausreichendes Lichtraumprofil haben, sodass das Transportmittel und ggf. das Hebezeug manövrieren können. Im Besonderen beim Einsatz eines Errichterschiffs sind die großen Schiffsabmessungen und der Tiefgang zu beachten.

Mit Blick auf die begrenzte Kranausladung muss sich der neue Standort unmittelbar am schiffbaren Gewässer befinden. Das Ufer muss kaiartig befestigt sein.

3.02.7 Instandsetzung und Sanierung

Da das Bauwerk bei dieser *Variante V3.A* nahezu vollständig im originären Zustand verbleibt, sind die mit der zumindest partiellen Demontage von Ein- und Ausbauten einhergehenden Instandsetzungsmaßnahmen auf ein Minimum zu beschränken. Hinsichtlich der vorhandenen Schäden und des Maßnahmenkataloges wird auf [D_11], [D_12] und [D_13] verwiesen.

Ausführungsort

Aufgrund des großen Gewichtes sind für den Transport bzw. die Handhabung des Leuchtturmes spezielle Hebezeuge und Transportmittel erforderlich. Die eingeschränkte Verfügbarkeit dieser spricht für eine direkte Verbringung des Leuchtturmes an den neuen Standort.
Die zwingend auszuführenden Maßnahmen können am neuen Standort ausgeführt werden. Eine Einhausung des Gebäudes ist für die Beschichtungsarbeiten erforderlich und schafft für die übrigen Arbeiten, wie bspw. den Austausch durchkorrodierter Erker-Bauteile, günstigere Rahmenbedingungen.

Auswirkungen auf das Turmtragwerk aus Transport

Tragwerkseingriffe aus Hilfskonstruktion

Im Zuge der Installation der Grundträger und der zugehörigen Anschlüsse, wie auch durch den Trennvorgang selbst, wird in die Stahlbauteile und teilweise in die Mauerwerksausfachung im Keller-Geschoss des Turmes lokal bzw. linear eingegriffen.
Durch die Mantelblech-Durchdringungen für die Grundträger werden weniger als 0,5 % der Gesamtansichtsfläche des Stahltragwerks beeinträchtigt.

Transportschäden

Nach dem Transport ist zu untersuchen, ob und in welchem Umfang sich dieser Vorgang auf die Konstruktion ausgewirkt hat. Aufgetretene Transportschäden sind zu beurteilen und erforderlichenfalls zu sanieren.

Austausch und Ertüchtigung beschädigter Bauteile

Gemäß den Ausführungen in den Gutachten-Teilen [D_11], [D_12] und [D_13] sind die z.T. stark durch Korrosion beschädigten Bauteile zu ersetzen. Darüber hinaus sind einzelne anderweitig beschädigte Bauteile (wie bspw. die Stegbleche der Träger der KG-Decke) lokal zu ertüchtigen.

Aufgetretene Transportschäden sind zu sanieren (s.o.).

Ertüchtigung (Gesamttragwerk)

Mit Blick auf einen möglichst umfänglichen Erhalt der denkmalgeschützten Bausubstanz sollte der Personenstrom entsprechend den Erläuterungen unter *Kapitel 2.05.3* beschränkt werden.

Anschlusskonstruktion

Im Zuge der Ausführung der Instandsetzungsmaßnahmen ist die Konstruktion, speziell die Stützenfüße und der untere Stoß der Mantelbleche, hinsichtlich der Verankerung auf dem neuen Gründungskörper zu modifizieren.

Korrosionsschutz

Es ist zumindest eine Teilerneuerung des Korrosionsschutzes auszuführen. Dahingehend wird auf [D_11, 1.03.3] verwiesen.

Ausbauten

Die originären und die festen Ausbauten werden bei dieser Variante erhalten.

3.02.8 Bauliche Voraussetzungen am neuen Standort

Hinsichtlich der baulichen Voraussetzungen am neuen Standort wird auf *Kapitel 4* verwiesen.

3.02.9 Instandhaltung und Wartung

Zur Überwachung des Bauwerkszustands sind, wie bei Ingenieurbauwerken üblich, turnusmäßige Bauwerksuntersuchungen in Anlehnung an DIN 1076 mit anschließender Durchführung ggf. erforderlicher Wartungsarbeiten durchzuführen.
Die Sanierungsmaßnahmen werden bei dieser Variante auf ein absolutes Mindestmaß begrenzt, um die historische Bausubstanz so wenig wie möglich zu beeinträchtigen. Dadurch sind viele Bauteile nicht handnah zugänglich und Sichtprüfungen nur sehr eingeschränkt ausführbar. Die Beurteilung des absoluten Zustandes ist demnach nur eingeschränkt möglich.

Zum Erhalt der (Stahl-) Konstruktion ist die Vermeidung einer korrosiven Umgebung elementar. Es wird empfohlen Temperatur und Luftfeuchte an mehreren charakteristischen Stellen im Bauwerk zu messen und ein Lüftungsregime, ggf. mit technischer Unterstützung, vorzusehen.

Um das Eindringen von Feuchtigkeit (in flüssiger Form) zu verhindern, ist ein Fokus auf die Wartung der Abdichtungen zu legen.

Besonders im Falle einer (touristischen) Nutzung werden die engmaschige Inspektion und das Monitoring von Referenzbauteilen bzw. -flächen empfohlen. Zusätzlich sind nach Starkwindereignissen und anderen außergewöhnlichen Umständen ergänzende Kontrollen durchzuführen. Darüber hinaus sollte das Gebäude durch den Nutzer sorgfältig beobachtet und Auffälligkeiten (wie Rissbildungen, Durchfeuchtungen) zur Beurteilung gemeldet werden.

3.02.10 Risikobewertung

Neben den unter *Kapitel 2.05.6* beschriebenen allgemeinen Risiken sind hier vor allem Auswirkungen auf die Ausbauten, wie Rissbildungen, als mögliches Schadenszenario zu benennen.

3.03 Variante V3.B: Transport des Bauwerkes ohne KG-Mauerwerk

3.03.1 Beschreibung und Schwerpunkte

Im Folgenden wird die in der Übersicht (*Kapitel 3.01*) stichpunktartig skizzierte Variante der Translozierung genauer beschrieben und auf deren Fokus eingegangen.

Beschreibung

Das Turmoberteil wird unter Beibehaltung des äußeren, historischen Erscheinungsbildes sowie der inneren Ausbauten transloziert, wobei zur Erhöhung der Transportmöglichkeiten das Transportgewicht durch Entfernen des Mauerwerks im Keller-Geschoss reduziert wird.
Das Primärtragwerk ist, unter Berücksichtigung des hölzernen Sekundärtragwerks in den oberen Geschossen, für den Transportzustand zu untersuchen sowie erforderlichenfalls durch temporäre, leichte Aussteifungen v.a. im Keller-Geschoss (als Ersatz für das entfernte Mauerwerk) zu verstärken.
Neben den generell erforderlichen Vorarbeiten (wie dem Ausräumen der Einrichtung) beschränken sich die mit dem Transportvorgang im Zusammenhang stehenden Arbeiten und die Eingriffe in den Bauwerksbestand auf das Keller-Geschoss.
Durch den Rückbau der Mauerwerksausfachung im Keller-Geschoss sind die Stützen dort zugänglich. Die Hubkonstruktion ist in diesem Bereich an die Stützen anzuschließen. Im unteren (Fuß-) Abschnitt der Stützen ist Konstruktionshöhe für den Anschluss auf den Gründungskörper am neuen Standort freizuhalten.

Die Fuge zwischen dem zu translozierenden Bauwerksteil und dem am Standort verbleibenden Abschnitt befindet sich an der Oberkante des Sockels bzw. an der Unterkante des Keller-Geschosses.

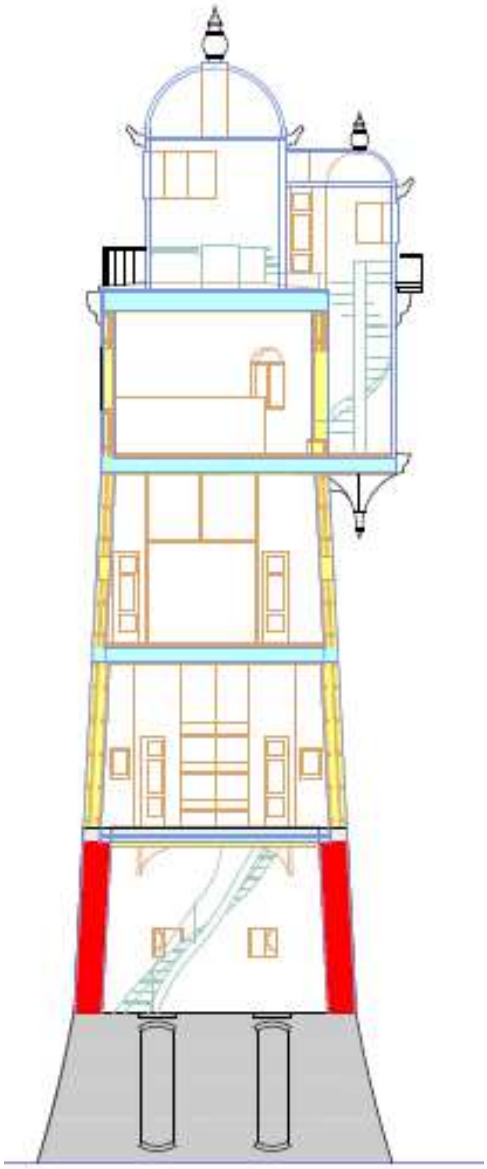


Abb. V3.B: Übersicht Bestandseingriffe (rot markiert)

Schwerpunkte

Das äußere Erscheinungsbild einschließlich des Primärtragwerks (Stahlkonstruktion) sowie das Sekundärtragwerk und die festen Ausbauten in den oberen Geschossen (Holzausfachung und -ausbauten) des Leuchtturm-Oberteils bleiben in ihrer historischen Substanz vollständig erhalten.
Das Gewicht des Turms wird so reduziert, dass ein Heben mit einem Kranschiff möglich ist.
Da sich die Arbeiten auf das Kellergeschoss beschränken, ist der am originären Standort auf See zu erbringende Arbeitsumfang relativ gering und der erforderliche Ausführungszeitraum verhältnismäßig kurz, jedoch etwas höher als bei *Variante V3.A*.

Zusammenfassung der Vorzüge:

- Umfänglicher Erhalt der historischen Bausubstanz des Turmoberteils
- Geringe Beeinträchtigung des Bauwerksbestandes
- Verhältnismäßig geringer Arbeits- und Zeitaufwand am originären Standort

Maßnahmenüberblick zum Lösungsvorgang

Im Folgenden sind die den Transport vorbereitenden Maßnahmen stichpunktartig zusammengefasst. In den anschließenden Kapiteln wird auf einzelne Punkte tiefgründig eingegangen.

1. Vorarbeiten (Gebäude baufrei machen, s. *Kapitel 2.02*)
2. Baustelleneinrichtung und vorbereitende Maßnahmen
   - Baustelleneinrichtung, Arbeitsgerüst u.a. Grundlagen s. *Kapitel 2.02*
   - Montage und Verankerung eines umlfd. Stahl-Sockelgerüstes (zur späteren Umlastung)
3. Vollständiges Ausbauen des Keller-Mauerwerks
   - Ausbau des Keller-Mauerwerks (vollständig, über gesamte Geschosshöhe)
   - Sicherung bzw. Abfangung der aufgehenden Holz-Ausfachung und der Decke über Keller
4. Einbau der Grund- und Anschlussträger
   - Herstellung von 6 Mantelblech-Durchdringungen (ca. 60 x 40 cm²)
   - Einbau und Schraubmontage der 6 polar angeordneten Grundträger (ca. HEB 500)
   - Montage der 6 Anschlussträger und Herstellung der Anschlüsse (an Stützensteg)
   - Montage der 6 Koppelträger (in den nicht durch Grundträger durchdrungenen Feldern)
   - Herstellung Anschluss zwischen Mantelblech und Grundträger (optional) und Montage Zusatzkonstruktion zur Sicherung des Mantelblechs gegen Beulen
5. Errichtung Transporthilfskonstruktion
   - Montage der aufgehenden Stahlkonstruktion auf den Grundträgern
   - Herstellung von Anschlüssen an Deckenebenen (zumind. über Schlafzimmer)
6. Umlastung auf Sockelgerüst
   - Installation von Pressen zwischen Sockelgerüst und Grundträgern
   - Aktivierung der Grund- und Anschlussträger durch Hochpressen
   - Form- und kraftschlüssiges Ausfüllen der Distanz zwischen Sockelgerüst und Grundträgern
7. Bereitstellung Kranschiff, inkl. Aktivierung, und Transport-Ponton
   - Anschlagen des Kranes an die Transporthilfskonstruktion
8. Trennung des Turmes an Unterkante Kellergeschoss
   - Abtrennen Mantelblech
   - Trennung der Stützen (wechselseitiges Vorgehen)
9. Hubvorgang
   - Kraftschlüssiges Anziehen des Kranes
   - Lösen der (Zug-) Sicherung der Transporthilfskonstruktion
   - Hub und Versatz auf Unterkonstruktion auf Transportfahrzeug
   - Sicherung auf Transportfahrzeug (Abspannung)

3.03.2 Vorarbeiten und Beeinträchtigung der historischen Bausubstanz

<u>Vorarbeiten</u>

Hinsichtlich der allgemeinen Vorarbeiten wird auf *Kapitel 2.02* verwiesen.
In Vorbereitung auf den Transport ist die Mauerwerksausfachung im Keller-Geschoss auszubauen. Vor bzw. im Zuge des Mauerwerks-Ausbaus sind die zimmermannsmäßig hergestellten Außenwand-Ausfachungen (im Schlafzimmer-Geschoss) zu sichern und die Decke über Keller abzufangen. Darüber hinaus ist das entfernte Mauerwerk durch eine leichte Konstruktion nach statischem Erfordernis zu substituieren.
Die übrige Montage der Transportbehelfe wird im folgenden *Kapitel 3.03.3* beschrieben.

<u>Beeinträchtigungen der historischen Bausubstanz</u>

Primärtragwerk

Das stählerne Primärtragwerk wird lediglich an der Trennfuge in Höhe der Unterkante des Keller-Geschosses und im Bereich der Mantelblechdurchdringungen für die Grundträger sowie Verbindungsmittel beeinträchtigt.
Die Kopplungen in Höhe der Decken über Schlafzimmer und erforderlichenfalls über Dienstzimmer können indirekt über umlaufende Zugbänder mit entsprechenden Anschlusspunkten erfolgen.

Sekundärtragwerk

Die zimmermannsmäßig hergestellte Holzausfachung der Außenwandung in den Obergeschossen ist von der Maßnahme lediglich insofern berührt, dass im Geschoss „Schlafzimmer“ eine Sicherungskonstruktion eingebaut werden muss.
Die Mauerwerksausfachung im Keller ist auszubrechen und durch eine leichte Aussteifungskonstruktion zu ersetzen.

Sonstiges (wie Treppen)

Die übrigen festen Ausbauten (Trennwände u.a. in den Berechnungen berücksichtigte) verbleiben im Gebäude. Allein die vom Keller in das Schlafzimmer führende Stahltreppe muss demontiert werden.

3.03.3 Transporthilfskonstruktion

Transportgewicht

Das Transportgewicht setzt sich aus den Eigengewichten des Primär- und Sekundärtragwerks abzüglich des KG-Mauerwerks, den sonstigen festen Ausbauten der Obergeschosse, der Transporthilfskonstruktion und der Hakenflasche zusammen. Es ergibt sich folgende Summe:

Turmoberteil	~ 120 t	Stahlkonstr. mit Ausbauten*[1)], vgl. *Pkt. 2.03*
Transporthilfskonstruktion	~ 60 t	
Hakenflasche	~ 10 t	
Summe	~ 190 t	ohne Sicherheits- und Dynamikbeiwerte

1) Ohne Mauerwerksausfachung im Keller-Geschoss.

Konstruktionsprinzip

Prinzipielle Hinweise zur Transporthilfskonstruktion sind unter *Kapitel 2.04.4* beschrieben.

Die Transporthilfskonstruktionen, bestehend aus Sockelgerüst und Transporthilfskonstruktion, sind prinzipiell analog zur *Variante V3.A*, wie unter *Kapitel 3.02.3* beschrieben, auszuführen.

Abweichend von der *Variante V3.A* ist das Keller-Mauerwerk vollständig auszubauen. In Vorbereitung des Abbruchs müssen die Holzausfachung der aufgehenden Außenwand und die Decke über Keller gesichert werden. Weiterhin ist das entfernte Mauerwerk durch eine leichte Konstruktion zur Stabilisierung der Stahlbauteile zu ersetzen.

3.03.4 Hub- und Transportmittel

Anschlagpunkte

Die Transporthilfskonstruktion wird wie unter *Kapitel 3.02.4* beschriebenen an das Hebezeug angeschlagen.

Hubmittel

Das Transportgewicht (siehe oben) und die Höhe des Leuchtturmes schränken die Auswahl der in Frage kommenden Hebezeuge ein.

Der zu transportierende Turmabschnitt kann mit folgenden Geräten gehoben werden:
- Kranschiff
- Errichterschiff -> Weitere Erläuterungen siehe *Kapitel 3.02.4* (*Variante V3.A*)

Zum Kranschiff

Bspw. ist die Tragfähigkeit des Schwimmkrans ENAK mit 2 x 170 t im Ausleger ausreichend, um das Bauwerk zu heben. Ein Anschlagen im noch höher belastbaren A-Bock des Schwimmkrans ist aufgrund der begrenzten Hakenhöhe nicht ohne weiteres möglich (vgl. *Kapitel 3.02.4*).
Alternativ zu einem Kranschiff kann ein Errichterschiff mit einer ausreichend tragfähigen Krananlage zum Einsatz kommen.

Transportmittel (zur Verbringung in Hafen)

Der Transport des demontierten Turms erfolgt auf einem Ponton (mit den zugehörigen Schleppern) oder alternativ an Bord eines Errichterschiffs.

3.03.5 Demontage und Transportvorgang

Ist das entfernte Mauerwerk durch eine leichte Sicherungskonstruktion ersetzt und sind die Grundträger (mit den anschließenden Querträgern und den Anschlusskonstruktionen) eingebaut, kann die Umlastung auf das Sockelgerüst durch ein Anfahren der Pressen beginnen.
Die weitere Umlastung, das Trennen der Bestandskonstruktion, das Anheben und Versetzen sowie der Transport und die Entladung sind analog zu dem in *Kapitel 3.02.5* beschriebenen Verfahren durchzuführen. Als Hebezeug und Transportmittel können die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Fahrzeuge verwendet werden.

3.03.6 Weitere Verbringung bzw. mögliche neue Standorte

Die Abmessungen und das Gewicht des Leuchtturmes (in der Transporthilfskonstruktion) limitieren den weiteren Transport. Zu den Randbedingungen und Möglichkeiten des weiteren Transports siehe *Kapitel 2.04.6 ff.* und *Kapitel 3.02.6*.

Von einem schiffbaren Gewässer mit befestigtem Ufer aus ist ein weiterer Transport (mit Schwerlastmodulen oder gleisgebunden) nur über eine direkt anschließende Freifläche denkbar. Ein darüber hinaus gehender Straßen- oder Bahntransport ist allein wegen der Bauwerkshöhe ausgeschlossen.

3.03.7 Instandsetzung und Sanierung

Da das Bauwerk bei dieser *Variante V3.B* größtenteils im originären Zustand verbleibt, sind die mit der zumindest partiellen Demontage von Ein- und Ausbauten einhergehenden Instandsetzungsmaßnahmen auf ein Minimum zu beschränken. Hinsichtlich der vorhandenen Schäden und des Maßnahmenkataloges wird auf [D_11], [D_12] und [D_13] verwiesen.

Ausführungsort

Aufgrund des großen Gewichtes sind für den Transport bzw. die Handhabung des Leuchtturmes spezielle Hebezeuge und Transportmittel erforderlich. Die eingeschränkte Verfügbarkeit dieser spricht für eine direkte Verbringung des Leuchtturmes an den neuen Standort.
Die zwingend auszuführenden Maßnahmen können am neuen Standort ausgeführt werden. Eine Einhausung des Gebäudes ist für die Beschichtungsarbeiten erforderlich und schafft für die übrigen Arbeiten, wie bspw. den Austausch durchkorrodierter Erker-Bauteile, günstigere Rahmenbedingungen.

Auswirkungen auf das Turmtragwerk aus Transport

Tragwerkseingriffe aus Hilfskonstruktion

Im Zuge der Installation der Grundträger und der zugehörigen Anschlüsse, wie auch durch den Trennvorgang selbst, werden die Stahlbauteile im Übergangsbereich zum Sockel durchtrennt und die Mauerwerksausfachung im Keller-Geschoss zurückgebaut.
Durch die Mantelblech-Durchdringungen für die Grundträger werden weniger als 0,5 % der Gesamtansichtsfläche des Stahltragwerks beeinträchtigt.

Transportschäden

Nach dem Transport ist zu untersuchen, ob und in welchem Umfang sich dieser Vorgang auf die Konstruktion ausgewirkt hat. Aufgetretene Transportschäden sind zu beurteilen und erforderlichenfalls zu sanieren.

Austausch und Ertüchtigung beschädigter Bauteile

Gemäß den Ausführungen in den Gutachten-Teilen [D_11], [D_12] und [D_13] sind die z.T. stark durch Korrosion beschädigten Bauteile zu ersetzen. Darüber hinaus sind einzelne anderweitig beschädigte Bauteile (wie bspw. die Stegbleche der Träger der KG-Decke) lokal zu ertüchtigen.

Aufgetretene Transportschäden sind zu sanieren (s.o.).

Die Mauerwerksausfachung im Keller sollte mit Blick auf die Passivierung der Stahlkonstruktion originalgetreu wiederhergestellt werden, auch wenn aufgrund der geringeren Beanspruchung am neuen Standort (kein Seegang) eine Anpassung der Wanddicke möglich ist.

Ertüchtigung (Gesamttragwerk), Anschlusskonstruktion, Korrosionsschutz, Ausbauten

Diese Aspekte unterscheiden sich nicht von *Variante V3.A*. Siehe *Kapitel 3.02.7*.

3.03.8 Bauliche Voraussetzungen am neuen Standort

Hinsichtlich der baulichen Voraussetzungen am neuen Standort wird auf *Kapitel 4* verwiesen.

3.03.9 Instandhaltung und Wartung

Die Anmerkungen unter *Kapitel 3.02.9* gelten hier analog.

3.03.10 Risikobewertung

Neben den unter *Kapitel 2.06* beschriebenen allgemeinen Risiken sind hier vor allem Auswirkungen auf die Ausbauten, wie Rissbildungen, als mögliches Schadenszenario zu benennen. Bedingt durch den Ausbau der Mauerwerksausfachung im Keller können Lastumlagerungen auftreten.

3.04 Variante V3.C: Transport der Stahlkonstruktion ohne Ausbauten

3.04.1 Beschreibung und Schwerpunkte

Im Folgenden wird die in der Übersicht (*Kapitel 3.01*) stichpunktartig skizzierte Translozierungsvariante genauer beschrieben und auf deren Fokus eingegangen.

Beschreibung

Das Turmoberteil wird unter Beibehaltung des äußeren, historischen Erscheinungsbildes translozierte, wobei zur Erhöhung der Transportmöglichkeiten das Transportgewicht minimiert wird.
Dazu ist das Turmoberteil zusätzlich zu den generell erforderlichen Vorarbeiten durch Entfernen des Sekundärtragwerks (Mauerwerk im Keller und Holzausfachungen in den Obergeschossen) sowie sonstiger Ausbauten auf das Primärtragwerk (Stahlkonstruktion) reduziert. Das Primärtragwerk ist für den Transportzustand zu untersuchen sowie erforderlichenfalls durch temporäre, leichte Aussteifungen (als Ersatz für das entfernte Sekundärtragwerk) zu verstärken.

Die Fuge zwischen dem zu translozierenden Bauwerksteil und dem am Standort verbleibenden Abschnitt befindet sich an der Oberkante des Sockels bzw. an der Unterkante des Keller-Geschosses.

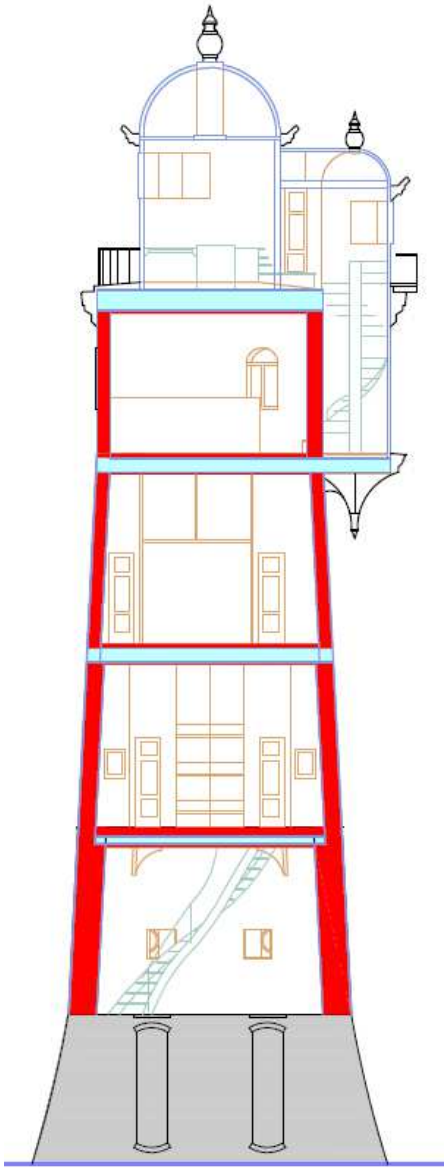


Abb. V3.C: Übersicht Bestandseingriffe (rot markiert)

Schwerpunkte

Das äußere Erscheinungsbild sowie das Primärtragwerk (Stahlkonstruktion) des Leuchtturm-Oberteils bleiben in ihrer historischen Substanz vollständig erhalten.
Das Gewicht des Turms wird derart reduziert, dass ein Heben mit Mobilkrantechnik (z.B. Liebherr LTM 1750-9.1-T3Y, Liebherr LR 1400 o.glw.) möglich ist. Durch das reduzierte Transportgewicht besteht eine etwas größere Variabilität bezüglich des neuen Standorts.
Durch das Entfernen der Ausbauten ist die gesamte Stahlkonstruktion zugänglich und kann grundhaft instandgesetzt werden.

Zusammenfassung der Vorzüge:

- Erhalt des primären Stahltragwerks des Turmoberteils
- Flexibilität hinsichtlich Kranung, Transport und Wahl des neuen Standorts
- Grundhafte Instandsetzung der unverbauten Stahlkonstruktion möglich

Maßnahmenüberblick zum Lösungsvorgang

Im Folgenden sind die den Transport vorbereitenden Maßnahmen stichpunktartig zusammengefasst. In den anschließenden Kapiteln wird auf einzelne Punkte tiefgründig eingegangen.

1. Vorarbeiten (Gebäude baufrei machen, s. *Kapitel 2.02*)
2. Baustelleneinrichtung und vorbereitende Maßnahmen
   - Baustelleneinrichtung, Arbeitsgerüst u.a. Grundlagen s. *Kapitel 2.02*
   - Montage und Verankerung eines umlfd. Stahl-Sockelgerüstes (zur späteren Umlastung)
3. Rückbau des Sekundärtragwerks (KG-Mauerwerk und Holzausfachungen)
   - Rückbau der Ausbauten (Innenwände, Möbel usw.)
   - Rückbau des Sekundärtragwerks (Außenwände, Decken)
   - Einbau leichter Innenaussteifungen

4. Einbau der Grund- und Anschlussträger
   - Herstellung von 6 Mantelblech-Durchdringungen (ca. 40 x 30 cm²)
   - Einbau und Schraubmontage der 6 polar angeordneten Grundträger (ca. HEB 300)
   - Montage der 6 Anschlussträger und Herstellung der Anschlüsse (an Stützenstege)
   - Montage der 6 Koppelträger (in den nicht durch Grundträger durchdrungenen Feldern)
   - Herstellung Anschluss zwischen Mantelblech und Grundträger sowie Stützen
5. Errichtung Transporthilfskonstruktion
   - Montage der aufgehenden Stahlkonstruktion auf den Grundträgern
   - Herstellung von Anschlüssen an die Deckenebenen
6. Umlastung auf Sockelgerüst
   - Installation von Pressen zwischen Sockelgerüst und Grundträgern
   - Aktivierung der Grund- und Anschlussträger durch Hochpressen
   - Form- und kraftschlüssiges Ausfüllen der Distanz zwischen Sockelgerüst und Grundträgern
7. Bereitstellung und Aktivierung Hubmittel
   - Anschlagen des Kranes an die Transporthilfskonstruktion
8. Trennung des Turmes an UK Kellergeschoss
   - Abtrennen Mantelblech
   - Trennung der Stützen (wechselseitiges Vorgehen)
9. Hubvorgang
   - Kraftschlüssiges Anziehen des Kranes
   - Lösen der (Zug-) Sicherung der Transporthilfskonstruktion
   - Hub und Versatz auf Unterkonstruktion auf Transportfahrzeug
   - Sicherung auf Transportfahrzeug (Abspannung)

3.04.2 Vorarbeiten und Beeinträchtigung der historischen Bausubstanz

<u>Vorarbeiten</u>

Hinsichtlich der allgemeinen Vorarbeiten wird auf *Kapitel 2.02* verwiesen.
Der Leuchtturm ist auf das Primärtragwerk zu reduzieren. Dazu sind sämtliche Ausbauten (Mauerwerksausfachung im Keller, Holzausfachungen, sonstige Einbauten) zu entfernen.
Im Zuge des Rückbaus des Sekundärtragwerks sind leichte Ausfachungskonstruktionen für den Transportzustand nach statischen Erfordernissen einzubringen.
Die übrige Montage der Transportbehelfe wird im folgenden *Kapitel 3.04.3* beschrieben.

<u>Beeinträchtigungen der historischen Bausubstanz</u>

Primärtragwerk

Das stählerne Primärtragwerk wird lediglich an der Trennfuge in Höhe der Unterkante des Keller-Geschosses und im Bereich der Mantelblechdurchdringungen für die Grundträger sowie Verbindungsmittel beeinträchtigt.
Die Kopplung in Höhe der Decke über Schlafzimmer kann indirekt über ein umlaufendes Zugband mit entsprechenden Anschlusspunkten oder über Durchdringungen des Mantels erfolgen.

Sekundärtragwerk und Sonstige Ausbauten

Das Sekundärtragwerk (Holzausfachung, Mauerwerksausfachung) sowie sonstige Einbauten (z.B. Trennwände, Treppen, Betten, Sitzbereiche etc.) sind zurückzubauen.

3.04.3 Transporthilfskonstruktion

Transportgewicht

Das Transportgewicht setzt sich aus den Eigengewichten der Stahlkonstruktion des Turmes, dem Eigengewicht der Decken, der evtl. erforderlichen inneren Aussteifungskonstruktionen und der (äußeren) Transporthilfskonstruktion sowie der Hakenflasche zusammen. Es ergibt sich folgende Summe:

Turmoberteil (Primärtragwerk)	~ 55 t	Stahlkonstr. einschl. Decken, vgl. *Pkt. 2.01.2*
Transporthilfskonstruktion	~ 25 t	inkl. innerer Aussteifungskonstruktion
Hakenflasche	~ 5 t	
Summe	~ 85 t	ohne Sicherheits- und Dynamikbeiwerte

Konstruktionsprinzip

Prinzipielle Hinweise zur Transporthilfskonstruktion sind unter *Kapitel 2.04.4* beschrieben.

Die Transporthilfskonstruktionen, bestehend aus Sockelgerüst und Transporthilfskonstruktion, sind prinzipiell analog zur *Variante V3.A*, wie unter *Kapitel 3.02.3* beschrieben, auszuführen, können aufgrund des geringeren Transportgewichtes jedoch schlanker dimensioniert werden.

Abweichend von der *Variante V3.A* ist das Stahltragwerk des Leuchtturmes vollständig zu entkernen. Die ausgebauten Außenwand-Ausfachungen und Deckenscheiben sind durch leichte Konstruktionen, ggf. auch in Zusammenwirkung mit der äußeren Transporthilfskonstruktion, zu ersetzen.

3.04.4 Hub- und Transportmittel

Anschlagpunkte

Die Transporthilfskonstruktion wird wie unter *Kapitel 3.02.4* beschriebenen an das Hebezeug angeschlagen.

Hubmittel

Die zu transportierende Stahlkonstruktion kann mit folgenden Geräten gehoben werden:

- Mobilkran auf Hubinsel
- Kranschiff -> Weitere Erläuterungen siehe *Kapitel 3.03.4* (*Variante V3.B*)
- Errichterschiff -> Weitere Erläuterungen siehe *Kapitel 3.02.4* (*Variante V3.A*)

Zum Mobilkran auf Hubinsel

Aufgrund der großen Ausladung ist ein hochtragfähiger Mobilkran erforderlich (Raupenkran Liebherr LR 1400 o.glw.).
Der Mobilkran wird auf einer Hubinsel positioniert. Die Hubinsel muss für das Fahrtengebiet zugelassen und ausreichend tragfähig sein, um den Kran - auch im Betrieb -, den zu transportierenden Turm (Primärtragwerk), die Hilfskonstruktionen, Material und eine (hub- und transportspezifische) Baustelleneinrichtung sicher tragen zu können (Tragfähigkeit des Rumpfes und der Hubbeine, Kranpositionierung, Ketten-/Bodendruck usw.). Darüber hinaus ist bei der Wahl der Hubinsel zu beachten, dass eine RoRo-Anlage zum Auffahren des Mobilkrans vorhanden ist.
Für das Verfahren und die Positionierung der Hubinsel sind Schlepper erforderlich, da Hubinseln i.d.R. keinen eigenen Antrieb haben.

Transportmittel (zur Verbringung in Hafen)

Der Transport des demontierten Turmschaftes erfolgt auf der oben beschriebenen, von Schleppern gezogenen Hubinsel, auf einem Ponton oder alternativ an Bord eines geeigneten (Errichter-) Schiffs.

Abb. Beispiel Hubinsel: SIMONE, mit Raupenkran [Quelle: www.blankenese.de]

3.04.5 Demontage und Transportvorgang

Ist das Bauwerk entkernt sowie durch leichte (Ersatz-) Konstruktionen gesichert und sind die Grundträger (mit den anschließenden Querträgern und den Anschlusskonstruktionen) eingebaut, erfolgt die Umlastung auf das Sockelgerüst durch ein Anfahren der Pressen.
Die weitere Umlastung, das Trennen der Bestandskonstruktion, das Anheben und Versetzen sowie der Transport und die Entladung sind analog zu dem in *Kapitel 3.02.5* beschriebenen Verfahren durchzuführen. Als Hebezeug und Transportmittel können die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Fahrzeuge verwendet werden.

3.04.6 Weitere Verbringung bzw. mögliche neue Standorte

Zur Instandsetzung ist eine Verbringung des Turms auf dem Transportmittel in ein Trockendock möglich.

Die Abmessungen und das Gewicht des Leuchtturmes (in der Transporthilfskonstruktion) limitieren den weiteren Transport deutlich. Zu den Randbedingungen und Möglichkeiten des weiteren Transports siehe *Kapitel 2.04.6 ff.* und *3.02.6*.

Ein landseitiger Transport über ein schiffbares Gewässer hinaus ist, wie unter *Kapitel 3.03.6* beschrieben, nur sehr eingeschränkt möglich.

3.04.7 Instandsetzung und Sanierung

Da der Leuchtturm bis auf die Stahlkonstruktion entkernt wird, ist diese zugänglich und kann grundhaft instandgesetzt werden. Die Instandsetzung beinhaltet neben der Ertüchtigung der Stahlkonstruktion die vollständige Erneuerung des Korrosionsschutzes. Hinsichtlich der vorhandenen Schäden und des Maßnahmenkataloges wird auf [D_11], [D_12] und [D_13] verwiesen.

Ausführungsort

Die Instandsetzung sowie Sanierung des Turmoberteils erfolgt zur Vereinfachung der durchzuführenden Arbeiten in einem Trockendock. Ist ein Trockendock nicht verfügbar, kann die Stahlkonstruktion auf einer Hafen- bzw. Werftfläche oder am zukünftigen Standort zur Instandsetzung eingehaust werden.

Auswirkungen auf das Turmtragwerk aus Transport

Tragwerkseingriffe aus Vorarbeiten und Hilfskonstruktion

Die Ausbauten und das Sekundärtragwerk sind vollständig zurückzubauen und durch leichte Hilfskonstruktionen zu ersetzen.
Für die Installation der Transporthilfskonstruktion sind sechs Öffnungen im Mantelblech in der Keller-Geschoss-Ebene sowie die Befestigung der Anschluss- und Koppelträger an den Stützen mittels Verschraubung erforderlich. Zusätzlich sind im Bereich der Decken über Schlafzimmer und ggf. über Dienstzimmer Anschlusspunkte für die Horizontalstützung des Turms vorgesehen, die als Schraubanschlüsse ausgebildet werden.
Durch die Mantelblech-Durchdringungen für die Grundträger werden weniger als 0,5 % der Gesamtansichtsfläche des Stahltragwerks beeinträchtigt.

Transportschäden

Nach dem Transport ist zu untersuchen, ob und in welchem Umfang sich dieser Vorgang auf die Konstruktion ausgewirkt hat. Aufgetretene Transportschäden sind zu beurteilen und erforderlichenfalls zu sanieren.

Austausch und Ertüchtigung beschädigter Bauteile

Gemäß den Ausführungen in den Gutachten-Teilen [D_11], [D_12] und [D_13] sind die z.T. stark durch Korrosion beschädigten Bauteile zu ersetzen. Darüber hinaus sind einzelne anderweitig beschädigte Bauteile (wie bspw. die Stegbleche der Träger der KG-Decke) lokal zu ertüchtigen.

Aufgetretene Transportschäden sind zu sanieren (s.o.).

Die Mauerwerksausfachung im Keller sollte mit Blick auf die Passivierung der Stahlkonstruktion originalgetreu wiederhergestellt werden, auch wenn aufgrund der geringeren Beanspruchung am neuen Standort (kein Seegang) eine Anpassung der Wanddicke möglich ist. Ebenso sollte die Außenwand-Ausfachung nach der originalen Vorlage wiederhergestellt werden, mit Blick auf die geringeren äußeren Beanspruchungen ist eine Optimierung (bspw. einwandig statt doppelwandig) jedoch denkbar.

Ertüchtigung (Gesamttragwerk)

Sollte das Bauwerk zur Aufnahme höherer Verkehrslasten entsprechend der Nutzlastkategorie C3 ertüchtigt werden, sind Verstärkungsmaßnahmen besonders im Bereich der Decken erforderlich (vgl. *Kapitel 2.05.3)*.

Anschlusskonstruktion

Im Zuge der Ausführung der Instandsetzungsmaßnahmen ist die Konstruktion, speziell die Stützenfüße und der untere Stoß der Mantelbleche, hinsichtlich der Verankerung auf dem neuen Gründungskörper zu modifizieren.

Korrosionsschutz

Der Korrosionsschutz der Stahlkonstruktion ist vollständig zu erneuern (siehe [D_11, 1.03.3]).

Ausbauten

Die Wiederherstellung der Ausbauten ist nach historischem Vorbild durchzuführen. Hierfür ist eine vollumfängliche Bestandsdokumentation vor Beginn der Entkernung erforderlich.

Im Bereich der Außenwandung kann die konstruktive Ausbildung der Holzausfachung aus statischer Sicht aufgrund der geringeren Beanspruchung der Gesamtkonstruktion deutlich schlanker ausgebildet werden.

3.04.8 Bauliche Voraussetzungen am neuen Standort

Hinsichtlich der baulichen Voraussetzungen am neuen Standort wird auf *Kapitel 4* verwiesen.

3.04.9 Instandhaltung und Wartung

Zur Sicherstellung des Bauwerkszustands sind turnusmäßige Bauwerksuntersuchungen in Anlehnung an DIN 1076 mit anschließender Durchführung ggf. erforderlicher Wartungsarbeiten durchzuführen.
Zur Erleichterung bzw. Ermöglichung der Inspektion sind Revisionsöffnungen in der (wiederherzustellenden) Außenwand-Ausfachung vorzusehen.

3.04.10 Risikobewertung

Es wird auf die unter *Kapitel 2.05.6* beschriebenen allgemeinen Risiken verwiesen. Ergänzend hierzu ist folgendes festzuhalten:
Die oben beschriebene Variante der Translozierung ist auf die Nutzung und den Erhalt des bestehenden und im Wesentlichen funktionstüchtigen Primärtragwerks des Turmes ausgelegt.
Durch den Ausbau des Sekundärtragwerks wird das Tragwerk geschwächt. Da die Schwächung des Bauwerkes durch die stabilisierenden Hilfskonstruktionen nur eingeschränkt ausgeglichen werden kann, ist das Bauwerk während der Baumaßnahme und im Transportzustand durch Starkwind und Wellengang besonders gefährdet. Umso wichtiger ist eine solide Prognose der Witterungsbedingungen für die Wahl des Ausführungszeitraums.

3.05 Variante V3.D: Trennung des Bauwerkes in Geschoss-Segmente

3.05.1 Kurzbeschreibung und Schwerpunkte

Im Folgenden wird die in der Übersicht (*Kapitel 3.01*) stichpunktartig skizzierte Variante der Translozierung genauer beschrieben und auf deren Fokus eingegangen.

Kurzbeschreibung

Diese Variante sieht die Segmentierung der stählernen Turmkonstruktion in verhältnismäßig kleine und leichte Transportelemente vor.
Das Bauwerk wird dabei jeweils über den Deckenebenen in Geschosselemente geteilt. Die Erker am Dienstzimmer könnten mit Blick auf die Abmessungen separat transportiert werden. Die Eigengewichte der einzelnen Elemente liegen in der Größenordnung von ca. 6 t (Laternen-Geschoss) bis ca. 38 t (Keller-Geschoss). In diesen Eigengewichten sind die hölzernen Ausbauten im Wandbereich und die Aufbauten der Decke über der jeweiligen Geschossebene enthalten.
Zum Trennen der Konstruktion und für den Transport sind Hilfskonstruktionen erforderlich. Die Transporthilfskonstruktion muss, neben den Bauteilen zum Anschlagen an den Kran, v.a. die (im getrennten Zustand freien) Fußpunkte der Stützen sichern. Mit der Transporthilfskonstruktion entsteht ein Transportgewicht von ca. 60 t (für das schwere, maßgebende Keller-Geschoss).
Zur Montage der Hilfskonstruktionen und zum Trennen der Stahlkonstruktion müssen die Ausbauten zumindest im Bereich um die Stützenfüße demontiert werden. Es werden also sowohl die Wand (im unteren Bereich) als auch die Decke (in einem umlaufenden Streifen) beeinträchtigt. Darüber hinaus müssen alle die Geschossebenen verbindenden bzw. durchdringenden Bauteile demontiert oder getrennt werden. Das betrifft u.a. die Treppenanlagen.
Die einzelnen Turmsegmente können von einem auf einem Ponton positionierten Mobilkran gehoben und auf dem Ponton abgesetzt werden. Der Ponton muss so dimensioniert sein, dass der Kran den Hubvorgang ausführen kann. Nach der Sicherung des jeweiligen Turmsegmentes wird der Ponton in einen Hafen geschleppt.
Alternativ zu dem Mobilkran (auf dem Ponton) gibt es in Bremerhaven und Bremen eine Auswahl an Anlagen, die die Turmsegmente entladen können.
Zur Instandsetzung können die Segmente in eine Werkhalle oder ein Trockendock verbracht werden.

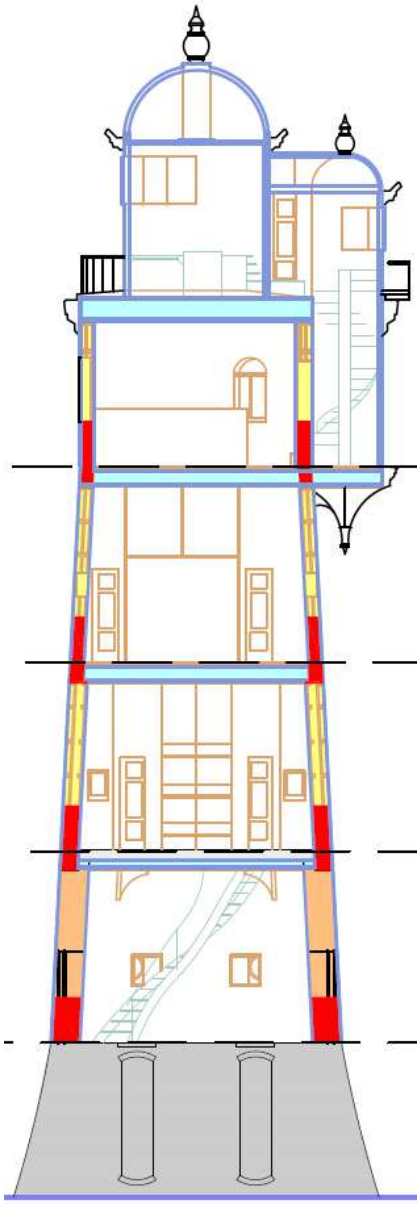


Abb. V3.D: Übersicht Bestandseingriffe (rot markiert)

Alternativ ist auch eine temporäre Einhausung der einzelnen Segmente denkbar, aber bei den begrenzten Abmessungen von ca. Ø 7,1 m x H 4,5 m sicherlich nicht die günstigste Lösung.
Nach der Instandsetzung können die Turmsegmente auf dem Wasserweg zum neuen Standort verbracht werden. Zur Entladung und Remontage kann ein landseitiger Mobilkran verwendet werden. Ein Land- bzw. Straßentransport ist unter Berücksichtigung der einschränkenden Abmessungen des Transportgutes wie auch des Transportfahrzeuges denkbar.

Schwerpunkte

Dieser Ansatz sieht eine Segmentierung in verhältnismäßig gut handhabbare Geschosssegmente vor. Die kleineren Bauteilabmessungen und Gewichte erzeugen Flexibilität in der Wahl der Hebezeuge, der Transportfahrzeuge und dem Ort der Instandsetzung. Weiterhin ist ein landseitiger Transport, wenn auch mit Einschränkungen, denkbar. Da die Ausbauten des Turmes im Zuge der Trennung der Transportelemente (zumindest bereichsweise) entfernt werden müssen, kann die Stahlkonstruktion in einem günstigen Werft- bzw. Werksumfeld tiefgründiger (als bei den *Varianten V3.A* und *V3.B*) saniert und korrosionsgeschützt werden.

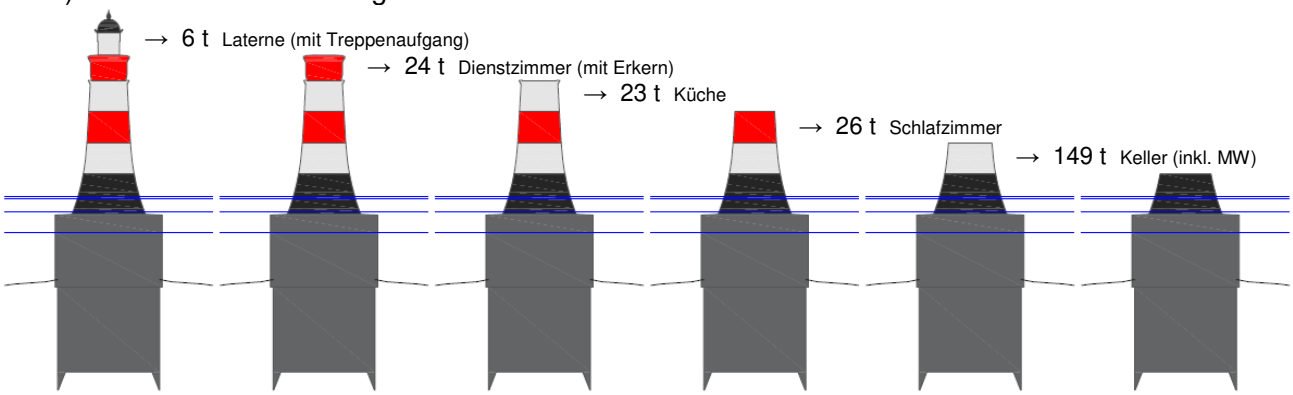


Abb. Demontageabfolge und gerundete Transportgewichte (inkl. Ausbauten)

Zusammenfassung der Vorzüge:

- Verhältnismäßig geringe Elementgewichte bis ca. 60 t (inkl. Transporthilfskonstruktion)
- Verhältnismäßig kleine Abmessungen der Transportelemente
- Flexiblere Handhabung in allen Phasen der Translozierung
- Tiefgründige Instandsetzung und Sanierung unter Werksbedingungen möglich
- Land-/Straßentransport eingeschränkt möglich
- Flexiblere Wahl des neuen Standortes

Überblick

Im Folgenden sind die den Transport vorbereitenden Maßnahmen stichpunktartig zusammengefasst. In den anschließenden Kapiteln wird auf einzelne Punkte tiefgründig eingegangen.

1. Vorarbeiten (Gebäude baufrei machen, s. *Kapitel 2.02*)
2. Baustelleneinrichtung und vorbereitende Maßnahmen
   - Baustelleneinrichtung, Arbeitsgerüst u.a. Grundlagen s. *Kapitel 2.02*

Die folgenden Punkte wiederholen sich in allen Geschossebenen.

3. Demontage der Aus- und Aufbauten (bereichsweise)
   - Demontage der Innenwände und anderer fester Einbauten (wie Möblierung).
   - Demontage der Außenwand-Ausfachung und des Deckenaufbaus zumindest im Bereich der zu trennenden Stahlbauteile. Sicherung der übrigen Ausbauten.
4. Montage der Stützenfuß-Kopplung
   - Einbau einer zug- und drucksteifen Kopplung zwischen den Stützenfüßen.
5. Herstellung der Durchstützung zur Entlastung der Trennfuge
   - Einbau tragender, nach unten bis auf den massiven Sockel fortgesetzter Durchstützungen in allen Stützen- bzw. Deckenträgerachsen. Die Anordnung ist auf die Lage der Stützenfuß-Kopplungen abzustimmen. Prinzipiell sollte die Durchstützung möglichst weit außen (am Deckenträger-Auflager) angeordnet werden. Die Durchstützung muss aufgrund der geneigten Außenkante des Leuchtturm-Mantels und daraus folgender Kollisionen mit der Stützenfuß-Kopplung in jeder Ebene umgebaut werden.
   - Montage von verbandartigen Schrägstäben zur Stabilisierung der Durchstützung (v.a. in dem abzutrennenden Geschoss für den Zustand der gelösten Verbindungen)

6. Montage der Anschluss- und Transporthilfskonstruktion
   - Schraub-Montage von je einem Anschlussbauteil an jeder zweiten Stütze in zuvor ausgebohrten Nietlöchern und erforderlichenfalls zusätzlich herzustellender, das Mantelblech durchdringender Bohrungen neben den Stützengurten.
   - Montage von sternförmig/sechseckigen Hub- und dreieckförmigen Traverseträgern auf der Deckenebene.
   - Herstellen zugfester Verbindungen zwischen den Anschlussbauteilen und den Hubträgern.
7. Umlastung auf Durchstützung
   - Aktivierung der Durchstützungen durch Hochpressen und Ausfüttern der Distanz
8. Bereitstellung und Aktivierung Hebezeug und Transportmittel
   - Anschlagen des Kranes an die Transporthilfskonstruktion
9. Trennung des Turmes an Geschoss-Unterkante
   - Ausbohren der Mantelblech-Nietverbindungen (wenn möglich, sonst Trennschleifen)
   - Ausbohren der Nietverbindungen an den Stützenfüßen (wechselseitiges Vorgehen)
10. Hubvorgang
    - Kraftschlüssiges Anziehen des Kranes
    - Lösen der (Zug-) Sicherung der Transporthilfskonstruktion
    - Hub und Versatz auf (durchstützungsähnliche) Unterkonstruktion auf Transportfahrzeug
    - Sicherung auf Transportfahrzeug (Abspannung)
11. Sicherung darunter liegender Geschossebene
    - Herstellung einer temporären Abdichtung auf der Deckenoberseite. Die Abdichtungskonstruktion muss auf die (evtl. erst später zu montierende) Transporthilfskonstruktion abgestimmt sein.

3.05.2 Vorarbeiten und Beeinträchtigung der historischen Bausubstanz

Vorarbeiten

Hinsichtlich der allgemeinen Vorarbeiten wird auf *Kapitel 2.02* verwiesen.
Die im Zuge der Herstellung der Transportbehelfe erforderlichen Maßnahmen werden im Folgenden beschrieben.

Da die Treppen demontiert und die Decken zumindest bereichsweise geöffnet werden müssen, ist ein Ersatz durch entsprechende Baubehelfe (Leitern, Bohlen u.ä.) erforderlich. Durch den Ausbau der Innenwände sind die frei werdenden Treppenöffnungen gegen Ab- bzw. Durchsturz zu sichern.
In den Bereichen der Treppenöffnungen und der baubedingten Deckenöffnungen sind (zimmermannsmäßige) Konstruktionen zur Sicherung der Deckenträger und der Wirksamkeit der Deckenscheibe einzubauen.

Zum Lösen der den Mantel des Leuchtturmes durchdringenden Niete und zur Montage der unten beschriebenen Konsolen zum Anschluss der Transport-Abhängung ist ein außen umlaufendes Gerüst erforderlich.

Montage der Hilfskonstruktion zur Lastumlagerung

Um den Turm bzw. dessen tragende Stahlkonstruktion in transportable Elemente teilen zu können, müssen die zu trennenden Bauteile lastfrei sein. Um diesen Zustand herzustellen, muss die Decke über dem zu trennenden Geschoss bis auf den Sockel durchgestützt werden. Die Durchstützung sollte an allen Stützenachsen möglichst weit außen an der Wand angeordnet werden, sodass das statische System der Deckenträger nur minimal beeinflusst wird. Bei der Durchstützung ist darauf zu achten, dass sich die Stützelemente ohne Versätze über alle Geschossebenen fortsetzen. Nicht tragfähige oder fragwürdige Deckenbereiche müssen entfernt und/oder durch eine ausreichende Lastverteilung überbrückt werden. Mit Blick auf die in den oberen Geschossebenen unbekannte Ausführung des Knotens zwischen Stütze und Deckenträger sollte die Durchstützung (dort wo vorhanden) an die Voutenbleche angeschlossen werden, da diese direkt mit den Stützengurten vernietet sind. Der Anschluss sollte möglichst weit oben (direkt unter den Deckenträgern) angeordnet werden, sodass die Stabilität des Voutenblechs nicht beeinträchtigt wird.

Die vertikalen Hilfsstützen der Durchstützung sind v.a. im obersten (zu lösenden) Geschoss durch Schrägstäbe zu stabilisieren.

Montage der Transporthilfskonstruktion

Zur Transporthilfskonstruktion gehören folgende Baugruppen:

- Sicherung der Stützenfüße
- Anschlagkonstruktion (turmseitig)

Sicherung der Stützenfüße

Die Stützenfüße müssen zug- und drucksteif gekoppelt werden, da die (unten) anschließende Deckenscheibe im Transportzustand nicht mehr vorhanden ist. Da die Wand zum Trennen der Stützen ohnehin geöffnet werden muss, können die Koppelglieder mit einer Schraubkonstruktion an die Stützenstege angeschlossen werden. Zum Ausgleich von Unregelmäßigkeiten sollten die Koppelglieder längenverstellbar sein (bspw. Deckenstützen aus dem Schalungsbau). Bei der Anordnung der Koppelglieder muss die Lage der bauzeitlichen Durchstützung beachtet werden. Die beiden Konstruktionen müssen aufeinander abgestimmt werden, sodass keine Kollision entsteht. Werden die Hilfsstützen mit den (zumindest abschnittsweise) dazwischen angeordneten Diagonalstäben mit angehoben, müssen die Diagonalen im Hubvorgang nicht demontiert (Kollision mit Stützenfußkopplung) und die Hilfsstützen nicht gegen Umkippen gesichert werden. Das Turmsegment kann auf dem Transportmittel auf den Stützen abgesetzt werden. Eine weitere Unterkonstruktion für den Transport ist nur erforderlich, wenn dies bspw. zur Lastverteilung auf dem Transportmittel notwendig ist.

Eine sternförmige Diagonalverstrebung baut (bei nicht ebenengleicher Ausführung 6 Ebenen) hoch auf und bedingt eine Auswechslung der Durchstützung. Alternativ dazu können Koppelelemente zwischen jeder dritten Stütze eingebaut werden. Die im Grundriss drei Quadrate abbildenden Koppelelemente schließen jeweils im 45°-Winkel an die Stützen an. Die Konstruktion baut 3 Ebenen auf. Wie in der nebenstehenden Abbildung gezeigt, kann die Durchstützung in dem Freiraum zwischen den Koppelquadraten angeordnet werden.

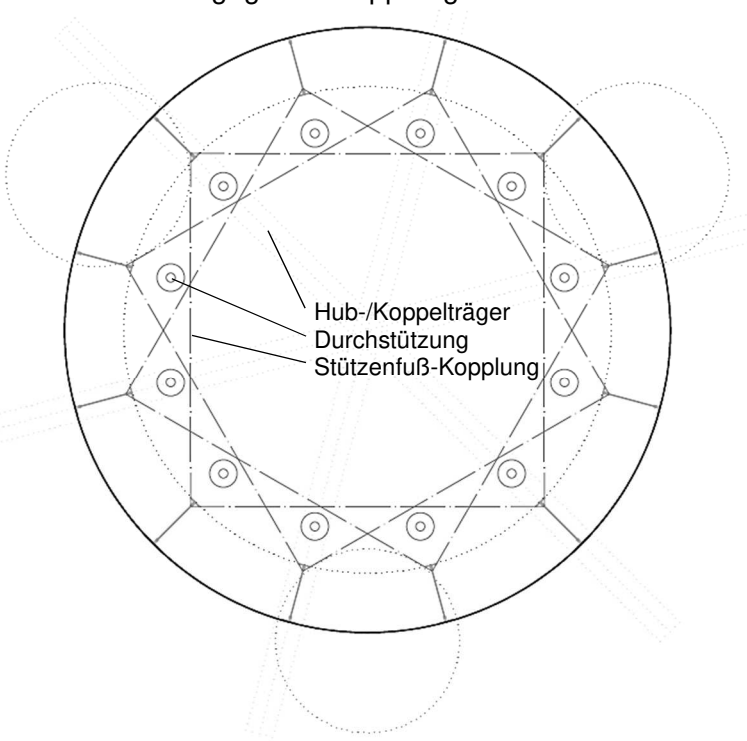


Abb. Durchstützung und Kopplung der Stützenfüße

Anschlagkonstruktion

Die konstruktive Durchbildung des Knotens zwischen Stützen und Deckenträger ist in den oberen Geschossebenen nicht bekannt. Es wird unterstellt, dass der Anschluss zwischen Deckenträger und unten anschließender Stütze nicht geeignet ist, um die Konstruktion an den Deckenträgern anzuheben. Aus diesem Grund sieht der Entwurf vor, das Turmsegment über außen angeschraubte Konsolen anzuheben. Die Konsolen sollten direkt an die Stützen angeschlossen werden. Dazu müssen einzelne Niete, die das Mantelblech mit dem Stützengurt verbinden, ausgebohrt und durch Schrauben ersetzt werden. Je nach Zustand des Nietloches kann ein Aufreiben dieses erforderlich werden, um eine planmäßige Scher-Lochleibung-Verbindung herzustellen. Zu

sätzlich kann der Anschluss um weitere, neben dem Stützengurt befindliche Schraubenreihen ergänzt werden. Aufgrund der überlappenden, vertikalen Stöße des Mantelblechs bietet sich zumindest für die seitlich durch zusätzliche Schraubenreihen erweiterte Anschlusskonstruktion nur jede zweite Stützenachse für den Anschluss an. Weiterhin sollte der Anschluss nicht im Bereich eines horizontalen Mantelblechstoßes angeordnet werden (Absatz an Überlappung).

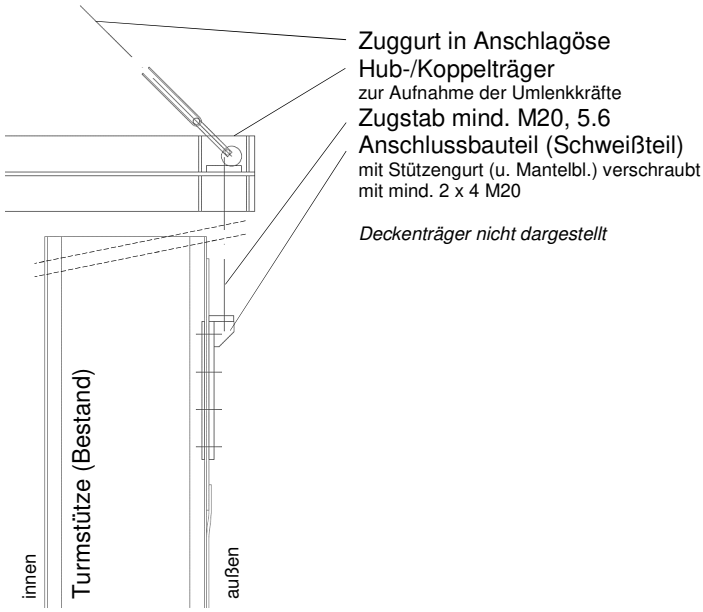


Abb. Hub- und Anschlagkonstruktion

Die Höheneinordnung der Anschluss-Konsolen hat folgende Aspekte. Eine Anordnung im oberen Stützenabschnitt ist günstig, da die Stütze nur über eine kurze (Knick-) Länge druckbeansprucht ist und damit kaum eine Gefährdung hinsichtlich Bauteilstabilität vorliegt. Für die Montage des Anschlusses müssen jedoch weitere Ausbauten (zumindest lokal) ausgebaut werden. Eine Anordnung im unteren Stützenbereich hat den Vorteil, dass keine über die in diesem Bereich ohnehin zu entfernenden Ausbauten hinausgehenden Zerstörungen erforderlich werden. In dem Fall, dass sich die verbleibende Holzausfachung nicht sichern lässt und entnommen werden muss, kann eine zusätzliche Konstruktion zur Knicksicherung der Stahlstützen erforderlich werden.

Über der Deckenebene werden Hubträger angeordnet. Diese werden durch (zugfeste) Gewindestäbe an die an den Stützen befestigten Konsolen angeschlossen. Im Bereich der (unterseitig) anschließenden Zugstäbe werden oben zum Kranhaken verlaufende Seile, Gurte o.ä. angeschlagen. Erforderlichenfalls sind zur Gleichverteilung der Belastung Zwischentraversen vorzusehen.

<u>Beeinträchtigungen der historischen Bausubstanz</u>

Primärtragwerk

Das stählerne Primärtragwerk wird im Bereich der Trennfugen beeinträchtigt.
Zielstellung ist es (nach Möglichkeit) lediglich Nietverbindungen zu lösen und auf das Durchtrennen von Trägern und/oder Blechen zu verzichten, sodass die Konstruktion in Analogie remontiert werden kann.

Sekundärtragwerk

Das Sekundärtragwerk muss zumindest in einem unteren Abschnitt der Wände ausgebaut werden, um die zu lösenden Nietverbindungen zugänglich zu machen.
Die verbleibende Holzausfachung muss in ihrer Lage (gegen Herausfallen) gesichert werden. Im schlechtesten Fall wird die Ausfachung durch die Demontage im unteren Wandbereich derart entfestigt, dass diese komplett entnommen werden muss.

Vermutlich wird es in den oberen Geschossebenen erforderlich die Decken zu öffnen, um die Verbindung zwischen Deckenträger und aufstehender Stütze lösen zu können.
Im besonderen Maße kann davon die Decke über Dienstzimmer betroffen sein, da die Laterne nicht außenbündig, sondern nach innen versetzt, aufsteht. Es kann also erforderlich werden größere Deckenabschnitte zu öffnen, um Zugang zu den Verbindungen zu schaffen.

Die Mauerwerksausfachung im Keller-Geschoss muss mit Blick auf das Transportgewicht vollständig entfernt werden.

Ausbauten und Sonstiges (wie Treppen)

Die räumlichen Ausbauten (Innenwände) und die Treppenanlagen müssen demontiert werden.

3.05.3 Transporthilfskonstruktion

Transportgewicht

Das Transportgewicht setzt sich aus den Eigengewichten des Turmsegmentes und der Transporthilfskonstruktion zusammen. Für das maßgebende Element ergibt sich folgende Summe:

Turmsegment	~ 40 t	KG, ohne MW-Ausfachung, vgl. *Pkt. 2.01.2*
Transporthilfskonstruktion	~ 20 t	
Hakenflasche	~ 3 t	
Summe	~ 63 t	ohne Sicherheits- und Dynamikbeiwerte

Konstruktionsprinzip

Zentraler Teil der Transporthilfskonstruktion ist die über dem zu transportierenden Geschosssegment polar angeordnete, sechsstrahlige Hubträgerkonstruktion. Diese wird unterseitig mit dem zu hebenden Turmsegment verbunden. Oberseitig sind Traverseträger und eine Kronenkonstruktion zur Zentrierung des Kran-Anschlagpunktes vorgesehen.
Die Konstruktion ist oben unter *Kapitel 3.05.2* genauer beschrieben.

Montage der Konstruktion

Die polare Hubträgerkonstruktion wird mit der oben beschriebenen, turmseitigen Anschlagkonstruktion verschraubt (Gewindestangen). Die oberseitige Konstruktion zur Zentrierung des Kran-Anschlagpunktes kann geschraubt und/oder mit Ausgleichsgehängen hergestellt werden.

3.05.4 Hub- und Transportmittel

Anschlagpunkte

Der Kranhaken wird über Seile, Gurte o.ä. und ggf. Traversen an mindestens sechs Punkten an den auf der Decke angeordneten Hubträgern angeschlagen.

Hubmittel

Die Turmsegmente können mit folgenden Geräten gehoben werden:

- Mobilkran auf Ponton
- Mobilkran auf Hubinsel -> Weitere Erläuterungen siehe *Kapitel 3.04.4* (*Variante V3.C*)
- Kranschiff -> Weitere Erläuterungen siehe *Kapitel 3.03.4* (*Variante V3.B*)
- Errichterschiff -> Weitere Erläuterungen siehe *Kapitel 3.02.4* (*Variante V3.A*)

Zum Mobilkran und Ponton

Aufgrund der großen Ausladung ist ein hochtragfähiger Mobilkran erforderlich (Liebherr LTM 1650-8.1 (700 t-Klasse), LTM 1750-9.1 (800 t-Klasse) o.glw.).
Der Mobilkran wird auf einem Ponton positioniert. Der Ponton muss für das Fahrtengebiet zugelassen und ausreichend tragfähig sein, um den Kran - auch im Betrieb -, das zu transportierende Turmsegment, die Hilfskonstruktionen, Material und eine (hub- und transportspezifische) Baustelleneinrichtung sicher tragen zu können (Begrenzung der Kränkung, Pallenlasten usw.). Darüber hinaus ist bei der Wahl des Pontons zu beachten, dass eine RoRo-Anlage zum Auffahren des Mobilkrans vorhanden ist und absenkbare Stelzen bzw. Beine zur Lagesicherung während des Hubvorgangs zur (optionalen) Ausstattung des Pontons zählen.
Während des gesamten Arbeitsvorgangs sind Schlepper zum Verfahren und zur Lagesicherung/Stabilisierung des Ponton obligatorisch, da Pontons i.d.R. keinen eigenen Antrieb haben.

Transportmittel (zur Verbringung in Hafen)

Als Transportmittel für den Mobilkran und das bzw. die Turmsegmente ist ein Ponton mit den oben beschriebenen Anforderungen erforderlich.

3.05.5 Demontage und Transportvorgang

Nachfolgend sind die Teilschritte vom Lösen des zu transportierenden Geschoss-Segmentes bis zur Entladung im Hafen bzw. in der Werft (nach Abschluss sämtlicher vorbereitender Maßnahmen) dargestellt.

Umlasten und Trennen des Bestandes

Der segmentweise Rückbau erfolgt geschossweise von oben nach unten.
Nach dem Ausräumen der Möblierung und der Einrichtung/Ausstattung des Leuchtturmes müssen die Innenwände und Treppenanlagen demontiert und durch Baubehelfe ersetzt werden.
Anschließend werden die Decken außen, nahe an den Stützen mit verstellbaren Behelfsstützen durchgestützt, die Ausbauten im erforderlichen Umfang demontiert, die Hilfskonstruktionen montiert und aktiviert sowie der Trennvorgang, wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, durchgeführt.

Anheben und Verschwenken

Spätestens, wenn ein großer Teil der zu trennenden Verbindungen gelöst ist, wird der Kran angeschlagen. Vor dem Entfernen ausgewählter letzter Verbindungen sollte der Kran bereits leicht „unter Zug“ stehen, sodass mit dem Lösen der letzten Verbindung angehoben werden kann.
Das am Kran hängende Turmsegment wird anschließend über den Ponton verschwenkt und dort abgesetzt.

Absetzen und Transportsicherung

Das Turmsegment wird auf den Behelfsstützen, die erforderlichenfalls ausgefahren werden müssen, abgesetzt und zur Transportsicherung abgespannt. Zur Abspannung können die auf der Decke montierten Hubträger oder die am Mantelblech befestigten und dahingehend modifizierten (Einhängeöse unten) Konsolbauteile verwendet werden.

Transport

Der Ponton wird von Schleppern Richtung Werft bzw. Hafen gezogen.

Entladung

Zur Entladung kann der (auf dem Ponton befindliche) Mobilkran oder eine hafen-/werftseitige Krananlage verwendet werden.

3.05.6 Weitere Verbringung bzw. mögliche neue Standorte

<u>Abmessungen der Leuchtturm-Segmente</u>

Für die Turmsegmente werden folgende Abmessungen (ohne Transporthilfskonstruktion) angenommen:

-	Laterne:	Ø ~ 3,3 m, H ~ 6,3 m	*Ø ohne Treppenerker, H mit Firstspitze*
-	Dienstzimmer:	Ø ~ 6,8 m, H ~ 3,9 m	*Ø mit Erker, H ohne Erkerzipfel (unten)*
		Ø ~ 5,2 m	*Ø ohne Erker und ohne Gesimsband*
-	Küche:	Ø ~ 5,7 m, H ~ 4,4 m	*Ø an Geschoss-Unterkante*
-	Schlafzimmer:	Ø ~ 6,2 m, H ~ 4,7 m	*Ø an Geschoss-Unterkante*
-	Keller:	Ø ~ 7,1 m, H ~ 4,2 m	*Ø an Geschoss-Unterkante*

Die angegebenen Abmessungen stellen (aufgrund fehlender bzw. differierender Angaben in Plänen) Richtwerte dar und sind in der weiteren Planung aufzumessen und zu konkretisieren.

<u>Transport- und Standortmöglichkeiten</u>

V.a. die Abmessungen der Leuchtturm-Segmente limitieren den weiteren Transport. Zu den generellen Randbedingungen und Möglichkeiten des weiteren Transports siehe *Kapitel 2.04.8*.

Ein gewässerseitiger Transport ist, wie unter *Kapitel 3.02.6* beschrieben, möglich. Durch die im Vergleich zu den anderen Varianten geringere Höhe der Segmente können auch weniger hohe Brückendurchfahrten passiert und mehr potenzielle Standorte erschlossen werden.

Am Ende des Transports auf einem (Binnen-) Gewässer können die Turmsegmente in einem Hafen oder einer ähnlichen Anlage (Uferbefestigung) auf einen Straßentransport (mit Schwerlastmodulen o.ä.) umgeladen werden. Alternativ kann sich der neue Standort unmittelbar an dem befestigten Ufer befinden. Neben dem Kran ist dann kein weiteres Transportmittel erforderlich.

Die Abmessungen der Transportstücke überschreiben sowohl die Regelbreite eines Fahrstreifens wie auch die Regelhöhe von (Brücken-) Durchfahrten. Für einen Straßentransport ist unter Berücksichtigung der Transportgutabmessungen und des -gewichtes eine konkrete Streckenführung zu planen und genehmigen zu lassen.

Ein schienengebundener Transport ist praktisch nur innerhalb von Hafenanlagen o.ä. Freiflächen möglich.

3.05.7 Instandsetzung und Sanierung

Da im Zuge der Segmentierung die inneren Ausbauten vollständig und die Außenwand-Ausfachungen zumindest bereichsweise ausgebaut werden müssen, kann die Stahlkonstruktion tiefgründig instandgesetzt werden.
Hinsichtlich der vorhandenen Schäden und des Maßnahmenkataloges wird auf [D_11], [D_12] und [D_13] verwiesen.

Ausführungsort

Aufgrund der begrenzten Abmessungen und Transportgewichte der Segmente des Bauwerks wird die Aufbereitung der Stahlkonstruktion in einer Werkhalle oder einer Werft bzw. einem Trockendock empfohlen, da die Randbedingungen für die auszuführenden Stahlbau- und Beschichtungsarbeiten dort optimal sind.
Die Ausbauten können erst am neuen Standort, nach der Remontage der Stahlkonstruktion, wieder hergestellt werden.

Auswirkungen auf das Turmtragwerk aus Transport

Tragwerkseingriffe aus Hilfskonstruktion

Zur Installation der Transportbehelfe müssen die inneren Ausbauten, wie Innenwände und Möbel, ausgebaut und die Außenwand-Ausfachung wie auch die Deckenaufbauten zumindest bereichsweise demontiert werden. Die Demontagen gehen mit einer Zerstörung der historischen Bausubstanz einher.

Transportschäden

Nach den Transporten ist zu untersuchen, ob und in welchem Umfang Transportschäden aufgetreten sind. Diese sind zu beurteilen und zu sanieren.

Austausch und Ertüchtigung beschädigter Bauteile

Gemäß den Ausführungen in den Gutachten-Teilen [D_11], [D_12] und [D_13] sind die z.T. stark durch Korrosion beschädigten Bauteile zu ersetzen. Darüber hinaus sind einzelne anderweitig beschädigte Bauteile (wie bspw. die Stegbleche der Träger der KG-Decke) lokal zu ertüchtigen.
Die Konstruktion ist über die Öffnungen im Bereich der demontierten Außenwand-Ausfachung und Deckenaufbauten zu inspizieren. Sollten dabei Mängel festgestellt werden, sind diese zu beurteilen und entsprechende Maßnahmen auszuführen.

Aufgetretene Transportschäden sind zu sanieren (s.o.).

Ertüchtigung (Gesamttragwerk)

Mit Blick auf einen möglichst umfänglichen Erhalt der denkmalgeschützten Bausubstanz sollte der Personenstrom entsprechend den Erläuterungen unter *Kapitel 2.05.3* und *3.02.7* beschränkt werden.

Anschlusskonstruktion

Im Zuge der Ausführung der Instandsetzungsmaßnahmen ist die Konstruktion, speziell die Stützenfüße und der untere Stoß der Mantelbleche (in jeder Geschossebene), hinsichtlich dem Anschluss an die darunter liegende Geschossebene und der Verankerung auf dem neuen Gründungskörper zu modifizieren.

Korrosionsschutz

In Abhängigkeit des Umfangs der zu demontierenden Außenwand-Ausfachungen ist die Stahlkonstruktion bereichsweise (zumindest an den Stützenfüßen) bis zu vollständig freiliegend. Die freiliegenden bzw. zugänglichen Abschnitte der Stahlkonstruktion sind mit einem für diese Anwendung zugelassenem Beschichtungssystem fachgerecht vor Korrosion zu schützen.
Weitere diesbezügliche Informationen sind in [D_11, 1.03.3] enthalten.

Ausbauten

Die historischen Ausbauten werden bei dieser Variante der Translozierung zumindest in Teilen zerstört. Die zerstörten Ausbauten sind nach historischem Vorbild wiederherzustellen.

3.05.8 Bauliche Voraussetzungen am neuen Standort

Hinsichtlich der baulichen Voraussetzungen am neuen Standort wird auf *Kapitel 4* verwiesen.

3.05.9 Instandhaltung und Wartung

Die Stahlkonstruktion ist in den im Zuge der Translozierung zugänglich gewordenen Bereichen aufgrund der neu aufzubringenden Beschichtung planmäßig vor Korrosion geschützt.
Nach der Wiederherstellung der Ausbauten sind diese und vor allem die auch während der Translozierung nicht zugänglichen Bereiche nicht handnah zu begutachten. Sichtprüfungen sind nur indirekt und eingeschränkt möglich. Zur Verbesserung der Inspektionsmöglichkeiten können Revisionsöffnungen (im Bereich der bereichsweise zu entfernenden Ausbauten) vorgesehen werden.

Bezüglich der Inspektion und des Monitorings wird auf das *Kapitel 3.02.9* verwiesen.

3.05.10 Risikobewertung

Mit der großen Ausführungsdauer im Offshore-Bereich steigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens schwerer Witterung. Äußere Einflüsse können das Bauwerk auch im teilrückgebauten Zustand beschädigen (bspw. Zerstörung bauzeitlicher Abdichtung und Eintrag von Feuchtigkeit, sodass ein Ausbau der Ausbauten (über das erforderliche Maß hinaus) erforderlich wird.
Kraneinsätze sind risikobehaftet. Bei der geschossweisen Translozierung sind mehrere Kraneinsätze erforderlich.
Für den Bauwerksbestand bestehen Ungewissheiten hinsichtlich des Umfangs der bereichsweise auszubauenden Außenwand-Ausfachung und der Deckenaufbauten. Im ungünstigen Fall können die übrigen, nicht direkt von der Maßnahme betroffenen Ausbauten nicht stabilisiert und müssen ausgebaut werden.

3.07 Variante V3.E: Alternative zur Kranung des Bauwerks

3.07.1 Beschreibung und Schwerpunkte

Im Folgenden wird die in der Übersicht (*Kapitel 3.01*) stichpunktartig skizzierte Variante der Translozierung genauer beschrieben und auf deren Fokus eingegangen.

Kurzbeschreibung

Der Ansatz *V3.E* sieht die Translozierung des vollumfänglichen Gebäudebestandes (über den Gründungsbauteilen) inklusive eines Abschnitts des Sockels vor. Neben den Ausbauten in den Obergeschossen wird auch die Mauerwerksausfachung zwischen den Stützen im Keller vollständig erhalten.
Vorrangig bedingt durch die Mauerwerks-Ausfachung im Keller und den massiv ausgeführten Sockel ist das Transportgewicht des zu translozierenden Bauwerksabschnitts verglichen mit den anderen vorgestellten Varianten sehr hoch, so dass der Hub- und Transportvorgang nur mit speziellen Hebezeugen durchgeführt werden kann. Alternativ zu einem Kranhub ist die Nutzung der Auftriebswirkung zum Anheben des Bauwerks vorgesehen. Dazu werden zwei Pontons o.ä. Schwimmkörper am Leuchtturm (an gegenüberliegenden Seiten) positioniert und drücken den zu translozierenden Bauwerksabschnitt über eine Hilfskonstruktion nach oben.

Neben den generell erforderlichen Vorarbeiten (wie dem Ausräumen der Einrichtung) beschränken sich die mit dem Transportvorgang im Zusammenhang stehenden Arbeiten und die Eingriffe in den Bauwerksbestand auf den Sockel.

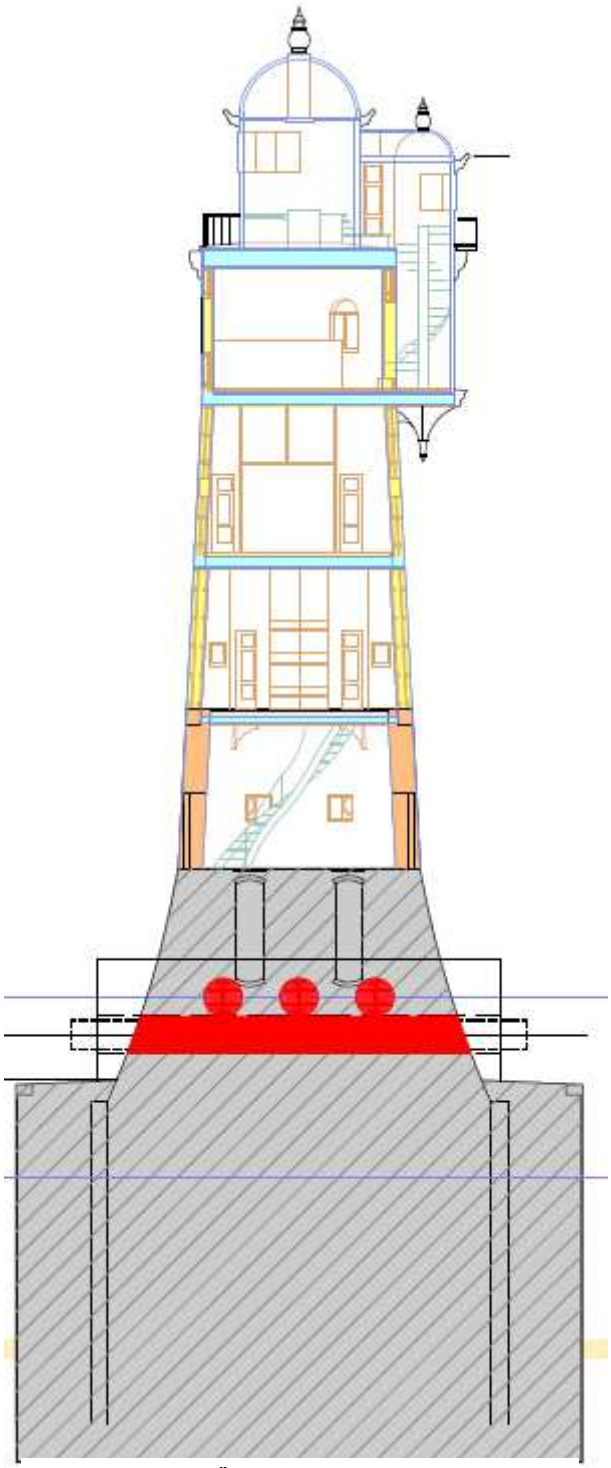


Abb. V3.E: Übersicht Bestandseingriffe (rot markiert)

Schwerpunkte

Das äußere Erscheinungsbild, das Primärtragwerk (Stahlkonstruktion), die dem Sekundärtragwerk zuzuordnenden Holzausfachungen, die festen Ausbauten in den oberen Geschossen und das Mauerwerk im Keller-Geschoss des Turmoberteils bleiben in ihrer historischen Substanz vollständig erhalten. Darüber hinaus wird ein Teil des Sockels an den neuen Standort überführt. Ausschließlich die Sockel-Ebene wird von der Maßnahme beeinträchtigt.

Zusammenfassung der Vorzüge:

- Vollumfänglicher Erhalt der historischen Bausubstanz des Turmoberteils
- Minimale Beeinträchtigung des Bauwerksbestandes

Montage der Transporthilfskonstruktionen und Hubvorgang

Der Sockel ist mit drei großformatigen Kernbohrungen (oder alternativ mit Zirkel-Seilsäge-Technik) in zwei Hauptrichtungen zu durchfahren. In die Öffnungen sind die Grundträger der Transporthilfskonstruktion einzubauen und anschließend mit Beton zu vergießen, um einen Form- und Kraftschluss herzustellen. Der Raum zwischen der Caisson-Oberkante und den Grundträgern der Transporthilfskonstruktion ist zur Entlastung der Trennfuge durch eine Stahl- oder Stahlbetonkonstruktion kraftschlüssig auszufüllen (Sockeleinfassung). Auf und zwischen den Grundträgern ist die räumliche, brückenartige Stahlfachwerkkonstruktion, welche das Bauwerksgewicht im Hub- und Transportzustand auf die beiden Pontons verteilt, zu montieren. Weiterhin ist die den Leuchtturm außen einfassende Stabilisierungskonstruktion (zumindest bis in die Ebene über Schlafzimmer) herzustellen.
Nach Fertigstellung der Transporthilfskonstruktion, bestehend aus den Grundträgern, dem räumlichen „Brücken"-Fachwerk sowie der Turmeinfassung und Aktivierung der Caisson-Durchstützung zur Entlastung der Trennfuge ist der Trennvorgang auszuführen. Die Trennung des Sockels erfolgt segmentiert im Seilsägeverfahren.
Nach dem Durchtrennen sind die Pontons unter der brückenartigen Transporthilfskonstruktion zu positionieren und mit dieser zu verbinden. Anschließend ist der Tiefgang der Pontons durch Lenzen zu verringern und damit das Bauwerk anzuheben. Bei dem Vorgang müssen die Pontons simultan arbeiten.

Stichpunktartige Beschreibung des Vorgehens

1. Vorarbeiten (Gebäude baufrei machen, s. *Kapitel 2.02*)
2. Baustelleneinrichtung und vorbereitende Maßnahmen
   - Baustelleneinrichtung u.a. Grundlagen s. *Kapitel 2.02*
3. Herstellung der Sockeldurchdringungen
   - Herstellung eines im Grundriss quadratischen Stahlbetonmantels mit lotrechten Seitenflächen um den Sockel. Mindestdicke 15 cm, bis 30 cm über OK Sockeldurchdringung.
   - Installation der Bohrtechnik und Herstellung der Sockeldurchdringungen
4. Montage der Grundträger der Transporthilfskonstruktion
   - Einbau der Stahlträger (Grundträger) in die Sockeldurchdringungen.
   - Montage der übrigen (außen liegenden) Stahlträger der Grundträger-Ebene.
   - Ausbetonieren der Sockeldurchdringungen
5. Herstellung der Durchstützung zur Entlastung der Trennfuge
   - Einbau formschlüssiger, tragender und gegen Horizontaleinflüsse abgesteifter Durchstützungen zwischen Caisson-Oberkante und Grundträger-Unterkante
6. Montage der Transporthilfskonstruktionen
   - Errichtung der räumlichen Stahlkonstruktion um den Leuchtturm.
     Mit Kopplung an die Decke über Schlafzimmer und
     seitlicher Auskragungen zur Umlastung auf die Pontons.
7. Trennvorgang
   - Installation der Seilsäge-Technik und segmentiertes Durchtrennen des Sockels.
8. Positionierung und Anschluss der Hub-Pontons
   - Positionierung, Kopplung und Lagesicherung der Hub-Pontons.
   - Herstellen des Anschlusses zwischen den Pontons und der Transporthilfskonstruktion
9. Hubvorgang und Verfahren
   - Lösen der (Zug-) Sicherung der Transporthilfskonstruktion (auf dem Caisson).
   - Lenzen der Pontons zur Herstellung des Kraftschlusses.
   - Abheben der Transporthilfskonstruktion (mit dem Turm) vom Caisson (bzw. Sockel-Stumpf)
   - Verfahren des Transportkomplexes Richtung Land.

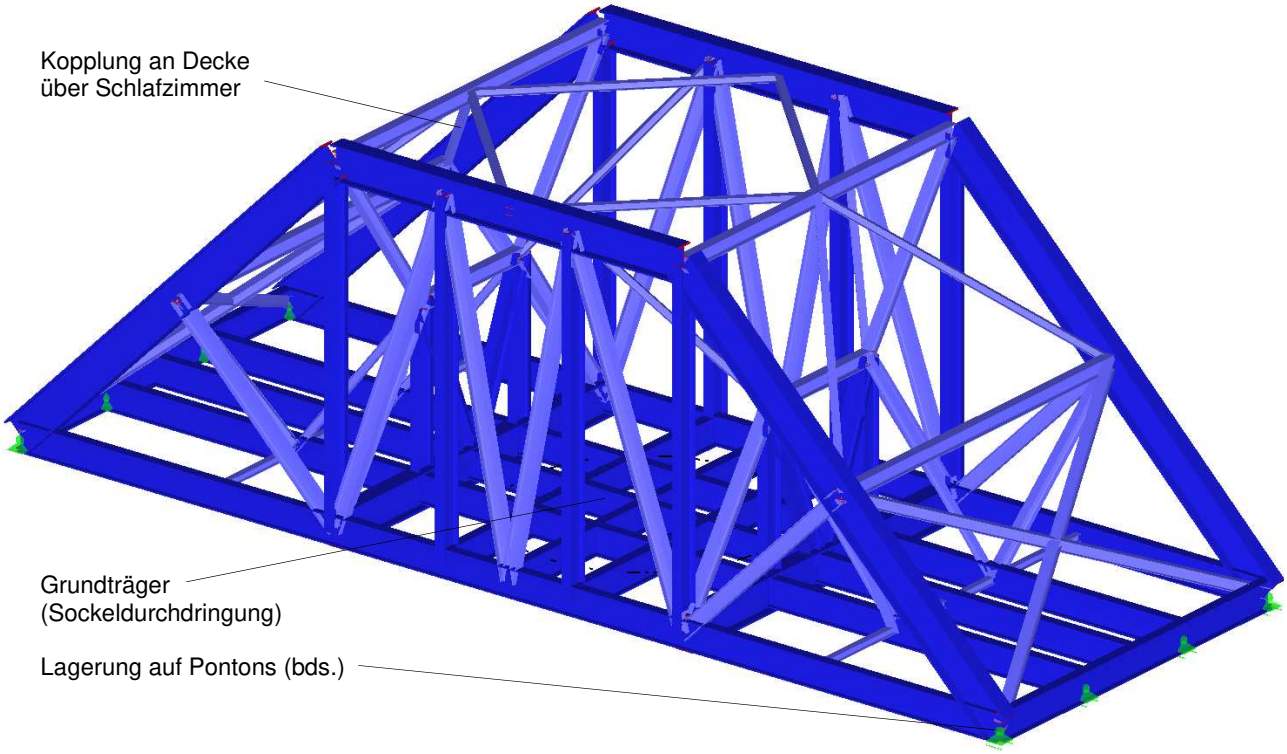


Abb. Fachwerkkonstruktion „Hubbrücke“

3.07.2 Risikobewertung

Die praktische Umsetzung dieses Ansatzes ist sehr zeit- und materialaufwendig sowie technisch äußerst kompliziert. Im Folgenden werden die kritischsten Punkte erläutert.

Herstellung der Sockeldurchdringungen

Zum Einführen der Grundträger ist der Sockel mit großformatigen Kernbohrungen oder alternativ mit Zirkel-Seilsäge-Technik zu durchdringen. Da das Bohrgerät nicht auf dem zylindrisch, konkaven Stahlmantel im Sockelbereich angesetzt werden kann, ist ein im Grundriss quadratischer, oberflächenbewehrter Betonkörper mit lotrechten Außenflächen um den Sockel herzustellen.
Dieser Betonmantel ist auch für den Ansatz der Seilsägen zum Abtrennen des Turmoberteils mit dem zu translozierenden (oberen) Sockelabschnitt erforderlich.
Für die Herstellung des Betonmantels und die Durchführung der Bohrarbeiten ist eine umlaufende Arbeitsebene zu errichten.
Die Arbeitsebene befindet sich in der Wasserwechselzone und ist, wie die Schal-, Bewehrungs- und Bohrarbeiten, dem Seegang direkt ausgesetzt. Die Arbeitsebene und die Schalung müssen auch stärkerem Seegang, der über den Ausführungszeitraum nicht ausgeschlossen werden kann, standhalten können.

Errichtung der stählernen Transporthilfskonstruktionen

Die Stahlkonstruktion befindet sich (zumindest zeitweise) in Höhe oder knapp über der Wasseroberfläche (in den Hochwasserphasen), wodurch die Montagearbeiten durch Gezeiten und Seegang beeinflusst werden.
Die sehr großen Dimensionen der Transporthilfskonstruktion können als brückenartig beschrieben werden und hängen u.a. von den Abmessungen der verfügbaren Pontons ab. Die großen Ausdehnungen der Konstruktion verursachen große Angriffsflächen und Hebel für Wind- und Seegangbeanspruchungen, die zu einer Gefahr für die Konstruktion selber, wie auch für das historische Bauwerk werden können.

Hubtechnologie

Für den Hub müssen zwei Pontons synchron zusammenwirken. Dieses Zusammenwirken muss über die Transporthilfskonstruktion und ggf. ergänzende Konstruktionen sichergestellt werden. Die Transporthilfskonstruktion erfährt statisch nicht fassbare Zusatzbeanspruchungen aus der Kopplung der Pontons (Schwimmkörper), die u.a. Seegang und (Gezeiten-) Strömung ausgesetzt sind.
Für die planmäßige Lagerung der Transporthilfskonstruktion ist auf den Pontons eine komplizierte Gelenk-/Lagerkonstruktion, die Verdrehungen um alle Ponton-Achsen aufnehmen kann (drehen im Grundriss, Kränken/Rollen um Längsachse und Kippen um Querachse), erforderlich. Andererseits dürfen nicht alle Rotationen zugelassen werden, da dann ein stabiler Transport des Leuchtturmes nicht möglich ist
Die Dimensionierungen (der Transporthilfskonstruktion wie auch der Anschluss- bzw. Gelenkkonstruktionen) sind anspruchsvolle maschinenbautechnische Aufgabenstellungen. Die Konstruktion, Bemessung und Herstellung der individuellen Sonderbauteile ist aufwendig und mit entsprechenden Kosten verbunden.

Zusammenfassung

Aufgrund der sehr aufwendigen Ausführung, des großen Zeitaufwandes, der Witterungsabhängigkeit, der wahrscheinlichen (witterungsbedingten) Verzögerungen sowie des technisch äußerst komplizierten Transport-Systems, des hohen Materialaufwandes und des durch die vorgenannten Punkte bedingten hohen Risikos wird dieser Ansatz nicht weiter vertieft.

Es kann derzeit nicht zweifelsfrei herausgearbeitet werden, ob dieses Konzept technisch planbar und umsetzbar ist.

4 Bauliche Voraussetzungen am neuen Standort

Der neue Standort befindet sich an Land. Der landseitige Transport ist aufgrund der Abmessungen des zu translozierenden Bauwerks (-teils) je nach gewählter Variante stark eingeschränkt, sodass der neue Standort unmittelbar an einem schiffbaren Gewässer mit einer kaiartigen Uferbefestigung liegen sollte (s. *Kapitel 2.04.8)*.

Die Gründung erfolgt auf einer neu in Stahlbeton zu errichtenden Sohlplatte mit Sockel, dessen Kubatur der des originären Leuchtturm-Sockels entspricht. Eine hohle Ausbildung des Sockels als verjüngende Ringwand mit aufliegender Flachdecke zur Schaffung zusätzlichen Raums sowie zur Materialersparnis ist möglich.

Die abschließende Dimensionierung der Gründung erfolgt nach Festlegung des neuen Standorts. Nach Festlegung des Standorts sind ein Baugrundgutachten zu erstellen und die Eignung des neuen Standorts hinsichtlich seiner Baugrundeigenschaften unter Berücksichtigung der nachfolgend getroffenen Annahmen zu bewerten.

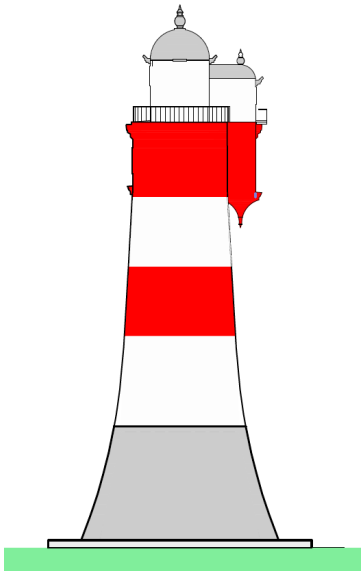


Abb. Schematische Visualisierung am neuen Standort

4.01 Lastannahmen

Zur Dimensionierung der Gründung und der Bauteile bzw. der Anschlüsse zwischen den Bauteilen wird im Folgenden auf die Einwirkungen eingegangen.

Bezüglich der allgemeinen Lastannahmen für die Stahlkonstruktion des Turmes wird auf das Gutachten [D_13] verwiesen. Einzelne Lastkomponenten werden im Folgenden erläutert bzw. ergänzt.

4.01.1 Ständige Lasten

Die Dach-, Decken- und Wandaufbauten gelten unverändert. Siehe [D_13, 3.02.1].

Ergänzung für Stahlbetonbauteile:

Stahlbetonbauteile	25,00 kN/m³

4.01.2 Veränderliche Nutzlasten

Die Verkehrslasten gelten unverändert. Siehe [D_13, 3.02.2].

Die reguläre Verkehrslast auf Decken und Treppen beträgt q = 3,0 kN/m² und ist an die Nutzlastkategorie B2 angelehnt. Wird der Leuchtturm öffentlich zugänglich gemacht, ist der Besucherstrom mit Blick auf diese Belastung zu begrenzen. Die Decken können aufgrund der hohen Spannungsauslastungen nicht ohne weiteres in die Kategorie C3 (frei begehbare Flächen, bspw. Museumsflächen; mit q = 5,0 kN/m²) hochklassifiziert werden (siehe *Kapitel 2.05.3*).

Bei den Ausbauten, der Möblierung und den technischen Ausstattungen ist darauf zu achten, dass die bisherigen Belastungen nicht überschritten werden.

4.01.3 Schnee- und Eislasten

Die Schnee- und Eislasten gelten unverändert. Siehe [D_13, 3.02.3].

4.01.4 Windlasten

Die Windlasten sind für die Verankerung und Gründung des Turmes vorrangig relevant und werden im Folgenden, bezugnehmend auf [D_13, 3.02.4], eingeordnet.

Ein küstennaher Standort in bzw. in der Umgebung von Bremerhaven ist bzgl. der Windeinwirkungen folgendermaßen zu klassifizieren:

Windzone:	**4** (Küste der Nordsee)
Geländekategorie:	I (Küste)

Die Klassifizierung entspricht der am originären Standort des Leuchtturmes (Vgl. [D_13, 3.02.4]). Die in [D_13] ermittelten Windlasten sind demnach auch für den neuen Standort gültig.

4.01.5 Wellenlasten

Beanspruchungen aus Seegang sind an dem neuen Standort an Land nicht vorhanden.

4.01.6 Temperaturlasten

Die Temperatureinwirkungen gelten unverändert. Siehe [D_13, 3.02.6].

4.01.7 Außergewöhnliche Lasten

Anpralllasten, seismische o.a. außergewöhnliche Beanspruchungen werden nicht berücksichtigt bzw. sind nicht relevant. Siehe [D_13, 3.02.7].

4.02 Gründungsplatte

Im Folgenden wird die Bodenplatte zur Gründung des Leuchtturmes am neuen Standort vordimensioniert.

4.02.1 Einwirkungen

Siehe *Kapitel 4.01*. Die o.g. Einwirkungen sind in dem FEM-Modell des Bauwerkes definiert.

4.02.2 Statisches System

Der Leuchtturm wird am neuen Standort auf einer Bodenplatte flächig gegründet.
Bei dem statischen System handelt es sich um eine zweiachsig gespannte, flächig gebettete Platte.

<u>Geometrie</u>

Plattendurchmesser A = 14,7 m
~ 2,0 m um Sockelunterkante

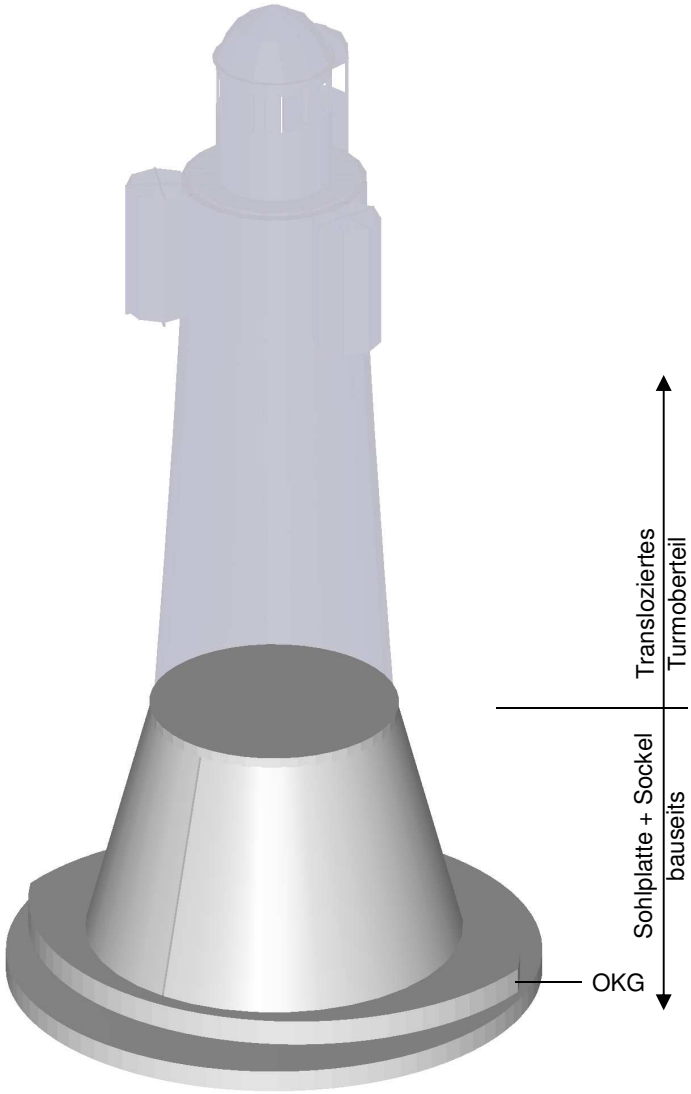


Abb. Sohlplatte und Sockel neu

<u>Boden-/Baugrundkennwerte (Annahmen)</u>

Für die Bemessung der Bodenplatte werden folgende bodenseitige Randbedingungen angenommen. Diese sind durch einen Baugrundsachverständigen zu bestätigen. Erforderlichenfalls sind Maßnahmen zur Verbesserung der Gründungsverhältnisse – als Bestandteil eines Baugrundgutachtens – zu definieren und auszuführen.
Baugrund-/Bodenkennwerte (Annahmen):

Boden-Wichte	γ =	20 / 10	kN/m³	*erdfeucht / unter Auftrieb*
Boden-Reibungswinkel	φ =	30	°	
Sohlwiderstand	σ_{Rd} =	350	kN/m²	
Bettungsmodul	k_s =	30.000	kN/m³	*Faktor 2 in Randstreifen mit b = 2D*

4.02.3 Querschnitt

Gründungsplatte

Die Gründungsplatte hat folgende Dimensionen und Materialkennwerte:

Plattendicke	D =	60 cm	
Beton, Betonstahl:	C 35/45 (LP) , B500		
Expositionsklassen:	XC 4, XD 3, XS 1, XF 4, WA		
Betondeckungen:	$c_{nom,o}$ =	55 mm	*Seitenflächen ebenso*
	$c_{nom,u}$ =	35 mm	

Sockel

Der Sockel des Leuchtturmes ist am neuen Standort wiederherzustellen. Der Sockel kann hohl (sprich mit einer umlaufenden Wand und einer Deckenplatte) ausgeführt werden, um Material zu sparen. Dimensionierend wird dabei die Dimension der Stahlstützen des Leuchtturmes und der anschluss- bzw. Verankerungskonstruktion.
Für die Vorbemessung der Gründungsplatte wird der Sockel lediglich als Last berücksichtigt. Im Zuge der weiteren Planung kann die versteifende Wirkung dieses Bauteils berücksichtigt werden.

4.02.4 Bemessung

Zur Vorbemessung wird das bereits vorhandene Modell der Stahlkonstruktion des Leuchtturmes um die Bodenplatte ergänzt. Dabei wird die Bodenplatte mit Starrstäben (die die Höhe des Sockels überbrücken) an die Stahlkonstruktion angeschlossen. Der Sockel wird als Last abgebildet.

Sohlspannungen

Folgende Sohlspannungen treten auf:

Extremwert	σ_{Ed} =	280 kN/m²	≤ σ_{Rd} = 350 kN/m²

Biegebemessung

Verformungen

Die Sohlplatte verformt sich aufgrund des aufstehenden Sockels und des im Verhältnis zur Plattendicke relativ geringen Plattenüberstandes (Kragsystem) kaum. Die Setzungen werden von dem zentrisch wirkenden Eigengewicht bestimmt. Relevante Verkippungen oder Verdrillungen der Platte infolge der horizontal wirkenden Stabilisierungslasten sind nicht zu beobachten.
Aus den vorgenannten Gründen werden die Verformungen im Rahmen dieser Vorbemessung als unkritisch eingeschätzt und nicht weiter aufgeschlüsselt.

Rissweitenbegrenzung

Rechnerische Rissweite: w_k = 0,3 mm *-> entsprechend der Expositionsklassen*

Zur Begrenzung des Zwangs aus abfließender Hydratationswärme werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- Sauberkeitsschicht mit hoher Oberflächenebenheit (evtl. flügelgeglättet)
- 2 Lagen PE-Folie auf Sauberkeitsschicht

Bewehrung zur Begrenzung der Rissweite:

Zur Vorbemessung wird das Programm „Rissbreitennachweis“ von Friedrich+Lochner verwendet.

Rissbewehrung	erf. A_s [cm²/m]	Gew. Bewehrung	vorh. A_s [cm²/m]	Bemerkung
Obere Lage	11,3	# Ø12 / 10 cm	11,3	
Untere Lage	10,8	# Ø12 / 10 cm	11,3	

Bewehrungswahl

Grundbewehrung	erf. A_s [cm²/m]	Gew. Bewehrung	vorh. A_s [cm²/m]	Bemerkung
Obere Lage		# Ø12 / 10 cm	11,3	*Rissbew. maßg., s.o.*
Untere Lage		# Ø12 / 10 cm	11,3	*Rissbew. maßg., s.o.*
Schubbewehrung	erf. A_s [cm²/m²]	Gew. Bewehrung	vorh. A_s [cm²/m²]	Bemerkung
flächig	0	-	-	*In der Fläche keine ~ erf.*

Randeinfassung für Plattenränder und -durchdringungen:

Plattenränder:	Längseisen	2+2 Ø14	je 2 unten und oben
		+ Ø12/15	als Verteilereisen an den Seitenflächen
	Steckverbügelung	Bü Ø12 / 10 cm	
Durchbrüche:	Längseisen	2+2 Ø14	je 2 pro Rand sowie unten und oben
	Steckverbügelung	Bü Ø12 / 10 cm, je nach Lage kann Ø reduziert werden	

Darüber hinaus sind lokal Zulagen in der unteren und oberen Bewehrungslage und Schubbewehrungen entsprechend Erfordernis vorzusehen.

Verankerungs- und Übergreifungslängen:
Die Bewehrungen sind mit ausreichenden Verankerungs- u. Übergreifungslängen auszuführen.

Betondeckung, statische Nutzhöhe und Abstandhalter:
Die Betondeckungen sind zur Verhinderung von Bewehrungskorrosion einzuhalten.
Die Höhe der Abstandhalter ist so zu wählen, dass sowohl die Betondeckungen wie auch die rechnerisch in Ansatz gebrachte statische Nutzhöhe eingehalten werden. Ggf. sind die Höhen der Abstandhalter abzustufen (bspw. in Durchstanzbereichen).

4.03 Hinweise zur baulichen Durchbildung

Dauerhaftigkeit der Sohlplatte

Bei der Sohlplatte handelt es sich um ein horizontal flächig ausgedehntes Bauteil.
Besonders im Falle einer möglichen Tausalzbehandlung der an den Turm grenzenden Verkehrsflächen sollten die exponierten Betonoberflächen gemäß DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“ abgedichtet bzw. geschützt werden. Alternativ zur Bauteilabdichtung kann an den exponierten Oberflächen Bewehrung mit einem erhöhten Korrosionswiderstand (optimalerweise in Kombination mit einer zwangsminimierenden Bauweise mit planmäßig zu verpressenden Sollrissfugen) eingesetzt werden.

Sockel

Der Sockel kann, abweichend von der massiven Ausführung auf dem Roten Sand, am neuen Standort mit einer umlaufenden Wand und einer Deckenplatte hohl ausgeführt werden. Wird der Sockel hohl ausgeführt, ist neben der Vertikalbewehrung auf eine ausreichende Horizontalbewehrung zum Abtrag der Stabilisierungslasten zu achten (Schub).
An Öffnungen wie bspw. Türen konzentrieren sich Spannungen, die durch eine entsprechende Bewehrung aufzunehmen sind. Zur Begrenzung der Spannungsspitzen sollten die Öffnungen in ihrer Ausdehnung und Anzahl begrenzt werden.

Deckenplatte (auf Sockelwandung)

Die Deckenplatte (über dem Sockel bzw. unter dem Fußboden des Keller-Geschosses) muss neben den vertikalen Einwirkungen (Plattenbeanspruchung) v.a. als Scheibe zur Verteilung der Stabilisierungslasten aus dem Leuchtturm ausgebildet sein.

Anschluss Sockel und Verankerung der Stahlstützen und ggf. des Stahlmantels

Die aus den Stabilisierungslasten resultierenden Zugkräfte sind durch eine ausreichend in der Sohlplatte verankerte Bewehrung aufzunehmen.
Besonderes Augenmerk ist auf die bewehrungstechnische Durchbildung des Knotens zum Anschluss bzw. zur Verankerung der Stahlstützen des aufgehenden Leuchtturmes zu legen (Lastkonzentration).

Anschlusskonstruktion

Für die Verankerung der Stahlkonstruktion des Leuchtturmes auf dem neuen Stahlbetongründungskörper ist eine Kombination aus einer an den bestehenden Stützensteg angeschraubten Zug- und Radialschubverankerung sowie einer Schraubverbindung zwischen bestehendem Mantelblech und neuem Mantelblech zur Aufnahme des Tangentialschubes vorgesehen.
Stahlbeton- bzw. sockelseitig werden die Kräfte über Bewehrungseisen, Schubknagge und Kopfbolzendübel übertragen.
Wegen zu erwartender Maßabweichungen sind die Anschlussbauteile nicht als Einbauteile in den Sockel bzw. die Deckenplatte einzubetonieren, sondern der Raum für diese Bauteile ist (verzahnt) abzuschalen und erst nachträglich (zusammen mit der Deckenplatte) zu betonieren.

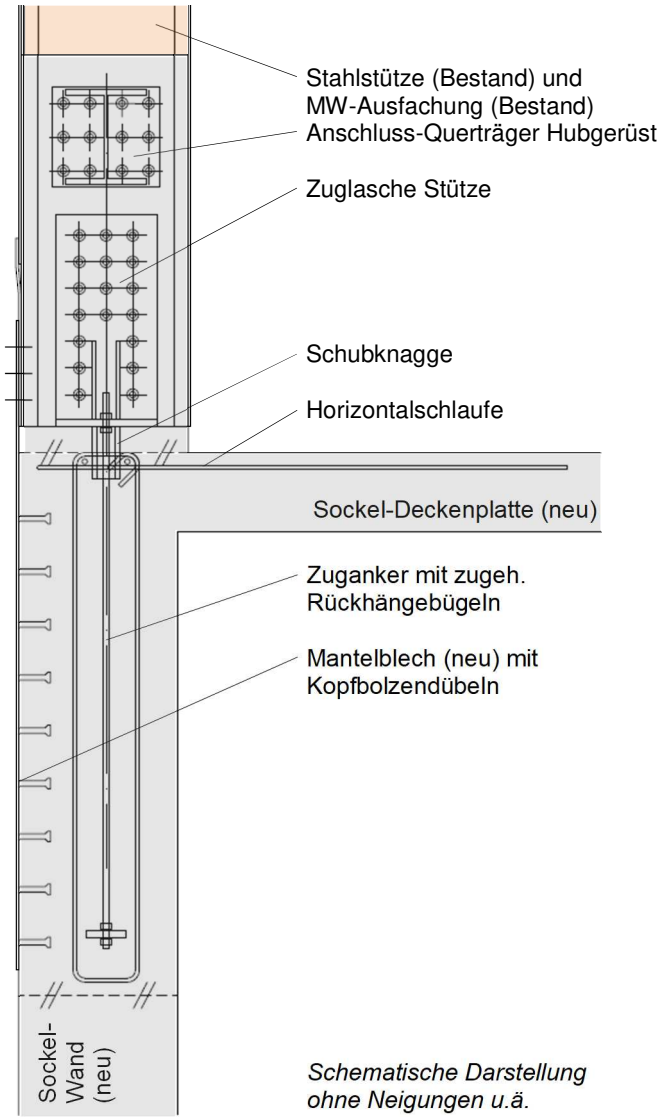


Abb. Anschluss Stahlstützen (Bestand) – Sockel (neu)

5 Sicherung des Caisson-Stumpfes am originären Standort

Der Leuchtturm ist auf einem massiven Gründungskörper verankert. Dieser Gründungskörper wird als Caisson bezeichnet und besteht aus einem (versteiften) Stahlmantel, der mit Mauerwerk und Beton ausgefacht ist. Diese Bauteil bzw. dessen Herstellung stellt die technische Pionierleistung dar und ist fundamental für dieses weltweit erste offshore errichtete Bauwerk. Eine Zerstörung dieses denkmalgeschützten Baukörpers kommt demnach nicht in Frage. Eine zerstörungsarme Demontage oder Versetzung ist technisch äußerst aufwendig (massives und damit schweres Bauteil, Einbindung in den Meeresboden, Unterwasserarbeiten). Des Weiteren ist eine solche Maßnahme mit Blick auf den Denkmalcharakter gemäß derzeitigem Kenntnisstand nicht vertretbar.
Ebenso bleibt der massiv ausgeführte (und damit schwere) Sockel vor Ort.

Zur Sicherung des am originären Standort verbleibenden Gründungskörpers (inkl. Sockel) ist auf dem Sockel eine im Sockel verankerte Abdeckplatte aus Stahlbeton herzustellen.

Die Oberkante der vor Ort verbleibenden Gründungsbauteile liegt je nach Gezeitenwasserstand wenige Meter über der Wasseroberfläche und stellt damit ein besonderes Schifffahrtshindernis dar.
Der Standort des Leuchtturmes ROTER SAND befindet sich in der Außenweser zwischen den Fahrwassern „Alte Weser“ und „Neue Weser“ ca. 2,6 sm westlich des Leuchtturmes ALTE WESER. In Seekarten ist der nicht mehr befeuerte Leuchtturm ROTER SAND mit einer symbolischen Darstellung und der Höhenangabe 28 m vermerkt.
Nach einer Translozierung müssen die Angaben zu dem verbleibenden Caisson-Stumpf in Seekarten aktualisiert werden. Zusätzlich könnte die Gefahrenstelle durch eine Betonnung im Kardinalsystem kenntlich gemacht werden.

6 Variantenvergleich und Kostenfaktoren

6.01 Variantenvergleich

Nachfolgend sind die Erkenntnisse der Variantenstudie zur besseren Vergleichbarkeit stichpunktartig zusammengefasst. Für die vollständige Beschreibung der aufgeführten Aspekte wird auf die entsprechenden Kapitel des vorliegenden Dokuments verwiesen.

Die Variante V3.E wird hier aufgrund technischer Unwägbarkeiten nicht aufgeführt.

Variante	**V3.A**	**V3.B**	**V3.C**	**V3.D**
Aspekt	mit Ausbauten inkl. KG-MW	mit Ausbauten, ohne KG-MW	ohne Ausbauten	Geschoss-segmente
Schwerpunkte [1] *s. Kapitel 3.01 und 3.0i.1*	Erhalt Primär- und Sekundärtragwerk sowie historischer Ausbauten in OG Geringer Arbeitsumfang offshore		Erhalt Primärtragwerk Geringes Transportgewicht Grundhafte Sanierung Stahlkonstr. mögl.	Erhalt Prim.- u. Sek.-Tragwerk bereichsweise Geringe Transportgewichte u. -abmessungen Tiefgehende Sanierung Stahlkonstr. Landseitiger Transp. denkbar
Originalität der Konstruktion [1] *s. Kapitel 3.0i.2*				
- Caisson und Sockel	unverändert	unverändert	unverändert	unverändert
- Stahlkonstruktion Turm	hoch	hoch	hoch	mittel
- Ausbauten	sehr hoch	hoch	sehr gering	mittel
- Zerstörungsumfang	sehr gering	gering	sehr hoch	mittel
Translozierungsaufwand *s. Kapitel 3.0i.3 bis 3.0i.6*				
- Transportgewicht	335 t	190 t	85 t	63 t
- Transportabmessg.	Ø7,1 x 23 m	Ø7,1 x 23 m	Ø7,1 x 23 m	Ø7,1 x 4,2 m
- Segmente	1	1	1	5
- Transportmittel	Errichterschiff INNOVATION o.ä.	Schwimmkran ENAK o.glw.	Raupenkran auf Hubinsel	Mobilkran auf Ponton
- Landtransport [1]	kaum möglich	kaum möglich	sehr eingeschränkt möglich	eingeschränkt möglich
Sanierungsaufwand [1] *s. Kapitel 3.0i.7*				
- Zugänglichkeit des Primärtragwerks zur Instandsetzung	mäßig (durch Ausbauten eingeschränkt)		gut (nicht durch Ausbauten verbaut)	gut - sehr gut (durch Ausbauten bereichsweise eingeschränkt)
- Ausführungsort	direkt am neuen Standort (Einhausung erforderlich)		wahlw. in Werft	in Werft o.glw.
Risiko [1] *s. Kapitel 3.0i.10*	mittel	mittel	gering	mittel

1) Die verbale Relativbewertung verdeutlicht die Unterschiede der einzelnen Varianten.

6.02 Kostenfaktoren

In der nachfolgenden Tabelle sind die zur Ermittlung der Baukosten für die Varianten der Translozierung maßgebenden Leistungen einschließlich der zugehörigen maßgebenden Faktoren wiedergegeben. Im Anschluss an die Tabelle sind ergänzende Erläuterungen aufgeführt.

Variante	**V3.A**	**V3.B**	**V3.C**	**V3.D**
Kostenfaktor	mit Ausbauten inkl. KG-MW	mit Ausbauten, ohne KG-MW	ohne Ausbauten	Geschoss-segmente
Baustelleneinrichtung *seeseitige ~, s. Kapitel 2.02*	4 Wochen	5 Wochen	10 Wochen	12 Wochen
Vorarbeiten *s. Kapitel 2.02*	Bestandsdokumentation des Ist-Zustandes Beräumen / Demontage und Sichern der Turmeinbauten			
Rückbau *s. Kapitel 3.0i.2*	KG-MW bereichsweise KG-Treppe	KG-MW Vollständig KG-Treppe	KG-MW und Holzausfachung Treppen und Ausbauten	KG-MW und Holzausfachung bereichsweise Treppen und Ausbauten
Hilfskonstruktionen *s. Kapitel 3.0i.3* - Stahlkonstruktion inkl. Montage	1,3 Mio. €	1,1 Mio. €	0,8 Mio. €	0,5 Mio. €
Transport *s. Kapitel 3.0i.4+5*	1 Transportstück			5 Transportstk.
Instandsetzung *s. Kapitel 3.0i.7*				
- Primärtragwerk (Stahl)	nur absolut notwendige Maß-nahmen (Minimierung Eingriffe)		vollumfängliche Instandsetzung	tiefgründige Instandsetzung
- Sekundärtragwerk (Holzausfachung und Ausmauerung im Keller)	(bereichsweise) Ergänzung Mauerwerksausfachung im Keller		komplette Wiederherstellg.	bereichsweise in Trenn-/Durch-dringungsber.
- Ausbauten	Treppe im Keller-Geschoss		komplette Wiederherstellg.	komplette Wiederherstellg.
Gründung am neuen Standort *s. Kapitel 4*	0,3 Mio. €			

Ergänzende Erläuterungen

Baustelleneinrichtung

Die oben angegebene Vorhaltedauer der Baustelleneinrichtung bezieht sich auf die reine Arbeitszeit vor Ort ohne Berücksichtigung von Arbeitsunterbrechungen aufgrund von Witterungsereignissen o.Ä.

Vorarbeiten

Es sind alle nicht fest im Turm installierten Einrichtungsgegenstände sowie transportempfindliche Turmausstattungen vor Beginn der Arbeiten am Bestandstragwerk zu entfernen und zu sichern.

Rückbau

Zur Installation der Transporthilfskonstruktion sowie zum Erreichen des variantenabhängigen Transportgewichts sind die Eingriffe in das Bestandstragwerk aufgeführt.

Hilfskonstruktionen

Die aufgelisteten Kosten umfassen die Stahltonnage einschließlich Herstellung und Montage ohne Planungsleistungen, Transport u.a. Nebenkosten.

Transport

Die Transportvorgänge sind hochgradig individuell, bedürfen einer ausführlichen Planung und sind z.T. auf spezielle Fahrzeuge/Geräte angewiesen (begrenzter Bieterkreis bzw. Monopolstellung). Da von den Anbietern keine Einheitspreise oder Pauschalen genannt werden, sind für die Vorzugsvariante entsprechend konkrete Angebote in der weiteren Planung einzuholen.

Instandsetzung

Es wird bezüglich des Instandsetzungsumfangs in das Primärtragwerk (Stahlkonstruktion) und das Sekundärtragwerk (Holzausfachung in den Obergeschossen sowie das Mauerwerk im Keller-Geschoss) unterschieden.

Der Umfang der Instandsetzung des stählernen Primärtragwerks ist von der innenseitigen Zugänglichkeit abhängig. Die Zugänglichkeit wird durch die sekundären Ausbauten eingeschränkt. Die Ausbauten werden bei den Varianten der Translozierung im unterschiedlichen Umfang demontiert.

Der Umfang der Wiederherstellung richtet sich nach den variantenabhängigen Eingriffen in das Sekundärtragwerk für die Translozierung.

Gründung am neuen Standort

Die aufgelisteten Kosten umfassen die Herstellung des Stahlbetongründungskörpers (inkl. Sockel) ohne Planungsleistungen u.a. Nebenkosten.

Baukosten

Die unter den Punkten „Hilfskonstruktionen“ und „Gründung am neuen Standort“ geschätzten Baukosten umfassen die Herstellung der im Zuge der Demontage und für den Transport erforderlich werdenden Hilfskonstruktionen sowie die Herstellung eines Gründungskörpers und eines Sockels am neuen Standort.
Bei den in der Tabelle oben aufgeführten, geschätzten Kosten handelt es sich um aktuelle Netto-Baukosten (aus *März 2022*) ohne Planung, Genehmigung u.a. Baunebenkosten.

Sonstige allgemeine Kostenfaktoren

Die im Folgenden aufgeführten Punkte sind gesondert zu bewerten (variantenunabhängig):

- Grunderwerb
  Der neue Standort ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokuments nicht festgelegt. Alle im Zusammenhang mit dem Grunderwerb anfallenden Kosten, Gebühren, Steuern usw. sind im Zuge der weiteren Planung zu ermitteln.
- Genehmigungen und Gebühren
- Standortvorbereitung
  Der neue Standort ist hinsichtlich der gewählten Translozierungsvariante nach Erfordernis zu modifizieren (Herstellung kaiartiger Uferbefestigung, Baustraße, baugrundvorbereitende Maßnahmen usw.).
- Sicherung Bestand in situ
  Sicherung der vor Ort verbleibenden Gründungsbauteile Caisson und Sockel (hinsichtlich Bauteilerhalt, Kennzeichnung, Erinnerung und schifffahrtstechnischer Belange).
- Verzögerungen
  Unvorhersehbare (bspw. witterungsbedingte) Verzögerungen u.ä. sind nicht enthalten.
- Preissteigerungen
  Mögliche Steigerungen der Herstellungskosten sind nicht enthalten.

6.03 Ausblick

In der hier vorliegenden Variantenstudie sind grundlegende Möglichkeiten der Translozierung für den Leuchtturm ROTER SAND unter Berücksichtigung der maßgebenden Kriterien des Erhalts historischer Bausubstanz sowie damit einhergehender Transportmöglichkeiten aufgeführt. Die Bearbeitungstiefe entspricht einer Vorentwurfsplanung.

Das vorliegende Dokument dient als Entscheidungsgrundlage. Mit der Entscheidung für eine Variante der Sanierung bzw. Translozierung ist die Planung dahingehend zu vertiefen.

Anhänge

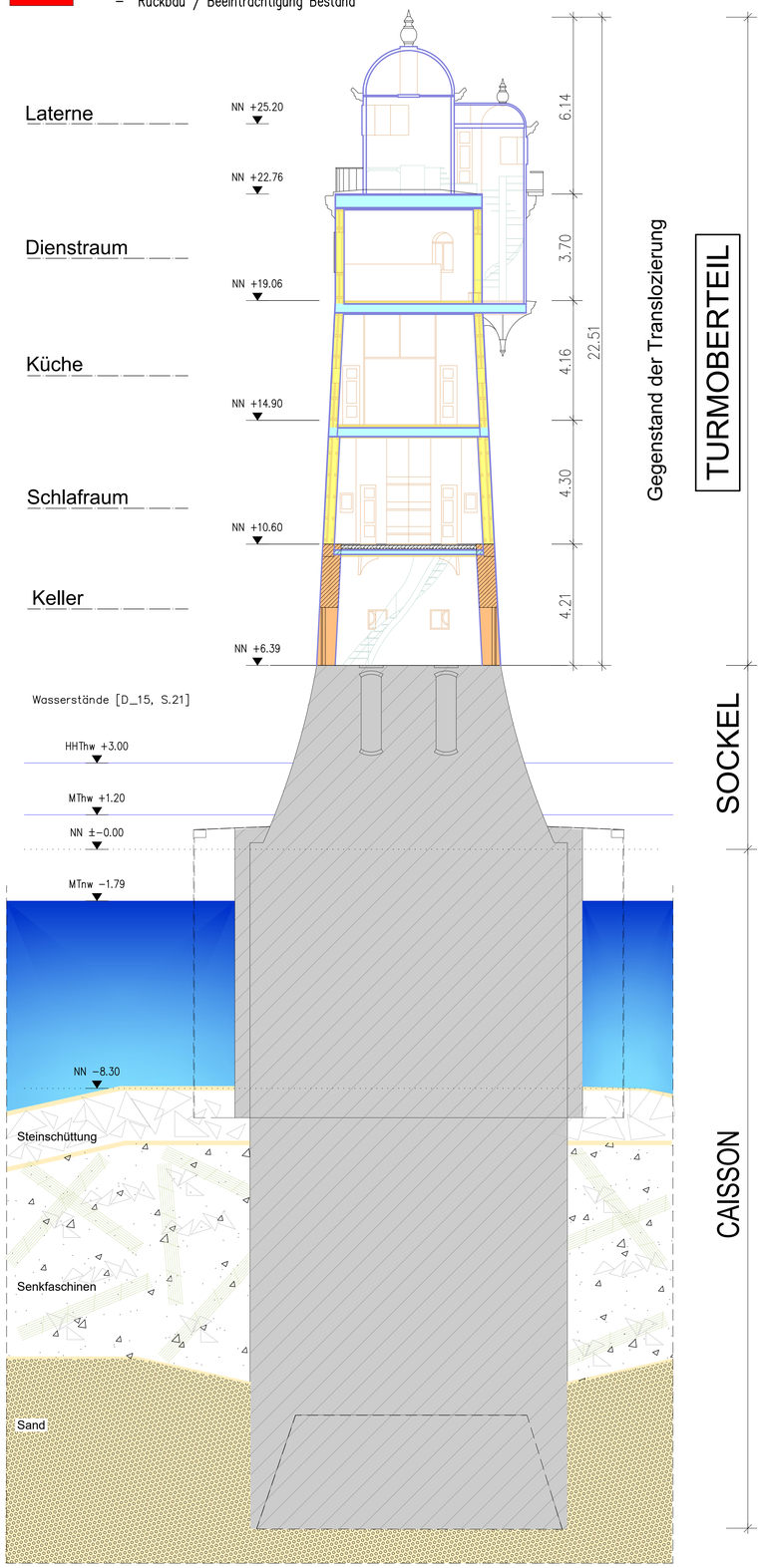
Anhang **A.P** **Plan-Nr. Ü 001: Übersichtsplan „Variantenstudie Translozierung“**
Übersichtzeichnung zu den Varianten der Translozierung

BAUWERKSBESTAND

Schnitt M 1:75, schematische Darstellung wesentlicher Baugruppen

LEGENDE

- Stahlkonstruktion genietet
- MW-Ausfachung im Keller
- Holz-Ausfachung Außenwandung
- Gründungskörper (Caisson und Sockel)
- Rückbau / Beeinträchtigung Bestand
- Primärtragwerk
- Sekundärtragwerk



Gegenstand der Translozierung

TURMOBERTEIL

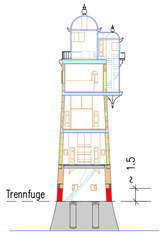
SOCKEL

CAISSON

VARIANTEN DER TRANSLOZIERUNG

Schnitte M 1:250, schematische Darstellung

Variante V3.A



335 t | ø 7.1 m, H 23 m | 1 Stk. | Errichterschiff

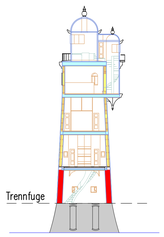
Schwerpunkte

- Erhalt Primär- und Sekundärtragwerk inkl. einem Teil der Mauerwerks-Ausfachung im Keller, Erhalt historischer Ausbauten in OG
- Geringer Arbeitsumfang offshore

Anmerkungen

- Bereichsweise Demontage Mauerwerk im Keller
- Hohes Transportgewicht
- Landtransport kaum möglich

Variante V3.B



190 t | ø 7.1 m, H 23 m | 1 Stk. | Kranschiff | Errichterschiff

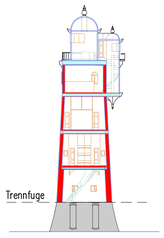
Schwerpunkte

- Erhalt Primär- und Sekundärtragwerk ohne Mauerwerks-Ausfachung im Keller, Erhalt historischer Ausbauten in OG
- Geringer Arbeitsumfang offshore

Anmerkungen

- Demontage Mauerwerks-Ausfachung im Keller
- Landtransport kaum möglich

Variante V3.C



85 t | ø 7.1 m, H 23 m | 1 Stk. | Ponton | Mobilkran | Hubinsel | Raupenkran | Kranschiff | Errichterschiff

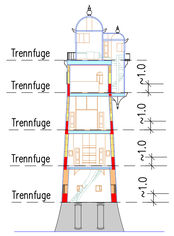
Schwerpunkte

- Erhalt Primärtragwerk
- Geringes Transportgewicht

Anmerkungen

- Demontage der Ausbauten
- Hoher Arbeitsumfang offshore
- Grundhafte Sanierung Stahlkonstruktion möglich

Variante V3.D



max. 63 t | ø 7.1 m, H 4.2 m | 5 Stk. | Ponton | Mobilkran | Hubinsel | Raupenkran | Kranschiff | Errichterschiff

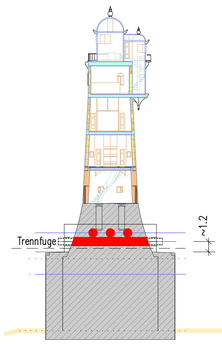
Schwerpunkte

- Erhalt Primär- und tlw. Sekundärtragwerk
- Geringe Transportgewichte
- Kleine Transportabmessungen
- Landseitiger Transport denkbar

Anmerkungen

- Bereichsweise Demontage der Ausbauten
- Großer Arbeitsumfang offshore
- Tiefgehende Sanierung Stahlkonstruktion möglich

Variante V3.E



1350 t | ø 7.1 m, H 28 m | 1 Stk. | Ponton | 2x

Schwerpunkte

- Vollständiger Erhalt Primär- und Sekundärtragwerk sowie historischer Ausbauten

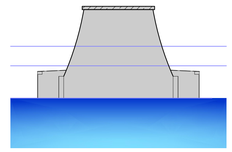
Anmerkungen

- Technische Umsetzbarkeit fraglich

BESTANDSSOCKEL

am originären Standort

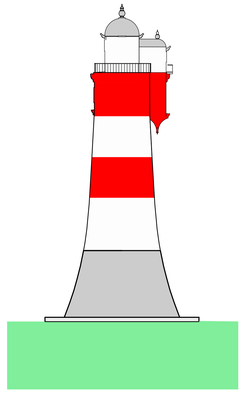
Ansicht, schematische Darstellung



TURMOBERTEIL

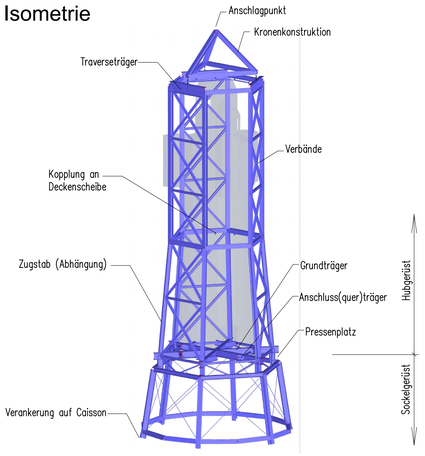
auf neuem Sockel an Land

Ansicht, schematische Darstellung



HUB- UND SOCKELGERÜST

Isometrie

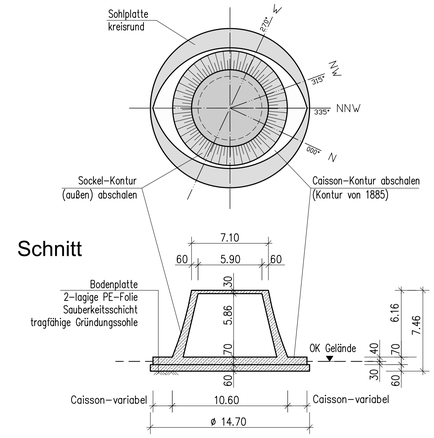


(Turmoberteil lichtgrau angedeutet, Sockel nicht dargestellt)

SOHLPLATTE UND SOCKEL

am neuen Standort

Darstellung ohne Turm, M 1:200



KONZEPTSTUDIE ZUR TRANSLOZIERUNG des Leuchtturmes ROTER SAND

Ausgangssituation

Statische Vorüberlegungen zeigen, dass das Bauwerk hinsichtlich zukünftig höherer Lasten (insbesondere infolge Seegang) zu ertüchtigen ist. Dabei sind innenliegende Verstärkungsmaßnahmen (im Bereich der Gründung) kaum möglich und am Turmoberteil mit tiefgreifenden Eingriffen und Veränderungen des Bauwerksbestands verbunden. Äußere Verstärkungen beeinträchtigen das Erscheinungsbild, sodass dahingehende Belange des Denkmalschutzes nicht erfüllt werden.

Zielstellung

Alternativ zu der Erhaltung des Leuchtturmes am originären Standort werden im Rahmen der vorliegenden Variantenstudie die Möglichkeiten einer Translozierung des Bauwerkes bewertet und Konzeptionen zur Realisierung dieser Maßnahme erarbeitet.

Entwurfsgrundsätze

Die denkmalgeschütze Bestandskonstruktion soll im größtmöglichen Umfang erhalten werden. Der Umfang der erhaltbaren Baukonstruktion wird durch die zur Verfügung stehenden Transportmittel und die Lage des neuen Standortes beeinflusst.

Das Bauwerk wird in die übergeordneten Baugruppen Primärtragwerk (stählernes Haupttragwerk), Sekundärtragwerk (Mauerwerks-Ausfachung im Keller und zimmermannsmäßig hergestellte Ausbauten) und sonstige (hölzerne) Ausbauten differenziert. Eine Priorisierung bauhistorisch besonders wertvoller und erhaltens- bzw. schützenswerter Baugruppen liegt derzeit nicht vor.

Grundsätzlich wird im Folgenden die Translozierung der stählernen, aufgehenden, rot-weiß gestrichenen Turmkonstruktion betrachtet. Die massiv ausgeführten Gründungsbauteile Caisson und Sockel müssen aufgrund ihres hohen Eigengewichts und der Einbindung in den Meeresboden am originären Standort verbleiben und sind nicht Gegenstand der Versetzungsmaßnahme.

Neuer Standort

Der neue Standort sollte möglichst direkt an einem für die Transportfahrzeuge schiffbaren Gewässer liegen.
Das Ufer muss im Bereich der Überladestelle kaiartig befestigt sein.

Ein landseitiger Transport von der Überladestelle ist nur eingeschränkt möglich und bedingt die Zergliederung des Turmoberteils in transportierbare Segmente.

Ausblick

In der Variantenstudie sind grundlegende Möglichkeiten der Translozierung für den Leuchtturm ROTER SAND unter Berücksichtigung der maßgebenden Kriterien des Erhalts historischer Bausubstanz sowie damit einhergehender Transportmöglichkeiten erörtert. Die Bearbeitungstiefe entspricht einer Vorentwurfsplanung.

Das Dokument dient als Entscheidungsgrundlage. Mit der Entscheidung für eine Variante der Sanierung bzw. Translozierung ist die Planung dahingehend zu vertiefen.

Bemerkungen

Die Abmessungen der Bestandskonstruktion sind im Grund- und Aufriss bauseits aufzunehmen und zu kontrollieren.
Es wurden abweichende Angaben in den Bestandsunterlagen festgestellt.

Die konstruktive Durchbildung ist bauseits nach Erfordernis (variantenabhängig) zu erkunden. Dies betrifft im Besonderen die Stellen, zu denen keine Bestandsunterlagen vorliegen und in die im Zuge der Maßnahme eingegriffen wird.

Die Übersichtszeichnung fasst die Ergebnisse der Variantenstudie zusammen und stellt diese vereinfacht dar. Weiterführende Informationen sind dem Textdokument zu entnehmen.

Anmerkung

In den unter den Varianten der Translozierung angegebenen Gewichten sind neben dem Turmsegment eine Transporthilfskonstruktion und die Hakenflasche enthalten.

Die Transportabmessungen beschreiben das Turmsegment ohne Transporthilfskonstruktion.

Änderung:	Bezeichnung:	erstellt:	Datum:
a			

Bauherr: Deutsche Stiftung Denkmalschutz, Schlegelstraße 1, 53113 Bonn

Objekt: Leuchtturm "ROTER SAND"

Position: 53° 51' 11.4 N, 008° 04' 55.81 E (WGS84)

Planinhalt: Variantenstudie Translozierung

GMG Ingenieurgesellschaft mbH
George-Bähr-Straße 10, 01069 Dresden
Telefon 0351 / 8 76 57-0
Telefax 0351 / 8 76 57-28
e-Mail: info@gmg-dresden.de

Projekt:	erst.:	Maßstab:	Plan-Nummer:
GA222239	Kannegießer/Göckel 31.03.2022	t:250, t:200, t:75	Ü 001
	gepr.: Schöbitz/Seeger	Leistungsphase:	