

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.



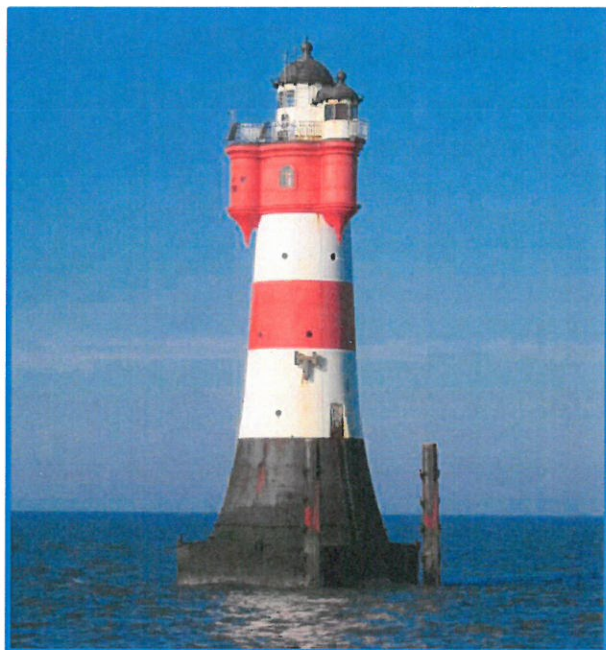
Gutachten

zur Sanierung 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, 14. Juni 2019

Dr.-Ing. P. Lieberwirth

Projekt: GA218014
Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) L. Schöbitz
Dipl.-Ing. E. Schulze

Inhalt:	Teil 0: - Vorbemerkungen
	Teil I: - Grundlagen, Erkenntnisse und Ergebnisse
	Teil II: - Dokumentation zur Bauwerksprüfung
	Teil III: - Nachrechnung des stählernen Turmhaupttragwerkes
	Teil IV: - Statische Berechnung zum Caisson und zur Gründung

0 Vorbemerkungen

Bauwerksbeschreibung

Der Leuchtturm „Roter Sand“ wurde in den Jahren 1882 bis 1885 auf einer Sandbank der Außenweser 48 km nordwestlich von Bremerhaven und 11 km nordöstlich der Insel Wangerooge errichtet. Das Bauwerk lässt sich in die folgenden drei Bauteile gliedern: Caisson, Turmsockel und Turmoberteil. Insgesamt misst das Bauwerk ca. 52,50 m Höhe, wobei die Turmspitze bei Niedrigwasser ca. 31 m aus dem Meer herausragt.

Der Turm diente von 1885 bis 1964 als Leuchtfeuer und war in diesem Zeitraum stets durch Leuchtturmwärter bemannt. Bis 1986 zeigte er ein Gegenfeuer zum Leuchtturm „Hoheweg“ und ein Quermarkenfeuer im Fahrwasser Alte Weser.

Bisherige Untersuchungen, Ertüchtigungsmaßnahmen und Planungen

Das gesamte Bauwerk wurde 1955 umfassend untersucht und begutachtet. Dabei wurden u.a. Beschädigungen und Durchrostungen des Caissonmantels und der Stützen festgestellt.

Nachdem das Bauwerk im Jahr 1982 durch das damalige Institut für Denkmalpflege unter Denkmalschutz gestellt wurde, wurden 1987 bis 1989 umfassende Sanierungs- und Renovierungsarbeiten, vorwiegend am Caisson, durchgeführt.

Prof. Dr.-Ing. H. Nasner bewertete 2011 die Peiluntersuchungen des Meeresbodens, die im Zeitraum der Jahre 1992 bis 2010 erstellt wurden, hinsichtlich der Standsicherheit der Turmgründung. Im Ergebnis wurde die steil geneigte Kolkböschung nördlich des Turmfußes als nicht dauerhaft standsicher eingestuft. Darauf basierend plante die IMS Ingenieurgesellschaft mbH die Ausführung der Kolksicherung, die jedoch aufgrund fehlender finanzieller Mittel nicht ausgeführt wurde.

Inhalt und Ergebnisse des Gutachtens

Das vorliegende Gutachten dokumentiert den aktuellen Bauwerkszustand der oberhalb des Meeresspiegels liegenden Bauwerksteile. In statischen Berechnungen wird die Standsicherheit des stählernen Turmoberteils und der Gründung (bestehend aus Sockel und Caisson) nachgewiesen. Basierend auf den Untersuchungen und Berechnungen werden Maßnahmen für den Erhalt und die Verstärkung des Bauwerkes erarbeitet. Am Ende werden drei Varianten zur Sanierung beschrieben und miteinander verglichen.

Aufbau des Gutachtens

Das Gutachten gliedert sich in die folgenden fünf Teile:

- Teil 0: Vorbemerkungen
- Teil I: Grundlagen, Erkenntnisse und Ergebnisse
- Teil II: Dokumentation zur Bauwerksprüfung
- Teil III: Nachrechnung des stählernen Turmhaupttragwerkes
- Teil IV: Statische Berechnung zum Caisson und zur Gründung

Die Kapitel- und Seitennummerierungen sind folgendermaßen aufgebaut:

- | | | | |
|----------------------|------|----|--|
| Kapitelnummerierung: | X.nn | X | = Verweis auf den Teil des Dokumentes (s.o.) |
| | | nn | = Fortlaufende Kapitelnummerierung |
| Seitennummerierung: | X-mm | mm | = Fortlaufende Seitennummerierung |

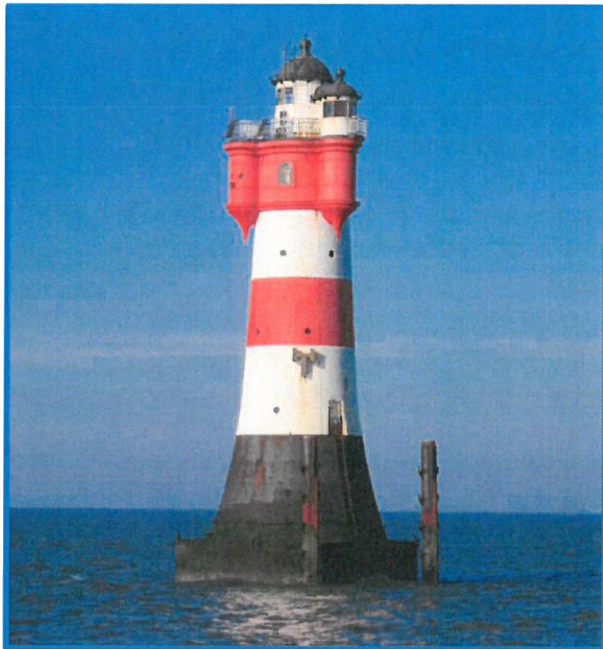
Gutachten

zur Sanierung 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, 14. Juni 2019



Dr.-Ing. P. Lieberwirth

Projekt: GA218014
Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) L. Schöbitz
Dipl.-Ing. E. Schulze

Inhalt:	Teil 0:	- Vorbemerkungen
	Teil I:	- Grundlagen, Erkenntnisse und Ergebnisse
	Teil II:	- Dokumentation zur Bauwerksprüfung
	Teil III:	- Nachrechnung des stählernen Turmhaupttragwerkes
	Teil IV:	- Statische Berechnung zum Caisson und zur Gründung

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen, Erkenntnisse und Ergebnisse	2
1.01	Grundlagen	2
1.01.1	Planunterlagen, Literatur und Normungen	2
1.02	Bauwerksbeschreibung	5
1.03	Stahlkonstruktion / Oberirdisches Tragwerk (Zusammenfassung)	8
1.03.1	Tragstruktur	8
1.03.2	Schäden	8
1.03.3	Bewertung des Zustandes und Sanierungsmaßnahmen.....	8
1.04	Caisson / Gründung (Zusammenfassung)	15
1.04.1	Baugrund und Meeresgeologie	15
1.04.2	Belastungssituation.....	15
1.04.3	Gründungskörper und Prinzip des Lastabtrages	15
1.04.4	Schäden, deren Bewertung und Ausblick	16
1.05	Varianten zur Sanierung.....	16
1.06	Anhänge	20

1 Grundlagen, Erkenntnisse und Ergebnisse

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
Jörg Baldauf (Baualpin), C. Walther (Baualpin), E. Schulze (GMG)

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 Schifffahrtsamt 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, erstellt vom der IMS Ingenieur-GmbH, Hamburg, 22. März 2013
- [D_08] Planung des Kolkschutzes im unmittelbaren Umfeld des Leuchtturms Roter Sand, Entwurf-
splanung, erstellt vom der IMS Ingenieurgesellschaft mbH, Hamburg, 24. Mai 2013

Baubestimmungen und Normungen

Normungen:

TRAGWERKSPLANUNG

[N_00]	DIN EN 1990 / NA	Grundlagen der Tragwerksplanung
[N_01]	DIN EN 1991 / NA	Einwirkungen auf Tragwerke
[N_01-1]	DIN EN 1991-1-1 / NA	Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau
[N_01-3]	DIN EN 1991-1-3 / NA	Schneelasten
[N_01-4]	DIN EN 1991-1-4 / NA	Windlasten
[N_01-5]	DIN EN 1991-1-5 / NA	Temperatureinwirkungen
[N_01-7]	DIN EN 1991-1-7 / NA	Außergewöhnliche Einwirkungen
[N_02]	DIN EN 1992 / NA	Bem. u. Konstruktion von Stahlbeton- u. Spannbeton-TW
[N_03]	DIN EN 1993 / NA	Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
[N_06]	DIN EN 1996 / NA	Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten
[N_07]	DIN EN 1997 / NA	Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik
[N_55-5]	DIN 1055-5	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten
[N_18-1]	DIN 18800-1	Stahlbauten – Teil 1: Bemessung und Konstruktion
[N_18-2]	DIN 18800-2	Stahlbauten – Teil 2: Stabilitätsfälle - Knicken von Stäben ...
[N_18-3]	DIN 18800-3	Stahlbauten – Teil 3: Stabilitätsfälle - Plattenbeulen
[N_18-4]	DIN 18800-4	Stahlbauten – Teil 4: Stabilitätsfälle - Schalenbeulen

BAUWERKSPRÜFUNG

[N_08]	DIN 1076	Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung
--------	----------	--

KORROSIONSSCHUTZ

[N_21]	DIN EN ISO 12944	Korrosionsschutz von Stahlbauten d. Beschichtungssysteme
[N_21-1]	DIN EN ISO 12944-1	Teil 1: Allgemeine Einleitung
[N_21-2]	DIN EN ISO 12944-2	Teil 2: Einteilung des Umgebungsbedingungen
[N_21-3]	DIN EN ISO 12944-3	Teil 3: Grundregeln zur Gestaltung
[N_21-4]	DIN EN ISO 12944-4	Teil 4: Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitg.
[N_21-5]	DIN EN ISO 12944-5	Teil 5: Beschichtungssysteme
[N_21-6]	DIN EN ISO 12944-6	Teil 6: Laborprüfungen z. Bewertung v. Beschichtungssys.
[N_21-7]	DIN EN ISO 12944-7	Teil 7: Ausführung u. Überwachung d. Beschichtungsarbeiten
[N_21-8]	DIN EN ISO 12944-8	Teil 8: Spezifikationen für Erstschutz und Instandsetzung
[N_21-9]	DIN EN ISO 12944-9	Teil 9: Beschichtung für Bauwerke im Offshorebereich
[N_22]	DIN EN ISO 8501	Vorbereitung von Stahloberflächen vor dem Auftragen von Beschichtungsstoffen – visuelle Beurteilung d. Oberflächenreinheit
[N_22-1]	DIN EN ISO 8501-1	Teil 1: Rostgrade und Oberflächenvorbereitungsgrade von unbeschichteten Stahloberflächen und Stahloberflächen nach ganzflächigem Entfernen vorhandener Beschichtungen

Richtlinien:

TRAGWERKSPLANUNG

- [R_804] Ril 804 Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten
- [R_805] Ril 805
Ril 805.0103
Ril 805.0201 Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken
Grundlagen der Berechnung – Werkstoffe (Baustoffe)
Nachrechnen von Eisenbahnbrücken – Stählerne Eisenbahnbrücken
- [R_11] EAK 2002/2015 Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken durch den Ausschuss für Küstenschutzwerke der deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. und der Hafentechnischen Gesellschaft e.V.,
Hrsg: Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., Heide i. H.
- [R_12] EAU 2012 Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen, 11. Auflage, Verlag Ernst & Sohn

BAUWERKSPRÜFUNG

- [R_1] RI-ERH-ING Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten
- [R_2] RI-EBW-PRÜF Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076
- [R_3] RI-ERH-KOR Richtlinie für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten

KORROSIONSSCHUTZ

- [R_21-4] ZTV-ING, Teil 4
[R_21-4-3] ZTV-ING, Teil 4-3 ZTV-ING – Teil 4: Stahlbau, Stahlverbundbau
Abschnitt 3: Korrosionsschutz von Stahlbauten
- [R_22-218] ZTV-W, LB 218 ZTV-W – LB 218: Korrosionsschutz im Stahlwasserbau
- [R_29] VGB-S-021-0x-2018-04 Korrosionsschutz von Offshore-Bauwerken zur Nutzung der Windenergie
- [R_29-1] VGB-S-021-01-2018-04 Teil 1: Allgemeines
- [R_29-2] VGB-S-021-02-2018-04 Teil 2: Anforderungen an Korrosionsschutzsysteme
- [R_29-3] VGB-S-021-03-2018-04 Teil 3: Applikation von Beschichtungssystemen
- [R_29-4] VGB-S-021-04-2018-07 Teil 4: Kathodischer Korrosionsschutz

1.02 Bauwerksbeschreibung

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 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].

Bauwerksbeschreibung:

Das Bauwerk Leuchtturm „Roter Sand“ ist insgesamt 52,50 m hoch und lässt sich in drei Bauteile gliedern. 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 Caissongründung 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 Fashchinenpackungen 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 die direkt angreifenden Beanspruchungen in den Meeresboden abtragen. Seine Höhe beträgt ca. 24 m, wobei ca. 15 m in den Meeresgrund bzw. die Baugrundauffüllung (Fashchinen und Steinschüttung) einbinden.

Der Caisson aus dem Jahr 1883 besteht aus einem mit Stahlträgern versteiften, genieteten Stahlmantel und der massiven Beton- 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. 3,6 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.

Bei den Untersuchungen im Sommer 1955 [D_01] wurden starke Beschädigungen des oben beschriebenen Caissonstahlmantels festgestellt. Die Notwendigkeit eine Ertüchtigung des Caissons wurde durch [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 Meeresgrund 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 Stahlbetonschicht mit einer Höhe von ca. 45 bis 55 cm 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 schwarz gestrichen.

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 durch eine kupferne Rundkuppel überdacht. Der Treppenerker und der Verbindungsbereich sind ebenso durch eine Kuppel bzw. ein Tonnendach abgeschlossen.

Die Tragstruktur des Turmoberteils besteht aus einer genieteten Stahlkonstruktion aus 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 Versätze in Höhe der Unterkante 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 folgenden 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 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 kleinformatischen 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 Stahlkonstruktion / Oberirdisches Tragwerk (Zusammenfassung)

Die folgenden Ausführungen fassen die Inhalte des *Teils III* des Gutachtens zusammen.

1.03.1 Tragstruktur

Der Turm ist mit einem Caisson auf dem Meeresgrund gegründet. Der aufgehende Turm hat einen kreisrunden Grundriss und gliedert sich in sechs Ebenen. In der untersten Ebene 1, dem Sockel, ist der Querschnitt massiv, mit Beton und Mauerwerk, ausgeführt und mit einem Blechmantel umschlossen. Ab der zweiten Ebene (2/0), dem sogenannten Kellergeschoss, ist der Turm als Stahlkonstruktion ausgeführt. Über den Umfang verteilt sind 12 Stützen angeordnet. Die Stützen sind in dem Sockel verankert und setzen sich bis zur Oberkante der Ebene 2/3 (über die Geschosse Keller, Schlafraum, Küche und Dienstzimmer) fort. Die Wandabschnitte zwischen den Stützen im Kellergeschoss sind ausgemauert. Außen sind die Stützen von einem Blechmantel, der sich über die Ebenen 1 bis 2/3 erstreckt, umspannt. Innenseitig ist die Stahlkonstruktion ab der Ebene 2/1 „Schlafraum“ mit einer zweischaligen, innenseitig verputzten Holzkonstruktion verkleidet. In der Ebene 2/3, in der sich das Dienstzimmer befindet, ist der kreisrunde Querschnitt um drei Erker erweitert. Die Erker sind gleichmäßig um den Grundriss verteilt und jeweils zwischen den Hauptstützen angeordnet. In einem dieser Erker ist die Treppe zur Erschließung der Ebene 2/4, dem Laternengeschoss, angeordnet. Die Erker sind, wie auch die Laterne, als Stahlkonstruktionen mit Steifenprofilen und umspannenden Blechmantel ausgeführt. Die Stützen des Laternengeschosses sind um ein halbes Raster versetzt zu den Hauptstützen des Turmschaftes angeordnet. In der Hauptlaterne und im Treppenerker befinden sich verglaste Lichtbänder. Die Geschossdecken sind als Stahlkonstruktionen mit zwei sich im 90°-Winkel kreuzenden Hauptträgern und dazwischenliegenden Nebenträgern ausgeführt. Über die Träger der Keller-Decke spannt eine Betonplatte, die übrigen Geschossdecken sind vergleichsweise leicht mit Holzdielungen (und unterseitigem Verputz auf Vollschalung) ausgeführt. Die Decke über dem Dienstzimmer ist, wie die Geschossdecken, unterseitig verputzt, hat aber von diesen abweichend eine oberseitige Verblechung (die im Außenbereich bewittert ist). Des Weiteren sind alle Deckenträger biegesteif an die Stützen angeschlossen.

Weiterführende Angaben zur Stahlkonstruktion können dem *Teil III* des Gutachtens entnommen werden.

1.03.2 Schäden

Die einzelnen Zustandseinschätzungen und Schäden können dem *Teil II* des Gutachtens entnommen werden. Im Folgenden werden die relevanten Schäden an der tragenden Stahlkonstruktion kurz benannt:

- Starke Korrosion an den Fußpunkten der KG-Stützen und Zustand der Verankerung der Stahlkonstruktion in dem Sockel/Caisson unbekannt
- Starke Korrosion an den innenliegenden Gurten der Stützen des KG
- Beschädigungen und Korrosion an einzelnen Trägern der Decke über KG
- Starke Korrosion an den Stahlrippen der Erker und Laternen
- Teilweise fehlen Niete im Blechmantel
- Lokale Korrosion (Oberflächen~ bis hin zu Durchrostungen) und Undichtigkeiten

1.03.3 Bewertung des Zustandes und Sanierungsmaßnahmen

Die Stahlkonstruktion ist im Wesentlichen in einem passablen Zustand, weist jedoch lokal starke Korrosionsschäden (s.o.) und entsprechenden Ertüchtigungsbedarf auf. Detaillierte Angaben zu lokalen Problemzonen können dem *Teil II* und dem *Teil III* des Gutachtens entnommen werden.

Die Sanierung umfasst in jedem Fall die Ertüchtigung der durch Korrosion oder anderweitige Einwirkungen beschädigten und hoch beanspruchten Stahlbauteile und Anschlüsse sowie die Wiederherstellung des Korrosionsschutzes der Stahlkonstruktion und die Ausführung einer dauerhaft funktionsfähigen Abdichtung des Bauwerkes.

Darüber hinaus sind für eine schadfreie Aufnahme der Einwirkungen aus schwerer bzw. schwerster See (Wellenersatzlasten) umfangreiche Verstärkungsmaßnahmen erforderlich.

Ertüchtigung und Verstärkung der Stahlkonstruktion

Durch Korrosion oder anderweitige Einwirkungen stark beschädigte Querschnitte, Querschnittsteile bzw. Anschlüsse sind (in jedem Falle in den hoch beanspruchten Bereichen) wieder in den Originalzustand zu versetzen.

Bei den Ertüchtigungsmaßnahmen sollte auf eine fachgerechte, tragfähige sowie konstruktions- und materialgerechte sowie fachgerechte Ausführung geachtet werden (Werkstoff und Verbindungsmittel). Grundsätzlich ist festzulegen, ob beim Austausch einzelner Bauteile der Stahlkonstruktion genehmigt werden soll oder der Verwendung von Schraubengarnituren zugestimmt wird.

Besonders sind folgende obligatorische Ertüchtigungsmaßnahmen zu benennen (Vgl. *Teil III*):

- Austausch der inneren Stützengurte an den Türen im KG (Achsen 1, 6, 7 und 12)
Die inneren Stützengurte sind vor allem bei den Stützen an den Türen zur Knicksicherung erforderlich, da dort nur eine einseitige Ausmauerung (und damit keine kontinuierliche Seitenstützung) vorhanden ist.
Zum Austausch der Gurtprofile muss die Mauerwerksausfachung ausgebaut werden, sodass ausreichend Montagefreiheit gegeben ist. Sollte bei den Arbeiten festgestellt werden, dass der Steg der Stützenprofile korrodiert ist und/oder eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Gurtprofilen und Steg nicht machbar ist, sind auch dahingehende Ertüchtigungsmaßnahmen zu ergreifen. An mindestens zwei Stellen ist im Zuge der Bauausführung der Zustand der Innenseite des Blechmantels auf der türabgewandten Seite zu erkunden.
- Erneuerung der Verankerung der Stützen im Sockel/Caisson (wenn erforderlich)
Im Zuge der Stemmarbeiten an den Stützen (s.o.) sind die Verankerungen von mindestens zwei Stützen zu erkunden (Zustand der Ankerköpfe inkl. der Verbindung zu den Stützen). Sollten in diesen Bereichen (abweichend von den Erkundungen im Jahr 1955 Korrosions-) Schäden festgestellt werden, sind diese zu bewerten und ggf. Verstärkungsmaßnahmen zu ergreifen (bspw. vorgebohrte Verpressanker und zugehörige Anschlusskonstruktion an Stützensteg).
- Ertüchtigung der Träger der Decke über KG an den beschädigten Stellen
Die (nicht tragenden) Stahlstangen sind auszubauen. Zur Ertüchtigung können die (durch nachträglich hergestellte Aussparungen in Stegen und Korrosionsschäden an Auflagern) beschädigten Profile durch aufgedoppelte Bleche verstärkt werden.
- Austausch der stark korrodierten Bauteile der Erker und Laternen
Die geschwächten Profile und Bleche sind (mindestens) querschnittsgleich und kraftschlüssig zu ersetzen (bezieht sich auch auf die nicht tragenden Gesimse u.ä.).
- Ersatz der fehlenden Niete des Blechmantels
Zur Sicherstellung der Tragfähigkeit und der Dauerhaftigkeit (Abdichtung) sind die abgerosteten Niete im Blechmantel gleichwertig zu ersetzen.

Darüber hinaus werden weitere, umfangreiche Verstärkungsmaßnahmen erforderlich, wenn die Konstruktion hinsichtlich einer schadfreien Aufnahme der Beanspruchungen aus der Bemessungswelle dimensioniert werden soll:

- Austausch und ggf. Verstärkung aller beschädigten Bauteile
- Verstärkung der Konstruktion (zur Aufnahme der Wellenlasten)
Die Ersatzlasten aus der Bemessungswelle erzeugen lokal extreme Beanspruchungen, die durch eine entsprechend tragfähige Konstruktionen aufgenommen werden müssen. Da zum Austausch der geschädigten Querschnittsteile und zur Vollerneuerung des Korrosionsschutzes die Ausbauten entfernt werden müssen, wäre folgendes Vorgehen denkbar.
 - o Im Kellergeschoss kann die Mauerwerksausfachung durch eine Stahlbetonausfachung ersetzt werden. Dabei ist auf eine konsequente Ringausbildung der Bewehrung zu achten. Im Zuge dieser Maßnahme können neue Anker zwischen den Stützen abgeteuft und in das Tragwerk eingebunden werden.
 - o Im Schlafzimmer könnte die außergewöhnliche Last durch eine räumliche Stahlkonstruktion, welche mit der Bestandskonstruktion kraftschlüssig verbunden ist, aufgenommen werden. Alternativ ist auch die Ausführung eines Stahlbetonrings (ähnlich der Ausführung

im KG) denkbar. In jedem Fall wird sich die Raumwirkung aufgrund der Verstärkungskonstruktion verändern.

Maßnahmen zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit

Unabhängig vom Umfang der vorgenannten Ertüchtigungen sind folgende Maßnahmen zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit vorzusehen:

- Abdichtung des Bauwerkes
Um das Eindringen von Feuchtigkeit (und damit den Angriff der Konstruktionen) zu vermeiden, ist das Bauwerk gegen Wassereintrag von außen abzudichten. Dazu sind Öffnungen und Stöße dauerelastisch abzudichten.
- Belüftung der Konstruktion
Um Kondenswasser möglichst zügig abzulüften, sind die vorhandenen Lüftungsöffnungen in den Wänden offen zu halten. Darüber hinaus ist für eine Luftzirkulation in der oberseitig durch das Deckblech geschlossenen Decke über dem Dienstzimmer zu sorgen.
Es ist eine planmäßige Belüftung des Gebäudes vorzusehen (mit Wasserfalle, ggf. Luftfeuchtigkeit gesteuert, sodass im kalten Kellergeschoss kein Kondensat ausfällt).
- Überarbeitung der Belüftung der Sanitärzelle im KG
Im Bereich der Rohrdurchführung treten Korrosionsschäden an den Stahlbauteilen und Beeinträchtigungen des Mauerwerkes auf. Für diese Situation sollte eine andere Lösung gefunden werden.

Korrosionsschutz

An den Stabbauteilen und Mantelblechen sind lokal Korrosionsschäden verschiedener Intensität vorhanden (siehe *Teil II* des Gutachtens). Im Rahmen der Sanierung ist der Korrosionsschutz der Stahlkonstruktion (z.T. nach dem Austausch von Bauteilen und Verstärkungsmaßnahmen) wiederherzustellen. Dabei können folgende Vorgehen grundlegend unterschieden werden:

- (Teil-) Erneuerung des vorhandenen Korrosionsschutzes
Der Korrosionsschutz der Stahlkonstruktion ist mindestens an den (bisher auch beschichteten) Außenflächen und den von innen zugänglichen Bauteilen wiederherzustellen. Dieser Minimalansatz ist im Sinne der Erhaltung der bestehenden Bausubstanz (minimierter Eingriff, da keine Ausbauten demontiert werden), stellt jedoch keineswegs einen umfassenden, gar regelkonformen Korrosionsschutz (entsprechend der nachfolgenden Ausführungen) dar und bedingt eine regelmäßige Begutachtung der Konstruktion. Dafür sollten in den Wänden Revisionsöffnungen an charakteristischen Stellen (wie bspw. an den Füßen der Stützen im Schlafzimmer) angeordnet werden.
- Vollerneuerung des Korrosionsschutzes
Die Vollerneuerung des Korrosionsschutzes betrifft den Aufbau regelwerkkonformer Beschichtungssysteme. Diese sind, neben den bereits beschichteten Flächen, auch auf den übrigen (durch Ausbauten nicht ohne weiteres zugänglichen) Stahlbauteilen aufzubringen, sodass ein weitestgehend (in konstruktionsbedingten Problemzonen, bspw. im Bereich von Knotenpunkten, ist eine einwandfreie Beschichtung praktisch nicht möglich) geschlossener Korrosionsschutz vorhanden ist.
- Passivierung durch Mauerwerk
Für den Fall, dass das vorhandene Mauerwerk in Teilbereichen erhalten wird, ist die Carbonatisierungstiefe des Mauerwerkes festzustellen. Im entsprechenden Maße sind an den Stahlbauteilen Austauschmaßnahmen zu ergreifen, sodass die Passivierung wieder gegeben ist.

Bei der Auswahl der Beschichtungssysteme sind die folgenden Aspekte zu beachten.

Randbedingungen und Klassifizierung

Für die Wahl eines geeigneten Korrosionsschutzsystems sind die folgenden Randbedingungen zu klassifizieren. Die Klassifizierung erfolgt in Anlehnung an DIN EN ISO 12944 [N_21]:

a) Schutz-/Funktionsdauer des Korrosionsschutzsystems

Nach [N_21-1] werden folgende Schutzdauern unterschieden:

- kurz (bis 7 Jahre)
- mittel (7 bis 15 Jahre)
- lang (15 bis 25 Jahre)
- sehr lang (über 25 Jahre)

Zielstellung ist es einen möglichst dauerhaften („sehr langen“) Korrosionsschutz herzustellen.

b) Art des Bauwerks und der Konstruktion

Bei dem Stahltragwerk des Leuchtturms handelt es sich um eine genietete Konstruktion. Genietete Konstruktionen sind mit Blick auf die Oberflächenvorbereitung und das Aufbringen von Beschichtungssystemen aufgrund der vielen Kanten, Fugen und Spalte als schwierig zu bezeichnen. Bei der Ausführung der Beschichtungs- und Dichtungsarbeiten ist diesen Bereichen besondere Aufmerksamkeit zu widmen und im besonderen Maße gewissenhaft auszuführen.

c) Umgebungsbedingungen (Luft, Wasser und/oder Erdreich, mechanische Beanspruchungen)

Nach [N_21-2] werden folgende Korrosivitätskategorien unterschieden:

⇒ Bauteile in der Atmosphäre:

- C1 unbedeutend
- C2 gering
- C3 mäßig
- C4 stark
- C5 sehr stark für (industrielle) Bereiche mit aggressiver Atmosphäre
- CX extrem für Offshore-Bauwerke, Bereiche mit aggressiver Atmosphäre

⇒ Bauteile im Wasser und im Boden:

- Im1 Süßwasser
- Im2 Salz- oder Brackwasser (Bauwerke ohne kathodischen KS)
- Im3 Erdreich
- Im4 Salz- und Brackwasser (Bauwerke mit kathodischen KS)

Die Stahlkonstruktion wird entspr. der Umgebungsbedingungen in drei Bereiche untergliedert:

Bereich Umgebungsbedingung	Wasserwechselzone (Sockel)	Turmschaft (spritzwasserbeansprucht)	Innenraum
Klassifizierung nach [N_21-2]			
- Atmosphäre	CX	CX	C5 ^{*1)}
- Wasser	Im2 Wasserwechselzone	Im2 Spritzwasser	Kondensat
- mechanische Belastung	stark Wellenschlag, Eisgang	mäßig	-
Klassifizierung nach [R_29-1]			
- Korrosivitätskategorie	Im2 (Zone 2)	Im2 / CX (Zone 2)	CX ^{*1)}

1) Der Innenraum des Turmes wird aufgrund der (konstruktionsbedingten) Undichtigkeiten und der auftretenden Kondensatbildung der Korrosivitätskategorie C5 bzw. der Belastungszone 2 zugeordnet.

d) Art der Oberfläche

In [N_21-4] werden folgende Arten von Oberflächen unterschieden:

⇒ Oberflächenarten:

- Unbeschichtete Oberflächen
- Oberflächen mit Überzügen (metallische Beschichtung, bspw. Verzinkung)
- Oberflächen mit Fertigungsbeschichtungen
- Andere beschichtete Oberflächen (bspw. vorhandene Beschichtungen)

Folgende Oberflächen sind an der Stahlkonstruktion des Leuchtturmes vorhanden:

Oberfläche	Bereich	Wasserwechselzone (Sockel)	Turmschaft (spritzwasserbeansprucht)	Innenraum
- Konstruktion		Blechmantel mit gedoppelten Blechstößen und genieteten Verbindungen zu Stützen, Ringstifen u.a. Bauteilen		Genietete, zusammengesetzte Profile und kaum zugängliche Hohlräume
- Oberfläche		(Andere) beschichtete Oberfläche Vorhandene Beschichtung weist lokal Korrosionsschäden auf Lt. Schreiben von Herrn Rolf Seedorf vom 04.04.2019 wurde der Blechmantel in 1989 mit folgenden Stoffen beschichtet: PU-Bitumen		Unbesch. ^{*1)} Rostgrad D nach [N_22-1] ^{*1)}
			GB: 2 x Bleimennige (3 Schichten an Nieten) DB: 3 x sika Icosit 5530	

- 1) Es wird davon ausgegangen, dass die (durch Wand- und Deckenverkleidungen verdeckten) nicht sichtbaren Bauteile keine Beschichtung (mehr) haben und die Oberflächen korrodiert sind. Die sichtbaren Bauteile (bspw. die Träger der KG-Decke und die Erker) sind beschichtet, weisen aber lokal starke Korrosionsschäden auf.

e) Applikationsbedingungen

Die in situ-Ausführung der Beschichtungsarbeiten an den Außenflächen ist witterungs- und see-gangabhängig. Es ist zu erwarten, dass sich nur relativ kurze Zeitfenster für die Applikation ergeben. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, ist ein Beschichtungssystem mit kurzen Trockenzeiten, welches möglichst einfach und schnell (Umfang der Vorbereitungsarbeiten, Anzahl der Schichten) appliziert werden kann, auszuwählen.

Auswahl der Beschichtungssysteme

Für die vorgenannten Korrosivitätskategorien (und eine möglichst hohe Schutzdauer) ergeben sich folgende mögliche Beschichtungssysteme:

Umgebungsbedingung	Bereich	Wasserwechselzone (Sockel)	Turmschaft (spritzwasserbeansprucht)	Innenraum
Beschichtungssysteme nach [N_21-5], Tabellen C.5 und C.6				
- an Atmosphäre		Für C5-Umgebung: C5.03, C5.04, C5.07, C5.08		
- im Wasser		I.01 bis I.06		-
Beschichtungssysteme nach [R_29-2], Tabellen 17 und 18				
- entspr. Belastungszone		2-01E bis 2-09E		3-01E bis 3-07E

Darüber hinaus sollte die durch die BAW herausgegebenen „Liste der zugelassenen Systeme II (für Meerwasser, Brackwasser und Böden, Im 2/3)“ bei der Wahl der Beschichtungssysteme beachtet werden.

Des Weiteren sind bei der Auswahl der Beschichtungsstoffe bzw. des Beschichtungssystems die gegebenen Applikationsbedingungen und die vorhandenen Beschichtungen (s.u.) zu beachten. Eine Vollerneuerung des Korrosionsschutzes (entsprechend der o.g. Beschichtungssysteme) bedeutet einen deutlich höheren Aufwand, da für den Aufbau eines neuen Beschichtungssystems i.d.R. die Oberflächen entsprechend Sa 2½ aufbereitet werden müssen.

Ausführung der Ent- und Beschichtungsarbeiten

Bei der Ausführung der Ent- und Beschichtungsarbeiten sind u.a. Belange des Arbeits- und Umweltschutzes zu beachten und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen. Das bedeutet u.a., dass je nach

Verfahren dichte Abplanungen bzw. Einhausungen vorzusehen sind. Anforderungen an die Ausführung und Überwachung der Korrosionsschutzarbeiten sowie an Schutzmaßnahmen sind in [R_22-218], im Asbest-/PAK-/PCB-/Blei-Leitfaden des BMVI und weiteren Regelwerken definiert.

Vorhandene Beschichtungen

Zu den Beschichtungssystemen liegen folgende Aussagen von Herrn Seedorf (Schreiben vom 04.04.2019) vor:

- Sockel (schwarz) PU-Bitumen-Anstrich
- Turm (rot/weiß) 2 x Bleimennige (an Nietreihen 3x)
3 x PVC-Acryl-Anstrich (n. Rücksprache Sika Icosit 5530 EG)
(spätere) Ausbesserungen mit SikaCor-6630

Des Weiteren wurden bei dem zweiten Ortstermin im Mai 2019 Beschichtungsproben entnommen und zur Analyse an die BAW übergeben. Der Bericht, der die Ergebnisse der Analysen zusammenfasst, liegt noch nicht vor (wird im *Anhang A1.1* hinterlegt). Es wurde jedoch vorab mitgeteilt, dass die Beschichtungen des Turmes innen und außen Blei enthalten. Darüber hinaus wurden PAK in den Beschichtungsproben der Innenbauteile gefunden. Es wird vermutet, dass auch die Beschichtung des Sockels PAK enthält.

Sanierung des Korrosionsschutzsystems

Je nach Sanierungsvariante ist eine Teil- oder Vollerneuerung des Korrosionsschutzes vorgesehen. Die Teilerneuerung umfasst den Aufbau eines neuen Korrosionsschutzsystems an lokalen Schädstellen und die Applikation von mindestens einer ganzflächigen Deckbeschichtung. Die Kompatibilität der vorhandenen und der neuen Beschichtungsstoffe ist dabei nachzuweisen. Mit Blick auf den vorhandenen Schädigungsgrad der Beschichtungen und auf den (im Vergleich zu einer Vollerneuerung) geringeren Aufwand der Korrosionsschutzarbeiten ist einer Teilerneuerung der Vorzug zu geben. Allerdings handelt es sich bei den damit realisierbaren Beschichtungssystemen nicht um Regellösungen entsprechend der o.g. Regelwerke.

Nach Rücksprache mit Herrn Kasten der Sika GmbH ist zur Teilerneuerung der Beschichtung des Turmschafts (rot/weißer Bereich über dem Sockel) folgendes Vorgehen denkbar:

- Reinigen der Altbeschichtung (bspw. Hochdruckwasser mit Reinigungszusatz)
- Behandlung korrodierter Bereiche und schadhafter Beschichtungen
 - o Oberflächenvorbereitung: P St 3 / P Ma
 - o Grundbeschichtung: 6 x 60 µm SikaCor 6630 Primer o.glw.
 - o Zwischenbeschichtung: 1 x 80 µm SikaCor 6630 M o.glw.
- Vollflächige Beschichtungen
 - o Zwischenbeschichtung: 1 x 80 µm SikaCor 6630 M o.glw.
 - o Deckbeschichtung: 1 x 80 µm SikaCor 6630 HS EG o.glw.

Translozierung

Zur Ertüchtigung des Tragwerkes und zur Wiederherstellung des Korrosionsschutzes kann eine (bauzeitliche) Translozierung der Stahlkonstruktion des Leuchtturmes an Land eine sinnvolle Lösung darstellen. Die dabei zu beachtenden Randbedingungen sind im Folgenden zusammengestellt.

Eckdaten der Stahlkonstruktion (UK KG bis OK Laterne)

f) Eigengewicht:

Stahltragwerk inkl. Ausbauten	$G_{k,S+A} = \sim 970 \text{ kN}$	= 97 t
	$G_{k,S+A+} = \sim 1200 \text{ kN}$	= 120 t *2)
Stahltragwerk ohne Ausbauten	$G_{k,S} = \sim 430 \text{ kN}$	= 43 t *1)
	$G_{k,S+} = \sim 520 \text{ kN}$	= 52 t *2)

1) Nur die Stahlkonstruktion, ohne Wand- und Fußbodenausbauten, Anlagen u.a.

2) Die Tonnage der reinen Stahlkonstruktion wird mit einem Faktor von 1,2 multipliziert, um bei der Programmeingabe nicht berücksichtigte Kleinteile, Verbindungsmittel u.ä. zu erfassen.

Translozierung

g) Hinweise zum Verfahren

- 1) Die Konstruktion sollte stehend transportiert werden.
- 2) Die Deckenebenen sind, besonders im Bereich der Treppenöffnungen für den Transport, speziell das Anheben und Absetzen, zu verstärken. Dazu ist mind. je ein Koppelträger (in Verlängerung der Nebenträger Achse 10) zwischen den Treppenwechseln u. der Stütze vorzusehen.
- 3) Die Ebene zwischen den Stützenfüßen (im KG) ist durch eine (ähnlich wie die Deckenebenen aufgebaute) Stahlkonstruktion auszusteißen.
- 4) Die Anschlagpunkte sind in der Ebene der Stützenfüße anzuordnen, da die Stützen aufgrund der Ausführung der Stützenstöße in den Geschossebenen nur im begrenzten Umfang Zugkräfte aufnehmen können. Des Weiteren sollte das statische System nicht grundlegend geändert werden, um Schäden an der Konstruktion zu vermeiden.
- 5) Für die Sanierung sollte ein Ort möglichst direkt am Hafen oder optimalerweise in einer Werft gefunden werden, um einen weiteren Transport (über Land) zu vermeiden.
Sollte der Leuchtturm an Land verbleiben, kann die Sanierung ggf. auch am neuen Standort erfolgen.

h) Transportvorgang

Ablauf des Transportvorgangs (Vorschlag)

- 1) Vorarbeiten
 - Demontage und Sicherung der technischen Anlagen (Linsen usw.)
 - Ausräumen der Einrichtung, evtl. Demontage der Einbaumöbel, Sicherung der schutzwürdigen Gegenstände und Entsorgung der übrigen Gegenstände
 - Demontage der Ausbauten (optional)
- 2) Vorbereitung der Verladung
 - Montage eines Basisgerüsts am Sockel
 - Sicherung der Konstruktion durch Montage- und Transporthilfskonstruktionen
 - Demontage des Mauerwerks im Keller (zum Anschluss der Hubtraverse an Stützenfüße und zum Trennen der Stahlkonstruktion)
 - Montage der Hubtraverse u.a. Transporthilfskonstruktionen
- 3) Verladung
 - Bereitstellung eines Kranschiffs oder alt. eines Pontons mit Mobilkran
 - Bereitstellung eines Pontons für den Transport des Bauwerks
 - Anschlagen des Kranes
 - Durchtrennen des Mantelblechs und der Stützen
 - Hub und Verladung auf Transportponton (inkl. Lagesicherung)
- 4) Transport
 - Transport in Hafen/Werft bzw. an neuen Standort
- 5) Entladung
 - Bereitstellung eines Kranes
 - Anschlagen und Entladung

Risikoeinschätzung

Der Vorgang einer Translozierung ist mit einem verhältnismäßig hohen Risiko einer Beschädigung oder gar eines Verlustes des Bauwerks verbunden. Das Risiko ergibt sich zum einen aus der Dauer der Vorbereitungsarbeiten und zum anderen aus den kritischen Zuständen beim Durchtrennen der Stahlkonstruktion vor dem Anheben bzw. beim Absetzen auf die neue Gründung.

Die Arbeiten zum Ausbau der Mauerwerksausfachung im Keller werden sich über mehrere Tage, evtl. sogar Wochen, erstrecken. In dieser Zeit ist die Standsicherheit des Bauwerkes deutlich herabgesetzt. Mit der Dauer dieses Zustandes steigt die Wahrscheinlichkeit der Gefährdung des Bauwerkes durch das Auftreten eines Starkwindereignisses und/oder hohen Wellengangs.

Der Vorgang des Durchtrennens und die dabei erforderlichen Hilfskonstruktionen/-maßnahmen sind technisch sehr anspruchsvoll. Der Zustand beim Durchtrennen bis zum Anheben der Konstruktion

ist (auch aufgrund der vorhandenen und entstehenden Zwangsspannungen) labil und entsprechend risikobehaftet.

Beim Wiederaufstellen treten die Probleme der Demontage (in umgekehrter Reihenfolge) auf. Dabei ist eine Montage an Land weniger riskant als eine auf See.

Eine gewissenhafte Planung und Organisation sind für die erfolgreiche Durchführung der De-/Remontage und die Risikominimierung fundamental. Darüber hinaus ist die Wahl eines günstigerer Wetterfenster entscheidend.

1.04 Caisson / Gründung (Zusammenfassung)

1.04.1 Baugrund und Meeresgeologie

Zur Sicherung der Meeresoberfläche wurde im Jahr 2013 eine Entwurfsplanung ([D_07] und [D_08]) durch die IMS Ingenieurgesellschaft mbH erstellt. Darin wird der Einbau von geotextilen Sandcontainern zur Sicherung der im Umfeld des Leuchtturmes zum Teil relativ steil abfallenden Meeressohle empfohlen.

Diese Art der Sohlsicherung kann nach Einschätzung der diesbezüglich konsultierten Spezialisten des Instituts für Wasserbau und technische Hydromechanik (IWD) der Technischen Universität Dresden bestätigt werden (siehe *Anhang*).

Die folgenden Ausführungen fassen die Inhalte des *Teils IV* des Gutachtens zusammen.

1.04.2 Belastungssituation

Die Bemessung der Gründung wird durch die Beanspruchungen aus Seegang dominiert, weshalb die übrigen Einwirkungen (Eigenlasten, Wind, Eisgang) im Folgenden keine Erwähnung finden.

Die auf analytische Ansätze gestützte Abbildung der Beanspruchungen aus Seegang, auch als „Wellenlasten“ bezeichnet, führt zu sehr hohen Lastwerten. Da die Standsicherheit des Bauwerkes unter Berücksichtigung dieser Belastungen nicht nachgewiesen werden kann, wurde eine realitätsnähere Ermittlung der Wellenlasten veranlasst. Diese Untersuchungen wurden durch das Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (IWD) der Fakultät Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Dresden durchgeführt und mündeten in numerischen Berechnungen. In den Berechnungen wurden der Leuchtturm und des umgebende Seegebiet modelliert. Die Bemessungswelle wurde basierend auf langjährigen Seegangsdaten umliegender Messpunkte definiert. Die Eingangsgrößen der Berechnungen wurden - nach Wertung von Zwischenergebnissen und Vergleich dieser mit Messdaten eines vergleichbaren Objektes an der britischen Küste - angepasst, sodass im Ergebnis verlässliche Ersatzlasten ausgegeben wurden. Die Ersatzlasten sind höher als die in den Berechnungen [D_02] und [D_03] berücksichtigten.

1.04.3 Gründungskörper und Prinzip des Lastabtrages

Der Gründungskörper des Leuchtturms Roter Sand gliedert sich in den Caisson und den darüber liegenden Sockel, auf dem die Stahlkonstruktion verankert ist.

Die abhebenden bzw. nach oben wirkenden Auflagerkräfte aus der Stahlkonstruktion werden über Zugstangen im Sockel verankert. Ein abheben des Sockels wird wiederum durch den Formschluss zwischen der (im Zuge der Verstärkung 1987) auf der Oberseite des „alten“ Caissons aufgetragenen Stahlbetonplatte und dem Blechmantel des Sockels verhindert.

In den Berechnungen [D_02] und [D_03] wurde der Caisson als Schwergewichtsfundament betrachtet. Diese Betrachtungsweise kann nicht bestätigt werden, da der Kippnachweis infolge der höheren Wellenlasten nicht gelingt. Um Verstärkungsmaßnahmen zu vermeiden, wurden über die Schwergewichtsfundament hinausgehende Tragmechanismen gesucht. Letztlich wurde der Mantel des „alten“ Caissons zur Zugverankerung des Kippmomentes aktiviert. Die Zuglasten werden dabei über Mantelreibung in den Baugrund abgetragen.

1.04.4 Schäden, deren Bewertung und Ausblick

Die Bewertung des Zustands der Gründungskörper basiert im Wesentlichen auf den Untersuchungen aus dem Jahr 1955 [D_01] sowie weiteren Bestandsunterlagen und wurde in den nicht wasserberührten Bereichen bei den Ortsterminen im Oktober 2018 und Mai 2019 stichpunktartig überprüft.

Mit Blick auf den Stahlmantel des „alten“ Caissons wird davon ausgegangen, dass sich der 1955 erkundete Zustand nicht wesentlich verändert hat. Diese Annahme ist für den Nachweis der Standicherheit von größter Relevanz und durch entsprechende Untersuchungen zu bestätigen. Zur Erhaltung des Bauwerkes ist Korrosion an der Stahlwandung des „alten“ Caissons zu verhindern bzw. auf ein unkritisches Maß zu begrenzen.

Ebenso ist der Erhalt des Stahlmantels des „neuen“ Caissons, durch Erkundung des Zustandes und Ergreifung evtl. erforderlicher Sanierungsmaßnahmen, sicherzustellen.

An der auf dem alten Caisson aufliegenden (den Fuß des Sockels umfassenden) Stahlbetonplatte auftretende Schäden sind fachgerecht und kraftschlüssig zu sanieren.

1.05 Varianten zur Sanierung

Der Zustand des Bauwerkes bzw. der Bauteile wurde in den vorhergehenden Kapiteln bzw. im Detail in den entsprechenden Teilen des Gutachtens beschrieben und daraus Ertüchtigungsbedarfe abgeleitet. Da der Umfang der Ertüchtigungsmaßnahmen stark von der Zielstellung der Sanierungsmaßnahme abhängt, werden im Folgenden drei Sanierungsvarianten skizziert. Dabei werden der Umfang sowie die Vor- und Nachteile der Varianten beschrieben und noch ausstehende Untersuchungen und daraus resultierende Risiken für zusätzliche Aufwendungen benannt. Darüber hinaus wird der finanzielle Aufwand der Sanierungsvarianten eingeschätzt.

Zur Sanierung des Turmes werden folgende drei Varianten vorgeschlagen:

- V1: Neugründung (offshore) und Verstärkung der Konstruktion auf Norm-Sicherheitsniveau
- Vollumfängliche Aufarbeitung und Verstärkung der Stahlkonstruktion in Werft
 - Vollerneuerung des Korrosionsschutzes
 - Neubau einer Offshore-Gründung
 - Translozierung der Stahlkonstruktion (aus Werft) auf neue Offshore-Gründung
- ⇒ *Erzeugen des Norm-Sicherheitsniveaus bzw. Minimierung des Schadens-/Verlustrisikos des Bauwerkes durch Neuerrichtung eines Gründungskörpers, grundlegende Instandsetzung und Verstärkung der Stahlkonstruktion.*
- ⇒ *Die Translozierungsvorgänge stellen jedoch ein vom Endzustand unabhängiges Risiko dar.*
- V2: Instandsetzung in situ
- Sicherung des Meeresbodens und der Gründung
 - Ertüchtigung der Gründungskörper (wenn erforderlich)
 - Sanierung der Stahlkonstruktion in situ
 - Teilerneuerung des Korrosionsschutzes
- ⇒ *Ausführung zwingender Maßnahmen zur Erhaltung des Bauwerkes. Im sanierten Zustand können Schäden am Bauwerk nicht ausgeschlossen werden. Entsprechend sind Nutzungseinschränkungen geboten (Kompromisslösung).*

V3: Translozierung der Stahlkonstruktion des Leuchtturmes an Land

- Versetzen der Stahlkonstruktion an Land
- Sanierung der Stahlkonstruktion an Land
- Teilerneuerung des Korrosionsschutzes

- ⇒ *Keine Verstärkung der Bestandsgründung und der Meeressohle erforderlich, da neue Gründung an Land errichtet wird.*
Günstigere Bedingungen zur Sanierung der Stahlkonstruktion des Leuchtturms an Land.
⇒ *Die Translozierung stellt jedoch ein besonderes Risiko dar.*

Die Sanierungsvarianten werden im Folgenden beschrieben.

V1: Neugründung und Verstärkung der Konstruktion auf Norm-Sicherheitsniveau

Zur Minimierung des Instandhaltungsaufwandes und mit Blick auf den noch ausstehenden Erkundungsbedarf sieht diese Variante zur Sanierung des Leuchtturmes Roter Sand eine moderne Neugründung der bestehenden Stahlkonstruktion in der Nähe des derzeitigen Standortes vor. Mit Blick auf eine Reduzierung der Beanspruchungen (und der damit einhergehenden Verstärkungsmaßnahmen) der Stahlkonstruktion aus Seegang wird in diesem Zuge eine Anhebung der Bauwerkshöhe (am neuen Standort) empfohlen.

Die grundhafte Instandsetzung und die Verstärkungsmaßnahmen im wellenbeanspruchten Bereich der Stahlkonstruktion sind erforderlich, um die Standsicherheit des Bauwerks unter Berücksichtigung der Beanspruchungen aus Seegang sicherzustellen.

Zur Instandsetzung und zum Einbau der Verstärkungsstruktur sowie zur Herstellung eines vollumfänglichen Korrosionsschutzes muss der Turm entkernt werden.

Da eine Demontage der Stahlkonstruktion im Zuge der Translozierung auf die neue Gründung ohnehin erforderlich ist, ist es zweckmäßig die Arbeiten an der Stahlkonstruktion unter Werksbedingungen (bspw. in einer Werft) auszuführen und damit unabhängig von Witterungseinflüssen und Sondermaßnahmen, die das Bauen über der See betreffen, zu sein.

Die Translozierungsvorgänge stellen jedoch ein besonderes Risiko für das Bauwerk dar.

Sollte der Rückbau des bestehenden Gründungskörpers bspw. aus schiffahrtstechnischen Belangen erforderlich sein, sind dafür zusätzliche Mittel einzuplanen (nicht in Kostenschätzung enthalten).

Im Einzelnen setzt sich diese Maßnahme aus folgenden Positionen zusammen:

1. Neubau einer Offshore-Gründung
2. Ersatzneubau des Sockels
3. Demontage und Translozierung der Stahlkonstruktion in Werft
 - 3.1. Vorarbeiten
 - 3.2. Baustelleneinrichtung
 - 3.3. Fertigung und Installation von Montage- und Transporthilfskonstruktionen
 - 3.4. Demontage und Transport in Werft o.ä.
4. Ertüchtigung der Stahlkonstruktion und Vollerneuerung des Korrosionsschutzes
 - 4.1. Entkernung des Turmes
 - 4.2. Austausch beschädigter Bauteile und Ausführung von Verstärkungsmaßnahmen
 - 4.3. Vollerneuerung des Korrosionsschutzes der Stahlkonstruktion
5. Translozierung der Stahlkonstruktion an neuen Standort und Remontage
6. Innenausbau

V2: Instandsetzung in situ

Diese Variante sieht eine Instandsetzung und eine maßvolle Ertüchtigung des Bauwerkes vor. Die Eingriffe werden auf das absolut erforderliche Maß beschränkt, sodass die vorhandene Bausubstanz möglichst wenig beeinträchtigt wird.

Bei dieser Variante bestehen jedoch Einschränkungen in der Nutzung, da das normative Sicherheitsniveau nicht erreicht wird. In der Praxis bedeutet das, dass sich bei Starkwind und entsprechendem Wellengang keine Personen auf dem Turm befinden dürfen und Schäden am Bauwerk durch große Wellen nicht ausgeschlossen werden können.

Eine Ungewissheit dieser Variante stellt der Zustand der Gründungskörper - speziell der Mantelbleche der Caissons - dar, der noch zu erkunden ist. Sollten dort größere Schäden als bisher angenommen vorhanden sein, kann eine Ertüchtigung der Gründung erforderlich werden (bspw. umlaufend angeordnete Bohrpfähle). Kosten für eine Verstärkung der Gründung sind in der Kostenschätzung nicht enthalten.

Darüber hinaus ist bei dieser Variante kein vollumfänglicher Korrosionsschutz realisierbar, sodass auch weiterhin (an den nicht zugänglichen Stahlbauteilen, wie bspw. der Innenseite der Mantelbleche) Abrostung stattfinden wird. Regelmäßige Begutachtungen und Instandsetzungen sind demzufolge für die Zukunft einzuplanen.

Im Einzelnen setzt sich diese Maßnahme aus folgenden Positionen zusammen:

1. Untersuchung des Zustandes der Mantelbleche der Caissons
2. Ertüchtigung der Gründung
(optional, wenn aufgrund der vorgenannten Untersuchungen erforderlich)
3. Sicherung des Meeresbodens
 - 3.1. Kollsicherung mit Sandcontainern
 - 3.2. Erhöhung der Anschütthöhe am Caisson
4. Verstärkung der Stahlkonstruktion und Teilerneuerung des Korrosionsschutzes
 - 4.1. Vorarbeiten
 - 4.2. Baustelleneinrichtung
 - 4.3. Instandsetzung der Erker und Laternen (Ausbau u. Austausch beschädigter Bauteile)
 - 4.4. Ausbau und Austausch beschädigter Bauteile im KG
 - 4.5. Herstellung einer planmäßigen Verankerung der Stützen
(optional, bei Zweifeln hinsichtlich des Zustandes der vorhandenen Verankerung)
 - 4.6. Austausch beschädigter Bauteile und Ausführung von Verstärkungsmaßnahmen
 - 4.7. Teilerneuerung des Korrosionsschutzes der Stahlkonstruktion

V3: Translozierung der Stahlkonstruktion des Turmes an Land

Alternativ zu den beiden vorgenannten Varianten wird eine Translozierung der Stahlkonstruktion an Land untersucht. Für den neuen Standort kommen Bremerhaven und die zur aktuellen Position benachbarten Inseln in Betracht. Der neue Standort des Leuchtturmes sollte sich direkt am Ufer eines für das Transportfahrzeug (bspw. Ponton) befahrbaren Gewässers befinden, sodass das Bauwerk vom Transportfahrzeug direkt auf die neue Gründung verhooben werden kann. Mit einem zusätzlichen Transport über Land gehen höhere Kosten einher, die in der Kostenschätzung nicht enthalten sind.

Vorteile dieser Variante sind die günstigeren Ausführungs- und Instandhaltungsbedingungen an Land. Da die Wellenbeanspruchung an Land entfällt, beschränken sich die Baumaßnahmen an der Stahlkonstruktion auf die Ertüchtigung der beschädigten Bauteile und die Konstruktion zum Anschluss an den neu herzustellenden Gründungskörper.

Der bestehende, denkmalgeschützte Gründungskörper kann dabei ohne Verstärkungsmaßnahmen am Standort verbleiben, wenn dagegen keine Bedenken der Schifffahrt o.a. sprechen (Aufwendungen für einen Rückbau sind in der Kostenschätzung nicht enthalten).

Ein weiterer Vorteil dieses Ansatzes ist, dass das einst bemannte Bauwerk der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht und bspw. als Museum genutzt werden kann.

Als Nachteil ist das Risiko, welches der Transportvorgang mit sich bringt, zu benennen.

Im Einzelnen setzt sich diese Maßnahme aus folgenden Positionen zusammen:

1. Errichtung einer neuen Gründung (an Land)
2. Ersatzneubau des Sockels
3. Demontage und Translozierung der Stahlkonstruktion an neuen Standort
 - 3.1. Vorarbeiten
 - 3.2. Baustelleneinrichtung
 - 3.3. Fertigung und Installation von Montage- und Transporthilfskonstruktionen
 - 3.4. Demontage und Transport an neuen Standort
 - 3.5. Remontage auf neuen Sockel
4. Instandsetzung der Stahlkonstruktion und Teilerneuerung des Korrosionsschutzes
 - 4.1. Vorarbeiten
 - 4.2. Baustelleneinrichtung
 - 4.3. Instandsetzung der Erker und Laternen
 - 4.4. Ausbau und Austausch beschädigter Bauteile im KG
 - 4.5. Herstellung einer planmäßigen Verankerung der Stützen
 - 4.6. Austausch beschädigter Bauteile und Ausführung von Verstärkungsmaßnahmen
 - 4.7. Teilerneuerung des Korrosionsschutzes der Stahlkonstruktion

Variantenvergleich

In der folgenden Tabelle werden die Varianten hinsichtlich verschiedener Aspekte bewertet. Die verbale Relativbewertung soll die Unterschiede der einzelnen Varianten verdeutlichen.

Aspekt	Variante 1 Verstärkung	Variante 2 Instandsetzung	Variante 3 Translozierung
Standicherheit (Endzustand)	gegeben	eingeschränkt	gegeben
Sanierungsaufwand - Meeresboden - Caisson und Sockel - Neugründung - Stahlkonstruktion - Bedingungen zur Instandsetzung des Stahlbaus	nicht erforderlich nicht erforderlich erforderlich hoch günstig	hoch Instandhaltung * ¹⁾ nicht erforderlich mittel schwierig	nicht erforderlich nicht erforderlich erforderlich mittel günstig
Translozierungsaufwand	hoch (2x)	nicht vorhanden	mittel (1x)
Originalität der Konstruktion - Caisson und Sockel - Stahlkonstruktion Turm	unverändert verstärkt	unverändert * ¹⁾ hoch	unverändert hoch
Nutzungseinschränkungen - sicherheitsbedingte	keine	vorhanden	keine
Instandhaltungsaufwand	mittel	hoch	gering
Kostenschätzung [Mio. €] - SUMME Baukosten * ²⁾	5,0	3,0	1,0

- 1) Sollten bei den noch durchzuführenden Erkundungen der Caisson-Mantelbleche festgestellt werden, dass der Zustand schlechter als angenommen ist, können Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich werden. Diese sind in der Kostenschätzung nicht enthalten.
- 2) Die Baukosten umfassen die Ertüchtigung des Baugrundes bzw. die Kalksicherung des Meeresbodens, die Sanierung und Sicherung bzw. Errichtung des Gründungskörpers, weiterhin die Ertüchtigung, Verstärkung und Erneuerung des Korrosionsschutzes der Stahlkonstruktion sowie die Translozierung. Rückbaukosten für die Bestandgründungen sind nicht enthalten.
 Bei den in der Tabelle oben aufgeführten, geschätzten Kosten handelt es sich um aktuelle Netto-Baukosten (aus dem Jahr 2019) ohne Baunebenkosten für Planung, Genehmigung usw.. Bei der Ermittlung der Herstellungskosten sind darüber hinaus Preissteigerungen und Positionen für unvorhersehbare (bspw. witterungsbedingte) Verzögerungen u.ä. einzustellen.

Vorzugsvariante

Die Ersteller des Gutachtens empfehlen die Sanierungsvariante 2, da es sich bei diesem Ansatz um eine maßvolle Instandsetzung – ohne grundlegende Veränderungen bzw. Verstärkungen der Konstruktion – im Sinne des denkmalgeschützten Bauwerkes handelt. Eine Nutzung, die über die Touristenfahrten bei wenig Seegang hinausgeht, ist mit dieser Ertüchtigungsvariante jedoch nicht möglich, da Schäden infolge schwerer See nicht ausgeschlossen werden können.

Die grundhafte Instandsetzung und Verstärkung des Bauwerkes (Variante 1), und im Besonderen der Stahlkonstruktion, geht mit der Demontage der kompletten Ausmauerung zwischen den Stützen im KG und der übrigen Ausbauten einher, was eine Zerstörung der historischen Bausubstanz im großen Umfang bedeutet. Des Weiteren werden (in Abhängigkeit der Bauwerkshöhe am neuen Standort) umfangreiche Verstärkungsmaßnahmen erforderlich, die dazu führen, dass die räumliche Gliederung des Turmes ihren Charakter verliert und die Nutzung des Leuchtturmes stark einschränken kann. Aus diesen Gründen wird dieser Ansatz als nicht verhältnismäßig betrachtet.

Die Translozierung des Turmes (Varianten 1 und 3) geht mit einer kaum wiederherzustellenden Zerstörung der genieteten Konstruktion im Bereich der Trennfuge und einem hohen Beschädigungs- oder gar Verlustrisiko des zu transportierenden Bauwerkes einher. Für eine grundhafte Instandsetzung sind die deutlich besseren Ausführungsbedingungen an Land (bspw. in einer Werft bzw. am neuen Standort) wiederum vorteilhaft. Das dauerhafte Versetzen des Leuchtturmes an Land (Variante 3) bietet bei der Ausführung der Sanierungsmaßnahme wie auch bei der Instandhaltung deutliche Vorteile.

1.06 Anhänge

Anhang **A1.1** **Bericht zur Materialprüfung der Beschichtungsstoffe**
Erstellt durch das Referat Stahlbau/Korrosionsschutz, Abteilung Bautechnik der BAW

Anhang **A1.2** **Stellungnahme zur Sicherung der Meeressohle**
Erstellt durch das Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik der TU Dresden

Bericht wird nachgereicht.

Bericht wird nachgereicht.

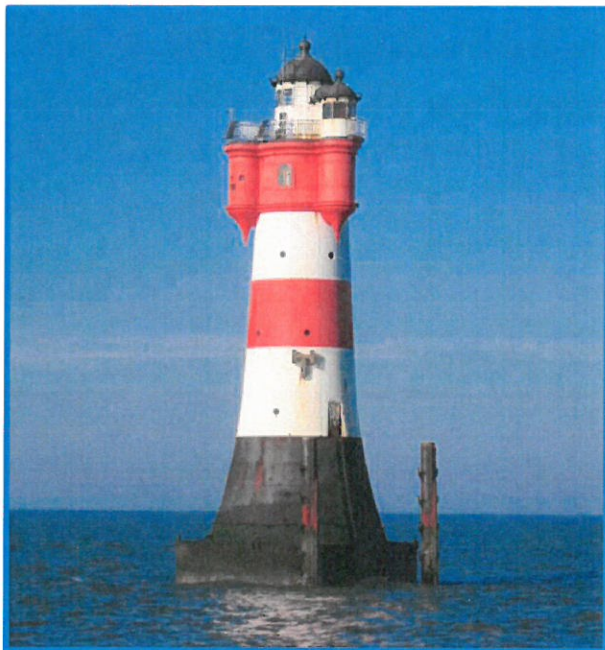
Gutachten

zur Sanierung 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, 14. Juni 2019



Dr.-Ing. P. Lieberwirth

Projekt: GA218014
Bearbeiter: Dipl.-Ing. A. Metzle
Dipl.-Ing. (FH) L. Schöbitz
Dipl.-Ing. E. Schulze

Inhalt:

- Teil 0: - Vorbemerkungen
- Teil I: - Grundlagen, Erkenntnisse und Ergebnisse
- Teil II: - Dokumentation zur Bauwerksprüfung**
- Teil III: - Nachrechnung des stählernen Turmhaupttragwerkes
- Teil IV: - Nachrechnung des Turmsockels und des Caissons

Inhaltsverzeichnis

2	Bericht zur Bauwerksprüfung der stählernen Turmkonstruktion.....	2
2.01	Allgemeines	2
2.01.1	Vorbemerkungen	2
2.01.2	Art und Umfang der durchgeführten Arbeiten.....	3
2.02	Zusammenfassung der Schäden für das Gesamtbauwerk.....	5
2.03	Außenseite Stahlmantelfläche des Sockels und Caissons.....	7
2.03.1	Vorhandene Schäden / Mängel und deren Bewertung.....	7
2.03.2	Empfehlungen für die Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen	8
2.03.3	Fotodokumentation	8
2.04	Außenseite Stahlmantelfläche Kellergeschoss bis Küchenraum	13
2.04.1	Vorhandene Schäden / Mängel und deren Bewertung.....	13
2.04.2	Empfehlungen für die Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen	14
2.04.3	Fotodokumentation	14
2.05	Außenseite Stahlmantelfläche Dienstraum mit Erkern und Laternengeschoss sowie Dachkonstruktion	17
2.05.1	Vorhandene Schäden / Mängel und deren Bewertung.....	17
2.05.2	Empfehlungen für die Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen	18
2.05.3	Fotodokumentation	18
2.06	Innenseite Kellergeschoss.....	23
2.06.1	Vorhandene Schäden / Mängel und deren Bewertung.....	23
2.06.2	Empfehlungen für die Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen	24
2.06.3	Fotodokumentation	25
2.07	Innenseite Schlafraum bis Küchenraum.....	29
2.07.1	Vorhandene Schäden / Mängel und deren Bewertung.....	29
2.07.2	Empfehlungen für die Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen	30
2.07.3	Fotodokumentation	30
2.08	Innenseite Dienstraum mit Erker und Laternengeschoss sowie Dachkonstruktion..	34
2.08.1	Vorhandene Schäden / Mängel und deren Bewertung.....	34
2.08.2	Empfehlungen für die Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen	35
2.08.3	Fotodokumentation	35
2.09	Anhänge	38

2 Bericht zur Bauwerksprüfung der stählernen Turmkonstruktion

2.01 Allgemeines

2.01.1 Vorbemerkungen

Gegenstand und Ziel der Bauwerksprüfung

Gegenstand der vorliegenden Dokumentation ist die Darlegung, Erläuterung und Bewertung des Bauzustands des äußeren Stahlmantels des Turmsockels sowie der äußeren und inneren tragenden Stahlbauteile des Turmoberteils. Dabei ist das Ziel die gewonnenen Erkenntnisse ebenso wie die im *Teil III* durchgeführte statische Berechnung als Grundlage für die Definition der erforderlichen Ertüchtigungsmaßnahmen zu nutzen.

Planunterlagen

Siehe *Teil I* des Gutachtens.

Literatur

Siehe *Teil I* des Gutachtens.

Baubestimmungen und Normungen

Siehe *Teil I* des Gutachtens.

Standort:

Siehe *Teil I* des Gutachtens.

Bauwerksbeschreibung:

Eine ausführliche Bauwerksbeschreibung ist im *Teil I* zu finden.

Das Bauwerk Leuchtturm „Roter Sand“ ist insgesamt 52,50 m hoch und lässt sich in die drei Bauteile Caisson, Turmsockel und Turmoberteil gliedern. Es unterteilt sich in die folgenden Ebenen.

Gliederung des Bauwerks mit Prüfumfang:

Ebene / Geschoss	Bezeichnung/ Funktion	Prüfumfang	Tragwerk	Höhen ¹⁾ [m]	
				OK Ftb	Geschoss~
	Turmspitze, Dach	außen, innen	Kupferblechdach	+28,90	
2/4 4.OG	Laternengeschoss	außen, innen	Stahlkonstruktion mit Blechmantel	+22,76	6,14
2/3 3.OG	Dienstzimmer	außen, innen (wo zugänglich)	Stahlkonstruktion mit Blechmantel	+19,06	3,70
2/2 2.OG	Küche	außen, innen (wo zugänglich)	Stahlkonstruktion mit Blechmantel	+14,90	4,16
2/1 1.OG	Schlafräum	außen, innen (wo zugänglich)	Stahlkonstruktion mit Blechmantel	+10,60	4,30
2/0 KG	Kellergeschoss	außen, innen	Stahlkonstruktion, Wandabschn. zw. Stützen ausgemauert, Decke aus Beton aufgelegt	+6,39	4,21
1 / S	Sockel (massiv)	außen	Beton und Mauerwerk von Blechmantel umschlossen	+0,23	6,16
0 / C	Caisson/ Gründungskörper	außen auf der begehbaren OK	Beton von Stahlkonstruktion umschlossen	-23,61	23,84

1) Die Höhenkoten sind der Zeichnung „Entwurf zur Sicherung und zum Ausbau des Leuchtturms Rotersand“ aus dem Jahr 1957 entnommen und auf das dort angegebene Normalhöhennull (NN) bezogen.

Die Fotonummerierung bei den jeweiligen Fotodokumentationen wird mit Bezug auf die Bauteile und deren Lage bezeichnet. Decken-/Dachbauteile werden immer mit Bezug auf die darunterliegende Ebene positioniert.

Schematik der Fotonummerierung: Pos. AA.BB.b.xx

Dabei steht „AA“ für das Geschoss:

- SO = Sockel
- KG = Kellergeschoss
- SZ = Schlafzimmer
- KÜ = Küche
- DZ = Dienstzimmer
- ER = Erker
- LG = Laternengeschoss
- DK = Dachkonstruktion
- XX = Gesamtbauwerk

„BB“ für die Stützenachse: - S01 bis S12

„b“ ist der Verweis auf die Lage:

- i = innen
- a = außen

und „xx“ ist die fortlaufende Bauteilnummerierung.

2.01.2 Art und Umfang der durchgeführten Arbeiten

Durchführung

Die Bauwerksprüfung wurde nach DIN 1076 (Ausgabe November 1999) [N_08] und nach den Regeln der RI-EBW-PRÜF (Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfung nach DIN 1076, Ausgabe 2004) [R_1] durchgeführt.

Zur Prüfung wurden die üblichen (leichten) Werkzeuge und Messmittel wie optische Entfernungsmessgeräte mit Lasertechnik, Risskarten und Ultraschalldickenmessgerät eingesetzt. Zur Feststellung des Korrosionsgrades von Stahlbauteilen war teilweise das Eindringen bzw. Durchdringen von Putz-/Mauerwerks-/Betonschichten und die Entfernung örtlicher Verschalungen, Anstriche und Schmutzschichten erforderlich. Zur Dokumentation der Schäden und Mängel kamen Digitalkameras zum Einsatz.

Die Ortstermine fanden vom 14.10. bis 16.10.2018 und vom 14. bis 16.05.2019 statt.

Alle zugänglichen Bauteile wurden soweit möglich handnah geprüft. Für die außenliegenden Bereiche wurden zur (gerüstfreien) Erschließung alpine technische Mittel eingesetzt.

Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

Bei der Bauzustandsanalyse wurde die äußere stählerne Ummantelung von der Unterkante des Turmsockels bis zur Turmspitze sowie das innere Stahltragwerk von der Unterkante des Kellergeschosses bis zur Dachkonstruktion erkundet.

Im Außenbereich konnte der tragende Stahlmantel ohne Einschränkungen erkundet werden. Die starke Korrosionsschutzbeschichtung verhindert örtlich eine genaue Einschätzung der darunter liegenden Stahlkonstruktion und erschwert die Auswertung der durchgeführten Messungen der Mantelblechstärke.

Im Innenbereich muss geschossweise die Zugänglichkeit der tragenden Stahlkonstruktion differenziert werden. Im Kellergeschoss liegen die inneren Stützenflansche und die stählernen Deckenträger frei und konnten ohne Beeinträchtigung untersucht werden. Ab dem Schlafraum (1. OG) bis zum Dienstraum (3. OG) sind die tragenden Stützen sowie Deckentragglieder durch Holzverschalung und -dielung verkleidet. In diesen Räumen konnten bei dem Ortstermin nur punktuelle Erkundungen durchgeführt werden. Die Wandkonstruktion der drei Erker ist mit einem innenliegenden Blechmantel verkleidet. Hier war es nicht möglich den Zustand der tragenden Wandprofile zu erfassen. Im Treppenerker wird der innere Blechmantel bis zur Höhe der Decke über Dienstraum

geführt, anschließend liegen die Wandprofile frei und konnten ebenso wie die gesamte zugängliche Stahltragkonstruktion im Laternengeschoss untersucht werden.

Hinweise zum Aufbau des Prüfberichts

Der nachfolgende *Abschnitt 2.02* gibt einen Überblick über die wichtigsten Ergebnisse der Prüfung. Die Zusammenfassung wird auf Schäden beschränkt, die in mindestens einer Bewertungskategorie mit ≥ 2 benotet wurden.

In den danach folgenden *Abschnitten 2.03 bis 2.08* zu den einzelnen Bauteilgruppen sind die vollständigen Listen der Schäden und Mängel, verbale Hinweise zu möglichen Schadensursachen und Instandsetzungsmaßnahmen, sowie eine Fotodokumentation abgelegt. Im *Anhang A2.1* sind Übersichtsbilder zur Lokalisierung der Schäden beigefügt.

In den Schadenstabellen sind die am Bauwerk festgestellten Schäden und Mängel aufgelistet und entsprechend RI-EBW-PRÜF [R_2] in den 3 Kategorien Standsicherheit (S), Verkehrssicherheit (V) und Dauerhaftigkeit (D) bewertet. Die Maxima jeder Kategorie führen zur Gesamtbewertung der betrachteten Bauteilgruppe. Die Maxima der drei Kategorien aller Bauteilgruppen ergeben die Gesamtbewertung des Bauwerkes. Dieses System ermöglicht einerseits einen schnellen Überblick über alle Schäden am Bauwerk und gibt andererseits Auskunft über die Bewertungsrelevanz der Einzelschäden²⁾.

Den Schadenstabellen vorangestellt sind kurze verbale Beschreibungen der wichtigsten Schäden sowie Angaben zu den Schadensursachen (wenn feststellbar).

Die Empfehlungen für die Instandsetzungsmaßnahmen sind nach der Dringlichkeit abgestuft. Im Rahmen des Prüfberichtes sind die Hinweise zu den Instandsetzungsmaßnahmen sehr knapp gehalten. Maßnahmen in diesem Sinne können auch weiterführende Untersuchungen sein.

Die Fotodokumentation beschränkt sich auf die beispielhafte bildliche Darstellung der wichtigsten angetroffenen Schäden und Mängel.

2) Der für die Berechnung einer Gesamtnote zugrunde liegende „Algorithmus zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken“ nach Heft 22 der Bundesanstalt für Straßenwesen, der auch bei dem Programmsystem SIB zur Anwendung kommt, führt zu einer Einzelnote. In dieser Note werden zwar alle Bewertungskategorien berücksichtigt, es ist jedoch nicht mehr nachvollziehbar, welche die maßgeblichen Schäden und Kategorien für das Zustandekommen der Note sind. Die Aussagekraft der Gesamtnote wird zudem durch eine unterschiedliche Bewertungsabstufung zwischen Einzelschaden und Gesamtbewertung geschwächt. Während der Einzelschaden in fünf verschiedene Stufen eingeteilt wird (0 bis 4), gibt es in der Gesamtbewertung nur noch vier Bewertungsstufen (1 bis 4). Aus diesen Gründen wird auf die Ausweisung einer bauwerksbezogenen Gesamtnote nach diesem Algorithmus verzichtet.

2.02 Zusammenfassung der Schäden für das Gesamtbauwerk

Die Gesamtbewertung ergibt in der Kategorie Dauerhaftigkeit die Note 4 sowie in der Kategorie Standsicherheit die Note 2. Die Kategorie Verkehrssicherheit ist am Leuchtturm von geringer Bedeutung und wurde nur bei Schäden an den Zustiegsleitern, Geländern oder Treppen berücksichtigt. In allen Bauteilgruppen sind mittelfristig Maßnahmen zur Schadensbeseitigung und Bauwerkserhaltung notwendig, um einer Verschlechterung des Zustandes entgegenzuwirken und die Dauerhaftigkeit zu sichern.

- Im Kellergeschoss sowie im Laternengeschoss einschließlich des Treppenerkers wurden teilweise starke Beschädigungen mit Querschnittsverlusten von über 30 % an tragenden Stahlbauteilen festgestellt. Der Grund für die Schädigung ist der Feuchteintrag in das Bauwerk. Der Grad der Schädigung hat derzeit schon Relevanz für die Tragfähigkeit. Sollten die Schadensursachen nicht behoben werden, ist eine weitere Verschlechterung des Bauwerkszustandes bis zur Standsicherheitsnote 4 zu erwarten. Daher wurde in Teilbereichen die Dauerhaftigkeit mit 4 bewertet.
- Im Bereich des Laternengeschosses und des Dienstzimmers sind durch stark korrodierte Bauteile Spalten und Löcher entstanden, die für den oben erwähnten Feuchteintrag in das Bauwerk mit verantwortlich sind. Für die Dauerhaftigkeit der gesamten Konstruktion ist es wichtig diese Problemstellen einschließlich der Türen und Fenster so auszuführen, dass kein Wasser in das Bauwerk gelangen kann.
- Die äußere Seite des Blechmantels ist vor allem durch örtliche bis großflächige Durchrostung der Beschichtung geschädigt. Daher ist, im Zusammenhang mit den Abdichtungsmaßnahmen, eine vollständige Wiederherstellung des Korrosionsschutzes auf der Außenseite erforderlich.

In der folgenden Tabelle sind nur Schäden und Mängel aufgeführt, die in mindestens einer der drei Bewertungskategorien mit ≥ 2 benotet wurden. Für jedes Bauteil ist dabei die Gesamtbewertung am Anfang der Auflistung fett gedruckt.

Schaden / Mangel	Schaden Nr.	Foto	Bewertung		
			S	V	D
Turmsockel und Caisson (Mantelfläche außen)			1	1	3
Mehrere Niet-/ Schraubenköpfe hintereinander abgerostet	1012-06	SO-S04-a-01	1	0	3
örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 4 bis Ri 5, ohne Substanzverlust (SK 3)	1015-09	SO-S02-a-05	0	0	2
großflächige Durchrostung der Beschichtung bis zu Rostgrad Ri 3, örtlich Ri 4 bis Ri 5 (SK 3)	1015-11	SO-S04-a-09 SO-S06-a-04	0	(1)	2
großflächiges Auftreten von Ablätterungen und/oder Blasen der Beschichtung nicht vom Stahl (SK 3)	1015-20	SO-S11-a-03	0	0	2
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, fortgeschritten, Schwächung 10-30 % (SK5)	1015-24	SO-S05-a-03	1	0	3
Spaltkorrosion und abgerostete Nietköpfe	---	SO-S02-a-02	0	0	3
Rostauffreibung mit angrenzenden Rostnarben	---	SO-S06-a-03	0	0	2
Unterrostete Beschichtung, Blattrostbildung	---	SO-S01-a-08	0	0	3
Turmoberteil KG bis KÜ (Mantelfläche außen)			0	0	3
Örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 4 bis Ri 5, ohne Substanzverlust (SK 3)	1015-09	KG-S06-a-05	0	0	2
Großflächige Durchrostung der Beschichtung bis zu Rostgrad Ri 3, örtlich Ri 4 bis Ri 5 (SK 3)	1015-11	KG-S10-a-05	0	0	2
Durchrostungen infolge Lochfraßkorrosion		SZ-S01-a-02	0	0	2
Spaltkorrosion mit starken Durchrostungen		KÜ-S01-a-01	0	0	3

Schaden / Mangel	Schaden Nr.	Foto	Bewertung		
			S	V	D
Turmoberteil DZ, ER, LG, DK (Mantelfläche außen)			1	0	3
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen	1011-01	DZ-S03-a-01	1	0	3
Mehrere Niet-/ Schraubenköpfe hintereinander abgerostet	1012-06	DZ-S06-a-02	1	0	3
Örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 4 bis Ri 5, ohne Substanzverlust (SK 3)	1015-09	ER-S12-a-14	0	0	2
Durchrostung an den Kanten (SK 3)	1015-14	DZ-S03-a-05 LG-S08-a-01	0	0	2
Durchrostungen infolge Lochfraßkorrosion		ER-S08-a-11	0	0	2
Spaltkorrosion mit Durchrostungen		DZ-S02-a-02	1	0	3
1 fehlender Niet, Loch in horiz. Fläche offen		ER-S12-a-03	0	0	3
Abdichtung Fenster schadhaf			0	0	2
Turmoberteil KG (innen)			2	0	4
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, beginnend, Schwächung < 10 % (SK4)	1011-01		1	0	3
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, fortgeschritten, Schwächung 10-30 % (SK5)	1011-02	KG-S06-i-10	2		4
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, stark, Kerbwirkung + Schwächung > 30 %, (SK5)	1011-03	KG-S09-i-08 KG-S07-i-57	2	0	4
Durchrostung an den Kanten (SK 3)	1015-14		0	0	2
Starke Verformung von Querschnitten durch Korrosion		KG-S09-i-12	1	0	3
Starke Ausblühungen am Mauerwerk			0	0	2
Turmoberteil SZ und KÜ (innen)			0	0	3
großflächige Durchrostung der Beschichtung mit Rostgrad Ri 4 bis Ri 5 ohne Substanzverlust (SK 4)	1015-12	SZ-S01-i-07 u.a.	0	0	2
Risse in der Beschichtung bis zum Stahl mit Rostaustritt (SK 4)	1015-18	SZ-S01-i-02	0	0	3
Turmoberteil DZ, ER, LG und DK			2	0	4
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, beginnend, Schwächung < 10 % (SK4)	1011-01		1	0	3
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, stark, Kerbwirkung + Schwächung > 30 %, (SK5)	1011-03	ER-S12-i-45	2	0	4
Schraube/Nietensicherung fehlt oder nicht fachgerecht, bei rohen Schraube/Nieten und Passschraube/Nieten	1012-04	ER-S04-i-09	1	0	2
Örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 4, ohne Substanzverlust (SK 3)	1015-09	ER-S08-i-05	0	0	2
Großflächige Durchrostung der Beschichtung mit Rostgrad Ri 4 bis Ri 5 ohne Substanzverlust (SK 4)	1015-12	DZ-S05-i-08	0	0	2
Durchrostung an den Kanten (SK 3)	1015-14	ER-S12-i-40	0	0	2
Unplanmäßige Öffnung zwischen Fenster und Stahlkonstruktion		ER-S12-i-39	0	0	3
Wasser im unteren Bereich der Erker			0	0	2
Durchrostung von mehreren Traggliedern in Folge	1071-07	DK-S01-a-01	1	2	2
Abdichtung Balkon gerissen			0	0	2
Gesamtzustandsbewertung Leuchtturm Roter Sand			2	1	4

2.03 Außenseite Stahlmantelfläche des Sockels und Caissons

2.03.1 Vorhandene Schäden / Mängel und deren Bewertung

Die äußeren stählernen Mantelbleche des Turmsockels befinden sich unter Berücksichtigung der Lage in der Wasserwechselzone und des Materialalters soweit ersichtlich in einem relativ guten Zustand.

Die Beschichtung der Mantelbleche ist häufig in unterschiedlich starker Ausbildung von örtlicher bis großflächiger Korrosion (Rostgrad Ri 3, bis örtlich Ri 4 und Ri 5; Schadensklasse SK 3) zumeist ohne bzw. nur mit geringem Substanzverlust beschädigt. Die Blechstärke konnte durch Ultraschallmessung an einer stark korrodierten Stelle gemessen und eine Querschnittsminderung von ca. 30 % festgestellt werden. Die Schädigungen treten im Bereich von Ost über Süd nach West in stärkerem Maß auf. Des Öfteren beginnt die Korrosion an den Blechstößen, wo das Korrosionsschutzsystem nicht optimal aufgetragen werden konnte bzw. konstruktionsbedingt Kanten und Spalte zwischen den gestoßenen Blechen auftreten. Hinsichtlich der statischen Situation ziehen die Schäden eine geringe Beeinträchtigung der Standsicherheit an den Stellen der Querschnittsminderung nach sich. Die Dauerhaftigkeit wird allerdings stark herabgesetzt, was sich bei unterlassener Instandsetzung auf die Standsicherheit auswirken kann.

Ein weiteres lokal auftretendes Schadensbild sind abgerostete Nietköpfe und dadurch einsetzende Spaltkorrosion. Auch hier sind die Schädigungen hauptsächlich auf der östlichen, südlichen und westlichen Turmseite vorhanden und auf die Konstruktionsweise mit Übergängen und Kanten zurückzuführen. Die Tragfähigkeit des Sockelmantels ist im Bereich der fehlenden Nietköpfe herabgesetzt. Die Herabsetzung der Tragfähigkeit ist allerdings beim aktuellen Schädigungsumfang untergeordnet, vielmehr ist die Beeinträchtigung hinsichtlich der Dauerhaftigkeit durch die fehlenden Niete hervorzuheben, da so Feuchtigkeit hinter die Stahlbleche gelangen kann und Korrosion auf der Innenseite des Mantels und der darunter liegenden Stahlkonstruktion eintritt bzw. fortschreitet. Das eintretende Wasser kann außerdem die massive Verfüllung des Sockels bestehend aus Mauerwerk und Beton angreifen. Dadurch kann ohne Instandsetzung der Mängel auf Dauer die Standsicherheit des Turmsockels beeinträchtigt werden.

Die neue Mantelfläche der übergestülpten Caissonverstärkung konnte aufgrund der Randbedingungen (Wasserstand, Bewuchs) nur hinsichtlich der Wandungsstärke im oberen Bereich untersucht werden. Die Blechstärke wurde durch zwei Ultraschallmessung bestimmt zu $t_{1CA} = 29,4$ mm und $t_{2CA} = 30,1$ mm und kann dadurch als ungeschädigt im Bereich der Wasserwechselzone angesehen werden.

Die am Turmsockel festgestellten Schäden sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Schaden / Mangel	Schaden Nr.	Foto	Bewertung		
			S	V	D
Turmsockel und Caisson (Mantelfläche außen)			1	1	3
Mehrere Niet-/ Schraubenköpfe hintereinander abgerostet	1012-06	SO-S04-a-01	1	0	3
örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 3 (SK 2)	1015-08	-	0	0	1
örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 4 bis Ri 5, ohne Substanzverlust (SK 3)	1015-09	SO-S02-a-05	0	0	2
großflächige Durchrostung der Beschichtung bis Rostgrad Ri 1 bis Ri 2, örtlich Ri 2 bis Ri 4 (SK 2)	1015-10	SO-S03-a-04	0	0	1
großflächige Durchrostung der Beschichtung bis zu Rostgrad Ri 3, örtlich Ri 4 bis Ri 5 (SK 3)	1015-11	SO-S04-a-09 SO-S06-a-04	0	(1)	2
großflächiges Auftreten von Ablätterungen und/oder Blasen der Beschichtung nicht vom Stahl (SK 3)	1015-20	SO-S11-a-03	0	0	2
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, fortgeschritten, Schwächung 10-30 % (SK5)	1015-24	SO-S05-a-03	1	0	3
Optische Veränderung durch Bewitterung (Moosansatz, Algen)	1001-02		0	0	0

Schaden / Mangel	Schaden Nr.	Foto	Bewertung		
			S	V	D
Spaltkorrosion und abgerostete Nietköpfe	---	SO-S02-a-02	0	0	3
Rostaufreibung mit angrenzenden Rostnarben	---	SO-S06-a-03	0	0	2
Unterrostete Beschichtung, Blattrostbildung	---	SO-S01-a-08	0	0	3

2.03.2 Empfehlungen für die Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen

Um den Turmsockel in seinem aktuellen Zustand zu erhalten ist es unumgänglich nicht mehr vorhanden Niete zu ersetzen und den vollflächigen Korrosionsschutz des Blechmantels wiederherzustellen.

2.03.3 Fotodokumentation



Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
SO-S04-a-01	<p>mehrere Niet-/Schraubenköpfe hintereinander abgerostet.</p> <p>Schadens ID: 1012-06 (S = 1, D = 3)</p> <p>großflächige Durchrostung der Beschichtung bis zu Rostgrad Ri 3, örtlich Ri 4 bis Ri 5 (SK 3)</p> <p>Schadens ID: 1015-11 (D = 2)</p> <p>Rostaufreibung mit angrenzenden Rostnarben, alte Reparaturschweißung</p> <p>(S= 1, D = 3)</p>	
SO-S02-a-05	<p>Örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 4 bis Ri 5, ohne Substanzverlust (SK 3)</p> <p>Schadens ID: 1015-09 (D =2)</p>	


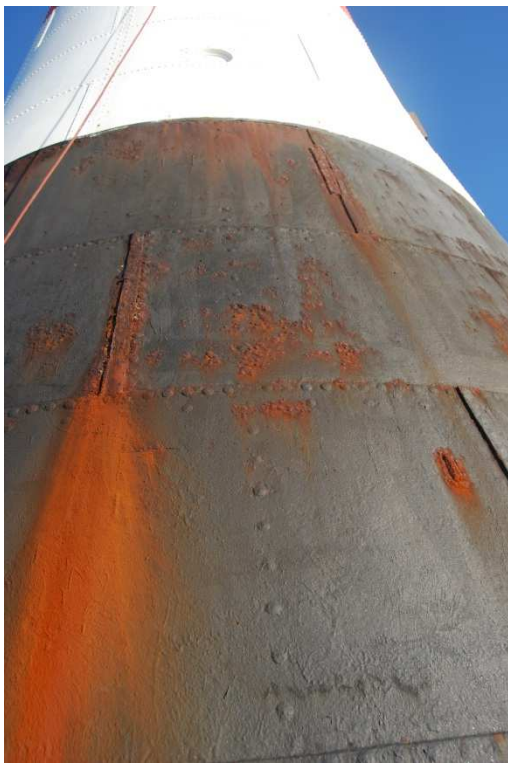
Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
SO-S03-a-04	Großflächige Durchrostung der Beschichtung bis Rostgrad Ri 1 bis Ri 2, örtlich Ri 2 bis Ri 4 (SK 2) Schadens ID: 1015-10 (D = 1)	
SO-S04-a-09	Großflächige Durchrostung der Beschichtung bis zu Rostgrad Ri 3, örtlich Ri 4 bis Ri 5 (SK 3) Schadens ID: 1015-11 (D = 2)	

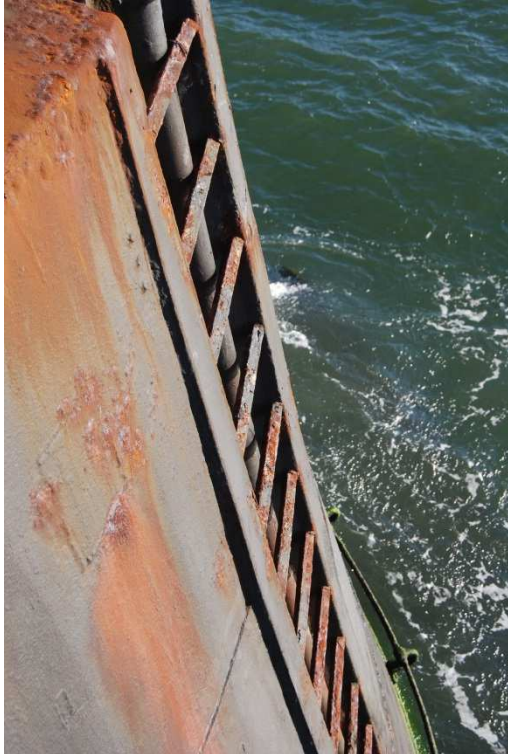

Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
SO-S06-a-04	Großflächige Durchrostung der Beschichtung bis zu Rostgrad Ri 3, örtlich Ri 4 bis Ri 5 (SK 3) Schadens ID: 1015-11 (V = 1, D = 2)	
SO-S11-a-03	großflächiges Auftreten von Abblätterungen und/oder Blasen der Beschichtung nicht vom Stahl (SK 3) Schadens ID: 1015-20 (D = 2)	



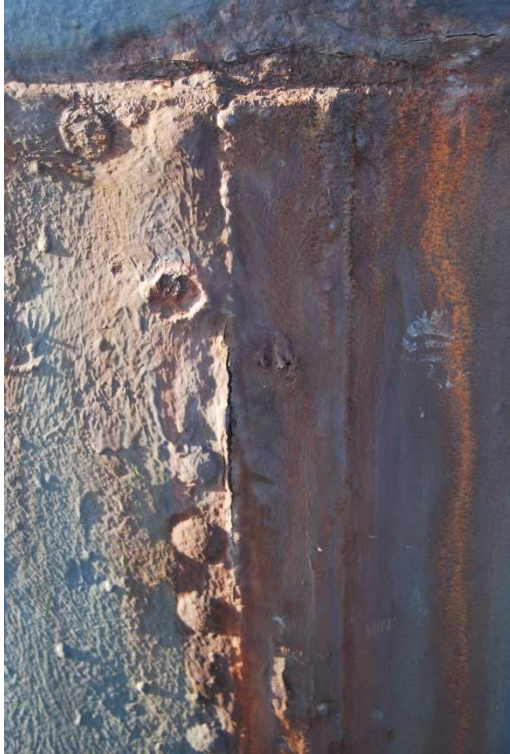

Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
SO-S05-a-03	<p>Messung Wandstärke im korrod. Bereich: $t=7,6$ mm, nicht korrodiert: $t=10,3$mm</p> <p>Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, fortgeschritten, Schwächung 10-30% (SK5)</p> <p>Schadens ID: 1015-24 (S = 1, D = 3)</p>	
SO-S06-a-03	<p>Rostaufreibung, Nietköpfe abgerostet.</p> <p>(S = 1, D = 2)</p>	

Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
SO-S02-a-02	Spaltkorrosion und abgerostete Nietköpfe (S = 1, D = 3)	
SO-S01-a-08	Unterrostete Beschichtung, Blattrostbildung (D = 3)	

2.04 Außenseite Stahlmantelfläche Kellergeschoss bis Küchenraum

2.04.1 Vorhandene Schäden / Mängel und deren Bewertung

Die äußere Mantelkonstruktion des Turmoberteils im Bereich des Kellergeschosses bis zum Küchenraum befindet sich in einem verhältnismäßig guten Zustand.

Die Mantelbleche sind häufig in unterschiedlich starker Ausbildung von örtlicher bis großflächiger Korrosion beschädigt. Die Schädigungen sind im Kellergeschoss deutlich häufiger und stärker ausgeprägt als in den beiden darüber liegenden Geschossen (Schlafraum und Küche). Im Kellergeschoss wurde meist der Rostgrad Ri 4 bis Ri 5 und eine Schadensklasse SK 3 erkundet, wohingegen im Schlafraum Rostgrade zwischen Ri 2 bis Ri 3 mit der Schadensklasse SK 2 und in Höhe der Küche vorwiegend Rostgrade zwischen Ri 1 und Ri 2 und die zugehörige Schadensklasse SK 1 festgestellt wurden. Die Schäden sind über den gesamten Turmumfang ähnlich verteilt. Die Blechstärke konnte durch Ultraschallmessung an einer korrodierten Stelle mit $t = 10,5$ mm gemessen werden. Es ist also keine Querschnittsminderung gegenüber den geplanten Blechstärken eingetreten. Die Korrosion beginnt, wie im Sockel, an den Blechstößen, wo das Korrosionsschutzsystem bedingt durch die Konstruktionsweise (Kanten und Spalte zwischen den gestoßenen Blechen) geschwächt ist. Hinsichtlich der Standsicherheit ziehen die Schäden noch keine Beeinträchtigung nach sich. Die Dauerhaftigkeit wird allerdings herabgesetzt, was sich bei unterlassener Instandsetzung auf die Standsicherheit auswirkt.

Im Übergangsgesims der Küche zum Dienstzimmer treten lokal Spaltkorrosion mit Durchrostungen auf. Die betroffenen Bauteile sind als nichttragend einzustufen. Die Schäden haben also keine Auswirkung auf die Standsicherheit, sondern ausschließlich auf die Dauerhaftigkeit, da durch die entstandenen Spalten und Löcher Feuchtigkeit ins Tragwerk eingetragen werden kann. Die eingetretene Lochfraßkorrosion im Bereich des Lüftungsrohres auf der östlichen Turmseite ist ebenfalls wie die oben erwähnte Spaltkorrosion einzustufen.

Die am Turmoberteil vom Kellergeschoss bis zur Küche festgestellten Schäden sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Schaden / Mangel	Schaden Nr.	Foto	Bewertung		
			S	V	D
Turboberteil KG bis KÜ (Mantelfläche außen)			0	0	3
Montagehilfen nicht entfernt (Anschlagösen, Bindedraht etc.), mit Korrosion	1001-07		0	0	1
Örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 4 bis Ri 5, ohne Substanzverlust (SK 3)	1015-09	KG-S06-a-05	0	0	2
Großflächige Durchrostung der Beschichtung bis Rostgrad Ri 1 bis Ri 2, örtlich Ri 2 bis Ri 4 (SK 2)	1015-10	SZ-S10-a-01	0	0	1
Großflächige Durchrostung der Beschichtung bis zu Rostgrad Ri 3, örtlich Ri 4 bis Ri 5 (SK 3)	1015-11	KG-S10-a-05	0	0	2
Durchrostungen infolge Lochfraßkorrosion		SZ-S01-a-02	0	0	2
Spaltkorrosion mit starken Durchrostungen		KÜ-S01-a-01	0	0	3

2.04.2 Empfehlungen für die Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen

Der Korrosionsschutz des äußeren Blechmantels im Bereich des Kellergeschosses bis zur Küche ist mindestens an den schadhaften Stellen grundhaft instand zu setzen und durch eine vollflächige Deckbeschichtung zu ertüchtigen (Teilerneuerung).

2.04.3 Fotodokumentation



Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
<p>KG-S06-a-05</p>	<p>Örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 4 bis Ri 5, ohne Substanzverlust (SK 3)</p> <p>Schadens ID: 1015-09 (D = 2)</p>	
<p>SZ-S10-a-01</p>	<p>Großflächige Durchrostung der Beschichtung bis Rostgrad Ri 1 bis Ri 2, örtlich Ri 2 bis Ri 4 (SK 2)</p> <p>Schadens ID: 1015-10 (D = 1)</p>	





Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
KG-S10-a-05	Großflächige Durchrostung der Beschichtung bis zu Rostgrad Ri 3, örtlich Ri 4 bis Ri 5 (SK 3) Schadens ID: 1015-11 (D = 2)	
KG-S10-a-06	Rostpunkt, hier Messung der Wandstärke mit $t = 10,5\text{mm}$ (D = 1)	

Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
SZ-S01-a-02	Durchrostungen in- folge Lochfraß- korrosion (D = 2)	
KÜ-S01-a-01	Spaltkorrosion mit starken Durchros- tungen (D = 3)	

2.05 Außenseite Stahlmantelfläche Dienstraum mit Erkern und Laternengeschoss sowie Dachkonstruktion

2.05.1 Vorhandene Schäden / Mängel und deren Bewertung

Die äußere Mantelkonstruktion des Turmoberteils im Bereich des Dienstraums, der Erker und der Laterne befindet sich in einem hinsichtlich der Dauerhaftigkeit kritischen Zustand.

Auf Höhe des Dienstraumes und der Erker ist die Beschichtung der Mantelbleche von örtlicher Korrosion beschädigt. Die Schädigungen treten meist an den Gesimsen, Kanten und Übergängen auf. Sie variieren zwischen den Rostgraden Ri 3 bis punktuell Ri 5 und den entsprechenden Schadensklassen SK 2 bis SK 3. Die Gesimse sind außerdem infolge von Spalt- und Lochfraßkorrosion punktuell durchrostet. Teilweise haben sich diese Schadensbilder schon bis zur Rostaufreibung, Durchrostung der Kanten und zur beginnenden Querschnittsminderung an der Stahlkonstruktion ausgeweitet. Die Schwächungen betragen weniger als 10 % (Schadensklasse 4) und treten relativ homogen über den Turmumfang zumeist am Gesims unterhalb der Galerie bzw. in Höhe der Decke über Küche auf. Ein weiterer Schaden sind teilweise fehlende Nieten bzw. abgerostete Nieten.

Die Korrosion ist an den oben genannten Bauteilen bzw. Anschlüssen vergleichsweise stark ausgeprägt, da das Korrosionsschutzsystem an den vielen Übergängen, Kanten und Stößen geschwächt ist und sich genau an diesen Stellen Wasser ansammelt.

Die Dauerhaftigkeit wird durch die genannten Schäden maßgeblich herabgesetzt. Das betrifft nicht nur die aufgeführten Außenbauteile, sondern ebenso die anschließenden Innenbauteile (Blechmantelinnenseite, Stahltragkonstruktion der Wände und Decken), da durch die entstandenen Löcher und Spalte Feuchtigkeit in das Bauwerk und an die entsprechenden Bauteile gelangen kann, wodurch dort die Korrosion begünstigt wird. Durch die Querschnittsminderungen ist die Tragfähigkeit der betroffenen Bauteile verringert. Die Auswirkungen auf das globale Tragwerk des Turms sind in den geschädigten (nichttragenden) Gesimsbereichen vernachlässigbar.

Bei der Prüfung der Außenhaut wurden Stellen erkundet, an denen Abrostungen überstrichen wurden. Diese Bereiche sind im Zuge der Erneuerung der Beschichtungen grundhaft zu überarbeiten. Die Abdichtung der Fenster in den Erkern ist teilweise beschädigt. Dadurch wird die Dauerhaftigkeit infolge Wassereintrag herabgesetzt.

Die oben aufgeführten Schädigungen durch Korrosion können größtenteils auf das Laternengeschoss einschließlich dem absturzsichernden Geländer hinsichtlich der Art und der Auswirkungen auf das Bauwerk übertragen werden.

Die aus Kupfer bestehende Dachkonstruktion weist, bis auf den örtlich abblätternden Dickschichtanstrich, keine nennenswerten Schädigungen auf.

Die am Turmoberteil vom Dienstzimmer, den Erkern einschließlich des Laternengeschosses sowie der Dachkonstruktion festgestellten Schäden auf der Außenseite sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Schaden / Mangel	Schaden Nr.	Foto	Bewertung		
			S	V	D
Turmoberteil DZ, ER, LG, DK (Mantelfläche außen)			1	0	3
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen	1011-01	DZ-S03-a-01	1	0	3
Mehrere Niet-/ Schraubenköpfe hintereinander abgerostet	1012-06	DZ-S06-a-02	1	0	3
örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 1 bis Ri 2 (SK 1)	1015-07		0	0	0
örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 3 (SK 2)	1015-08		0	0	1
Örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 4 bis Ri 5, ohne Substanzverlust (SK 3)	1015-09	ER-S12-a-14	0	0	2
Großflächige Durchrostung der Beschichtung bis Rostgrad Ri 1 bis Ri 2, örtlich Ri 2 bis Ri 4 (SK 2)	1015-10		0	0	1

Schaden / Mangel	Schaden Nr.	Foto	Bewertung		
			S	V	D
Rostaustritt aus den Spalten ohne sichtbaren Substanzverlust (Spaltkorrosion) (SK 3)	1015-13		0	0	2
Durchrostung an den Kanten (SK 3)	1015-14	DZ-S03-a-05 LG-S08-a-01	0	0	2
Durchrostung von einzelnen Traggliedern (betrifft Geländer)	1071-06	LG-S09-a-01	1	1	2
Durchrostung von mehreren Traggliedern (betrifft Leiterkonstruktion)	1071-07	DK-S01-a-01	1	2	2
Durchrostungen infolge Lochfraßkorrosion		ER-S08-a-11	0	0	2
Spaltkorrosion mit Durchrostungen		DZ-S02-a-02	1	0	3
1 fehlender Niet, Loch in horiz. Fläche offen		ER-S12-a-03	0	0	3
Abdichtung Fenster schadhaf			0	0	2
Abdichtung Balkon gerissen		ER-S04-a-16	0	0	2
alte Abrostung, überstrichen			0	0	0
Dickschichtanstrich auf Kupferblech der Turmhaube, blättert teilweise ab			0	0	1

2.05.2 Empfehlungen für die Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen

Für eine dauerhafte Instandsetzung wird empfohlen die beschädigten Querschnittsteile zu ersetzen um eine voll funktionierende Außenhülle im oberen Bereich des Turmoberteils zu erhalten. Von Reparaturen an den bestehenden geschädigten Querschnitten wird abgeraten, da es nach Meinung der Verfasser durch die gegebenen Randbedingungen (Material, Konstruktionsweise) nicht möglich ist dies fachgerecht auszuführen.

Im Zuge der Instandsetzungsarbeiten ist mindestens eine Teilerneuerung des Korrosionsschutzsystems durchzuführen. Des Weiteren sind alle Öffnungsabdichtungen zu erneuern.

2.05.3 Fotodokumentation

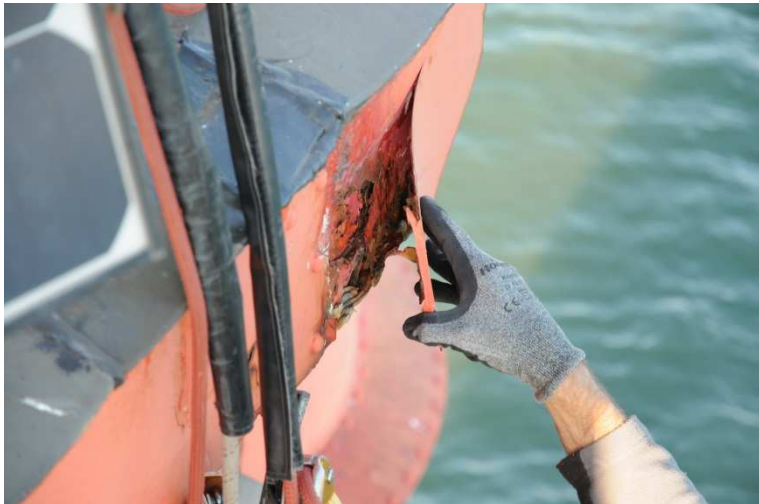
Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
DZ-S03-a-01	<p>Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, beginnend, Schwächung < 10 % (SK 4)</p> <p>Schadens ID: 1011-01 (S = 1, D = 3)</p>	



Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
DZ-S06-a-02	Mehrere Niet-/ Schraubenköpfe hintereinander abge- rostet Schadens ID: 1012-06 (S = 1, D = 3)	
ER-S12-a-14	Örtliche Durch- rostung der Be- schichtung, Rostgrad Ri 4 bis Ri 5, ohne Substanzverlust (SK 3) Schadens ID: 1015-09 (D = 2)	


Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
DZ-S03-a-05	Durchrostung an den Kanten (SK 3) Schadens ID: 1015-14 (D = 2)	
LG-S08-a-01	Durchrostung an den Kanten (SK 3) Schadens ID: 1015-14 (D = 2)	
LG-S09-a-01	Durchrostung von einzelnen Traggliedern (betrifft Geländer) Schadens ID: 1071-06 (S = 1, V = 1, D = 2)	







Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
DK-S01-a-01	Durchrostung von mehreren Traggliedern (betrifft Leiterkonstruktion) Schadens ID: 1071-07 (S = 1, V = 2, D = 2)	
ER-S08-a-11	Durchrostungen infolge Lochfraßkorrosion (D = 2)	
DZ-S02-a-02	Spaltkorrosion mit starken Durchrostungen (S = 1, D = 3)	

Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
ER-S12-a-03	Ein fehlender Niet, Loch in horiz. Fläche offen (D = 3)	
ER-S08-a-05	Abdichtung Fenster schadhaft (D = 2)	
ER-S04-a-16	Abdichtung Balkon gerissen (D = 2)	

2.06 Innenseite Kellergeschoss

2.06.1 Vorhandene Schäden / Mängel und deren Bewertung

Im Kellergeschoss liegen die Oberflächen der inneren, beschichteten Flansche der zwölf umlaufend angeordneten Stahlstützen frei. Die Beschichtung besteht vermutlich aus mehreren Anstrichen. Die Flansche sind, insbesondere im oberen Stützenbereich, oft stark korrodiert bis hin zu Abplattungen mit einem Querschnittsverlust von mehr als 30 % und starken (korrosionsbedingten) Verformungen. Die Stützen auf der westlichen Turmseite, besonders an der westlichen Tür (Achsen 6 und 7), sind dabei stärker betroffen als die auf der östlichen Seite.

Um einen Eindruck vom Zustand der Stahlquerschnitte im Inneren des Mauerwerks zu bekommen, wurde am Fußpunkt der Stütze in Achse 7 (westlicher Eingang) das im Stegbereich liegende Mauerwerk und Bereiche des Fußbodenaufbaus über eine Höhe von ca. 10 cm entfernt. Dabei wurde in den oberen ca. 7 cm feuchtes Bohrmehl gefördert. Unter einer ca. 8 bis 10 mm starken angenieteten Fußplatte wurde eine ca. 10 bis 15 mm dicke Schicht aus sehr sprödem, ferromagnetischen Material vorgefunden. Eine genauere Bestimmung war nicht möglich. Das freigelegte L-Profil ist Bestandteil des Stützenquerschnitts. Die genietete Verbindung des L-Profils an den Stützensteg zeigt keinen Spalt und das im Mauerwerk gelegene Stegblech bzw. der Schenkel des L-Winkels sind (an der Erkundungsstelle) nur an der Oberfläche korrodiert und weisen keine Querschnittsminderung auf. Der flanschbildende Schenkel zeigt Abplattungen durch Korrosion mit Querschnittsminderung von mehr als 30 %.

Am Stützenkopf der Stütze in Achse 9 im Bereich des Treppenlaufs wurden die Anstriche und die Mörtelschicht entfernt. Der freigelegte Stahlquerschnitt war sehr spröde, feucht und mehr als 30 % im Querschnitt geschwächt. Am Stützenkopf in Achse 7 zeigt sich eine ähnliche Situation.

Insgesamt ist der Zustand der Stützen hinsichtlich der Tragfähigkeit und der Dauerhaftigkeit als kritisch zu beurteilen.

Während des Ortstermins im Oktober 2018 (der bei mildem, sonnigem Wetter stattfand) war die Zugangstür (zwischen den Achsen 1 und 12) offen. Das führte zu einer verstärkten Kondensatbildung an den Wandoberflächen des Mauerwerks im Kellergeschoss. Die Korrosion an den innen-seitigen Gurten der Stützen deutet darauf hin, dass regelmäßig Kondensation auftritt (undichte Türen). Davon abweichend werden die weißen Ausblühungen am Mauerwerk in Achse 2 auf Beschädigungen im Belüftungssystem der Nasszelle zurückgeführt.

Zwischen den Stützen in den Achsen 10 und 11 hat sich das Mauerwerk unter der Kellergeschossdecke über einen Bereich von ca. 80 x 50 cm verformt. Die Ursache dafür konnte nicht ergründet werden.

Die Stahlkonstruktion der Decke ist im Kellergeschoss frei zugänglich. Hier muss besonders auf eine stark korrodierte Stelle direkt vor der Mauerwerkswand mit Querschnittsverlust am Steg und dem unteren Flansch am Träger in Achse 12 hingewiesen werden. Die Lage und das Ausmaß des Schadens sind für die Standsicherheit und die Dauerhaftigkeit als kritisch zu bewerten. Inwieweit sich der Schaden im Mauerwerk fortsetzt ist noch zu ergründen.

Weiterhin wurden zwischen den Trägern in den Achsen 2 und 5, 5 und 6 sowie 8 und 11 nachträglich Stahlstangen mit einem Durchmesser von ca. 35 mm eingebaut. Dabei handelt es sich vermutlich um Hilfskonstruktionen zur Aufhängung von Ausstattungsgegenständen, die für das Gebäude-tragwerk nicht relevant sind. Die Stangen wurden nicht fachgerecht durch die Träger in den Achsen 2, 5, 6, 8 und 11 geführt, indem Aussparungen in Größen von ca. 5x5 cm in den entsprechenden Trägerstegen hergestellt wurden. Im Träger in Achse 12 befindet sich ebenfalls ein solcher Durchbruch, obwohl hier keine Stange eingebaut ist. Die Aussparungen setzen die Tragfähigkeit der Träger herab, da sie die betroffenen Träger in der Nähe der Auflager schwächen.

Abschließend ist an der Stahldeckenkonstruktion noch eine örtliche, unterschiedlich stark ausgebildete Durchrostung der Beschichtung anzumerken. Die Schädigungen treten besonders an den unteren Flanschen der I-Profile auf und erreichen Rostgrade zwischen Ri 1 und Ri 2.

Die Beschichtung des Wellblechs, welches als verlorene Schalung für den Aufbeton diente, blättert ab. Das Wellblech hat zwischen den Trägern in den Achsen 11 und 12 eine Fehlstelle mit einer Ausdehnung von ca. 15x5 cm. Außerdem sind nachträgliche Durchbrüche durch den massiven Teil der Kellergeschossdecke links neben dem Träger in Achse 12 bzw. direkt rechts am Träger in Ach-

se 11 zu erwähnen. Die Durchbrüche sind ca. 20x20 cm groß und dienen der Durchführung von Versorgungsleitungen (Wasser, Elektro).

Der Zustand des Betons auf dem Wellblech konnte aufgrund fehlender Zugänglichkeit nicht erkundet werden.

Die auf der Innenseite des Kellergeschosses festgestellten Schäden sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Schaden / Mangel	Schaden Nr.	Foto	Bewertung		
			S	V	D
Turmoberteil KG (innen)			2	0	4
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, beginnend, Schwächung < 10 % (SK4)	1011-01		1	0	3
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, fortgeschritten, Schwächung 10-30 % (SK5)	1011-02	KG-S06-i-10	2		4
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, stark, Kerbwirkung + Schwächung > 30 %, (SK5)	1011-03	KG-S09-i-08 KG-S07-i-57	2	0	4
Örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 1 bis Ri 2 (SK 1)	1015-07	KG-S01-i-18	0	0	0
Durchrostung an den Kanten (SK 3)	1015-14		0	0	2
Mehrfach Ablätterungen und/oder Blasen in der Beschichtung nicht vom Stahl (SK 2)	1015-19		0	0	1
Starke Verformung von Querschnitten durch Korrosion		KG-S09-i-12	1	0	3
Nachträglicher Durchbruch durch Profilsteg			1	0	0
Nachträglicher Durchbruch durch Betondecke			0	0	0
Fehlstelle im Wellblech			0	0	0
Starke Ausblühungen am Mauerwerk			0	0	2

2.06.2 Empfehlungen für die Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen

Zur Planung der Instandsetzungsmaßnahmen wird angeraten den Feuchtgehalt und die Carbonatisierungstiefe des Mauerwerks bzw. Mörtels zu bestimmen. Mindestens die an der Belüftungsöffnung geschädigten Bereiche des Mauerwerks sind zu sanieren.

Für die Bewertung des Zustandes der Verankerung der Stützen und der Ankerköpfe sind weitere Erkundungen erforderlich. Für eine grundlegende Instandsetzung der tragenden Stahlbauteile im Kellergeschoss, bei der beschädigte Bauteile ersetzt bzw. verstärkt werden und der Korrosionsschutz erneuert wird, ist ein Freilegen der betroffenen Bauteile erforderlich.

Die Deckenträger mit den in der Vergangenheit hergestellten Durchbrüchen in den Stegen sind zu ertüchtigen, sodass deren ursprüngliche Tragfähigkeit wieder gegeben ist.

2.06.3 Fotodokumentation



Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
KG-S06-i-10	Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, fortgeschritten, Schwächung 10-30 % (SK 5) Schadens ID: 1011-02 (S = 2, D = 4)	
KG-S09-i-08	Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, stark, Kerbwirkung + Schwächung > 30 %, (SK 5) Schadens ID: 1011-03 (S = 2, D = 4)	



Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
KG-S12-i-14	Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, stark, Kerbwirkung + Schwächung > 30 %, (SK 5) Schadens ID: 1011-03 (S = 2, D = 4)	
KG-S07-i-57	Öffnungsstelle am Fußpunkt von S07: Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, stark, Kerbwirkung + Schwächung > 30 %, (SK 5) Schadens ID: 1011-03 (S = 2, D = 4)	




Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
KG-S01-i-18	Örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 1 bis Ri 2 (SK 1) Schadens ID: 1015-07	
KG-S09-i-12	Starke Verformung von Querschnitten durch Korrosion (S = 1, D = 3)	

Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
KG-S02-i-02	Starke Ausbühungen am Mauerwerk (D = 2) Nachträglicher Durchbruch durch Profilsteg (S = 1)	

2.07 Innenseite Schlafraum bis Küchenraum

2.07.1 Vorhandene Schäden / Mängel und deren Bewertung

Die Untersuchungen des Bauwerkszustandes im Schlafraum und in der Küche konnten aufgrund der vollflächig angebrachten Holzverschalung nur punktuell durchgeführt werden.

Im Schlafzimmer wurden die in der Vertäfelung eingebauten Lüftungsöffnungen und eine weitere gebohrte Öffnung zur Erkundung genutzt. Die dahinterliegende Holzkonstruktion war durchgängig trocken und in gutem Zustand. Die Stahlkonstruktion konnte nur mithilfe des Fotomaterials eingeschätzt werden. Die Aussagekraft der Bewertung ist durch die Methodik und den Untersuchungsumfang beschränkt. Die Ansichtsfläche des Stegs der Stütze in Achse 1 zeigt eine beinahe durchgängige Oberflächenkorrosion des Stahls. In einem kleinen Bereich ist noch eine Art Beschichtung zu erkennen. Es ist von keiner relevanten Querschnittsminderung des Profilsteiges auszugehen. Diese Annahme basiert erstens auf dem im darüber liegenden Küchengeschoss festgestellten Zustand und zweitens auf der augenscheinlich homogenen Korrosionsschicht, die auf keine Spaltkorrosion oder andere örtlichen Querschnittsminderung hindeutet. Die Anschlüsse des Stegs an die Winkelprofile konnten nicht erkundet werden. Hier können aufgrund der Konstruktionsweise stärkere Schädigungen auftreten. Die Innenseite des Außenmantels weist einen ähnlichen Zustand wie der Stützensteg auf. Insgesamt sind diese Schädigungen als unbedenklich hinsichtlich der Standsicherheit einzustufen. Die Dauerhaftigkeit wird durch die Korrosion beeinträchtigt.

Bei der Erkundung des Raumes zwischen der inneren Holzschalungen und dem Mantelblech wurden auf dem Mauerwerk des Kellergeschosses Korrosionsrückstände festgestellt. Diese stammen vermutlich von der Innenseite des Mantelbleches und der Ringsteife in Höhe der Decken über dem Schlafraum.

Die Fensteröffnungen sind mittels Stahlkästen durch die beiden Holzschalungen geführt und von innen zugänglich. Außen sind an den Fensteröffnungen örtliche Durchrostungen der Beschichtungen mit Rostgraden von Ri 1 bis Ri 2 festzustellen. Am Stahlkasten zwischen den Stützen in den Achsen 1 und 2 sind von der Außenseite Rostfahnen und Risse im Korrosionsschutzsystem zu erkennen. Die Beschichtung ist örtlich durchrostet und die Voraussetzungen für Spaltkorrosion sind gegeben.

Die Deckenkonstruktion über dem Schlafraum konnte von unten nur an den ungeschädigten Voutenblechen begutachtet werden. Von der Oberseite konnte sie durch eine im Kücheneinbauschrank bei der Stütze in Achse 5 gebohrte Untersuchungsöffnung punktuell erkundet werden. Hier wurde ein horizontales Stahlblech mit einer Dicke von $t = 5$ mm vorgefunden, welches vermutlich oberhalb der Stützenköpfe umlaufend angebracht ist (Ringsteife, vermutlich ähnlich der Konstruktion in der Decke über KG). Das trockene Blech weist eine gleichmäßige Oberflächenkorrosion ohne relevante Querschnittsminderung auf. Auf dem Blech wurden, wie auch im Schlafraum, Korrosionsrückstände vorgefunden.

Im Küchengeschoss konnte die Stütze in Achse 5 durch eine weitere horizontale Öffnung im Kücheneinbauschrank ca. 20 cm über dem Fertigfußboden begutachtet werden. An dem trockenen und unbeschädigten Nietprofil ist die Grundierung noch vorhanden. Die Stärke des Stützensteiges wurde mittels Ultraschallmessgeräte zu $t = 8$ mm bestimmt.

Die Decke über der Küche konnte aus Zeitgründen nicht erkundet werden. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Konstruktion in einem ähnlichen Zustand wie die Decke über dem Schlafzimmer befindet.

Die auf der Innenseite vom Schlafräum bis einschließlich der Küche festgestellten Schäden sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Schaden / Mangel	Schaden Nr.	Foto	Bewertung		
			S	V	D
Turmoberteil SZ und KÜ (innen)			0	0	3
örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 1 bis Ri 2 (SK 1)	1015-07		0	0	0
großflächige Durchrostung der Beschichtung mit Rostgrad Ri 4 bis Ri 5 ohne Substanzverlust (SK 4)	1015-12	SZ-S01-i-07 SZ-S01-i-08 SZ-S05-i-04 KÜ-S05-i-17	0	0	2
Risse in der Beschichtung bis zum Stahl mit Rostaustritt (SK 4)	1015-18	SZ-S01-i-02	0	0	3

2.07.2 Empfehlungen für die Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen

Werden die Ausbauten entfernt, ist die Beschichtung der Stahlbauteile zu erneuern. In jedem Fall ist für eine gute Durchlüftung des Wandaufbaus zu sorgen, sodass anfallendes Kondensat schnell abgelüftet werden kann.

2.07.3 Fotodokumentation


Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
SZ-S01-i-07	<p>Großflächige Durchrostung der Beschichtung mit Rostgrad Ri 4 bis Ri 5 ohne Substanzverlust (SK 4) am Stützensteg S01</p> <p>Schadens ID: 1015-12 (D = 2)</p> <p>Korrosionsrückstände auf dem KG-Mauerwerk</p>	



Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
SZ-S01-i-08	<p>Großflächige Durchrostung der Beschichtung mit Rostgrad Ri 4 bis Ri 5 ohne Substanzverlust (SK 4) am Fensterkasten</p> <p>Schadens ID: 1015-12 (D = 2)</p>	
SZ-S05-i-04	<p>Großflächige Durchrostung der Beschichtung mit Rostgrad Ri 4 bis Ri 5 ohne Substanzverlust (SK 4) auf der Innenseite des Blechmantels</p> <p>Schadens ID: 1015-12 (D = 2)</p> <p>Korrosionsrückstände auf dem KG-Mauerwerk</p>	




Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
SZ-S01-i-02	Risse in der Beschichtung bis zum Stahl mit Rostaustritt (SK 4) Schadens ID: 1015-18 (D = 3)	
KÜ-S05-i-17	Großflächige Durchrostung der Beschichtung mit Rostgrad Ri 4 bis Ri 5 ohne Substanzverlust (SK 4) des Stahlblechs in Ebene der Decke über Schlafraum Schadens ID: 1015-12 (D = 2)	

Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
KÜ-S05-i-21	Ungeschädigter Stützenquerschnitt (L-Winkel Innenflansch) in der Küche mit Grundierung	 A photograph showing a close-up of an L-shaped steel support structure. The steel is painted with a reddish-brown primer. The structure is located in a kitchen area, with a concrete wall and floor visible in the background. The lighting is bright, highlighting the texture of the paint and the metallic surface.

2.08 Innenseite Dienstraum mit Erker und Laternengeschoss sowie Dachkonstruktion

2.08.1 Vorhandene Schäden / Mängel und deren Bewertung

Im Dienstzimmer sind wie in allen anderen Räumen, die Voutenbleche der Deckenkonstruktion frei zugänglich. Örtlich kann an diesen eine Durchrostung der Beschichtung festgestellt werden. Es wurden Rostgrade Ri 1 bis Ri 2 festgestellt. Weiterhin wurde die Deckenkonstruktion durch den Schacht im Bereich der Stütze in Achse 5 erkundet. Am Anschluss der Stütze an den Deckenträger ist die Grundierung lokal noch vorhanden ist. In den übrigen Bereichen sind die Oberflächen der Träger korrodiert, es wurden jedoch keine relevanten Querschnittsminderung festgestellt.

Die Stahlkonstruktion der Erker ist mit einem inneren Blechmantel verkleidet und nicht zugänglich. Am Blechmantel zeigen sich unterhalb der Fenster Rostfahnen, es fehlen Niete und es wurden Verformungen festgestellt. Der Zustand des inneren und äußeren Blechmantels deuten auf eine beschädigte Tragkonstruktion. Das Ausmaß der Schäden ist im Zuge der Sanierung festzustellen.

Die Stahlkonstruktion im Erker bei Achse 8 auf Höhe der Decke über Küche ist durch örtliche Durchrostungen der Beschichtung mit Rostgrad Ri 4 hinsichtlich der Dauerhaftigkeit geschädigt. Bei der Begutachtung der unteren spitz zulaufenden Erkerbereiche wurde in den Erkern bei den Achsen 4 und 8 angesammeltes Wasser (h = 13 cm) festgestellt. Das Wasser bestätigt den Feuchteintrag durch Schäden in der äußeren Schale. Das Wasser wurde durch Bohrungen von außen abgelassen.

Im Treppenerker ist der innere Blechmantel bis zur Höhe der Decke über Dienstraum geführt. Darüber hinaus sind die Stahlkonstruktion und die Innenseite des Außenmantels sichtbar. Die Konstruktion ist an den Stützen des Erkers direkt ab dem Übergang von der zwei- zur einschaligen Wandkonstruktion mehrmals stark geschädigt. Die Standsicherheit und die Dauerhaftigkeit sind herabgesetzt. Die Profile sind durch Rostaufreibungen stark verformt und klaffen auseinander, am Anschlusspunkt fehlen teils Schrauben/Niete und die Querschnittsschwächung beträgt mehr als 30 %.

An den horizontalen Flächen aus Stahlblechen im Laternengeschoss und Treppenerker (Treppenstufen, Zwischenbleche usw.) sind örtlich die Beschichtungen durchrostet mit Rostgraden Ri 1 bis Ri 3.

Im Laternengeschoss und im Treppenerker sind zwischen den Fensterrahmen und der Stahlkonstruktion nicht abgedichtete Fugen, an denen Feuchtigkeit eindringen kann. Direkt um die Fenster ist durch diese Feuchtigkeit die Beschichtung der Stahlkonstruktion örtlich korrodiert, teils mit Rostnarben. Über einem Fenster des Laternenraums ist das Stahlprofil stark korrodiert und verformt mit beginnender Querschnittsschwächung und Rostaufreibungen.

Die Unterkonstruktion unter den Kupferblechkuppeln ist örtlich durch abgerostete Kanten und Durchrostung der Beschichtung beschädigt. Die Beschichtung der Kuppel und der darunter liegenden Stahlkonstruktion blättert großflächig ab.

Die auf der Innenseite des Dienstraums, der Erker und des Laternengeschosses sowie der Dachkonstruktion festgestellten Schäden sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Schaden / Mangel	Schaden Nr.	Foto	Bewertung		
			S	V	D
Turmoberteil DZ, ER, LG und DK (innen)			2	0	4
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, beginnend, Schwächung < 10 % (SK4)	1011-01		1	0	3
Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, stark, Kerbwirkung + Schwächung > 30 %, (SK5)	1011-03	ER-S12-i-45	2	0	4
Schraube/Nietensicherung fehlt oder nicht fachgerecht, bei rohen Schraube/Nieten und Passschraube/Nieten	1012-04	ER-S04-i-09	1	0	2
Örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 1 bis Ri 2 (SK 1)	1015-07		0	0	0

Schaden / Mangel	Schaden Nr.	Foto	Bewertung		
			S	V	D
Örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 4, ohne Substanzverlust (SK 3)	1015-09	ER-S08-i-05	0	0	2
Großflächige Durchrostung der Beschichtung mit Rostgrad Ri 4 bis Ri 5 ohne Substanzverlust (SK 4)	1015-12	DZ-S05-i-08	0	0	2
Durchrostung an den Kanten (SK 3)	1015-14	ER-S12-i-40	0	0	2
Großflächiges Auftreten von Ablösungen und/oder Blasen der Beschichtung nicht vom Stahl (SK 3)	1015-20	ER-S12-i-39	0	0	1
Unplanmäßige Öffnung zwischen Fenster und Stahlkonstruktion		ER-S12-i-39	0	0	3
Wasser im unteren Bereich der Erker			0	0	2

2.08.2 Empfehlungen für die Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen

Die geschädigten Querschnitte und Verbindungsmittel sind mindestens gleichwertig zu ersetzen. Anschließend der Korrosionsschutz wiederherzustellen.

Für die Dauerhaftigkeit der gesamten Konstruktion ist es fundamental, dass durch Türen, Fenster und sonstige Fugen kein Wasser in das Bauwerk gelangt. Dementsprechend sind Öffnungen abzudichten und Fugen dauerelastisch zu versiegeln.

2.08.3 Fotodokumentation


Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
ER-S12-i-45	<p>Querschnittsminderung durch Korrosion an Hauptbauteilen, stark, Kerbwirkung + Schwächung > 30 %, (SK 5) am Übergang im Treppenerker</p> <p>Schadens ID: 1011-03 (S = 2, D = 4)</p>	



Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
ER-S04-i-09	Schrauben fehlen Schadens ID: 1012-04 (S =1, D = 2)	 A photograph showing the interior of a circular structure, likely a lighthouse lantern room. The ceiling is a light-colored, possibly metal, surface with several small, dark rectangular marks indicating missing screws. The structure is illuminated from above, and a window is visible on the right side.
ER-S08-i-05	Örtliche Durchrostung der Beschichtung, Rostgrad Ri 4, ohne Substanzverlust (SK 3) Schadens ID: 1015-09 (D = 2)	 A close-up photograph of a metal surface showing significant rust. The rust is a reddish-brown color and is concentrated in a circular area, possibly a hole or a joint. The surrounding metal is a lighter, yellowish-brown color. The rust appears to be localized and does not seem to have caused any significant material loss.





Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
DZ-S05-i-08	großflächige Durchrostung der Beschichtung mit Rostgrad Ri 4 bis Ri 5 ohne Substanzverlust (SK 4) Schadens ID: 1015-12 (D = 2)	
ER-S12-i-40	Durchrostung an den Kanten (SK 3) der Dachunterkonstruktion Schadens ID: 1015-14 (D = 2)	

Foto-Nr.	Bemerkung	Fotodokumentation
ER-S12-i-39	Großflächiges Auftreten von Abblätterungen und/oder Blasen der Beschichtung nicht vom Stahl (SK 3) Schadens ID: 1015-20 (D = 1) Unplanmäßige Öffnung zwischen Fenster und Stahlkonstruktion (D = 3)	
ER-S04-a-12	Wasser im unteren Bereich der Erker beim Austritt nach Bohrung. (D = 2)	

2.09 Anhänge

Anhang **A2.1** **Übersichten zur Erkundung auf der Außenseite**



A04 – Befahrung 9

A03 – Befahrung 8

A02

A01 – Befahrung 7

A12-4 – Befahrung 6

6327 6329 6286,6291,6292 6230,6231 6229 6232,6233 6206,6207
6328 6293 6236,6238,6239 6241 6234,6235
6331 6332 6294,6295,6297 6242 6248
6333 6300 6212,6213

Messung Schichtdicke
KS-System:
910-1000 μ m

6298 6247 6249 6246 6216
6214,6215
6336 6335 6302 6251
6339 6252 6254,6255 6217
6302 6256

Messung Schichtdicke
KS-System:
800-1000 μ m

6303 6304 6258 6259
6341 6362 6307 6260
6262

Messung Schichtdicke
KS-System:
675-1200 μ m

6344 6263 6264
6308 6309
6345

Messung Schichtdicke
KS-System:
800-1100 μ m

6311 6310 6267 6268,6270
6350 6349 6312

6314 6315 6275 6276,6277,6279
6354 6317,6318 6273,6274
6355 6316 6278

6357 6278
6356 6325
6324,6326

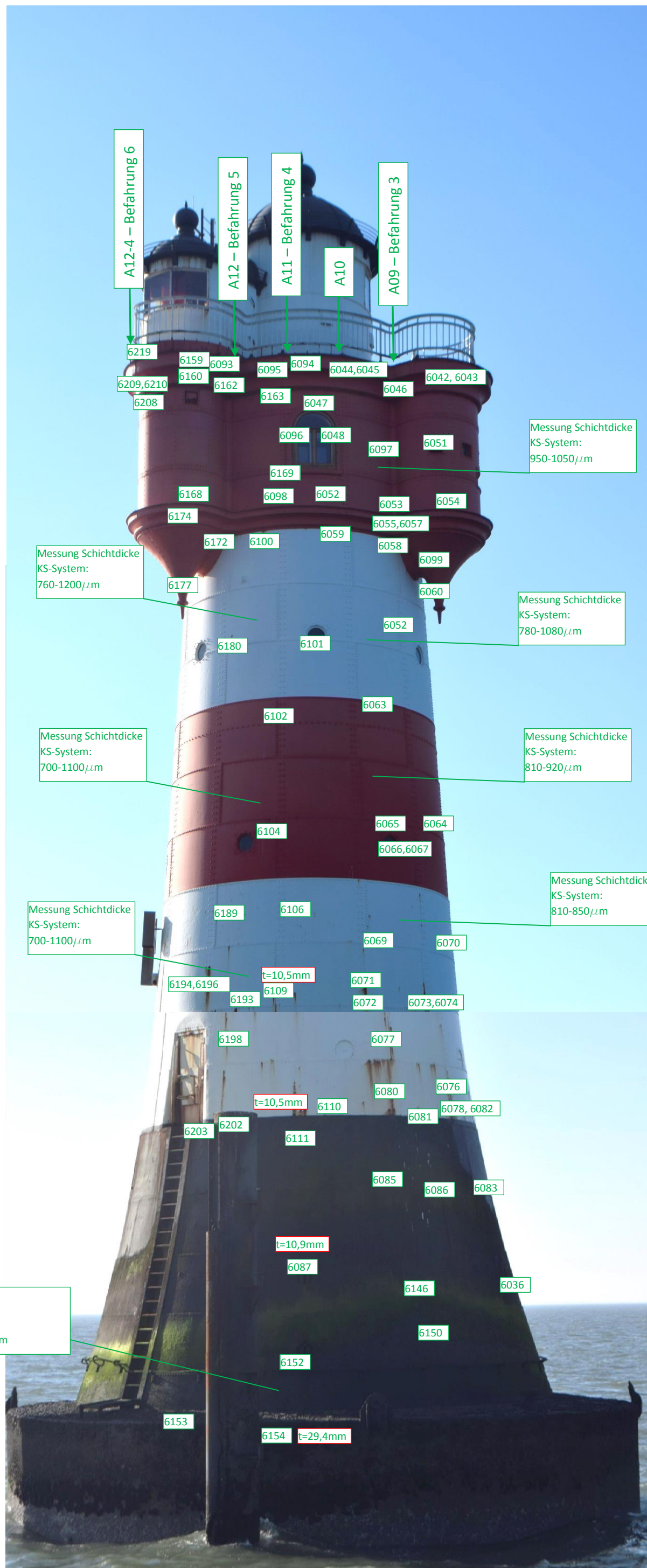
6360 6117
6361 6281,6282 6118,6121
6136 6123,6128
6138 6122

6133,6134,6135
t=30,1mm

6130

6119





A12-4 – Befahrung 6

A12 – Befahrung 5

A11 – Befahrung 4

A10

A09 – Befahrung 3

6219

6159

6093

6095

6094

6044,6045

6042, 6043

6209,6210

6160

6162

6163

6047

6046

6208

6096

6048

6097

6051

6169

6168

6098

6052

6053

6054

6174

6172

6100

6059

6058

6099

6177

6052

6180

6101

6102

6063

6104

6065

6064

6066,6067

6189

6106

6069

6070

6194,6196

t=10,5mm

6109

6071

6072

6073,6074

6198

6077

t=10,5mm

6110

6080

6076

6081

6078, 6082

6203

6202

6111

6085

6086

6083

t=10,9mm

6087

6146

6036

6150

6152

6153

6154

t=29,4mm

Messung Schichtdicke
KS-System:
950-1050 μm

Messung Schichtdicke
KS-System:
760-1200 μm

Messung Schichtdicke
KS-System:
780-1080 μm

Messung Schichtdicke
KS-System:
700-1100 μm

Messung Schichtdicke
KS-System:
810-920 μm

Messung Schichtdicke
KS-System:
700-1100 μm

Messung Schichtdicke
KS-System:
810-850 μm

Messung Schichtdicke KS-System:
ohne Ablösung 1000-1200 μm
ohne Deckbeschichtung: 354-650 μm



063,067,068

064

060

061

069

066

041,043,059

039,040

070,071

042

029

038

080,081

082

031

036

037

030

035

0444,045,046

032

033

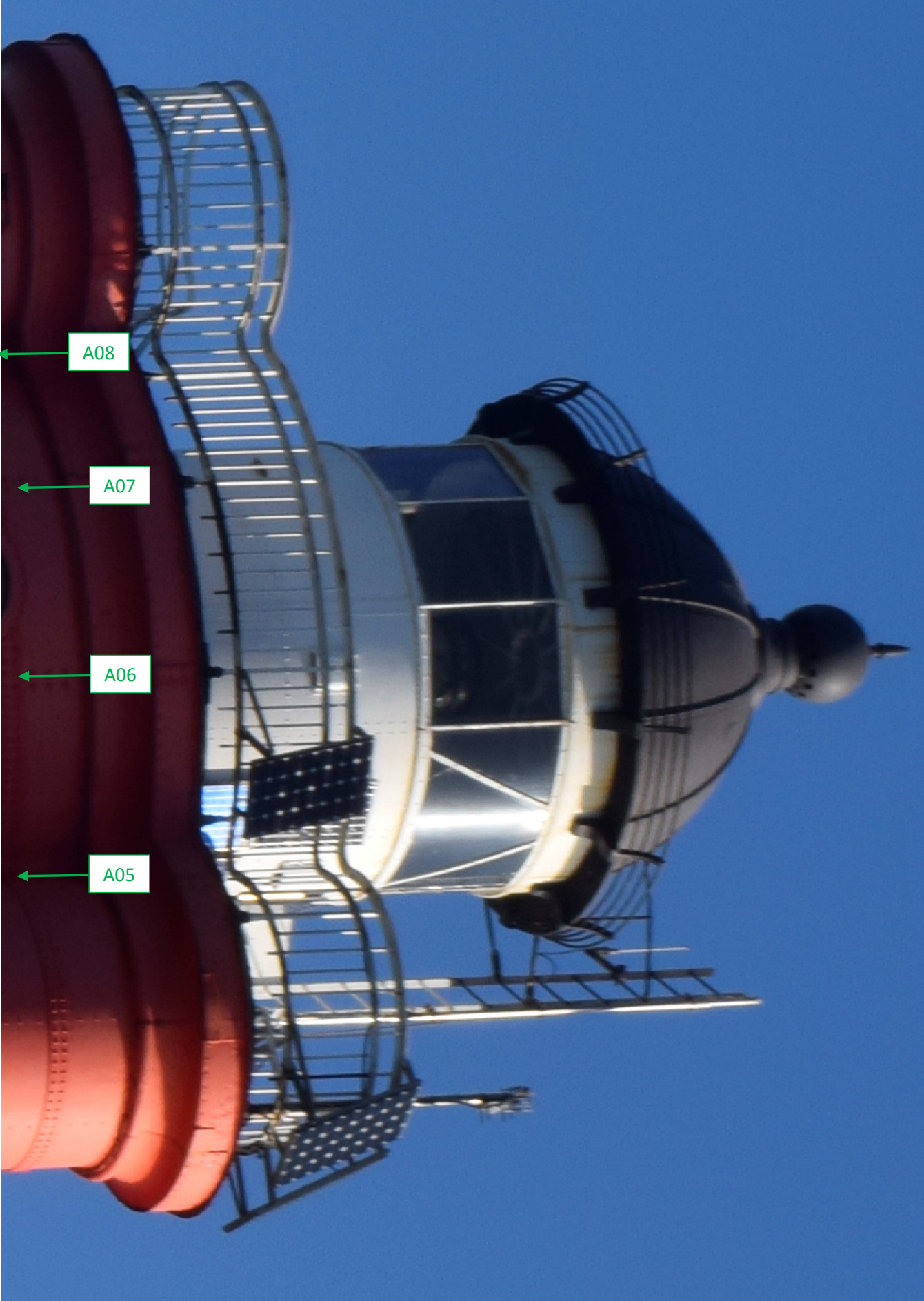
034

A04

A03

A02

A01



A08

A07

A06

A05



023

073

026

075,077

027

028

024

025

A12

A11

A10

A09

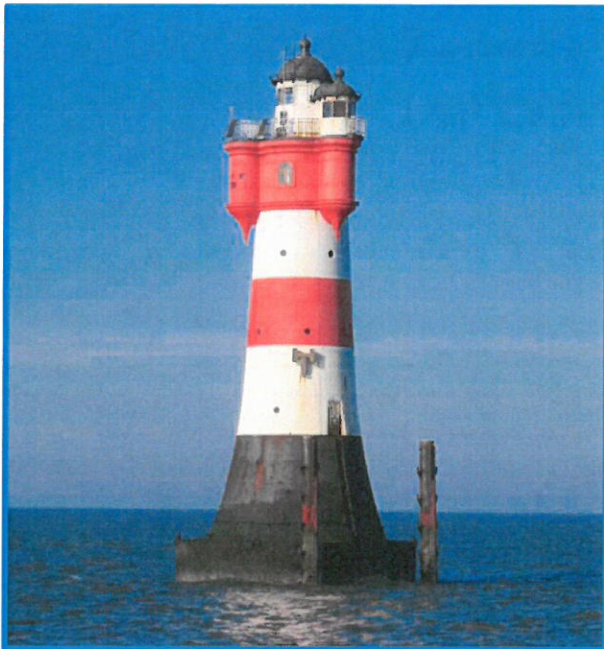
Gutachten

zur Sanierung 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, 14. Juni 2019



Dr.-Ing. P. Lieberwirth

Projekt: GA218014
Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) L. Schöbitz

Inhalt:	Teil 0:	- Vorbemerkungen
	Teil I:	- Grundlagen, Erkenntnisse und Ergebnisse
	Teil II:	- Dokumentation zur Bauwerksprüfung
	Teil III:	- Nachrechnung des stählernen Turmhaupttragwerkes
	Teil IV:	- Statische Berechnung zum Caisson und zur Gründung

Inhaltsverzeichnis

3	Statische Berechnung des stählernen Turmhaupttragwerkes	2
3.01	Vorbemerkungen und Grundlagen	2
3.01.1	Vorbemerkungen, Literatur und Normungen	2
3.01.2	Bauwerksbeschreibung (mit Blick auf Standsicherheitsnachweis)	3
3.02	Lastannahmen	5
3.02.1	Ständige Lasten.....	5
3.02.2	Veränderliche Nutzlasten.....	7
3.02.3	Schnee- und Eislasten.....	8
3.02.4	Windlasten.....	9
3.02.5	Wellenlasten.....	11
3.02.6	Temperaturlasten.....	11
3.02.7	Außergewöhnliche Lasten	12
3.03	Modellierung und Schnittgrößenermittlung.....	13
3.03.1	Geometrie und Modellierung.....	13
3.03.2	Querschnitte	18
3.03.3	Einwirkungen	20
3.04	Nachrechnung	23
3.04.1	Spannungsnachweise.....	24
3.04.2	Stabilitätsnachweise der Stahlstützen.....	27
3.04.3	Stabilitätsnachweise der Mantelbleche	30
3.04.4	Anschlussnachweise	30
3.04.5	Auflagerkräfte	35
3.04.6	Erläuterung der kritischen Punkte und Ertüchtigungsbedarfe.....	36
3.05	Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse	38
3.06	Maßnahmen zur Erhaltung	39
3.07	Anhänge	39

3 Statische Berechnung des stählernen Turmhaupttragwerkes

3.01 Vorbemerkungen und Grundlagen

3.01.1 Vorbemerkungen, Literatur und Normungen

Vorbemerkungen zur Statik

Gegenstand und Ziel

Gegenstand der vorliegenden Dokumentation ist eine überschlägliche Berechnung der Stahlkonstruktion des Leuchtturmhaupttragwerkes. Ziel der Berechnungen ist es, die am höchsten beanspruchten Stellen im Tragwerk zu ermitteln und überlastete Bereiche ausfindig zu machen. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Bestandsunterlagen und der bisher erkundeten Schädigungen werden die Auslastungen der Haupttragglieder ermittelt und die Tragfähigkeit der primären Anschlüsse abgeschätzt.

Die gewonnenen Erkenntnisse sind Grundlage für die Definition der erforderlichen Ertüchtigungsmaßnahmen. Des Weiteren werden die in der weiteren Bearbeitung zu vertiefenden Sachverhalte angegeben und Konsequenzen für die möglichen Sanierungsverfahren aufgezeigt.

Aufbau der Dokumentation und Positionierung

Das Dokument gliedert sich in folgende Hauptabschnitte:

- Lastannahmen
- Modellierung des Rechenmodells und Schnittgrößenermittlung
- Spannungs-, Stabilitäts-, Beul- und Anschlussnachweise
- Zusammenstellung der kritischen Punkte und Ertüchtigungsbedarfe
- Zusammenfassung und Ausblick

Die Bauteil-, Anschluss- und Detailnachweise werden mit Bezug auf die Tragglieder bezeichnet. Die Positionsnummern der Tragglieder setzen sich folgendermaßen zusammen.

Schematik der Positionsnummern: Pos. AA.BB.ii

Dabei steht „AA“ für die Bauteilart:

- DB	= Dachblech
- D	= Decke
- UZ	= Unterzug
- T	= Träger
- NT	= Nebenträger
- HT	= Hauptträger
- WT	= Wechselträger
- S	= Stütze
- W	= Wand
- TA	= Treppe (-anlage, auch Treppenlauf)

„BB“ ist der Verweis auf die Ebene:

- KG	= Keller	~ EG
- SZ	= Schlafzimmer	~ 1. OG
- KÜ	= Küche	~ 2. OG
- DZ	= Dienstzimmer	~ 3. OG
- LF	= Leuchtfeuer	~ 4. OG

und „ii“ ist die fortlaufende Bauteilnummerierung.

Decken-/Dachbauteile werden immer mit Bezug auf die darunterliegende Ebene positioniert.

Planunterlagen

Siehe *Teil I* des Gutachtens.

Literatur

Siehe *Teil I* des Gutachtens.

Baubestimmungen und Normungen

Siehe *Teil I* des Gutachtens.

3.01.2 Bauwerksbeschreibung (mit Blick auf Standsicherheitsnachweis)

Standort:

Der Leuchtturm steht in der Wesermündung bei Bremerhaven im Wattenmeer an f. Position:

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

Bauwerksbeschreibung

Nutzung und Gebäudegliederung

Bei dem Bauwerk handelt es sich um den in den Jahren 1882 bis 1885 erbauten und inzwischen stillgelegten Leuchtturm „Roter Sand“ in der Wesermündung bei Bremerhaven. Das Bauwerk gliedert sich in die folgenden sieben Ebenen.

Höhengliederung des Bauwerks:

Ebene / Geschoss	Bezeichnung/ Funktion	Tragwerk	Höhen ¹⁾ [m]	
			OK Ffb	Geschoss~
	Turmspitze, Dach	Kupferblechdach	+28,90	
2/4 4. OG	Laternengeschoss mit Haupt- und Nebenfeuer	Stahlkonstruktion mit Blechmantel (BM)	+22,76	6,14
2/3 3. OG	Dienstzimmer	Stahlkonstruktion m. BM	+19,06	3,70
2/2 2. OG	Küche	Stahlkonstruktion m. BM	+14,90	4,16
2/1 1. OG	Schlafräum	Stahlkonstruktion m. BM	+10,60	4,30
2/0 KG	Kellergeschoss	Stahlkonstruktion, Wandabschnitte zwischen Stüt- zen ausgemauert, Deckenplatte aus Beton aufgelegt	+6,39	4,21
1 / S	Sockel (massiv)	Beton und Mauerwerk von Blechmantel umschlossen	+0,23	6,16
0 / C	Caisson/ Gründungskörper	Beton von Stahlkonstruktion umschlossen		

1) Die Höhenkoten sind der Zeichnung „Entwurf zur Sicherung und zum Ausbau des Leuchtturms Rotersand“ aus dem Jahr 1957 entnommen und auf das dort angegebene Normalhöhennull (NN) bezogen.

Tragwerk

Der Turm ist mit einem Caisson in dem Meeresgrund gegründet. Der aufgehende Turm hat einen kreisrunden Grundriss und gliedert sich in sechs Ebenen. In der untersten Ebene 1, dem Sockel, ist der Querschnitt massiv, mit Beton und Mauerwerk, ausgeführt und mit einem Blechmantel umschlossen. Ab der zweiten Ebene (2/0), dem sogenannten Kellergeschoss, ist der Turm als Stahlkonstruktion ausgeführt. Über den Umfang verteilt sind 12 Stützen angeordnet. Die Stützen sind in dem Sockel verankert und setzen sich bis zur Oberkante der Ebene 2/3 (über die Geschosse Keller, Schlafräum, Küche und Dienstzimmer) fort. Die Wandabschnitte zwischen den Stützen im Kellergeschoss sind ausgemauert. Außen sind die Stützen von einem Blechmantel, der sich über die Ebenen 1 bis 2/3 erstreckt, umspannt. Innenseitig ist die Stahlkonstruktion ab der Ebene 2/1 „Schlafräum“ mit einer zweischaligen, innenseitig verputzten Holzkonstruktion verkleidet. Die Stützen bilden mit den Hauptträgern der Decken Geschossrahmen. In der Ebene 2/3, in der sich das Dienstzimmer befindet, ist der kreisrunde Querschnitt um drei Erker erweitert. Die Erker sind gleichmäßig um den Grundriss verteilt und jeweils zwischen den Hauptstützen angeordnet. In einem dieser Erker ist die Treppe zur

Erschließung der Ebene 2/4, dem Laternengeschoss, angeordnet. Die Erker sind, wie auch die Laterne, als Stahlkonstruktionen mit Steifenprofilen und umspannenden Blechmantel ausgeführt. In der Ebene 2/3 sind die Erker auch innenseitig verblecht. Die Stützen des Laternengeschosses sind um ein halbes Raster versetzt zu den Hauptstützen des Turmschaftes angeordnet. In der Hauptlaterne und im Treppenerker befinden sich verglaste Lichtbänder.

Die Geschossdecken sind als Stahlkonstruktionen mit zwei sich im 90°-Winkel kreuzenden Hauptträgern und dazwischenliegenden Nebenträgern ausgeführt. Über die Träger der Keller-Decke spannt eine Betonplatte, die übrigen Geschossdecken sind vergleichsweise leicht mit Holzdielungen (und unterseitigem Verputz auf Vollschalung) ausgeführt. Die Decke über dem Dienstzimmer ist, wie die Geschossdecken, unterseitig verputzt, hat aber von diesen abweichend eine oberseitige Verblechung (bewittert). Konstruktiv unterscheidet sich diese Decke von den darunterliegenden dahingehend, dass alle Deckenträger biegesteif an die Stützen angeschlossen sind.

Die kuppelartigen Dächer der Hauptlaterne und des Treppenerkers sind verblecht ausgeführt.

Stabilisierung

Der Blechmantel des Turmes, welcher als Schubfeld wirkt, ist elementar für die Stabilisierung und die Begrenzung der Verformungen. Im Kellergeschoss werden die Zugkräfte aus der Stabilisierung (aus dem Blechmantel) über die Stützen (und die Stützenfüße) in den massiven Turmsockel verankert. Der massive Sockel ist quasi Bestandteil des Gründungskörpers (Caisson), der die Lasten in den Baugrund abträgt (diesbezügliche Nachweise sind im *Teil IV* des Gutachtens enthalten).

Die folgenden statischen Berechnungen beziehen sich auf die Stahlkonstruktion ab Ebene 2/0 (Keller). Die ermittelten Auflagerkräfte an den Fußpunkten der Stahlstützen sind Grundlage für die Nachrechnung des Gründungskörpers (bestehend aus Sockel und Caisson).

Materialkennwerte

Gemäß den Angaben im Bericht zu den im Sommer des Jahres 1955 durchgeführten Untersuchungen handelt es sich bei dem Werkstoff der Stahlkonstruktion um Puddelstahl [D_01, S. 22].

Die in der Tabelle aufgeführten Werkstoffkennwerte werden in der Literatur [L_02] und in [Ril_805] für Puddelstahl (Schweißeißen) angegeben und bei der Berechnung sowohl für die Profile wie auch für die Bleche berücksichtigt:

Kennwert		Quelle		Einheit
		[L_02]	[Ril_805]	
Elastizitätsmodul	E		200.000	MN/m ²
Schubmodul	G	-	77.000	MN/m ²
Zugfestigkeit	f _{u,k}	330 ... 400	320	MN/m ²
Streckgrenze	f _{y,k}	-	220	MN/m ²

Zur Bestätigung der Materialkennwerte wurden am Bauwerk Prüfkörper entnommen und an die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Herrn Hesse, übergeben. Die Ergebnisse der Beprobung sind im *Anhang A3.4* hinterlegt. Die o.g. Streckgrenze wurde bereits vorab telefonisch bestätigt. Aufgrund der in den Versuchen festgestellten z.T. sehr geringen Bruchdehnungswerte ist eine Berücksichtigung von plastischen Tragreserven bzw. das Zulassen von teilplastizierten Querschnittsteilen in den rechnerischen Nachweisen ausgeschlossen.

Brandschutz

Anforderungen an den Feuerwiderstand sind nicht bekannt.

Geometrie und Modellierung

Die Stahlkonstruktion des Leuchtturmes wurde im Programm RFEM (von Dlubal) modelliert. Als Grundlage dienten neben den oben aufgeführten Bestandsunterlagen die bei den Ortsterminen im Oktober 2018 und im Mai 2019 aufgenommenen Maße und erkundeten konstruktiven Durchbildungen.

Weiterführende Erläuterungen zur Modellierung sind dem *Kapitel Modellierung und Schnittgrößenermittlung* zu entnehmen.

3.02 Lastannahmen

3.02.1 Ständige Lasten

Allgemein

Tragende Stahlbauteile 78,50 kN/m³ *programmseitig erfasst*

Ebene Laterne (Leuchtfener) und Dach

Die tragenden Unterkonstruktionen für Wände und Decken/Dächer (Wandpfosten und Träger-/Sparrenprofile) werden programmseitig erfasst.

Dachaufbau der Kuppeln

Stehfalzblech (t ~ 3 mm; einschalig)	0,23 kN/m ²	<i>programmseitig erfasst</i>
Firstspitze	0,80 kN	<i>geschätzt</i>
Laufsteg umlaufend	0,40 kN/m	<i>geschätzt; inkl. Konsolen, Fußplanke</i>

Wandkonstruktion

Blech innenseitig, t = 3 mm	0,24 kN/m ²	
Wandpfosten	-	<i>programmseitig erfasst</i>
Blech außenseitig, t = 8 mm	0,63 kN/m ²	<i>programmseitig erfasst</i>
Verglasung, D ~ 15 mm	0,40 kN/m ²	
Außentür (schottartig)	1,50 kN	<i>geschätzt</i>

Balkongeländer (Füllstabgeländer) 0,55 kN/m *geschätzt*

Traufkasten/Dachüberstand 0,60 kN/m *geschätzt*

Fußboden-/Dachaufbau im begehbaren Bereich - Regelbereich (Decke über Dienstzimmer)

Abdichtungsanstrich	0,07 kN/m ²	
Blech, t ~ 10 mm	0,79 kN/m ²	
Hauptträger der Decke	-	<i>programmseitig erfasst</i>
Sonstige Deckenträger und Stahl-UK	0,15 kN/m ²	<i>geschätzt</i>
Unterkonstruktion für unters. Schalung	0,07 kN/m ²	<i>geschätzt</i>
unterseitige Vollschalung, d = 25 mm	0,15 kN/m ²	
unterseitige Putzschicht, d = 15 mm	0,30 kN/m ²	
Rundung	<u>0,02 kN/m²</u>	
Summe	1,55 kN/m ²	<i>ohne Deckenträger</i>

Fußboden-/Dachaufbau im begehbaren Bereich - Erker (Decke über Dienstzimmer)

Abdichtungsanstrich	0,07 kN/m ²	
Blech (t ~ 10 mm)	0,79 kN/m ²	
Hauptträger der Decke	-	<i>programmseitig erfasst</i>
Sonstige Deckenträger und Stahl-UK	0,10 kN/m ²	<i>geschätzt</i>
unterseitige Verblechung, t ~ 3 mm	<u>0,24 kN/m²</u>	
Summe	1,20 kN/m ²	<i>ohne Deckenträger</i>

Zwischenboden unter Hauptfeuer (in Laterne)

Blech, t ~ 6 mm, inkl. UK 0,60 kN/m²

Ebene Dienstzimmer und Ebene Küche

Die tragenden Unterkonstruktionen für Wände und Decken (Stützen und Träger) werden programmseitig erfasst.

Aufbau der Außenwand:

Blechmantel	-	<i>programmseitig erfasst</i>
Blechungunterkonstruktion	0,15 kN/m ²	<i>für Fensteröffnungen usw., geschätzt</i>
Zwischenschalung, d = 25 mm	0,15 kN/m ²	
Unterkonstruktion (Holz)	0,15 kN/m ²	<i>geschätzt</i>
Vollschalung, d = 25 mm	0,15 kN/m ²	
Innenseitige Putzschicht, d = 15 mm	<u>0,30 kN/m²</u>	
Summe	0,90 kN/m ²	<i>ohne Stahlstützen und Blechmantel</i>

Aufbau der Innenwand:

Putzschicht, d = 15 mm	0,30 kN/m ²	
Vollschalung, d = 25 mm	0,15 kN/m ²	
Unterkonstruktion (Holz)	0,10 kN/m ²	<i>geschätzt</i>
Vollschalung, d = 25 mm	0,15 kN/m ²	
Putzschicht, d = 15 mm	<u>0,30 kN/m²</u>	
Summe	1,00 kN/m ²	

Wandkonstruktion Erker (nur für Ebene Dienstzimmer):

Blech innenseitig, t = 3 mm	0,24 kN/m ²	
Wandpfosten	-	<i>programmseitig erfasst</i>
Blech außenseitig, t = 8 mm	0,63 kN/m ²	<i>programmseitig erfasst</i>

Stahlterapie (Gesamtlast)	1,00 kN	<i>geschätzt</i>
Holzterapie (Linienlast auf Träger)	1,25 kN/m	<i>geschätzt</i>
Ziergesims umlaufend	0,60 kN/m	<i>geschätzt</i>
Zier-Verblechung an Erkern (unten)	1,50 kN	<i>geschätzt</i>

Fußbodenaufbau - Regelbereich (Decke über Küche und Schlafzimmer):

Belag	0,10 kN/m ²	
Dielung, d = 40 mm	0,24 kN/m ²	
Zwischenhölzer	0,07 kN/m ²	<i>geschätzt</i>
Zwischenboden, d = 25 mm	0,15 kN/m ²	<i>geschätzt</i>
Hauptträger der Decke	-	<i>programmseitig erfasst</i>
Sonstige Deckenträger und Stahl-UK	0,05 kN/m ²	<i>geschätzt</i>
Unterkonstruktion für unters. Schalung	0,07 kN/m ²	<i>geschätzt</i>
unterseitige Vollschalung, d = 25 mm	0,15 kN/m ²	
unterseitige Putzschicht, d = 15 mm	0,30 kN/m ²	
Rundung	<u>0,02 kN/m²</u>	
Summe	1,15 kN/m ²	<i>ohne Deckenträger</i>

Fußbodenaufbau – Erker:

Belag	0,05 kN/m ²	
Sperrholzplatte, d = 25 mm	0,18 kN/m ²	
Unterkonstruktion (Holz)	0,07 kN/m ²	<i>geschätzt</i>
Hauptträger der Decke	-	<i>programmseitig erfasst</i>
Unterseitiges Blech, t = 6 mm	0,47 kN/m ²	
Rundung	<u>0,03 kN/m²</u>	
Summe	0,80 kN/m ²	<i>ohne Deckenträger</i>

Ebene Schlafzimmer

Die tragenden Unterkonstruktionen für Wände und Decken (Stützen und Träger) werden programmseitig erfasst.

Wandaufbauten und Holztreppe analog Ebene Dienstzimmer.

Stahlterapie aus Keller (Linienlast)	2,00 kN/m	<i>geschätzt</i>
Fußbodenaufbau - Regelbereich (Decke über Keller):		
Belag	0,10 kN/m ²	
Dielung, d = 40 mm	0,24 kN/m ²	
Beton, i.M. D = 17,5 cm	4,20 kN/m ²	
Wellblech	0,15 kN/m ²	<i>geschätzt</i>
Hauptträger der Decke	-	<i>programmseitig erfasst</i>
Rundung	<u>0,01 kN/m²</u>	
Summe	4,70 kN/m ²	<i>ohne Deckenträger</i>

Ebene Keller

Die tragenden Unterkonstruktionen für Wände und Decken (Stützen und Träger) werden programmseitig erfasst.

Stahlterapie analog Ebene Schlafzimmer.

Aufbau der Außenwand:

Blechmantel	-	<i>programmseitig erfasst</i>
Blechnerkonstruktion	- kN/m ²	<i>durch Ausmauerung abgedeckt</i>
Ausmauerung, D = 64 cm	<u>10,20 kN/m²</u>	<i>angenommene Rohdichtklasse 1,6</i>
Summe	10,20 kN/m ²	<i>ohne Stahlstützen</i>

3.02.2 Veränderliche Nutzlasten

Verkehrslasten auf Geschossdecken

Folgende Nutzlast wird in allen Räumen (Keller bis Dienstraum, einschließlich der Treppenläufe) vollflächig berücksichtigt:

Verkehrslast	3,00 kN/m ²	<i>in Anlehnung an Nutzlastkategorie B2</i>
	bzw. 3,00 kN	

Verkehrslasten in Laterne und auf Balkon

In der Laterne und auf dem Balkon wird folgende Nutzlast berücksichtigt:

Verkehrslast	5,00 kN/m ²	<i>in Anlehnung an Nutzlastkategorie C5</i>
	bzw. 4,00 kN	

Linsen und andere technische Ausstattung

Die Folgenden Lasten werden für die Linsen und andere technische Ausstattungen berücksichtigt.
Die Lasten wurden geschätzt und sind noch zu bestätigen.

Linse des Hauptfeuers	4,00 kN	<i>geschätzt, inkl. Gestell usw.</i>
Linse des Nebenfeuers	1,50 kN	<i>geschätzt, inkl. Gestell usw.</i>
Batterieraum (zw. Laterne u. Treppenerker)	3,00 kN	<i>geschätzt, inkl. Batterien usw.</i>

3.02.3 Schnee- und Eislasten

Schneelasten

Auf den Dachflächen der Laterne und des Treppenerkers wird folgende Schneelast berücksichtigt:

Bauwerkseinordnung und Bodenschneelast:

Schneelastzone: **1**
Geländehöhe $\sim 0 \text{ m}$ über NN

Charakteristischer Wert der Schneelast auf dem Boden:
 $s_k = 0,65 \text{ kN/m}^2$

Vollflächige Dachschneelast:

Charakteristischer Wert der Schneelast auf dem Kuppeldach (Beiwert $\mu_3 = 2,0$):
 $s = 1,30 \text{ kN/m}^2 = 2,0 * 0,65 \text{ kN/m}^2$

Schneelast an der Traufe:

Beiwert (Schneeüberhang): $k = 0,4$
Wichte des Schnees $\gamma = 3,00 \text{ kN/m}^3$

Charakteristischer Wert der Schneelast des Überhangs:
 $S_e = 0,23 \text{ kN/m} = 0,4 * 1,3^2 / 3$

Norddt. Tiefland – Vollflächige Dachschneelast:

Charakteristischer Wert der Schneelast auf dem Flachdach (Beiwert $C_{esl} = 2,3$):
 $s_A = 1,50 \text{ kN/m}^2 = 2,3 * 0,65 \text{ kN/m}^2$

Schneelasten auf dem begehbaren Balkon werden nicht berücksichtigt, da eine Überlagerung mit den maßgebenden Verkehrslasten ($q = 5,0 \text{ kN/m}^2$) nicht erforderlich ist.

Eislasten

Vereisung des Stahlmantels

Die Eislasten werden in Anlehnung an [N_55-5, Anhang A] ermittelt.

Bauwerkseinordnung:

Eiszone: **1 (Küste)**
Vereisungsklassen: **G 1, R 1**
Bauwerkshöhe: $\sim 31 \text{ m}$ über Gelände / NW

Eislasten:

Höhenfaktor $k_z = 1,21 = 1 + (31-10) / 100$
Glatteis – G1 (allseitig) $e_G = 0,09 \text{ kN/m}^2 = 0,01 \text{ m} * 9 \text{ kN/m}^3$
Raueis – R1 (einseitig) $e_R = 0,03 \text{ kN/m}^2 = L * \rho_R * k_z = 4 \text{ mm} * 5 \text{ kN/m}^3 * 1,21$

Die Eislasten sind im Verhältnis zu den in Ansatz gebrachten Lasten für die Wandaufbauten gering ($\leq 10 \%$). Aufgrund der geringen Lastwerte (und der sonst konservativen Lastannahmen) werden die Eislasten in der Programmberechnung nicht weiter verfolgt.

Auf eine Anpassung der Windlasten im Vereisungsfall wird verzichtet, da die Windlasten bei diesem gedungenen Baukörper durch die Vereisung nicht relevant verändert werden.

Eisgang auf dem umgebenden Meer

Die Ersatzlasten für Beanspruchungen aus herantreibenden Eis werden im *Teil IV* des Gutachtens ermittelt. Im aktuellen Zustand befindet sich der höchste Tidehochwasserstand (HTHW) bei ca. 4,08 m NHN. Auch bei einem perspektivischen Anstieg des Meeresspiegels (von bis zu 2,0 m) befindet sich der Ruhewasserstand und die in dieser Höhe wirkenden Ersatzlasten unter dem Kellergeschoss in Höhe der massiv ausgeführten Sockelebene. Ersatzlasten für Beanspruchungen aus Eisgang sind für die Stahlkonstruktion also nicht relevant.

3.02.4 Windlasten

Die Windlasten werden vereinfacht, in Anlehnung an die in der aktuellen Normung geregelten Fälle ermittelt. Eine „exakte“ Abbildung der Windlasten an den oberen beiden Geschossen mit den Erkern ist aufgrund der komplex zusammengesetzten Grundrisskonturen nicht möglich. Für genauere Windlastannahmen ist ein diesbezügliches Gutachten erforderlich.

Bauwerkseinordnung und Böengeschwindigkeitsdruck:

Windzone: 4 (Inseln der Nordsee)
 Geländekategorie: I (offene See)
 Böengeschwindigkeitsdruck: Für Bauwerkshöhe > 25 m.
 Basiswindgeschwindigkeit $v_b = 30,00$ m/s
 Basisgeschwindigkeitsdruck $q_b = 0,56$ kN/m²

Geschwindigkeitsdruck	Ebene	Höhe über Niedrigwasser z [m]	Geschwindigkeitsdruck $q_p(z) = 1,5 * (z/10)^{0,19}$ [kN/m ²]
	OK Caisson	~ 0,2 + 2,05 = 2,25	1,13
	UK Keller	~ 6,4 + 2,05 = 8,45	1,45
	UK Schlafraum	~ 10,6 + 2,05 = 12,65	1,57
	UK Küche	~ 14,9 + 2,05 = 16,95	1,66
	UK Dienstraum	~ 19,0 + 2,05 = 21,05	1,73
	UK Laterne	~ 22,8 + 2,05 = 24,85	1,78
	OK LT	~ 28,9 + 2,05 = 30,95	1,86

Dachwindlasten

Die Dächer werden in Anlehnung an DIN EN 1991-1-4 in folgende genormte Dachtypen differenziert.

Kuppeldach – Für Windlasten am Dach der Hauptlaterne:

Außendruckbeiwerte ($c_{pe,10}$) und Windlasten für Kuppeldach ($f/d = 0,5$, $h/d > 0,5$):

$$\begin{aligned} w_{eA} &= +0,8 * 1,86 \text{ kN/m}^2 = +1,49 \text{ kN/m}^2 \\ w_{eB} &= -1,3 * 1,86 \text{ kN/m}^2 = -2,42 \text{ kN/m}^2 \\ w_{eC} &= -0,5 * 1,86 \text{ kN/m}^2 = -0,93 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tonnendach – Für Windlasten am Dach über dem Treppenerker:

Außendruckbeiwerte ($c_{pe,10}$) und Windlasten für Tonnendach:

$$\begin{aligned} w_{eA} &= +0,8 * 1,86 \text{ kN/m}^2 = +1,49 \text{ kN/m}^2 \\ w_{eB} &= -1,2 * 1,86 \text{ kN/m}^2 = -2,23 \text{ kN/m}^2 \\ w_{eC} &= -0,4 * 1,86 \text{ kN/m}^2 = -0,74 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Flagge auf First:

Im aktuellen sowie im zukünftigen Zustand ist keine Flagge am Turm angebracht.

Wandwindlasten

Die Windlasten werden zum einen mit Außendruckbeiwerten und zum anderen mit Kraftbeiwerten für einen zylindrischen Turm ermittelt. Die höheren Lastwerte aus diesen beiden Betrachtungen werden bei der Berechnung berücksichtigt.

Windlasten aus Winddrücken

Ermittlung der Außendruckbeiwerte für den zylindrischen Turmschaft:

$$\begin{aligned} \text{Windgeschwindigkeit} \quad v_{m,z=30,95} &= 1,18 v_b (z/10)^{0,16} = 42,41 \text{ m/s} \\ \text{Böengeschwindigkeit} \quad v_{p,z=30,95} &= 1,61 v_b (z/10)^{0,095} = 53,77 \text{ m/s} \\ \text{Reynoldszahl:} \quad Re_{z=30,95} &= (5,1 \text{ m} * 53,8 \text{ m/s}) / 15 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 1,8 * 10^7 \end{aligned}$$

Die folgenden Werte werden aus DIN EN 1991-1-4, Tab. 7.27 für $Re = 1 \cdot 10^7$ entnommen:

$$\alpha_{\min} = 75^\circ; c_{p0,\min} = -1,5; \alpha_A = 105^\circ; c_{p0,h} = -0,8$$

Da die tatsächliche Reynoldszahl größer ist, werden die Werte folgendermaßen angepasst:

$$\alpha_{\min} = \text{s.o.}; c_{p0,\min} = \text{s.o.}; \alpha_A = 100^\circ; c_{p0,h} = -1,0$$

Schlankheit $\lambda = 4,8 = \text{MIN}(28,7 \text{ m} / 6 \text{ m}; 70)$

Völligkeit $\phi = 1,0$

Abminderungsfaktoren $\Psi_\lambda = 0,67$

$$\Psi_{\lambda\alpha 1} = 1,00$$

$$\Psi_{\lambda\alpha \min} = 1,00$$

$$\Psi_{\lambda\alpha A} = 1,00$$

$$\Psi_{\lambda\alpha 3} = 0,67$$

Außendruckbeiwerte: $c_{pe,0} = 1,00 = 1,0 \cdot 1,0$

$$c_{pe,\min} = -1,50 = -1,5 \cdot 1,0$$

$$c_{pe,h} = -0,67 = -1,0 \cdot 0,67$$

Windlasten für den Turm:

- Turmschaft bis UK Dienstraum:

Mittlerer Durchmesser $D = 5,85 \text{ m}$ für $z = 21,05 \text{ m}$ (s.o.)

Geschwindigkeitsdruck $q_p = 1,73 \text{ kN/m}^2$

Windlast $w_{e,0} = 1,73 \text{ kN/m}^2 = 1,00 \cdot 1,73 \text{ kN/m}^2$

$$w_{e,\min} = -2,60 \text{ kN/m}^2 = -1,50 \cdot 1,73 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,h} = -1,16 \text{ kN/m}^2 = -0,67 \cdot 1,73 \text{ kN/m}^2$$

Über den Umfang aufsummiert, ergibt sich folgende, in Anströmrichtung wirkende Gesamtwindlast:

Gesamtwindlast: $W_e = 5,21 \text{ kN/m Höhe}$

- 3. OG (Dienstraum) und Laterne:

Vereinfachend werden die Windlasten für diese beiden Geschosse für einem den Grundriss des Dienstzimmers (mit Erkern) umschreibenden Zylinder ermittelt. Des Weiteren werden die Windlasten nicht durch den Faktor Ψ_λ abgemindert, um Verwirbelungen u.a. Effekte an den Erkern abzudecken.

Durchmesser $D = 8,20 \text{ m}$

Geschwindigkeitsdruck $q_p = 1,86 \text{ kN/m}^2$ für $z = 30,95 \text{ m}$ (s.o.)

Windlast $w_{e,0} = 1,86 \text{ kN/m}^2 = 1,00 \cdot 1,86 \text{ kN/m}^2$

$$w_{e,\min} = -2,79 \text{ kN/m}^2 = -1,50 \cdot 1,86 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,h} = -1,86 \text{ kN/m}^2 = -1,00 \cdot 1,86 \text{ kN/m}^2$$

Über den Umfang aufsummiert, ergibt sich folgende, in Anströmrichtung wirkende Gesamtwindlast:

Gesamtwindlast: $W_e = 10,28 \text{ kN/m Höhe}$

Windlasten aus Kraftbeiwerten

Äquivalente Rauigkeit $k = 0,50 \text{ mm}$ *Blechstöße usw.*

- Turmschaft bis UK Dienstraum:

Mittlerer Durchmesser $D = 5,85 \text{ m}$

Geschwindigkeitsdruck $q_p = 1,73 \text{ kN/m}^2$ für $z = 21,05 \text{ m}$ (s.o.)

Verhältniswert $k/b = 8,5 \cdot 10^{-5}$

Grundkraftbeiwert $c_{f,0} = 0,81$

Kraftbeiwert $c_f = 0,54$ mit $\Psi_\lambda = 0,67$

Gesamtwindlast: $W_e = 5,47 \text{ kN/m Höhe} = 1,73 \cdot 0,54 \cdot 5,85$

- 3. OG (Dienstraum) und Laterne:

Mittlerer Durchmesser	D =	8,20 m	
Geschwindigkeitsdruck	$q_p =$	1,86 kN/m ²	für z = 30,95 m (s.o.)
Verhältniszwert	$k/b =$	$6,1 \cdot 10^{-5}$	
Grundkraftbeiwert	$c_{f,0} =$	1,00	aufgerundet
Kraftbeiwert	$c_f =$	1,00	mit $\Psi_\lambda = 1,00$
Gesamtwindlast:	$W_e =$	15,25 kN/m Höhe	$= 1,86 \cdot 1,00 \cdot 8,20$

3.02.5 Wellenlasten

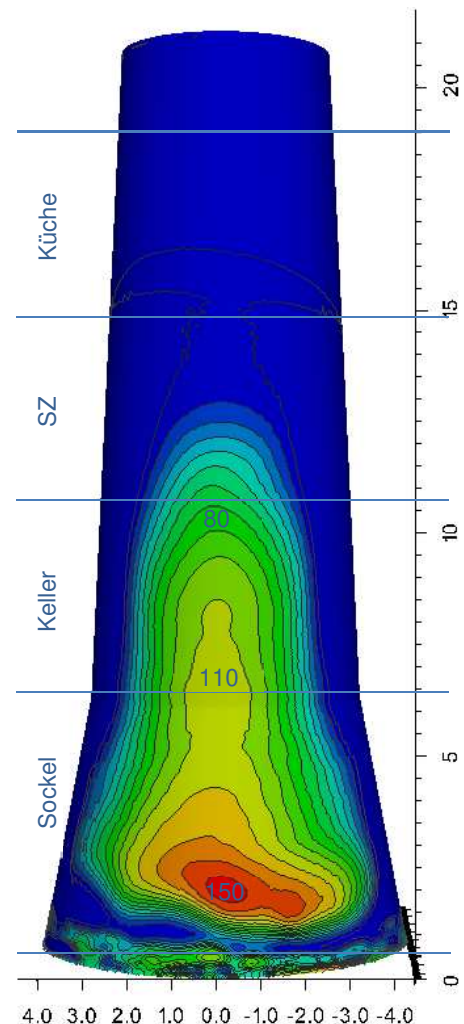
Die Ersatzlasten aus Wellengang und deren Ermittlung sind im Teil IV des Gutachtens detailliert beschrieben. Für die Stahlkonstruktion des Leuchtturmes sind folgende Ersatzlasten relevant.

Druckschlag aus gebrochener Welle

Der Maximalwert der Ersatzlast beträgt 150 kN/m² in Höhe des Sockels (roter Bereich). Davon ausgehend reduziert sich die Belastung entsprechend der nebenstehenden Grafik.

Die Wellenersatzlasten betragen im Kellergeschoss bis zu 115 kN/m² und im Geschoss Schlafzimmer bis zu 80 kN/m².

Die Wellen-Ersatzlasten führen zu einer deutlichen Überbeanspruchung der Stahlkonstruktion! Da Berechnungen ohne diese Belastung bereits hohe Auslastungsgrade ergeben, werden diese Lasten bei der Nachrechnung der Bestandskonstruktion nicht berücksichtigt. Im Kapitel 3.04.6 werden dahingehende Tragwerksreserven bzw. Lastabtragmechanismen ergründet.



3.02.6 Temperaturlasten

Regelungen zu Temperatureinwirkungen sind in [N_01-5] enthalten.

Für Gebäude (über der Erde) und Brücken werden folgende Außenlufttemperaturen angegeben:

- Außenlufttemperaturen: $T_{max} = +37 \text{ °C}$ gem. [N_01-5], Tabelle 5.2 und 6.1.3.2
 $T_{min} = -24 \text{ °C}$
- Temperaturerhöhung infolge Sonneneinstrahlung (im Sommer): gem. [N_01-5], Tabelle 5.2
 - Für helle farbige Oberflächen $T_4 = +30 \text{ °C}$ in Süd-West-Ausrichtung
 - Für dunkle Oberflächen $T_5 = +42 \text{ °C}$ in Süd-West-Ausrichtung

Da die Konstruktion des Leuchtturmes (mit dem Blechmantel und der zweischaligen, innenliegenden Holzverschalung) keinem üblichen Gebäude entspricht, werden die Temperaturanteile in Anlehnung an die Regelungen für Brücken folgendermaßen ermittelt.

Typisierung der Stahlkonstruktion des Leuchtturmes:

- Typ 1 / Stahlkonstruktion / Hohlkastenträger

Es wird zwischen einem konstanten Temperaturanteil und einem veränderlichen Temperaturanteil unterschieden.

Der minimale und maximale konstante Temperaturanteil kann für eine Typ 1-Konstruktion folgendermaßen aus [N_01-5], *Bild 6.1* ermittelt werden:

- Konstante Temperaturanteile: $T_{e,max} = +53 \text{ °C} = T_{max} + 16 \text{ °C}$
 $T_{e,min} = -27 \text{ °C} = T_{min} - 3 \text{ °C}$
- Unter Annahme einer Aufstelltemperatur von $T_0 = 10 \text{ °C}$ ergeben sich folgende relevante Temperaturdifferenzen: $\Delta T_{N,con} = 37 \text{ K} = T_0 - T_{e,min}$
 $\Delta T_{N,exp} = 43 \text{ K} = T_{e,max} - T_0$

Bei den veränderlichen Temperaturanteilen werden vertikale und horizontale Temperaturunterschiede differenziert. Für die vertikalen Temperaturunterschiede können aus [N_01-5], *Tabelle 6.1* folgende Werte für eine Typ 1-Stahlkonstruktion abgelesen werden:

- Temperaturunterschiede: $\Delta T_{M,heat} = 18 \text{ °C}$; $\Delta T_{M,cool} = 13 \text{ °C}$

Zur Berücksichtigung der Dicke des Oberbelags wird in [N_01-5], *Tabelle 6.2* der Beiwert k_{sur} definiert. Dieser wird für den Fall oben (außen) wärmer als unten (innen) auf der sicheren Seite liegend für Oberflächen ohne Belag berücksichtigt.

- Beiwerte k_{sur} : $k_{sur,heat} = 1,6$ für dunkle Oberflächen
 $\Delta T_{M,heat,k} = 29 \text{ K} = T_{M,heat} \cdot k_{sur,heat}$
 vgl. $\Delta T_1 = 30 \text{ K}$ gem. [N_01-5], *Tabelle B.1*, maßg.

Die horizontal veränderlichen Temperaturanteile gem. [N_01-5] gelten für Brücken und berücksichtigen einen über die Breite der Oberseite verteilten Temperaturunterschied. Der dort geregelte (relativ geringe) Temperaturunterschied ($\Delta T = 5 \text{ K}$) wird hier vernachlässigt.

Um über dem Umfang verteilte Temperaturunterschiede (sonnenbeschienen/verschattet) abzubilden, werden hier nur einzelne Turmsektoren mit den o.g. Temperaturunterschieden belastet.

Zur gleichzeitigen Berücksichtigung von konstanten und veränderlichen Temperaturen werden die Regelungen aus [N_01-5], 6.1.5 folgendermaßen angewendet:

- Beiwerte: $\omega_N = 0,35$; $\omega_M = 0,75$
- Kombinierte Temperaturunterschiede:

Fall 1 - Erwärmung:	$\Delta T_{out,1} = 45 \text{ K}$	$= \Delta T_{M,heat,k} + \omega_N \cdot \Delta T_{N,exp}$	
	zugeh. $\Delta T_{in} = 15 \text{ K}$	$= \omega_N \cdot \Delta T_{N,exp}$	\Rightarrow maßg. $\Delta T_{o/i} = 30 \text{ K}$
	$\Delta T_{out,2} = 66 \text{ K}$	$= \omega_M \cdot \Delta T_{M,heat,k} + \Delta T_{N,exp}$	
	zugeh. $\Delta T_{in} = 43 \text{ K}$	$= \Delta T_{N,exp}$	\Rightarrow maßg. $\Delta T_{o/i} = 23 \text{ K}$
Fall 2 - Abkühlung:	$\Delta T_{out,1} = 26 \text{ K}$	$= \Delta T_{M,cool} + \omega_N \cdot \Delta T_{N,con}$	
	zugeh. $\Delta T_{in} = 13 \text{ K}$	$= \omega_N \cdot \Delta T_{N,con}$	\Rightarrow maßg. $\Delta T_{o/i} = 13 \text{ K}$
	$\Delta T_{out,2} = 47 \text{ K}$	$= \omega_M \cdot \Delta T_{M,cool} + \Delta T_{N,con}$	
	zugeh. $\Delta T_{in} = 37 \text{ K}$	$= \Delta T_{N,con}$	\Rightarrow maßg. $\Delta T_{o/i} = 10 \text{ K}$

3.02.7 Außergewöhnliche Lasten

Außergewöhnliche Schneelasten im norddeutschen Tiefland

Siehe *Kapitel Schneelasten*.

Anpralllasten

Anpralllasten, bspw. aus Schiffsverkehr, werden nicht berücksichtigt.

Erdbebenlasten

Das Bauwerk befindet sich in Erdbebenzone 0, d.h. dass keine derartigen Einwirkungen zu erwarten sind.

3.03 Modellierung und Schnittgrößenermittlung

3.03.1 Geometrie und Modellierung

Allgemeine Erläuterungen

Die Stahlkonstruktion des Leuchtturmes wurde im Programm RFEM (von Dlubal) modelliert. Als Grundlage dienten neben den Bestandsunterlagen die bei den Ortsterminen im Oktober 2018 und Mai 2019 aufgenommenen Maße, Querschnitte, Konstruktionen und Schäden.

Zunächst wurde das Tragwerk des Turmes als Stabwerk abgebildet. Die Berechnung des Stabwerkmodells führte jedoch zu unrealistisch großen Verformungen. Aus diesem Grund wurde das Rechenmodell hinsichtlich einer Berücksichtigung des Blechmantels des Turmes überarbeitet. Die vertikale Tragstruktur setzt sich im Rechenmodell aus den Flächenelementen des Blechmantels und den an diese exzentrisch angeschlossenen Stützen-Stäben zusammen (bei dem Modell handelt es sich also um ein linear-elastisches Schalentragwerk mit stabartigen Versteifungen). Die Deckenebenen sind als Trägerroste idealisiert. Bei der Decke über Dienstzimmer wurde ebenso das oberseitig angeordnete Deckblech (als Scheibe) berücksichtigt.

Stabanschlüsse

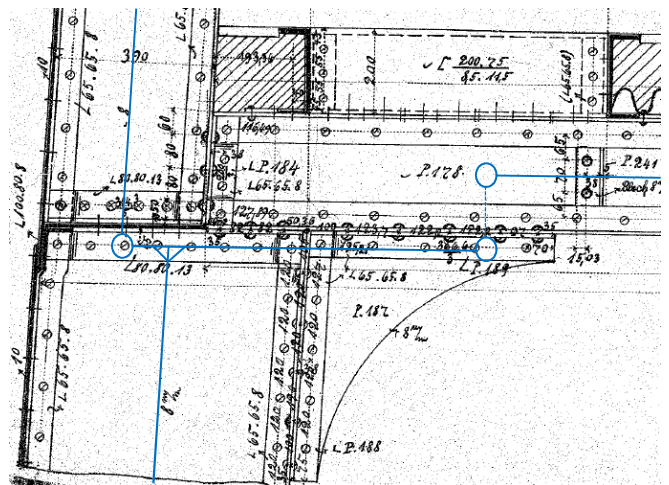
Die Stäbe sind i.d.R. gelenkig miteinander verbunden.

Sich kreuzende Stäbe (bspw. die Hauptträger der Decken) wurden mit sogenannten Scherengelenken gekoppelt, sodass rechnerisch keine Biegeschnittgrößen in den kreuzenden Träger übertragen werden.

Gevoutete Rahmenecken an den Decken über Keller bis über Küche

Die Anschlüsse zwischen den Hauptträgern der Geschosdecken und den Stützen sind durch Voutenbleche verstärkt.

Die Voutenbleche dienen vermutlich der Stabilisierung im Montagezustand und sind im Endzustand für die Gebäudestabilisierung nicht relevant, da der Blechmantel des Turms eine deutlich größere Steifigkeit hat. Dementsprechend wurde der Knoten zwischen Stütze und Hauptträger nicht mit Blick auf eine möglichst große Momententragfähigkeit konstruiert. Die Vouten sind jedoch erforderlich, um die Stützweite (und damit auch die Feldmomente) der Deckenträger zu reduzieren. Da eine biegesteife Idealisierung des Knotens nicht der Konstruktion entspricht, wurde eine konsolartige Modellierung gewählt. Dabei ist das Voutenblech biegesteif an die Stütze angeschlossen. Der Knoten zwischen Voute und Deckenträger ist als Gelenk idealisiert.



Die Ausführung der Knoten zwischen den Hauptträgern der Decken über dem Schlafzimmer sowie über der Küche und den Stützen wurde indirekt erkundet bzw. ist unbekannt. Dahingehend sind weitere Erkundungen erforderlich. Wird dabei festgestellt, dass das (in Analogie zur KG-Decke) gewählte Tragwerksmodell nicht zutreffend ist, müssen die Berechnungen entsprechend angepasst werden.

Gevoutete Rahmenecken an der Decke über Dienstzimmer

Alle Deckenträger der DZ-Decke sind mit Voutenblechen an die Stützen angeschlossen.

Abweichend von den unteren Deckenebenen ist der Anschluss in dieser Ebene rahmeneckartig ausgeführt und wird mit einer Drehfedersteifigkeit $C_{\phi y} = 5.000 \text{ kNm/rad}$ idealisiert.

Bleche

Die Blechstöße des Mantels sind genietet ausgeführt. Die vertikalen Stöße befinden sich i.d.R. nicht auf den Gurten der Stützen (jedoch teilweise nahe neben diesen). Die horizontalen Blechstöße befinden sich bei den Decken über Keller und über Küche in Höhe der umlaufenden Ringsteifen. Die übrigen Horizontalstöße der Bleche sind vermutlich direkt (ohne Steifen) ausgeführt.

Die Steifigkeit der Mantelbleche wird rechnerisch reduziert, um deren Tragfähigkeit mit Blick auf die Stoßausführung und die Beulsicherheit nicht zu überschätzen. Die Elastizitäts- und Schubmoduli werden pauschal mit dem Faktor 0,5 abgemindert.

Idealisiertes Tragwerk

Im Folgenden wird das modellierte Tragwerk abgebildet.

Gesamtragwerk

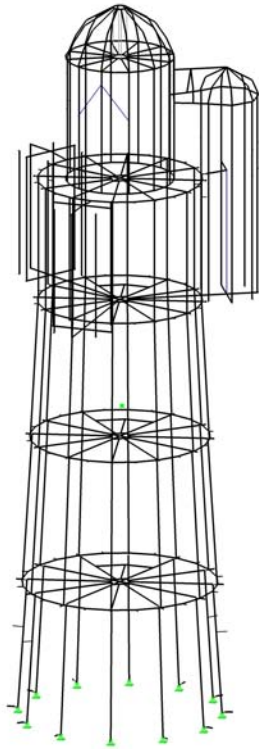


Abb. 1 Isometrie Stabwerk ohne Blechmantel (Blick von S/SSO)

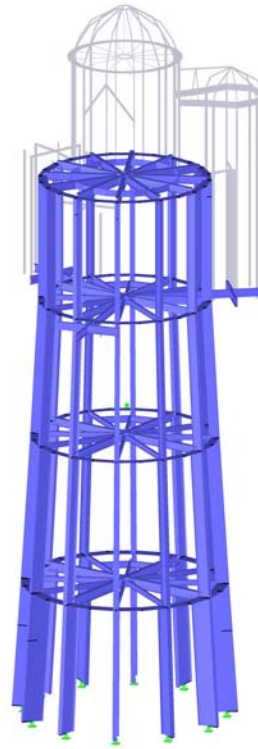


Abb. 2 Isometrie Stabwerk ohne Erker, Laternen und ohne Blechmantel



Abb. 3 Isometrie Blechmantel ohne Stabwerk (Blick von S/SSO)

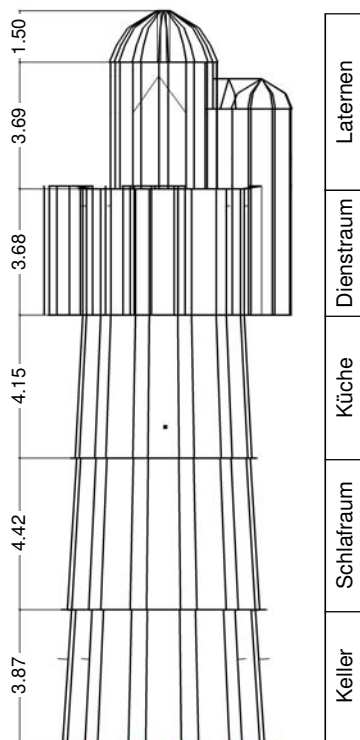


Abb. 4 Höhengliederung bez. auf Bauteilachsen (S-Ansicht)

Der Leuchtturm ist über dem massiv ausgeführten Sockelgeschoss als Stahlkonstruktion, welche sich in die fünf links dargestellten Geschossebenen gliedert, ausgeführt. Das „Skelett“ des Gebäudes setzt sich aus den auf den folgenden Seiten näher beschriebenen Hauptstützen sowie den Decken- und Erkerträgern zusammen. Vervollständigt wird die Unterkonstruktion durch Stützen und Träger der Erker und der Laternen. Das „Skelett“ des Turmes wird von einem Blechmantel umspannt. Die Stöße des Blechmantels sind, wie die übrige Konstruktion, genietet ausgeführt.

Stützen

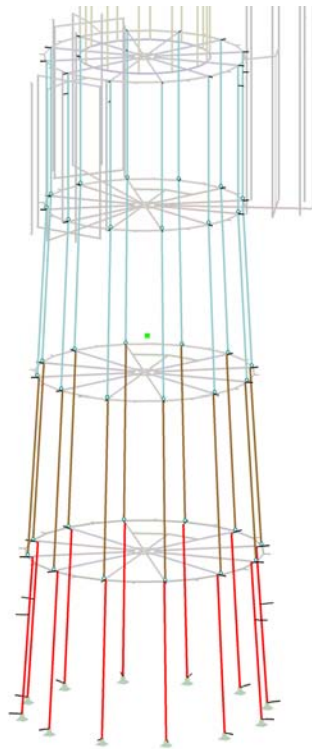


Abb. 5 Isometrie Stützen

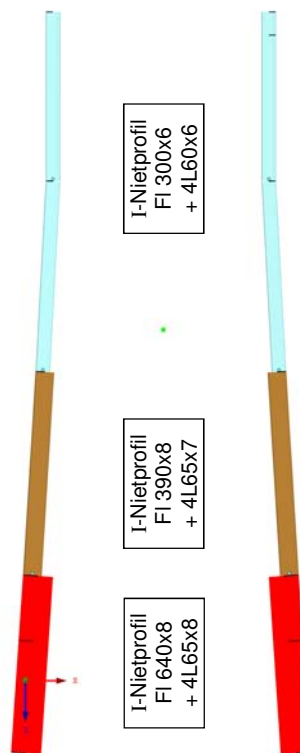


Abb. 6 Ansicht Stützen mit Querschnittsbez.

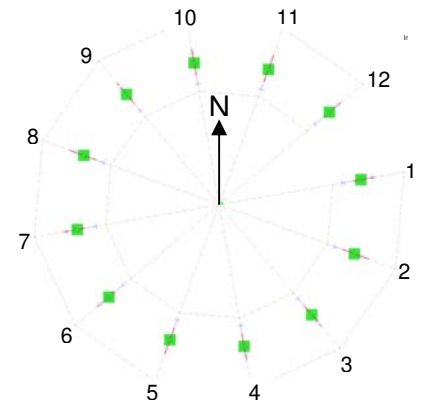


Abb. 7 Grundriss Stützenstellung und Systemachsen

Die Stützen sind als Nietprofile mit I-Querschnitt ausgeführt und stehen in den unteren drei Ebenen schräg (entsprechend der kegeltumpfförmigen Kubatur des Turmes). Die Querschnitte der Stützen sind in allen Achsen gleich, aber jeweils in den Ebenen der Decken geschossweise abgestuft. Ab der vierten Ebene, dem „Dienstzimmer“ stehen die Stützen lotrecht. Der Blechmantel des Turmes ist mit den äußeren Stützenflanschen vernietet.

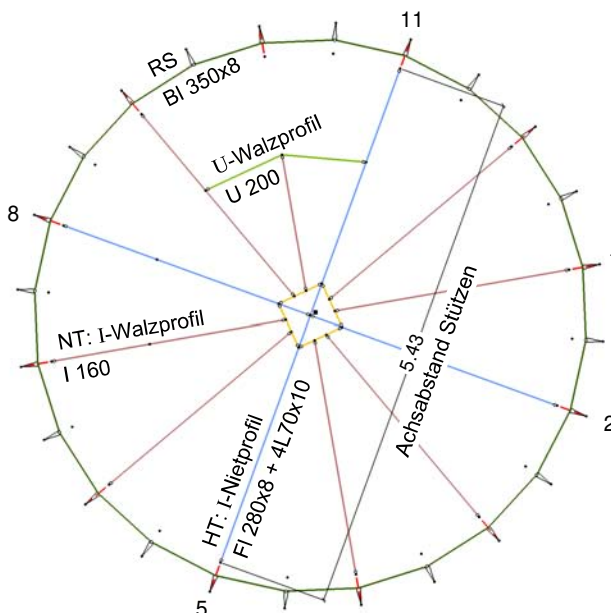


Abb. 8 Grundriss Decke über Keller mit Querschnittsbezeichnungen

Decke über Keller (D0)

Die Hauptträger der Decke befinden sich in den Achsen 2/8 und 5/11, kreuzen sich im 90°-Winkel und sind als Nietprofile ausgeführt. Der Anschluss an die Stützen ist durch Voutenbleche, die konsolartig wirken, verstärkt. Der Kreuzungspunkt der Hauptträger ist mit quadratischen Laschenblechen, welche oben und unten auf die Gurte genietet sind, ausgeführt.

Zwischen den Hauptträgern befinden sich je zwei Walzprofil-Nebenträger im Abstand von je 30°. Die Nebenträger sind im Zentrum über (vertikal eingebaute) Diagonalbleche gelenkig an die Hauptträger angeschlossen. Der Anschluss der Nebenträger an die Stützen ist ebenso gelenkig. Die Stützen sind durch eine außen umlaufende Ringsteife, welche als horizontal eingebautes Blech ausgeführt und über einen L-Winkel mit dem Blechmantel vernietet ist, gekoppelt. Der Nebenträger in der Achse 10 ist durch ein Walzprofil ausgewechselt, da sich dort die Treppenöffnung in der Decke befindet.

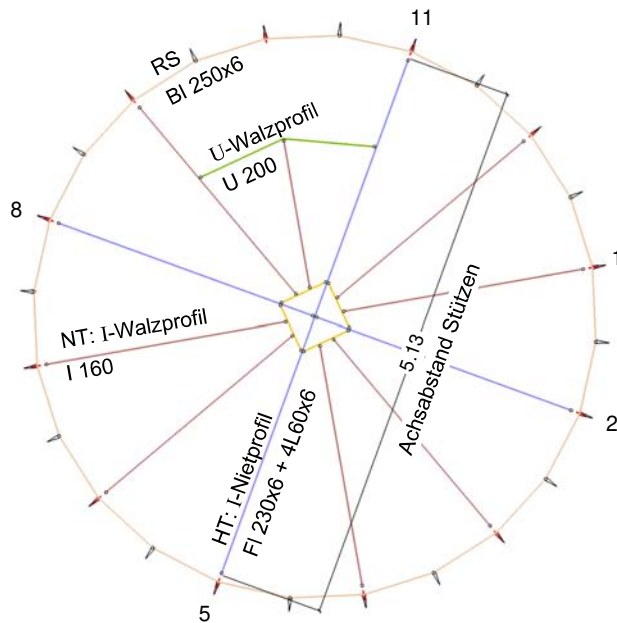


Abb. 9 Grundriss Decke über Schlafräum mit Querschnittsbezeichnungen

Decke über Schlafräum (D1)

Die Decke über dem Schlafräum ist prinzipiell wie die Decke über dem Keller aufgebaut, unterscheidet sich jedoch durch die kleineren Querschnitte der Hauptträger und der Ringsteife.

Decke über Küche (D2)

Die Decke über der Küche (bzw. unter dem Dienstzimmer mit den Erkern) ist wie links dargestellt aufgebaut. Die regulären Deckenträger sind, wie bei den darunter liegenden Decken, in den Hauptachsen angeordnet. Für die Erker sind zusätzliche Deckenträger (im Folgenden auch als „Erkerträger“ bezeichnet) zwischen den Achsen 12/1, 4/5 und 8/9 eingebaut. Die zusätzlichen Nietträger für die Erker haben einen U-Querschnitt und kragen über den Blechmantel des Turmschafes nach außen aus. Im Zentrum der Erkergrundrisse kreuzt je ein ebenen-

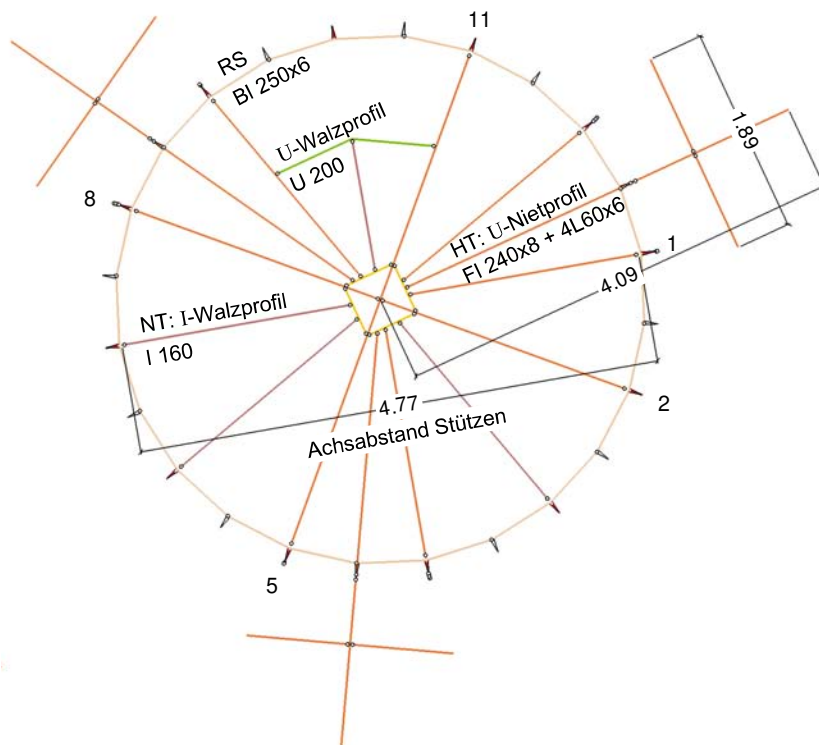


Abb. 10 Grundriss Decke über Küche mit Querschnittsbezeichnungen

gleich angeordneter Querträger die Erkerträger im 90°-Winkel. Die zu den Erkerträgern benachbarten Deckenträger haben den gleichen U-Querschnitt wie die Erkerträger. Bei der Tragwerksmodellierung wurde angenommen, dass die Hauptträger (in den Achsen 2/8 und 5/11) den gleichen Querschnitt wie die Erkerträger haben. Die Hauptträger sind über konsolartig wirkende Voutenbleche an die Stützen angeschlossen. Hinsichtlich des Querschnitts der Nebenträger, die sich nicht in Nachbarschaft zu einem Erkerträger befinden, besteht Unklarheit, weshalb in Analogie zu den darunter liegenden Decken ein I-Walzprofil angenommen wurde.

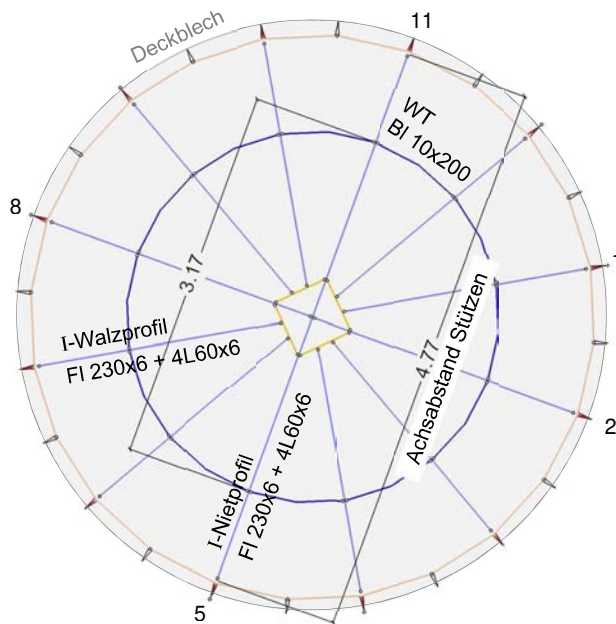


Abb. 11 Grundriss Decke über Dienstzimmer mit Querschnittsbezeichnungen

Decke über Dienstzimmer (D3)




Die Träger der Decke über Dienstzimmer haben I-Querschnitte. Es wird vermutet, dass alle Träger den gleichen Querschnitt haben, da alle über Voutenbleche biegesteif an die Stützen angeschlossen sind.








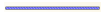




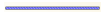
Die Lasten aus der zentrisch über der Decke angeordneten Hauptlaterne, deren Stützen um ein halbes Achsraster versetzt zu den Deckenträgern angeordnet sind, werden über zwischen den Deckenträgern eingehängene Wechselträger eingetragen. Die Wechselträger haben einen stehenden Rechteckquerschnitt und sind über L-Winkel an das über den Deckenträgern angeordnete Dachblech angeschlossen.




Die Erker sind hier nicht dargestellt, da die Lasten auf den Erkern über die Erkerstützen und die Mantelbleche der Erker (im Geschoss „Dienst-raum“) nach unten abgetragen werden.

3.03.2 Querschnitte

Ungeschwächte Querschnitte:

Bezeichnung	Querschnitt Darstellung	Abmessungen				Bauteil Stat. Pos.-nr.	Bemerkung	
		Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Blechkicken Steg s [mm]	Gurt t [mm]			
STÜTZEN								
NP	I 640 + 4L65x8		640	138	8	8	Stützen im Kellergeschoss S.KG.ii	Querschnitt ohne anschließenden Blechmantel
NP	I 390 + 4L65x7		390	138	8	7	Stützen im Schlafrum S.SZ.ii	Querschnitt ohne anschließenden Blechmantel
NP	I 300 + 4L60x6		300	126	6	6	Stützen im Küchengeschoss u. Dienstzimmer S.Kü.ii S.DZ.ii	Querschnitt ohne anschließenden Blechmantel

Bezeichnung	Querschnitt						Bauteil Stat. Pos.-nr.	Bemerkung
	Darstellung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Abmessungen				
				Blehdicken Steg s [mm]	Gurt t [mm]			
DECKE über KELLER								
NP	I 280 + 4L70x10		280	148	8	10	Hauptträger Decke ü. Keller HT.KG.ii	
WP	I 160		160	74	6,3	9,5	Nebenträger Decke ü. Keller NT.KG.ii	
WP	U 200		200	75	8,5	11,5	Wechselträger Decke ü. Keller WT.KG.ii	
FI	FI 350x8		8	350	-	-	Ringsteife Decke ü. Keller T.KG.ii	
DECKE über SCHLAFZIMMER								
NP	I 230 + 4L60x6		230	126	6	6	Hauptträger Decke ü. Schlafzi. HT.SZ.ii	
WP	I 160		160	74	6,3	9,5	Nebenträger Decke ü. Schlafzi. NT.SZ.ii	
WP	U 200		200	75	8,5	11,5	Wechselträger Decke ü. Schlafzi. WT.SZ.ii	
FI	FI 250x6		6	250	-	-	Ringsteife Decke ü. Schlafzi. T.KG.ii	
DECKE über KÜCHE								
NP	U 240 + 2L60x6		240	68	8	6	Hauptträger Decke ü. Küche HT.Kü.ii	Evtl. haben die Hauptträger einen I-Querschnitt
NP	U 240 + 2L60x6		240	68	8	6	Erkerträger Decke ü. Küche T.Kü.ii	
WP	I 160		160	74	6,3	9,5	Nebenträger Decke ü. Küche NT.Kü.ii	Evtl. haben die NT den gleichen QS wie die Erkerträger
WP	U 200		200	75	8,5	11,5	Wechselträger Decke ü. Küche WT.Kü.ii	
FI	FI 250x6		6	250	-	-	Ringsteife Decke ü. Küche T.Kü.ii	

Bezeichnung	Querschnitt					Bauteil Stat. Pos.-nr.	Bemerkung
	Darstellung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Abmessungen Blehdicken Steg s [mm] Gurt t [mm]			
DECKE über DIENSTZIMMER							
NP	I 230 + 4L60x6		230	126	6	6	Hauptträger Decke ü. Dienstzi HT.DZ.ii
NP	I 230 + 4L60x6		230	126	6	6	Nebenträger Decke ü. Dienstzi HT.DZ.ii
FI	FI 200x10		200	10	-	-	Wechselträger Decke ü. Dienstzi WT.DZ.ii

FI = Flachblech; NP = genietetes Profil; WP = gewalztes Profil

3.03.3 Einwirkungen

Folgende, auf dem *Kapitel Lastannahmen* basierende, Einwirkungen werden berücksichtigt.

Vertikallasten

Die Vertikallasten werden direkt aus dem *Kapitel Lastannahmen* in das Rechenmodell übernommen. Die Knoten-, Linien- und Stablasten wurden bei der Eingabe kommentiert, sodass auch Faktorisierungen nachvollziehbar sind (bspw. Multiplikation einer Wand-Flächenlast mit der Wandhöhe, um eine Linienlast zu erhalten). Aus diesem Grund wird hier auf eine erneute Aufführung der einzelnen Lastwerte verzichtet.

Horizontallasten

Die Horizontallasten bedürfen der folgenden Erläuterungen.

Windlasten

Die Windlasten wurden im *Kapitel Lastannahmen* ermittelt. Dabei wurde festgestellt, dass die Summe der Windlasten aus den Kraftbeiwerten größer als die aus den um den Umfang verteilten Winddrücken ist. Dementsprechend werden die maßgebenden Windlasten aus den Kraftbeiwerten für die Nachweise der globalen Standsicherheit berücksichtigt. Bei den Bauteilnachweisen können auch die flächenbezogenen Winddrücke maßgebend werden.

- Turmschaft (Keller- bis Küchengeschoss)

Für den Turmschaft wurden die Windlasten für einen mittleren Durchmesser ermittelt und als Gesamtwindlast je Meter Turmhöhe angegeben. Dieser mittlere Lastwert wird mit der Lasteinflusshöhe einer Geschosdecke multipliziert und in den Geschossebenen angesetzt.

$$\text{Gesamtwindlast: } W_e = 5,47 \text{ kN/m Höhe}$$

Die im Folgenden genannten Einflusshöhen sind auf die Schwerachsen der Deckenträger bezogen und können deswegen von den aus dem Übersichtsplan ermittelten Geschosshöhen abweichen.

- Ebene Decke über Keller:

Lasteinflusshöhe	$h_{LE} = (3,87 + 4,42) / 2 =$	4,15 m
Windlast (Einzellast)	$W = 4,15 \text{ m} \cdot 5,47 \text{ kN/m} =$	22,70 kN
 - Ebene Decke über Schlafräum:

Lasteinflusshöhe	$h_{LE} = (4,42 + 4,15) / 2 =$	4,29 m
Windlast (Einzellast)	$W = 4,29 \text{ m} \cdot 5,47 \text{ kN/m} =$	23,47 kN
 - Ebene Decke über Küche:

Lasteinflusshöhe	$h_{LE} = (4,15 + 0) / 2 =$	2,08 m
Windlast (Einzellast)	$W = 2,08 \text{ m} \cdot 5,47 \text{ kN/m} =$	11,38 kN
- 3. + 4. OG (Dienstzimmer und Laterne)

Aufgrund der zusammengesetzten Grundrisskontur wurde die Windlast für die beiden oberen Geschosse für einen den Grundriss umschreibenden Kreiszyylinder ermittelt. Dieser Lastwert wird mit der Lasteinflusshöhe multipliziert und in den Geschossebenen angesetzt.

Zusätzlich zu der in Anströmrichtung wirkenden Last wird orthogonal zu dieser eine zweite Komponente berücksichtigt, um nicht genauer ermittelbare Querbeanspruchungen zu berücksichtigen. Dieser Queranteil wird mit 20% der Last angenommen.

Des Weiteren wird ein um die Turmachse wirkendes Moment in Ansatz gebracht, welches eine exzentrische Einwirkung der Windlast (bspw. durch Verwirbelung an den Erkern) simuliert. Es wird angenommen, dass die Windlast mit einer Exzentrizität von dem 0,15-fachen Durchmesser des umschreibenden Zylinders angreift. In dem Rechenmodell wird das Moment durch ein auf zwei gegenüberliegende Stützen einwirkendes Kräftepaar abgebildet.

Gesamtwindlast:	$W_e = 15,25 \text{ kN/m Höhe}$	<i>in Anströmrichtung wirkend</i>
zugeh. Querwindlast (20 %):	$W_{e,q} = 3,05 \text{ kN/m Höhe}$	<i>quer z. Anströmrichtung wirkend</i>
zugeh. Moment:	$M_{W_e} = 18,76 \text{ kNm/m Höhe}$	$= 15,25 \text{ kN/m} \cdot 0,15 \cdot 8,2 \text{ m}$

Die im Folgenden genannten Einflusshöhen sind auf die Schwerachsen der Deckenträger bezogen und können deswegen von den aus dem Übersichtsplan ermittelten Geschosshöhen abweichen.

- Ebene Decke über Küche:

Lasteinflusshöhe	$h_{LE} = (3,68 + 0) / 2 =$	1,84 m
Windlast (Einzellast)	$W = 1,84 \text{ m} \cdot 15,25 \text{ kN/m} =$	28,06 kN
Windlast quer (Einzellast)	$W_q = 0,2 \cdot W =$	5,61 kN
Stützenabstand (Achse)	$e_{St} =$	4,77 m
M aus Wind (Kräftepaar)	$H_{MW} = W \cdot 0,15 \cdot 8,2 \text{ m} / e_{St} =$	$\pm 7,23 \text{ kN}$
- Ebene Decke über Dienstzimmer:

Lasteinflusshöhe	$h_{LE} = (3,68 + 3,69) / 2 =$	3,69 m
Windlast (Einzellast)	$W = 3,69 \text{ m} \cdot 15,25 \text{ kN/m} =$	56,27 kN
Windlast quer (Einzellast)	$W_q = 0,2 \cdot W =$	11,25 kN
Stützenabstand (Achse)	$e_{St} =$	4,77 m
M aus Wind (Kräftepaar)	$H_{MW} = W \cdot 0,15 \cdot 8,2 \text{ m} / e_{St} =$	$\pm 14,51 \text{ kN}$
- Ebene Decke über Laterne:

Lasteinflusshöhe	$h_{LE} = 3,69 / 2 + 1,5$	3,35 m
Windlast (Einzellast)	$W = 3,35 \text{ m} \cdot 15,25 \text{ kN/m} =$	51,09 kN
Windlast quer (Einzellast)	$W_q = 0,2 \cdot W =$	10,22 kN
Stützenabstand (Achse)	$e_{St} =$	3,10 m
M aus Wind (Kräftepaar)	$H_{MW} = W \cdot 0,15 \cdot 8,2 \text{ m} / e_{St} =$	$\pm 20,27 \text{ kN}$

Imperfektionen

Schiefstellungen eines Tragwerks werden üblicherweise mit (horizontal wirkenden) Ersatzlasten in der Größenordnung von $V/200$ (V = Vertikallast) berücksichtigt.

Die Gesamtmasse der Turmkonstruktion (inkl. der Ausbauten) liegt bei ca. 950 kN, woraus sich eine Gesamtersatzlast von < 5 kN ergibt. Ersatzlasten für Schiefstellungen der relativ leichten Stahlkonstruktion werden aufgrund des geringen Lastwertes und der konservativ angesetzten Windlasten vernachlässigt.

Wellenlasten

Die Wellenlasten wurden im *Kapitel Lastannahmen* angegeben.

Die Wellen-Ersatzlasten führen zu einer deutlichen Überbeanspruchung der Stahlkonstruktion! Da Berechnungen ohne diese Belastung bereits hohe Auslastungsgrade ergeben, werden diese Lasten bei der Nachrechnung der Bestandskonstruktion nicht berücksichtigt. Im Kapitel 3.04.6 werden dahingehende Tragwerksreserven bzw. Lastabtragmechanismen ergründet.

Temperaturlasten

Die Temperaturlasten werden folgendermaßen, basierend aus den Angaben im *Kapitel Lastannahmen* in Ansatz gebracht:

Temperaturlastfall		Temperaturunterschiede [K] *1)		
		Stabwerk (innen)	Blechmantel (außen)	Differenz außen-innen
501	Erwärmung (konstant)	+43 ($\Delta T_{N,exp}$)	+43 ($\Delta T_{N,exp}$)	0
502	Abkühlung (konstant)	-37 ($\Delta T_{N,con}$)	-37 ($\Delta T_{N,con}$)	0
511-522	Erwärmung Außen *2)	0	+30 (ΔT_1)	+30
531-542	Abkühlung Außen *2)	0	-13 ($\Delta T_{M,cool}$)	-13
550 + 511-522	Kombinierte Erwärmung (außen) -1 *2)	+15 ($\Delta T_{N,exp}$)	+45 (ΔT_{out})	+30
501 + 571-582	Kombinierte Erwärmung (außen) -2 *2)	+43 ($\Delta T_{N,exp}$)	+66 (ΔT_{out})	+23
590 + 531-542	Kombinierte Abkühlung (außen) -1 *2)	-13 ($\Delta T_{N,con}$)	-26 (ΔT_{out})	-13
502 + 611-622	Kombinierte Abkühlung (außen) -2 *2)	-37 ($\Delta T_{N,con}$)	-47 (ΔT_{out})	-10

1) Positive Werte bedeuten eine Erwärmung, negative eine Abkühlung.

2) Die Temperaturdifferenz wird in 12 Lastfällen eingegeben, um eine einseitige (bereichsweise, entsprechend der Hauptachsen gegliederten) Erwärmung des Turmes abzubilden.

3.04 Nachrechnung

Lastfallkombinationen und Bemessungswerte

Die in dem FEM-Programm definierten Lastfälle für Eigen-, Nutz-, Wind-, Schnee und Wellenlasten werden mit Teilsicherheitsbeiwerten behaftet überlagert. Dabei werden die Horizontallasten in vielfältigen Lastfallkombinationen sowohl mit maximalen wie auch mit minimalen Vertikallasten überlagert. Im Ergebnis sind die maximalen Beanspruchungen für jedes Bauteil abgreifbar.

Berücksichtigung der Temperaturlastfälle

Zur Begrenzung des Rechenaufwandes werden die Temperaturlastfälle nicht mit den übrigen Einwirkungen überlagert.

Dieses Vorgehen erscheint vertretbar, da die Spannungsauslastungen infolge dieser sehr ungünstig angesetzten Temperaturlastfälle größtenteils deutlich kleiner als 50 % sind (s. rechts). Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass lokal Spannungsauslastungen > 1,00 auftreten. Derartige SpannungsKonzentrationen sind modellbedingt und treten bei der genieteten Konstruktion nicht auf.

Bauteile	Spannungsauslastung
Stützen	< 45 %
KG-Decke	< 20 %
SZ-Decke	< 20 %
Kü-Decke	< 20 %
DZ-Decke	< 20 %
Blechmantel	~ 50 %

Weiterhin wird es als unwahrscheinlich eingeschätzt, dass ein Sturmereignis bei starker Sonneneinstrahlung, die hier zu den maßgebenden Temperaturdifferenzen und Spannungen führt, auftritt.

Bemessungswerte der Einwirkungen und Widerstände

Die zulässigen Spannungen/Beanspruchbarkeiten werden durch eine Division der charakteristischen Materialkennwerte durch einen globalen Sicherheitsbeiwert γ_{gl} ermittelt. In [Ril_805] enthält der globale Sicherheitsbeiwert γ'_{gl} neben den Teilsicherheitsbeiwerten γ_M und γ_F für Material und Einwirkungen auch den Teilsicherheitsbeiwert γ_B zur Berücksichtigung des baulichen Zustandes. In Anlehnung an das heute übliche Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten wird der globale Sicherheitsbeiwert γ'_{gl} in der genannten Richtlinie auf die Einwirkungs- und Widerstandsseite aufgeteilt (hier beispielhaft für Spannungen):

$$\begin{aligned} \text{Bemessungsspannung} & \quad \sigma_d = \text{vorh } \sigma \cdot \gamma_F \\ \text{Zulässige Spannung} & \quad \text{zul } \sigma = f_{y,k} / (\gamma_M \cdot \gamma_B) \\ \text{Nachweisformat} & \quad \sigma_d \leq \text{zul } \sigma \end{aligned}$$

Die Teilsicherheitsbeiwerte (TSB) für die Widerstandsseite sind in [Ril_805], Teil 0201, Tabelle 2 folgendermaßen geregelt:

$$\begin{aligned} \text{TSB für Material} & \quad \gamma_M = 1,20 \quad \text{für Schweißseisen vor 1900} \\ \text{TSB für baulichen Zustand} & \quad \gamma_B = 1,23 = 1,0 + 0,05 \cdot \sim 135a/30a \quad (\text{Zustandskategorie 4}) \\ \text{TSB für Widerstand} & \quad \gamma_{MB} = 1,48 = 1,2 \cdot 1,23 \end{aligned}$$

Die Teilsicherheitsbeiwerte (TSB) für die Einwirkungsseite sind in [Ril_805], Teil 0102, Tabelle 1 geregelt. Der dort angegebene Wert $\gamma_G = 1,20$ für Stahlkonstruktionen wird pauschal mit dem Faktor 1,1 vergrößert, um Kleinteile u.ä. zu erfassen. Damit ergibt sich nahezu der in [N_00] angegebene Teilsicherheitsbeiwert für ständige Lasten, der im Folgenden auch berücksichtigt wird.

$$\text{TSB für Stahlkonstruktion} \quad \gamma_{G,S} = 1,35$$

Abweichend von der Regelung in [Ril_805] werden die Lasten aus Aus- und Aufbauten sowie die Verkehrs- und sonstigen veränderlichen Lasten in Anlehnung an die aktuelle Normung für Hochbauten [N_00] mit den dort angegebenen Teilsicherheitsbeiwerten (TSB) bewertet.

$$\text{TSB für Aus- und Aufbauten} \quad \gamma_{G,A} = 1,35$$

$$\text{TSB für Verkehrslasten} \quad \gamma_Q = 1,50$$

$$\text{TSB für Windlasten} \quad \gamma_{Wi} = 1,50$$

$$\text{TSB für Wellenlasten} \quad \gamma_{We} = 1,50$$

$$\text{TSB für sonstige Lasten} \quad \gamma_Q = 1,50$$

Im Sinne des Nachweisverfahrens mit zul. Spannungen wird keine Leiteinwirkung festgelegt. Entsprechend werden die weiteren Einwirkungen auch nicht mit ψ -Beiwerten multipliziert in den Kombinationen erfasst.

Die vorliegenden Berechnungen dienen der Einschätzung der Standsicherheit des primären Tragwerks, bestehend aus Stützen, Deckenträgern und Mantelblechen des Turmschaftes. Die Tragfähigkeit von An- und Aufbauten, wie den Erkern und Laternen ist nicht Gegenstand der vorliegenden Berechnungen.

Die im Folgenden dargestellten Berechnungsergebnisse enthalten neben den ständigen Lasten, die Verkehrs-/Nutzlasten und die Ersatzlasten aus Wind. Wellenbeanspruchungen sind nicht enthalten, da die Ersatzlasten für die Wellenbeanspruchung rechnerisch zu einer deutlichen Überbeanspruchung der Stahlkonstruktion (Mantelbleche, Stützen, Ringsteifen und Anschlüsse) führen. Da jedoch keine relevanten Schäden am Bauwerk erkundet wurden, wird davon ausgegangen, dass die Wellenbeanspruchungen anderweitig aufgenommen werden (vertiefende Erläuterungen dazu siehe Kapitel 3.04.6 ff.). In diesem Sinne und um die relevanten Tragwerksbereiche unter regulärer Beanspruchung aufzeigen zu können, werden die Beanspruchungen aus Wellengang im Folgenden nicht berücksichtigt.

3.04.1 Spannungsnachweise

Im Folgenden werden die Spannungsauslastungen, die nach dem o.g. Nachweisformat ermittelt wurden, für die ungeschwächten Querschnitte angegeben.

Die folgenden Darstellungen zeigen die kritischen Punkte des Tragwerks.

Stützen

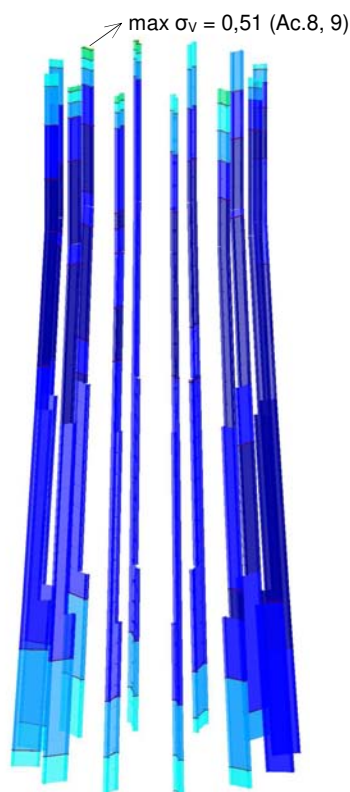


Abb. 12 Ausnutzung der Vergleichsspannung der Hauptstützen

Decke über Keller (D0)

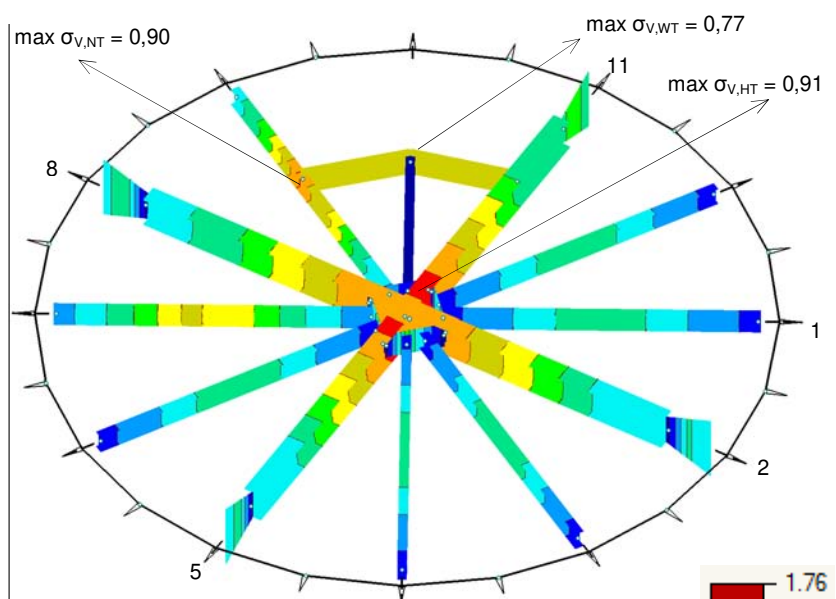
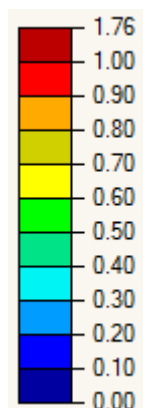


Abb. 13 Ausnutzung der Vergleichsspannung der Decke über Keller



Decke über Schlafzimmer (D1)

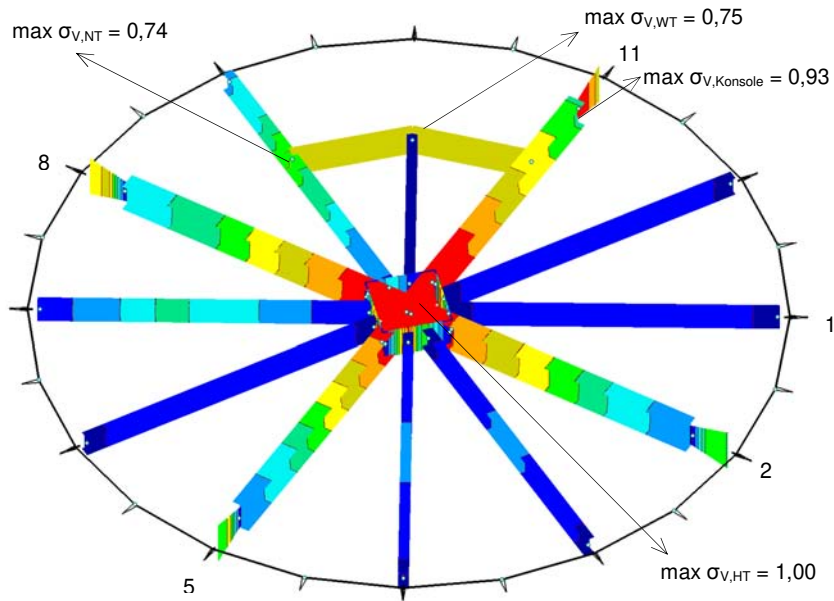


Abb. 14 Ausnutzung der Vergleichsspannung der Decke über Schlafzimmer

Decke über Küche (D2)

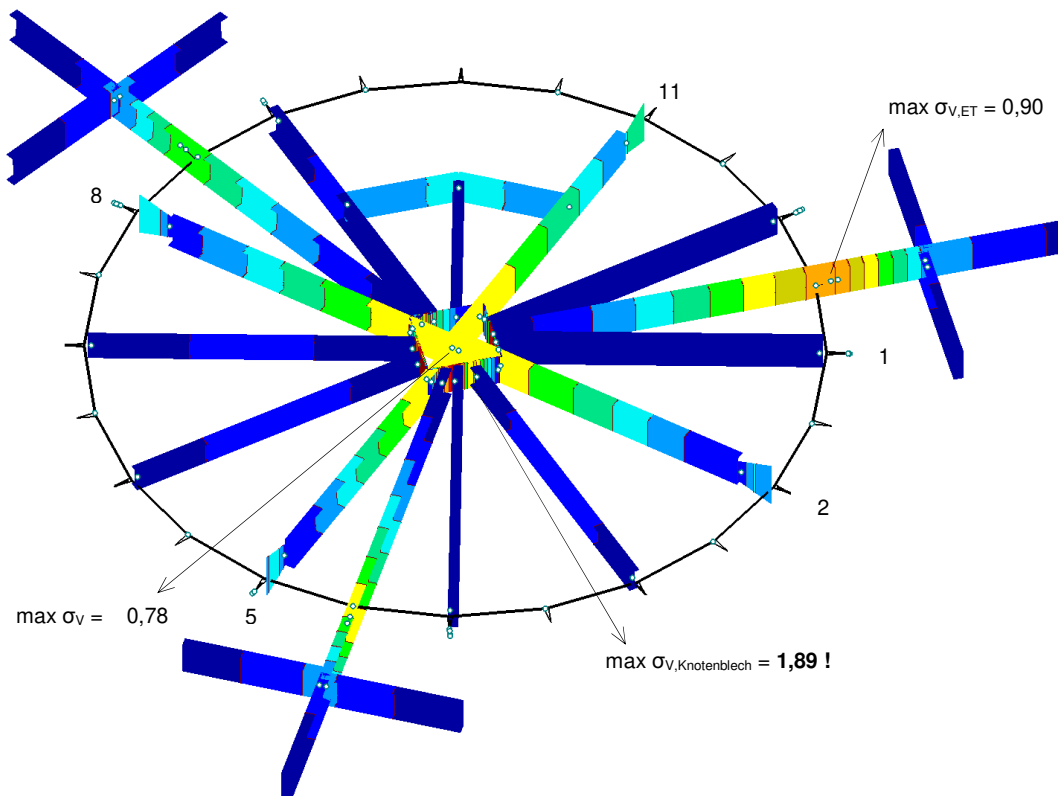


Abb. 15 Ausnutzung der Vergleichsspannung der Decke über Küche

Decke über Dienstzimmer (D3)

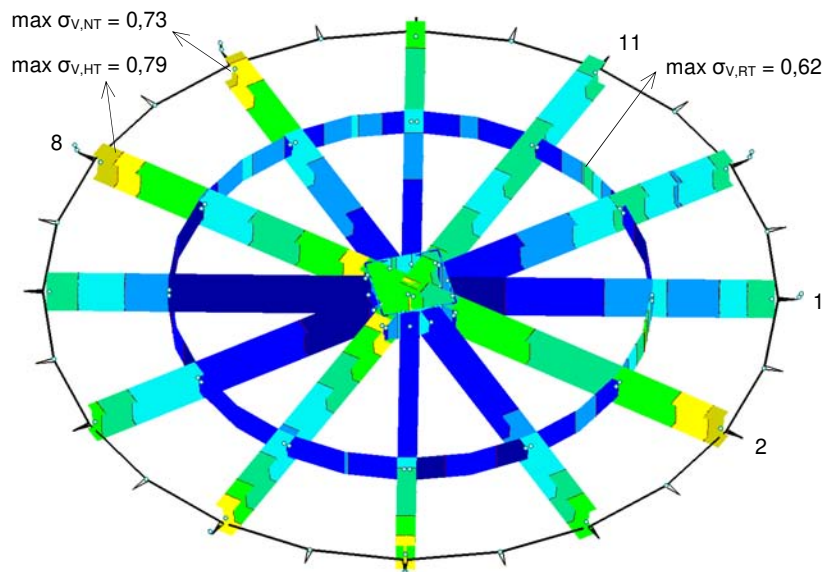


Abb. 16 Ausnutzung der Vergleichsspannung der Decke über Dienstzimmer

Blechmantel

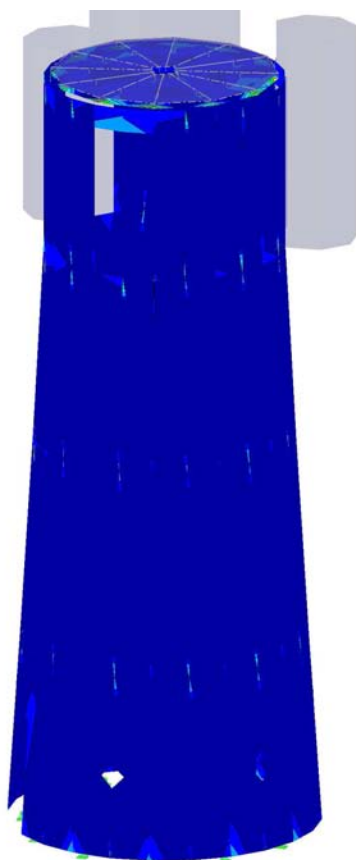


Abb. 17 Ausnutzung der Vergleichsspannung des Blechmantels

Deckblech

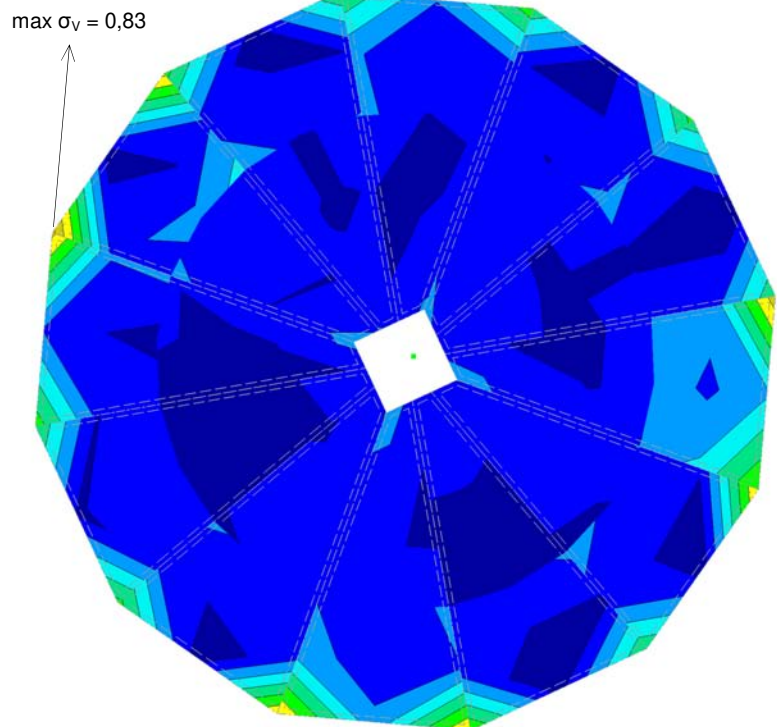


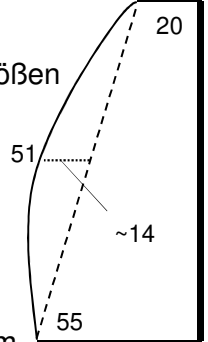
Abb. 18 Ausnutzung der Vergleichsspannung des Deckblechs über der DZ-Decke

3.04.2 Stabilitätsnachweise der Stahlstützen

Stützen im KG

Für die Stützen im Kellergeschoss wird ein exemplarischer Stabilitätsnachweis geführt. Dazu werden die (maßgebenden Druck-) Normalkraft- und Biegebeanspruchungen aus dem FEM-Modell entnommen. Darüber hinaus wird noch eine aus Wind (auf die Mantelbleche) resultierende Biegebeanspruchung, welche hier händisch ermittelt wird, berücksichtigt (in der Programmrechnung werden die resultierenden Windlasten lokal in den Ebenen der Geschossdecken eingetragen und erzeugen deshalb keine direkte Biegebeanspruchung der Stützen).

Einwirkungen

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Aus dem FEM-Modell: <ul style="list-style-type: none"> Normalkraft (Druck) $N_{Ed} = \sim -370 \text{ kN}$ Biegemoment $M_{y,Ed,Fuß} = \sim 55 \text{ kNm}$
$M_{y,Ed,Kopf} = \sim 20 \text{ kNm}$ Aus Wind: <ul style="list-style-type: none"> Windlast (Sog) $w_{e,min} = -2,60 \text{ kN/m}^2$ s. Kapitel 3.02.4 Lasteinflussbreite $b_{LE} = 1,75 \text{ m}$ Stab-Windlast $w_{Stab} = -4,55 \text{ kN/m} = -2,6 \text{ kN/m}^2 * 1,75 \text{ m}$ Biegemoment aus Wind $M_{w,d} = 13,65 \text{ kNm} = -4,55 \text{ kN/m} * 1,5 * (3,9 \text{ m})^2 / 8$ M_y Aus Wellengang: <p><i>Die Ersatzlasten für Beanspruchungen aus Wellengang können durch die Stahlstützen nicht aufgenommen werden.</i></p> |  |
|---|---|

Querschnitt

Nietprofil: NP I 640 + 4L65x6 (ungeschwächt)

Statisches System

- Stütze
 - Knicklängen $l_{cr,y} = 3,90 \text{ m} = \text{Stützenlänge } (\beta = 1,0)$
 $l_{cr,z} = 1,61 \text{ m} = H_{Tür} = 2,3 \text{ m} * \beta = 0,7$

Die Knicklänge um die schwache Profilachse ergibt sich aus der Höhe der Türöffnungen, an denen die Stützen nicht gegen seitlichen Ausweichen gehalten sind (fehlende Ausmauerung).

Stabilitätsnachweis

Der Stabilitätsnachweis des Bauteils wird nach [N_03] geführt und ist im *Anhang* hinterlegt.

Auslastung: $\eta = 0,95 \leq 1,00$

Stützen im Geschoss Schlafzimmer (SZ)

Für die Stützen im SZ-Geschoss wird ein exemplarischer Stabilitätsnachweis geführt. Dazu werden die (maßgebenden Druck-) Normalkraft- und Biegebeanspruchungen aus dem FEM-Modell entnommen. Darüber hinaus wird noch eine aus Wind (auf die Mantelbleche) resultierende Biegebeanspruchung, welche hier händisch ermittelt wird, berücksichtigt (in der Programmrechnung werden die resultierenden Windlasten lokal in den Ebenen der Geschossdecken eingetragen und erzeugen deshalb keine direkte Biegebeanspruchung der Stützen).

Einwirkungen

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Aus dem FEM-Modell: <ul style="list-style-type: none"> Normalkraft (Druck) $N_{Ed} = \sim -118 \text{ kN}$ Biegemoment $M_{y,Ed,Fuß} = \sim 0 \text{ kNm}$
$M_{y,Ed,Kopf} = \sim 9 \text{ kNm}$ | <p>Maßgebende Bemessungswerte der Schnittgrößen</p> |
|---|---|

- Aus Wind:

Windlast (Sog)	$W_{e,min} = -2,60 \text{ kN/m}^2$	s. Kapitel 3.02.4
Lasteinflussbreite	$b_{LE} = 1,60 \text{ m}$	
Stab-Windlast	$W_{Stab} = -4,16 \text{ kN/m}$	$= -2,6 \text{ kN/m}^2 * 1,60 \text{ m}$
Biegemoment aus Wind	$M_{w,d} = 15,31 \text{ kNm}$	$= -4,16 \text{ kN/m} * 1,5 * (4,43 \text{ m})^2 / 8$

- Aus Wellengang:

Die Ersatzlasten für Beanspruchungen aus Wellengang können durch die Stahlstützen nur im sehr begrenzten Umfang aufgenommen werden.

Querschnitt

Nietprofil: NP I 390 + 4L65x8 (ungeschwächt)



Statisches System

- Stütze

Knicklängen $l_{cr,y} = 4,43 \text{ m} = \text{Stützenlänge } (\beta = 1,0)$
 $l_{cr,z} = 2,22 \text{ m} = H_{\text{Stütze}} = 4,43 \text{ m} * \beta = 0,5$

Die Knicklänge um die schwache Profilachse muss reduziert werden ($\beta = 0,5$), da die Stabilität sonst nicht nachgewiesen werden kann. Dabei ist im Besonderen der innere Flansch durch eine Zwischenstützung zu halten, was momentan durch die Ständer und Riegel des doppelwandigen Wandaufbaus gewährleistet wird. Der äußere Flansch ist unkritisch, da dieser durch das Mantelblech kontinuierlich gehalten ist.

Stabilitätsnachweis

Der Stabilitätsnachweis des Bauteils wird nach [N_03] geführt und ist im *Anhang* hinterlegt.

Auslastung: $\eta = 0,65 \leq 1,00$

Stützen im Geschoss Küche (Kü)

Für die Stützen im Kü-Geschoss wird ein exemplarischer Stabilitätsnachweis geführt. Dazu werden die (maßgebenden Druck-) Normalkraft- und Biegebeanspruchungen aus dem FEM-Modell entnommen. Darüber hinaus wird noch eine aus Wind (auf die Mantelbleche) resultierende Biegebeanspruchung, welche hier händisch ermittelt wird, berücksichtigt (in der Programmrechnung werden die resultierenden Windlasten lokal in den Ebenen der Geschossdecken eingetragen und erzeugen deshalb keine direkte Biegebeanspruchung der Stützen).

Einwirkungen

- Aus dem FEM-Modell:

Normalkraft (Druck)	$N_{Ed} = \sim -94 \text{ kN}$
Biegemoment	$M_{y,Ed,Fuß} = \sim 0 \text{ kNm}$ $M_{y,Ed,Kopf} = \sim 4 \text{ kNm}$

- Aus Wind:

Windlast auf Mantelblech

Windlast (Sog)	$W_{e,min} = -2,60 \text{ kN/m}^2$	s. Kapitel 3.02.4
Lasteinflussbreite	$b_{LE} = 1,44 \text{ m}$	
Stab-Windlast	$W_{Stab} = -3,74 \text{ kN/m}$	$= -2,6 \text{ kN/m}^2 * 1,44 \text{ m}$
Biegemoment aus Wind	$M_{w,d} = 12,14 \text{ kNm}$	$= -3,74 \text{ kN/m} * 1,5 * (4,16 \text{ m})^2 / 8$

- Aus Wellengang:

Im Geschoss Küche sind keine Beanspruchungen aus Wellengang vorhanden.

Querschnitt

Nietprofil: NP I 300 + 4L60x8 (ungeschwächt)



Statisches System

- Stütze
 Knicklängen $l_{cr,y} = 4,16 \text{ m} = \text{Stützenlänge } (\beta = 1,0)$
 $l_{cr,z} = 2,08 \text{ m} = H_{\text{Stütze}} = 4,16 \text{ m} * \beta = \mathbf{0,5}$

Die Knicklänge um die schwache Profilachse muss reduziert werden ($\beta = 0,5$), da die Stabilität sonst nicht nachgewiesen werden kann. Dabei ist im Besonderen der innere Flansch durch eine Zwischenstützung zu halten, was momentan durch die Ständer und Riegel des doppelwandigen Wandaufbaus gewährleistet wird. Der äußere Flansch ist unkritisch, da dieser durch das Mantelblech kontinuierlich gehalten ist.

Stabilitätsnachweis

Der Stabilitätsnachweis des Bauteils wird nach [N_03] geführt und ist im *Anhang* hinterlegt.

Auslastung: $\eta = 0,83 \leq 1,00$

Stützen im Geschoss Dienstzimmer (DZ)

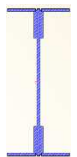
Für die Stützen im DZ-Geschoss wird ein exemplarischer Stabilitätsnachweis geführt. Dazu werden die (maßgebenden Druck-) Normalkraft- und Biegebeanspruchungen aus dem FEM-Modell entnommen. Darüber hinaus wird noch eine aus Wind (auf die Mantelbleche) resultierende Biegebeanspruchung, welche hier händisch ermittelt wird, berücksichtigt (in der Programmrechnung werden die resultierenden Windlasten lokal in den Ebenen der Geschossdecken eingetragen und erzeugen deshalb keine direkte Biegebeanspruchung der Stützen).

Einwirkungen

- Aus dem FEM-Modell: Maßgebende Bemessungswerte der Schnittgrößen
 Normalkraft (Druck) $N_{Ed} = \sim -102 \text{ kN}$
 Biegemoment $M_{y,Ed,Fuß} = \sim 0 \text{ kNm}$
 $M_{y,Ed,Kopf} = \sim 20 \text{ kNm}$
- Aus Wind: Windlast auf Mantelblech
 Windlast (Sog) $w_{e,min} = -2,79 \text{ kN/m}^2$ s. Kapitel 3.02.4
 Lasteinflussbreite $b_{LE} = 1,32 \text{ m}$
 Stab-Windlast $w_{Stab} = -3,68 \text{ kN/m} = -2,79 \text{ kN/m}^2 * 1,32 \text{ m}$
 Biegemoment aus Wind $M_{w,d} = 9,45 \text{ kNm} = -3,68 \text{ kN/m} * 1,5 * (3,7 \text{ m})^2 / 8$
- Aus Wellengang:
Eine direkte Beanspruchung durch Wellen liegt in diesem Geschoss nicht vor.

Querschnitt

Nietprofil: NP I 300 + 4L60x8 (ungeschwächt)



Statisches System

- Stütze
 Knicklängen $l_{cr,y} = 3,70 \text{ m} = \text{Stützenlänge } (\beta = 1,0)$
 $l_{cr,z} = 1,85 \text{ m} = H_{\text{Stütze}} = 3,7 \text{ m} * \beta = \mathbf{0,5}$

Die Knicklänge um die schwache Profilachse muss reduziert werden ($\beta = 0,5$), da die Stabilität sonst nicht nachgewiesen werden kann. Dabei ist im Besonderen der innere Flansch durch eine Zwischenstützung zu halten, was momentan durch die Ständer und Riegel des doppelwandigen Wandaufbaus gewährleistet wird. Der äußere Flansch ist unkritisch, da dieser durch das Mantelblech kontinuierlich gehalten ist.

Stabilitätsnachweis

Der Stabilitätsnachweis des Bauteils wird nach [N_03] geführt und ist im *Anhang* hinterlegt.

Auslastung: $\eta = 0,89 \leq 1,00$

3.04.3 Stabilitätsnachweise der Mantelbleche

Blechmantel im Geschoss „Schlafzimmer“

Die Stabilitätsnachweise für die Mantelbleche werden, wie die übrigen Nachweise ohne die (Plattenbeanspruchung aus den) Wellenlasten geführt.

Nachgewiesen wird ein Beulfeld im Geschoss „Schlafzimmer“. Die Platten in dieser Ebene sind aufgrund ihrer Abmessungen und Beanspruchungen maßgebend. Eine Nachweisführung im Kellergeschoss (mit höheren Beanspruchungen) erübrigt sich aufgrund der Ausmauerung zwischen den Stützen, die die Schalenbeanspruchungen ohne weiteren Nachweis aufnimmt.

Die Berechnungen berücksichtigen folgende Randbedingungen.

Einwirkungen

Die Beanspruchungen werden aus der FE-Berechnungen entnommen und mit Blick auf das Berechnungsverfahren linearisiert. Dabei werden die Extremwerte an Lasteinleitungspunkten u.ä. singulären Stellen jedoch nicht berücksichtigt.

- Beanspruchungen:

Spannungen - Normal	$\sigma_{x,m} =$	10 N/mm ²	= horizontal
	$\sigma_{y,m} =$	5 N/mm ²	= vertikal
- Schub	$\tau_{xy,m} =$	7 N/mm ²	

Abmessungen des Beulfeldes

Das nachzuweisende Beulfeld ist durch zwei Stützen und die Ringsteifen in den Deckenebenen begrenzt. Die Blechstöße sind nicht ebenengleich ausgeführt, sondern die Mantelbleche überlappen sich und werden durch eine Nietreihe verbunden. Zusätzliche Steifen sind nicht vorhanden. Der Steifigkeitssprung an den Stößen der Bleche wird bei den Berechnungen vernachlässigt.

- Abmessungen:

Beulfeld - Breite	$L_x =$	1520 mm	= mittlerer Stützenabstand im SZ
- Länge	$L_y =$	4430 mm	= Geschosshöhe im SZ
Blech - Dicke	$t =$	10 mm	ohne Schwächungen

Bemessung und Ergebnisse

Das Beulfeld wird nach [N_18-3] nachgewiesen. Die Berechnung ergab die im Folgenden genannte Auslastung und ist im *Anhang A3.3* hinterlegt.

Auslastung - Plattenbeulen $\eta = 1,18 > 1,00$!

Der Nachweis zeigt eine Überlastung von knapp 20 %. Dieses Ergebnis wird im *Kapitel 3.04.6* bewertet.

3.04.4 Anschlussnachweise

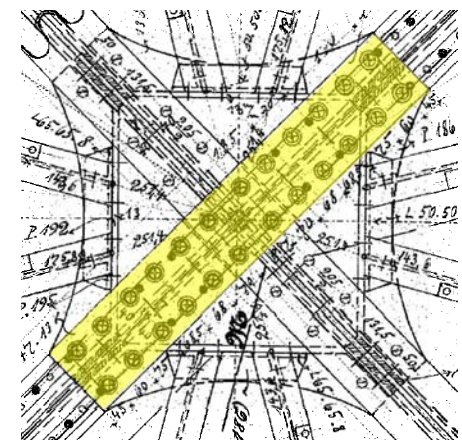
Stoß der Hauptträger der KG-Decke in der Feldmitte

Die maßgebenden Schnittgrößen werden aus der FEM-Berechnung entnommen.

Schnittgrößen

- Bemessungswerte der Schnittgrößen:
 Aus der Ergebniskombination (Umhüllende).

Normalkraft (Druck)	$N_{Ed} =$	< 5 kN	
Querkräfte	$V_{z,Ed} =$	~ 29 kN	
	$V_{y,Ed} =$	< 1 kN	-> *1)
Biegemomente	$M_{y,Ed} =$	~ 78 kNm	
	$M_{z,Ed} =$	< 0,5 kNm	-> wird vernachlässigt



Zu *1): Die geringe Querkraft in y-Richtung wird ohne weiteren Nachweis über die Nietverbindung zwischen den Gurtprofilen und den Laschenblechen übertragen.

Nachweis der Nietverbindung – an Gurtlaschen

Über die Gurtlaschen werden die Schnittgrößen N (gleichverteilt auf Unter- und Obergurt) und M_y übertragen.



▪ Beanspruchung:

Profilhöhe HT $h_{HT} = 28 \text{ cm}$
 Abscherbeanspruchung $V_{Ed,ges} = 281 \text{ kN} = 5 \text{ kN} / 2 + 78 \text{ kNm} / 0,28 \text{ m}$

Aufgrund der geringen Abstände zum gezogenen Rand werden die Niete am Ende des gestoßenen Trägers (in Achse 5/11) nicht berücksichtigt.

Anzahl der Verbindungsmittel $n = 8 \text{ Stk.}$ statt vorh. $2 \times 5 = 10 \text{ Stk.}$
 Abscherbeanspruchung $V_{Ed,1} = 35 \text{ kN} = 281 \text{ kN} / 8 \text{ VM}$

▪ Beanspruchbarkeiten:

Nach [R_804], Teil 201, 2, (4).

Niet - Kopfdurchmesser $d_K = 30 \text{ mm}$ vor Ort gemessen
 - Schaft-Durchmesser $d_{Sch} = 20 \text{ mm} = d_N / 1,5$ (gem. Zeichnung 23 mm)

- Querschnitt $A_{Sch} = 314 \text{ mm}^2 = \pi/4 \cdot d_{Sch}^2$
 - Festigkeit $f_{u,b,k} = 330 \text{ N/mm}^2$ nach [Ril_805] T. 103, Tab. 1

Blech - Dicke $t = 10 \text{ mm}$ für Gurtprofile L 70x10

- Lochdurchmesser $d_L = \sim 22 \text{ mm}$
 - Randabstände $e = > 60 \text{ mm} > 2,5 d_L \rightarrow \alpha_L = 1,93$

$e_1 = 45 \text{ mm} > 2,0 d_L \rightarrow \alpha_L = 1,90$

$e_2 = 35 \text{ mm} > 1,5 d_L$

$e_3 = 78 \text{ mm} > 3,0 d_L$

- Festigkeit $f_{y,k} = 220 \text{ N/mm}^2$ nach [Ril_805] T. 103, Tab. 1
 Beiwerte $\alpha_a = 0,60$ für genietete Verbindung

$\alpha_L = 1,90$ s. Randabstände
 $\alpha_L = 1,02$ für $d_L = 25 \text{ mm}$ (23 mm Niet)

Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_M \cdot \gamma_B = 1,48$

Grenzabscherkraft $V_{a,Rd} = 42,01 \text{ kN} = 0,6 \cdot 314 \text{ mm}^2 \cdot 330 \text{ N/mm}^2 / 1,48$

Grenzlochleibungskraft $V_{l,Rd} = 56,49 \text{ kN} = 1,90 \cdot (10 \cdot 20) \text{ mm} \cdot 220 \text{ N/mm}^2 / 1,48$

$V_{l,Rd} = 34,87 \text{ kN} = 1,02 \cdot (10 \cdot 23) \text{ mm} \cdot 220 \text{ N/mm}^2 / 1,48$

▪ Nachweis:

Nach [R_804], Teil 201, 2, (4).

Auslastung $\eta = 1,00 \leq 1,00 = 35 \text{ kN} / 34,9 \text{ kN}$

▪ Nachweis Bleche:

- Trägerflansch:

Blechdicke $t = 10 \text{ mm} \rightarrow 2 \times L 70 \times 10$

Lochschwächung $b_L = \leq 50 \text{ mm} = 2 \cdot d_L$

Querschnitt $A_B = 2300 \text{ mm}^2 = 10 \text{ mm} \cdot (4 \cdot 70 \text{ mm} - 50 \text{ mm})$

Bemessungsspannung $\sigma_{Nd} = 122 \text{ N/mm}^2 = 281 \text{ kN} / 2300 \text{ mm}^2$

Grenzzugspannung $f_{y,d} = 148 \text{ N/mm}^2 = 220 \text{ MPa} / (\gamma_M \cdot \gamma_B)$

Auslastung $\eta = 0,82 \leq 1,00 = 119 / 148$

- Laschenblech:

Blechdicke $t = 12 \text{ mm}$

Blechbreite $b = \sim 220 \text{ mm} = b_{\text{Flansch}} + 2 \cdot \sim 35 \text{ mm}$

Lochschwächung $b_L = 50 \text{ mm} = 2 \cdot d_L$

Querschnitt $A_B = 2040 \text{ mm}^2 = 12 \text{ mm} \cdot (220 \text{ mm} - 50 \text{ mm})$

Bemessungsspannung $\sigma_{Nd} = 137 \text{ N/mm}^2 = 281 \text{ kN} / 2040 \text{ mm}^2$

Grenzzugspannung $f_{y,d} = 148 \text{ N/mm}^2 = 220 \text{ MPa} / (\gamma_M \cdot \gamma_B)$

Auslastung $\eta = 0,93 \leq 1,00 = 137 / 148$

Nachweis der Nietverbindung – an Stegwinkeln

Die Stegbleche der sich kreuzenden Hauptträger sind mit 4 L 65x8-Profilen verbunden. Über die in den L-Profilen angeordneten Niete werden die Querkräfte V_z übertragen.

- Beanspruchung:

Profilhöhe HT	$h_{HT} =$	28 cm	
Abscherbeanspruchung	$V_{Ed,ges} =$	29 kN	$= V_{z,Ed}$
Rechnerisch werden 4 Scherfugen berücksichtigt.			
Anzahl der Scherfugen	$n =$	4 Stk.	auf der sicheren Seite liegend
Abscherbeanspruchung	$V_{Ed,1} =$	7,3 kN	$= 281 \text{ kN} / 8 \text{ VM}$
- Beanspruchbarkeiten: Nach [R_804], Teil 201, 2, (4).

Niet	- Nennmaß	$d_N =$	18 mm	
	- Schaft-Durchmesser	$d_{Sch} =$	12 mm	$= d_N / 1,5$
	- Querschnitt	$A_{Sch} =$	113 mm ²	$= \pi/4 \cdot d_{Sch}^2$
	- Festigkeit	$f_{u,b,k} =$	330 N/mm ²	nach [Ril_805] T. 103, Tab. 1
Blech	- Dicke	$t =$	8 mm	für L 65x8 bzw. auch Stegblech
	- Lochdurchmesser	$d_L =$	~ 14 mm	
	- Randabstände	$e =$	~ 65 mm	$> 2,5 d_L \rightarrow \alpha_L = 1,93$
		$e_1 =$	~ 35 mm	$> 2,0 d_L \rightarrow \alpha_L = 1,90$
		$e_2 =$	30 mm	$= 1,5 d_L$
		$e_3 =$	- mm	$> 3,0 d_L$
	- Festigkeit	$f_{y,k} =$	220 N/mm ²	nach [Ril_805] T. 103, Tab. 1
Beiwerte		$\alpha_a =$	0,60	für genietete Verbindung
		$\alpha_L =$	1,90	s. Randabstände
Teilsicherheitsbeiwerte		$\gamma_M \cdot \gamma_B =$	1,48	
Grenzabscherkraft		$V_{a,Rd} =$	<u>15,12</u> kN	$= 0,6 \cdot 113 \text{ mm}^2 \cdot 330 \text{ N/mm}^2 / 1,48$
Grenzlochleibungskraft		$V_{l,Rd} =$	27,11 kN	$= 1,9 \cdot (8 \cdot 12) \text{ mm} \cdot 220 \text{ N/mm}^2 / 1,48$
- Nachweis Nietverbindung: Nach [R_804], Teil 201, 2, (4).

Auslastung	$\eta =$	0,49 \leq 1,00	$= 7,3 \text{ kN} / 15 \text{ kN}$
------------	----------	------------------	------------------------------------
- Nachweis Blech:

- Stoßprofile:				
Blechdicke		$t =$	8 mm	$\rightarrow 2 \times L 65 \times 8$
Blechbreite		$b =$	130 mm	$= 2 \cdot 65$
Lochschwächung		$b_L =$	28 mm	$= 2 \cdot d_L$
Querschnitt		$A_B =$	816 mm ²	$= 8 \text{ mm} \cdot (130 \text{ mm} - 28 \text{ mm})$
Bemessungsspannung		$\sigma_{Nd} =$	36 N/mm ²	$= 29 \text{ kN} / 816 \text{ mm}^2$
Grenzzugspannung		$f_{y,d} =$	148 N/mm ²	$= 220 \text{ MPa} / (\gamma_M \cdot \gamma_B)$
Auslastung		$\eta =$	0,24 \leq 1,00	$= 119 / 148$

Rahmenecke zwischen Hauptträger der KG-Decke und Stützen

Die maßgebenden Schnittgrößen werden aus der FEM-Berechnung entnommen.

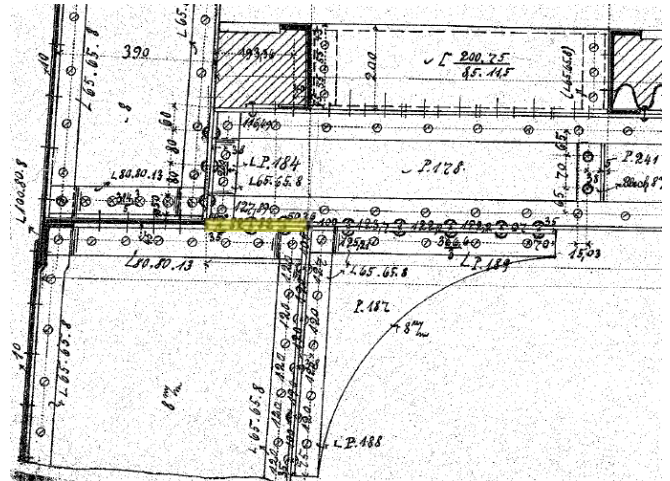
Schnittgrößen

- Bemessungswerte der Schnittgrößen:
 Aus der Ergebniskombination (Umhüllende).

Normalkraft (Druck)	$N_{Ed} =$	< 5 kN	
Querkräfte	$V_{z,Ed} =$	69 kN	
	$V_{y,Ed} =$	< 1 kN	-> *1)
Biegemomente	$M_{y,Ed} =$	-26 kNm	
	$M_{z,Ed} =$	~ 0 kNm	-> wird vernachlässigt

Zu *1): Die geringe Querkraft in y-Richtung wird ohne weiteren Nachweis über die Nietverbindung zwischen den Flanschprofilen und den Laschenblechen übertragen.

Für die konsolartig idealisierte Rahmenecke wird die maßgebende, nur 2x3 Niete umfassende, Verbindung zwischen den Unterflansch-Profilen des Deckenträgers und dem rippenartig am Stützenkopf angeordneten L-Profilen nachgewiesen. Die übrigen Anschlüsse haben deutlich mehr Verbindungsmittel und sind dadurch nicht maßgebend.



Nachweis der Nietverbindung – zwischen Trägerflansch und Stützenrippe

Über die Flansch-/Rippenprofile werden die Schnittgrößen N und M_y übertragen. V_z wird über die vertikalen L-Profile am inneren Stützenflansch übertragen (ohne weiteren Nachweis).

- Beanspruchung:

Höhe der Voute	$h_{Voute} =$	~ 40 cm	= statische Höhe
Abscherbeanspruchung	$V_{Ed,ges} =$	70 kN	= 5 kN + 26 kNm / 0,40 m
Anzahl der Verbindungsmittel	$n =$	6 Stk.	= 2x3
Abscherbeanspruchung	$V_{Ed,1} =$	12 kN	= 70 kN / 6 VM

- Beanspruchbarkeiten:

Nach [R_805], Teil 201, 2, (4).

Niet	- Schaft-Durchmesser	$d_{Sch} =$	18 mm	gem. Bestandszeichnung
	- Querschnitt	$A_{Sch} =$	254 mm ²	= $\pi/4 \cdot d_{Sch}^2$
	- Festigkeit	$f_{u,b,k} =$	330 N/mm ²	nach [Ril_805] T. 103, Tab. 1
Blech	- Dicke	$t =$	10 mm	für Gurtprofile L 70x10
	- Lochdurchmesser	$d_L =$	~ 20 mm	
	- Randabstände	$e =$	~ 76 mm	> 3,5 d_L -> $\alpha_L = 3,00$
		$e_1 =$	~ 24 mm	= 1,2 d_L -> $\alpha_L = 1,02$
		$e_2 =$	35 mm	> 1,5 d_L
		$e_3 =$	78 mm	> 3,0 d_L
	- Festigkeit	$f_{y,k} =$	220 N/mm ²	nach [Ril_805] T. 103, Tab. 1
Beiwerte		$\alpha_a =$	0,60	für genietete Verbindung
		$\alpha_L =$	1,02	s. Randabstände
Teilsicherheitsbeiwerte		$\gamma_M \cdot \gamma_B =$	1,48	
Grenzabscherkraft		$V_{a,Rd} =$	33,98 kN	= $0,6 \cdot 254 \text{ mm}^2 \cdot 330 \text{ N/mm}^2 / 1,48$
Grenzlochleibungskraft		$V_{l,Rd} =$	<u>27,29</u> kN	= $1,02 \cdot (10 \cdot 18) \text{ mm} \cdot 220 \text{ N/mm}^2 / 1,48$

- Nachweis:

Nach [R_804], Teil 201, 2, (4).

Auslastung	$\eta =$	0,44 ≤ 1,00	= 12 kN / 27 kN
------------	----------	-------------	-----------------

▪ Nachweis Bleche:			
- Trägerflansch:	Maßg., da Blechdicke der Rippen mit $t = 13 \text{ mm}$ größer ist.		
Blechdicke	$t =$	10 mm	-> 2 x L 70x10
Lochschwächung	$b_L =$	40 mm	$= 2 \cdot d_L$
Querschnitt	$A_B =$	1000 mm ²	$= 10\text{mm} \cdot (2 \cdot 70\text{mm} - 44\text{mm})$
Bemessungsspannung	$\sigma_{Nd} =$	70 N/mm ²	$= 70 \text{ kN} / 1000 \text{ mm}^2$
Grenzzugspannung	$f_{y,d} =$	148 N/mm ²	$= 220 \text{ MPa} / (\gamma_M \cdot \gamma_B)$
Auslastung	$\eta =$	0,47	$\leq 1,00 = 119 / 148$

Stützenstoß in Höhe der KG-Decke

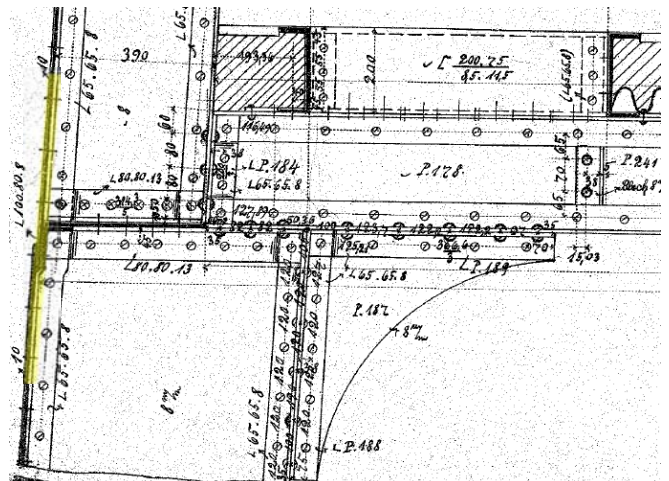
Die maßgebenden Schnittgrößen werden aus der FEM-Berechnung entnommen.

Schnittgrößen

▪ Bemessungswerte der Schnittgrößen:			
Aus der Ergebniskombination (Umhüllende).			
Normalkraft (Druck)	$N_{Ed} =$	91 kN	-> ohne Zwang
Querkraft	$V_{z,Ed} =$	5 kN	-> *1)
	$V_{y,Ed} =$	< 1 kN	-> *1)
Biegemomente	$M_{y,Ed} =$	~ 0 kNm	-> gelenkig idealisiert
	$M_{z,Ed} =$	~ 0 kNm	-> gelenkig idealisiert

Zu *1): Die geringen Querkraften werden ohne weiteren Nachweis über die Nietverbindung der horizontalen L-Winkel am Stützenstoß übertragen.

Für den Nachweis wird angenommen, dass die Zugnormalkräfte in den Stützen ausschließlich über die Mantelbleche übertragen werden. Im Folgenden wird die dafür erforderliche Anzahl von Verbindungsmitteln ermittelt.



Nachweis der Nietverbindung – zwischen Mantelblech und Stützenflansch

▪ Beanspruchbarkeiten:			Nach [R_805], Teil 201, 2, (4).
Niet - Schaft-Durchmesser	$d_{Sch} =$	18 mm	gem. Bestandszeichnung
- Querschnitt	$A_{Sch} =$	254 mm ²	$= \pi/4 \cdot d_{Sch}^2$
- Festigkeit	$f_{u,b,k} =$	330 N/mm ²	nach [Ril_805] T. 103, Tab. 1
Blech - Dicke	$t =$	8 mm	für Flanschprofile L 65x8
- Lochdurchmesser	$d_L =$	~ 20 mm	
- Randabstände	$e =$	~ 100 mm	$> 3,5 d_L \rightarrow \alpha_L = 3,00$
	$e_1 =$	~ 50 mm	$> 2,0 d_L \rightarrow \alpha_L = 1,90$
	$e_2 =$	30 mm	$> 1,5 d_L$
	$e_3 =$	- mm	$> 3,0 d_L$
- Festigkeit	$f_{y,k} =$	220 N/mm ²	nach [Ril_805] T. 103, Tab. 1
Beiwerte	$\alpha_a =$	0,60	für genietete Verbindung
	$\alpha_L =$	1,90	s. Randabstände
Teilsicherheitsbeiwerte	$\gamma_M \cdot \gamma_B =$	1,48	
Grenzabscherkraft	$V_{a,Rd} =$	<u>33,98</u> kN	$= 0,6 \cdot 254\text{mm}^2 \cdot 330\text{N/mm}^2 / 1,48$
Grenzlochleibungskraft	$V_{l,Rd} =$	50,84 kN	$= 1,9 \cdot (10 \cdot 18)\text{mm} \cdot 220\text{N/mm}^2 / 1,48$

- Erforderliche Verbindungsmittel: Nach [R_804], Teil 201, 2, (4).
 Anzahl $n = 2,71 = N_{Ed} / V_{a,Rd}$
- Nachweis Flansche:
 - Stützenflansch: Maßg., da Blechdicke des Mantels mit $t = 10$ mm größer ist.
 - Blechdicke $t = 8$ mm $\rightarrow 2 \times L 65 \times 8$
 - Lochschwächung $b_L = 40$ mm $= 2 \cdot d_L$
 - Querschnitt $A_B = 720$ mm² $= 8 \text{ mm} \cdot (2 \cdot 65 \text{ mm} - 40 \text{ mm})$
 - Bemessungsspannung $\sigma_{Nd} = 128$ N/mm² $= 92$ kN / 720 mm²
 - Grenzzugspannung $f_{y,d} = 148$ N/mm² $= 220$ MPa / ($\gamma_M \cdot \gamma_B$)
 - Auslastung $\eta = 0,86 \leq 1,00 = 128 / 148$

3.04.5 Auflagerkräfte

Folgende Resultierende (auf den Schwerpunkt der Konstruktion bei $z = -15,70$ m bezogene) Kräfte wurden ermittelt (ohne Lastfälle „Welle“ und Temperaturzwang):

Lastfall	P_x	P_y	P_{xy}	P_z	M_x	M_y	M_{xy}	M_z
1				424				
21				119	-19	-2	19	
22				102	21	-26	33	
31				26	-2	-2	3	
32				90	20	-24	31	
41				42	-3	-2	4	
42				65	6	-6	8	
51				61	-2	-3	4	
52				27	4	10	11	
61				2	1	2	2	
62				7	3	6	7	
1				964	29	-46	55	
121				85	2	-6	6	
131				70	0	-6	6	
141				83	0	0	0	
151				150	-3	2	4	
161				3	1	3	3	
165				18	7	15	17	
101				391	0	-8	11	

Lastfall		P_x	P_y	P_{xy}	P_z	M_x	M_y	M_{xy}	M_z
211	Wind aus N – längs	-34	-190	193	0	-883	156	897	-10
212	Wind aus N – quer	-27	5	27	0	35	199	202	-4
213	Wind aus N – Moment								-168
211	Wind aus N – Überlagerung ungünstigst	61	195	204	0	918	355	984	182
221	Wind aus ONO – längs	175	-82	193	0	-379	-812	896	-1
222	Wind aus ONO – quer	-11	-25	27	0	-183	85	202	2
223	Wind aus ONO – Moment								165
221	Wind aus ONO – Überlagerung ungünstigst	186	107	215	0	562	897	1059	168
231	Wind aus OSO – längs	182	66	194	0	307	-842	896	-13
232	Wind aus OSO – quer	-9	25	27	0	189	69	201	3
233	Wind aus OSO – Moment								168
231	Wind aus OSO – Überlagerung ungünstigst	191	91	212	0	496	911	1037	184

3.04.6 Erläuterung der kritischen Punkte und Ertüchtigungsbedarfe

An den im Folgenden genannten Punkten bestehen Ungewissheiten hinsichtlich der Konstruktion (Abmessungen, Zustand, Schwächungen) bzw. haben die Berechnungen hohe Auslastungen oder Überschreitungen der zulässigen Spannungen bzw. anderer Nachweise ergeben.

Da der in den statischen Berechnungen nicht berücksichtigte Lastfall Wellengang Auswirkungen auf alle Bauteile in den unteren Geschossen der Stahlkonstruktion (Stützen im KG und Schlafzimmer sowie Blechmantel) hat, werden dessen Auswirkungen und aktivierbare Lastabtragsmechanismen in den folgenden bauteilspezifischen Kapiteln erläutert. Um Dopplungen zu vermeiden, gibt es zu dem Thema Wellenlasten keinen separaten Abschnitt.

Stützenfüße und Verankerung

An den Innenflanschen der Stützen im Kellergeschoss wurden, auch im unteren Bereich, starke Korrosionsschäden festgestellt. Dieses Schadensbild entspricht der Beschreibung in dem Untersuchungsbericht aus dem Jahr 1955 [D_01, S. 25 f.]. 1955 wurden die Ankerköpfe freigestemmt und an diesen keine Korrosion festgestellt. Bei den aktuellen Untersuchungen wurden die Ankerköpfe nicht erkundet, sodass unter Berücksichtigung der vorhandenen Korrosionsschäden im Bereich der Stützenfüße Ungewissheit hinsichtlich deren Zustand besteht.

In Abhängigkeit des Zustandes der Ankerköpfe muss die Verankerung der Stützen ertüchtigt werden. Neben der Anschluss Tragfähigkeit ist auch die Tragfähigkeit der Verankerung im Sockel/Caisson zu beachten (s. Teil IV des Gutachtens).

Zur Absicherung des Norm-Sicherheitsniveaus (mit der Wellenlast) sind in diesem Bereich in jedem Fall Verstärkungsmaßnahmen erforderlich. Die auftretenden Zugkräfte könnten über Verpressanker planmäßig verankert werden. Zur Aktivierung der Ertüchtigungsmaßnahme bzw. der neuen Verankerung müssen die Stützenstege kraftschlüssig an die Köpfe der Zuganker angeschlossen werden.

Stützen Keller

Die bisher nicht berücksichtigten Korrosionsschäden an den Stützen, besonders im Kellergeschoss, führen zu höheren Spannungsauslastungen von ~110 % (ohne Wellenbelastung). Die ungeschwächte Querschnitte voraussetzenden Stabilitätsnachweise ergaben zudem eine hohe Auslastung von 95 % (ebenso ohne Wellenbelastung). Dabei wurde jedoch vernachlässigt, dass sich das im KG vorhandene Mauerwerk am Abtrag der Drucknormalkräfte aus den Stützen beteiligt. Diese Lastumlagerung führt zu einer Reduzierung der Stützenbeanspruchung und der o.g. Auslastung.

Weiterhin stabilisiert die Mauerwerksausfachung die Stützen gegen Knicken. Diese Stabilisierung ist bei den Stützen an den Türöffnungen jedoch nur begrenzt gegeben (siehe Knicklänge $l_{cr,z}$). Für die Aufnahme der regulären Beanspruchungen - ohne Wellenlasten - müssen mindestens die stark korrodierten Gurte der Stützen an den Türen fachgerecht und volltragfähig ersetzt werden. Zur planmäßigen Aufnahme der Belastung aus Wellengang (bis zu 110 kN/m^2), welche vorrangige eine Biegebeanspruchung erzeugt, sind umfangreiche Verstärkungsmaßnahmen erforderlich (bspw. räumliches Stabwerk).

Stützen Schlaf- bis Dienstzimmer

Für die Stabilität der Stützen sind seitliche Zwischenhalterungen erforderlich. Diese sind im bestehenden Zustand durch die zweiseitige Wandausfachung (Holzständerwerk) gegeben. Wird der Wandaufbau im Zuge der Sanierung demontiert, sind entspr. Ersatzmaßnahmen zu ergreifen. Zur Aufnahme der Lasten aus Wellengang (bis zu 80 kN/m^2) sind im Geschoss Schlafzimmer umfangreiche Verstärkungsmaßnahmen des Blechmantels und der Stützenprofile gegen diese sehr große Biegebeanspruchung erforderlich (bspw. räumliches Stabwerk).

Decke über Keller (D0)

In der Decke über Keller gibt es die folgenden beiden kritischen Punkte:

- Wechselträger am Treppenauge

Eine Torsionsbeanspruchung des Wechselträgers am Treppenaug der Decke ist zu vermeiden. Verursacht wird die Torsionsbeanspruchung durch die im Grundriss (entsprechend des Aussparungsradius) gebogene Form des Trägers und die in Feldmitte (exzentrisch zur Auflagerlinie) angreifende Einzellast aus dem Nebenträger in Achse 10 sowie die dort aufgebrachten Lasten aus der aufstehenden Innenwand.

Die für den Wechselträger mit U-Querschnitt ungünstige Torsionsbeanspruchung kann auf ein verträgliches Maß reduziert werden, wenn der Nebenträger in Achse 10 (wie in den Berechnungen angenommen) nicht am Lastabtrag aus der Deckenebene beteiligt wird. D.h. der Nebenträger in Achse 10 muss durch den tragenden Deckenaufbau (Betonplatte auf Wellblech) überspannt werden und die Flächenlasten aus der Decke müssen in die Träger in den Achsen 9 und 11 abgetragen werden. Überschlägliche Berechnungen zur Tragfähigkeit der Deckenplatte und bisher nicht sichtbar gewordene Schäden (Verformungen des Wechselträgers und/oder der Deckenplatte) lassen diese Annahme zu.

- Nebenträger Achse 9

Die hohe Beanspruchung des Nebenträgers resultiert im Prinzip aus der o.g. Torsionsbeanspruchung des Wechselträgers am Treppenaug und kann durch die Umlagerung der Flächenlasten aus der Decke auf das angegebene Maß reduziert werden.

Schwächungen des Trägers sind in diesem Bereich nicht zulässig und zu beseitigen.

In mehreren Deckenträgern wurden die Stege nachträglich geschwächt (Aussparungen für „Zugstangen“ u.a.). Diese Querschnittsschwächungen müssen besonders in den hoch belasteten Bereichen beseitigt werden (bspw. durch Aufdopplung der Stegbleche).

Decke über Schlafraum (D1)

Bei dieser Decke ist der Wechselträger an der Treppenöffnung ebenso wie der der Decke über KG zu entlasten (Umlagerung der Flächenlasten von dem Träger in Achse 10 über die Holzbohlen auf die Deckenträger in den Achsen 9 und 11).

Decke über Küche (D2)

Die maximale Spannungsauslastung der Deckenträger (90 %) befindet sich im Bereich der Zwischenstützung der nach außen auskragenden Erkerträger. Schwächungen der Trägerquerschnitte sind speziell in diesen Bereichen nicht zulässig.

Die Überlastungen der Anschlussbleche im Zentrum der Decke werden durch eine Querbeanspruchung (um die schwache Achse) verursacht. Diese Beanspruchung tritt jedoch nur rechnerisch auf,

da Normalkräfte in den Deckenträgern durch die scheibenartig ausgebildete (oberseitige) Bepflanzung aufgenommen und verteilt werden.

Unklarheit besteht hinsichtlich der Querschnitte der Hauptträger (evtl. I-Querschnitt) und der Nebenträger, die nicht benachbart zu einem Erkerträger liegen. Die Unklarheiten sind bei der Bauausführung auszuräumen.

Decke über Dienstzimmer (D3)

Durch eine Berücksichtigung des Deckblechs auf den Trägern der DZ-Decke konnte die ungünstige (aus der exzentrischen Windbeanspruchung der Laternen resultierende) Querbeanspruchung der Träger auf ein verträgliches Maß reduziert werden.

Der Zustand des Deckblechs und der Verbindungsmittel ist bei der Bauausführung zu bewerten. Ggf. sind (bei starken Abrostungen, Durchrostungen o.ä.) Verstärkungsmaßnahmen vorzusehen.

Blechmantel

Programmseitig wurden an singulären Stellen Spannungsauslastungen $> 2,00$ ermittelt (ohne Wellenbeanspruchung). Diese resultieren aus den Windlasten, die vereinfacht in Form von Einzellasten an den Deckenebenen eingetragen werden und sind (aufgrund der stark vereinfachten Belastungsdefinition) nicht von Bedeutung. In der Fläche übersteigen die Auslastungen den Wert 50 % nicht.

Die Beulsicherheit der Mantelbleche konnte rechnerisch (auch ohne Wellenlasten) nicht nachgewiesen werden (Überlastung von knapp 20 %). Mit Blick auf fehlende Schäden (Deformationen) ist das Ergebnis der Berechnungen jedoch zu hinterfragen. Es muss davon ausgegangen werden, dass die (dem im Grundriss kreisrunden Blechmantel folgenden) Ausbauten am Lastabtrag beteiligt sind. Bei der nur durch die beiden Türöffnungen geschwächten Ausmauerung zwischen den Stützen im KG bestehen dahingehend keine Zweifel. In den darüber befindlichen Geschossen ist umlaufend eine zweischalige Holzverschalung, welche mit Pfosten, Riegeln und Klötzern zwischen die Stahlkonstruktion eingebaut wurde, vorhanden. Auch diese großzügig dimensionierte und zimmermannsmäßige solide ausgeführte Konstruktion, an der fast keine Feuchteinwirkungen festgestellt wurden, beteiligt sich an der Aussteifung.

Basierend auf den vorgenannten Erläuterungen wird eine Verstärkung der Mantelbleche als nicht erforderlich erachtet. Es ist jedoch sicherzustellen, dass die Ausbauten (als Nebentragelemente) im Zuge der Sanierung nicht verändert oder geschwächt bzw. gleichwertig wiederhergestellt werden.

Die bei den Berechnungen und Erläuterungen nicht berücksichtigte Wellenbeanspruchung kann auch bei den Mantelblechen zu Schäden führen. Sind derartige Schäden auszuschließen bedarf es vor allem in den unteren beiden Geschossen umfangreicher Verstärkungsmaßnahmen (bspw. Einbau massiver Rippen und Steifenprofile).

3.05 Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Grundlegend wurde festgestellt, dass das Stahltragwerk unter regulären Lasten – ohne die Beanspruchung aus der Bemessungswelle – funktioniert und im begrenzten Umfang an beschädigten Bauteilen Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich sind.

Die Verankerung der Stahlkonstruktion auf dem massiven Sockel bzw. im Caisson ist (im Rahmen der Sanierungsmaßnahme) noch zu erkunden und abschließend zu bewerten. Da praktisch nur die Köpfe der Anker erkundet werden können, ist eine planmäßige Verankerung nur durch Erneuerungsmaßnahmen, bspw. das Abteufen von Verpressankern, sicherzustellen.

Ist die Konstruktion für die Aufnahme der Wellenbeanspruchung auszulegen, sind in den unteren beiden Geschossebenen massive und umfangreiche Verstärkungsmaßnahmen der Zugverankerung, der Stützen und des Blechmantels erforderlich.

3.06 Maßnahmen zur Erhaltung

Die Stahlquerschnitte, Knotenpunkte und Verbindungsmittel müssen in den stark korrodierten oder anderweitig beschädigten Bereichen mindestens gleichwertig zur Bestandskonstruktion wiederhergestellt werden. Des Weiteren ist der Korrosionsschutz der Stahlkonstruktion zu erneuern.

Besonders sind folgende obligatorische Ertüchtigungsmaßnahmen zu benennen:

- Austausch der inneren Stützengurte an den Türen im KG
- Erneuerung der Verankerung der Stützen im Sockel/Caisson (in Abhängigkeit vom Zustand der bestehenden Verankerung)
- Ertüchtigung der Träger der Decke über KG an den beschädigten Stellen (nachträglich hergestellte Aussparungen in Stegen, Korrosionsschäden an Auflagern)
- Austausch der stark korrodierten Bauteile der Erker und Laternen
- Ersatz fehlender/abgerosteter Niete des Blechmantels
- Teilerneuerung des Korrosionsschutzes

Darüber hinaus sind folgende Maßnahmen bei einer tiefgreifenden Instandsetzung und Verstärkung der Konstruktion umzusetzen:

- Austausch aller beschädigten Bauteile
- Verstärkung der Konstruktion (zur Aufnahme der Wellenlasten)
- Vollerneuerung des Korrosionsschutzes

Bei der Bauausführung werden erfahrungsgemäß weitere, bisher nicht bekannte und in der Ausführungsplanung nicht berücksichtigte Schäden festgestellt werden. Aus diesem Grund ist eine Baubegleitung durch einen Tragwerksplaner dringend zu empfehlen.

Detaillierte Ausführungen zu den Sanierungsvarianten und zum Korrosionsschutz sind dem *Teil I* des Gutachtens zu entnehmen.

3.07 Anhänge

- | | | |
|--------------------|---|-------------|
| Anhang A3.1 | Programmausdruck FEM-Berechnung
Bei Bedarf werden ergänzende Angaben zur Programmrechnung zur Verfügung gestellt. | (81 Seiten) |
| Anhang A3.2 | Programmausdrucke Stabilitätsnachweise Stützen | (12 Seiten) |
| Anhang A3.3 | Programmausdruck Beulnachweis Mantelblech | (2 Seiten) |
| Anhang A3.4 | Bericht zur Materialprüfung des Konstruktionsstahl
Erstellt durch das Referat Stahlbau/Korrosionsschutz, Abteilung Bautechnik der BAW | |



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

MODELL-BASISANGABEN

Allgemein	Modellname	: Stahlkonstruktion-Schale 190605
	Modelbezeichnung	: Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt, Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke
	Projektname	: GA218014a
	Projektbezeichnung	: LT Roter Sand
	Modelltyp	: 3D
	Positive Richtung der globalen Z-Achse	: Nach unten
	Klassifizierung der Lastfälle und Kombinationen	: Nach Norm: Ohne Nationaler Anhang: Kein
Optionen	<input type="checkbox"/> RF-Formfindung - Ermittlung von initialen Gleichgewichtsformen für Membran- und Seilkonstruktionen	
	<input type="checkbox"/> RF-ZUSCHNITT	
	<input type="checkbox"/> Rohrleitungsanalyse	
	<input type="checkbox"/> CQC-Regel anwenden	
	<input type="checkbox"/> CAD/BIM-Modell ermöglichen	
	Erdbeschleunigung g	: 10.00 m/s ²

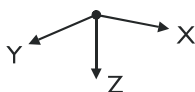
FE-NETZ-EINSTELLUNGEN

Allgemein	Angestrebte Länge der Finiten Elemente	l_{FE}	: 0.500 m
	Maximaler Abstand zwischen Knoten und Linie um in die Linie zu integrieren	ϵ	: 0.001 m
	Maximale Anzahl der FE-Netz-Knoten (in Tausenden)		: 500
Stäbe	Anzahl Teilungen von Stäben mit Seil, Bettung, Voute oder plastischer Charakteristik		: 10
Flächen	Maximales Verhältnis der FE-Viereck-Diagonalen	Δ_D	: 1.800
	Maximale Neigung von zwei Finiten Elementen aus der Ebene	α	: 0.50 °
	Form der Finiten Elemente:		: Drei- und Vierecke <input checked="" type="checkbox"/> Gleiche Quadrate generieren, wo möglich

1.3 MATERIALIEN

Mat. Nr.	Modul E [kN/cm ²]	Modul G [kN/cm ²]	Querdehnzahl ν [-]	Spez. Gewicht γ [kN/m ³]	Wärmedehn. α [1/°C]	Teilsch.-Beiwert γ_M [-]	Material-Modell
1	Puddestahl/Schweißeisen - PROFILE 20000.00	7700.00	Keine Norm 0.299	78.50	1.20E-05	1.48	Isotrop linear elastisch
Benutzerdefiniertes Material							
3	Puddestahl/Schweißeisen - BLECHE 10000.00	3500.00	Keine Norm 0.429	78.50	1.20E-05	1.48	Isotrop linear elastisch
Benutzerdefiniertes Material							

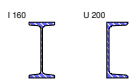
1.7 KNOTENLAGER



Lager Nr.	Knoten Nr.	Achsensystem	Stütze in Z	u_x	u_y	u_z	ϕ_x	ϕ_y	ϕ_z
1	1010,1020,1030,1040,1050,1060,1070,1080,1090,1100,1110,1120	Global X,Y,Z	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

1.13 QUERSCHNITTE

DUENQ 2010 - HA...Flachstahl 10240



DUENQ S_I_640...DUENQ HT_I_230...



DUENQ S_I_390...Flachstahl 350/8



Flachstahl 250/6 DUENQ S_I_300...



Quers. Nr.	Mater. Nr.	I_T [cm ⁴]	I_y [cm ⁴]		I_z [cm ⁴]		Hauptachsen α [°]	Drehung α' [°]	Gesamtabmessungen [mm]	
			A_y [cm ²]	A_z [cm ²]	Breite b	Höhe h				
1	DUENQ 2010 - HAUPTTRÄGER 1	16.87 69.91	8454.75 19.90	496.80 17.27	0.00	0.00	148.0	280.0		
2	Flachstahl 10/240 1	7.79 24.00	1152.00 20.00	2.00 20.00	0.00	0.00	10.0	240.0		
3	I 160 1	6.57 22.80	935.00 11.67	54.70 9.17	0.00	0.00	74.0	160.0		
4	U 200 1	11.90 32.20	1910.00 7.83	148.00 14.71	0.00	0.00	75.0	200.0		
5	DUENQ S_I_640+4L65 1	16.26 85.99	49239.67 15.28	312.05 46.19	0.00	0.00	138.0	640.0		
6	DUENQ HT_I_230+4L60 1	4.80 41.43	3360.34 11.88	200.74 10.70	0.00	0.00	126.0	230.0		



Projekt: GA218014a

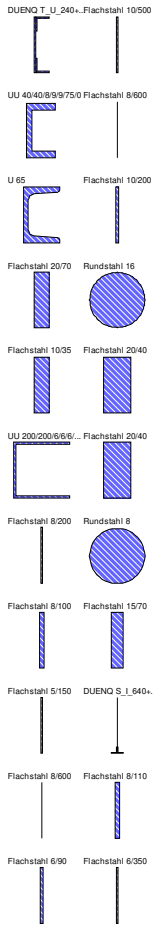
Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

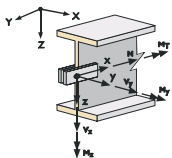
Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

1.13 QUERSCHNITTE



Quers. Nr.	Mater. Nr.	I_T [cm ⁴]		I_y [cm ⁴]		I_z [cm ⁴]		Hauptachsen α [°]	Drehung α' [°]	Gesamtabmessungen [mm]	
		A [cm ²]	A_y [cm ²]	A_z [cm ²]	Breite b	Höhe h					
7	DUENQ S_I_390+4L65 1	11.99 65.99	14929.52 15.17	310.99 26.49	0.00	0.00	138.0	390.0			
8	Flachstahl 350/8 1	5.89 28.00	1.49 23.33	2858.33 23.33	0.00	0.00	350.0	8.0			
9	Flachstahl 250/6 1	1.77 15.00	0.45 12.50	781.25 12.50	0.00	0.00	250.0	6.0			
10	DUENQ S_I_300+4L60 1	5.31 45.63	6338.68 11.90	200.87 14.83	0.00	0.00	126.0	300.0			
11	DUENQ T_U_240+2L60 1	5.60 33.02	2436.63 3.87	81.62 15.04	0.00	0.00	68.0	240.0			
12	Flachstahl 10/500 1	16.46 50.00	10416.67 41.67	4.17 41.67	0.00	0.00	10.0	500.0			
13	UU 40/40/8/9/75/0 1	2.74 11.76	91.24 4.31	16.99 4.46	0.00	0.00	40.0	75.0			
14	Flachstahl 8/600 1	10.15 48.00	14400.00 40.00	2.56 40.00	0.00	0.00	8.0	600.0			
15	U 65 1	1.61 9.03	57.50 3.90	14.10 2.67	0.00	0.00	42.0	65.0			
16	Flachstahl 10/200 1	6.46 20.00	666.67 16.67	1.67 16.67	0.00	0.00	10.0	200.0			
17	Flachstahl 20/70 1	15.31 14.00	57.17 11.67	4.67 11.67	0.00	0.00	20.0	70.0			
18	Rundstahl 16 1	0.64 2.01	0.32 1.69	0.32 1.69	0.00	0.00	16.0	16.0			
19	Flachstahl 10/35 1	0.96 3.50	3.57 2.92	0.29 2.92	0.00	0.00	10.0	35.0			
20	Flachstahl 20/40 1	7.32 8.00	10.67 6.67	2.67 6.67	0.00	0.00	20.0	40.0			
21	UU 200/200/6/6/6/200/0 1	4.21 35.28	2591.11 18.27	1522.34 7.75	0.00	0.00	200.0	200.0			
22	Flachstahl 20/40 1	7.32 8.00	10.67 6.67	2.67 6.67	0.00	0.00	20.0	40.0			
23	Flachstahl 8/200 1	3.33 16.00	533.33 13.33	0.85 13.33	0.00	0.00	8.0	200.0			
24	Rundstahl 8 1	0.04 0.50	0.02 0.42	0.02 0.42	0.00	0.00	8.0	8.0			
25	Flachstahl 8/100 1	1.62 8.00	66.67 6.67	0.43 6.67	0.00	0.00	8.0	100.0			
26	Flachstahl 15/70 1	6.81 10.50	42.88 8.75	1.97 8.75	0.00	0.00	15.0	70.0			
27	Flachstahl 5/150 1	0.61 7.50	140.63 6.25	0.16 6.25	0.00	0.00	5.0	150.0			
28	DUENQ S_I_640+4L65 GESCHWACHT1 1	7.22 55.19	23043.93 7.26	155.80 31.60	0.00	0.00	138.0	630.0			
29	Flachstahl 8/600 1	10.15 48.00	14400.00 40.00	2.56 40.00	0.00	0.00	8.0	600.0			
30	Flachstahl 8/110 1	1.79 8.80	88.73 7.33	0.47 7.33	0.00	0.00	8.0	110.0			
31	Flachstahl 6/90 1	0.62 5.40	36.45 4.50	0.16 4.50	0.00	0.00	6.0	90.0			
32	Flachstahl 6/350 1	2.49 21.00	2143.75 17.50	0.63 17.50	0.00	0.00	6.0	350.0			

1.14 STABENDGELENKE



Gelenk Nr.	Bezugs-system	Axial/Quer-Gelenk bzw. Feder[kN/m]			Momentengelenk bzw. Feder[kNm/rad]			Kommentar
		u_x/P_x	u_y/P_y	u_z/P_z	φ_y/M_x	φ_x/M_y	φ_z/M_z	
1	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Nichtlinearität	-	-	-	-	-	-	
2	Global X,Y,Z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Scheren Ausschneiden	Scheren Ausschneiden	
	Nichtlinearität	-	-	-	-	-	-	



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

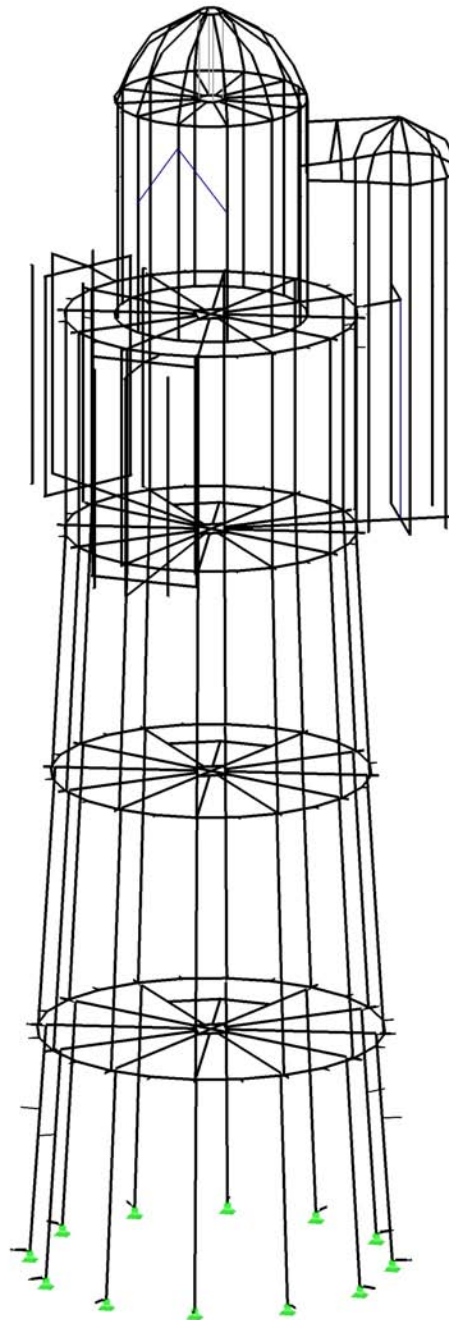
Datum: 11.06.2019

■ **1.14 STABENDGELENKE**

Gelenk Nr.	Bezugs-system	Axial/Quer-Gelenk bzw. Feder[kN/m]			Momentengelenk bzw. Feder[kNm/rad]			Kommentar
		u_x/P_x	u_y/P_y	u_z/P_z	φ_x/M_x	φ_y/M_y	φ_z/M_z	
3	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5000.000	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Nichtlinearität	-	-	-	-	-	-	
4	Global X,Y,Z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Scheren Ausschneiden	Scheren Ausschneiden	
	Nichtlinearität	-	-	-	-	-	-	
5	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Nichtlinearität	-	-	-	-	-	-	

■ **MODELL**

Isometrie





Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.1 LASTFÄLLE

Lastfall	LF-Bezeichnung	Keine Norm Einwirkungskategorie	Eigengewicht - Faktor in Richtung			
			Aktiv	X	Y	Z
LF1	Eigengewicht Konstruktion	Ständige Lasten	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.000	1.000
LF11	Fb.-Aufbau KG	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>			
LF12	Ausbauten KG	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>			
LF21	Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>			
LF22	Ausbauten 1. OG (Schlafen)	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>			
LF31	Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>			
LF32	Ausbauten 2. OG (Küche)	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>			
LF41	Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>			
LF42	Ausbauten 3. OG (Dienst)	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>			
LF51	Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>			
LF52	Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>			
LF61	Aufbau Dach	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>			
LF62	Ausbau Dach	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>			
LF111	Nutzlasten KG	Nutzlasten	<input type="checkbox"/>			
LF121	Nutzlasten 1. OG (Schlaf)	Nutzlasten	<input type="checkbox"/>			
LF131	Nutzlasten 2. OG (Küche)	Nutzlasten	<input type="checkbox"/>			
LF141	Nutzlasten 3. OG (Dienst)	Nutzlasten	<input type="checkbox"/>			
LF151	Nutzlasten 4. OG (Laterne+Balkon)	Nutzlasten	<input type="checkbox"/>			
LF155	Schneelasten 4. OG (Laterne+Balkon)	Schnee / Eis	<input type="checkbox"/>			
LF161	Nutzlasten Dach	Nutzlasten	<input type="checkbox"/>			
LF165	Schneelasten Dach	Schnee / Eis	<input type="checkbox"/>			
LF191	Vereisung	Schnee / Eis	<input type="checkbox"/>			
LF211	Wind aus N (Anströmung auf NT)	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF212	Wind aus N (Anströmung auf NT) - QUER	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF213	Wind aus N (Anströmung auf NT) - Moment	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF221	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT)	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF222	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - QUER	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF223	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - Moment	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF231	Wind aus OSO (Anströmung auf HT)	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF232	Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - QUER	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF233	Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - Moment	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF311	Welle aus N (Anströmung auf NT)	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF321	Welle aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT)	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF331	Welle aus OSO (Anströmung auf HT)	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF501	Erwärmung konstant	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF502	Abkühlung konstant	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF511	Erwärmung außen Ac. 1	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF512	Erwärmung außen Ac. 2	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF513	Erwärmung außen Ac. 3	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF514	Erwärmung außen Ac. 4	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF515	Erwärmung außen Ac. 5	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF516	Erwärmung außen Ac. 6	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF517	Erwärmung außen Ac. 7	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF518	Erwärmung außen Ac. 8	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF519	Erwärmung außen Ac. 9	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF520	Erwärmung außen Ac. 10	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF521	Erwärmung außen Ac. 11	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF522	Erwärmung außen Ac. 12	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF531	Abkühlung außen Ac. 1	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF532	Abkühlung außen Ac. 2	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF533	Abkühlung außen Ac. 3	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF534	Abkühlung außen Ac. 4	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF535	Abkühlung außen Ac. 5	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF536	Abkühlung außen Ac. 6	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF537	Abkühlung außen Ac. 7	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF538	Abkühlung außen Ac. 8	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF539	Abkühlung außen Ac. 9	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF540	Abkühlung außen Ac. 10	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF541	Abkühlung außen Ac. 11	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF542	Abkühlung außen Ac. 12	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF550	Erwärmung außen - kombiniert 1	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF571	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 1	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF572	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 2	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF573	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 3	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF574	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 4	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF575	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 5	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF576	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 6	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF577	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 7	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF578	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 8	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF579	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 9	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.1 LASTFÄLLE

Lastfall	LF-Bezeichnung	Keine Norm Einwirkungskategorie	Eigengewicht - Faktor in Richtung			
			Aktiv	X	Y	Z
LF580	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 10	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF581	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 11	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF582	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 12	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF590	Abkühlung außen - kombiniert 1	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF611	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 1	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF612	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 2	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF613	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 3	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF614	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 4	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF615	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 5	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF616	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 6	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF617	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 7	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF618	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 8	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF619	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 9	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF620	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 10	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF621	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 11	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			
LF622	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 12	Temperatur (ohne Brand)	<input type="checkbox"/>			

2.1.1 LASTFÄLLE - BERECHNUNGSPARAMETER

Lastfall	LF-Bezeichnung	Berechnungsparameter	
		Berechnungstheorie	Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen
LF1	Eigengewicht Konstruktion	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF11	Fb.-Aufbau KG	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF12	Ausbauten KG	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF21	Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF22	Ausbauten 1. OG (Schlafen)	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF31	Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF32	Ausbauten 2. OG (Küche)	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF41	Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF42	Ausbauten 3. OG (Dienst)	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF51	Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF52	Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF61	Aufbau Dach	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF62	Ausbau Dach	: <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)	: <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.1.1 LASTFÄLLE - BERECHNUNGSPARAMETER

Lastfall	LF-Bezeichnung	Berechnungsparameter
		algebraischen Gleichungen
LF111	Nutzlasten KG	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF121	Nutzlasten 1. OG (Schlaf)	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF131	Nutzlasten 2. OG (Küche)	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF141	Nutzlasten 3. OG (Dienst)	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF151	Nutzlasten 4. OG (Laterne+Balkon)	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF155	Schneelasten 4. OG (Laterne+Balkon)	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF161	Nutzlasten Dach	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF165	Schneelasten Dach	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF191	Vereisung	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF211	Wind aus N (Anströmung auf NT)	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF212	Wind aus N (Anströmung auf NT) - QUER	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF213	Wind aus N (Anströmung auf NT) - Moment	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF221	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT)	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF222	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - QUER	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF223	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - Moment	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF231	Wind aus OSO (Anströmung auf HT)	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF232	Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - QUER	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF233	Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - Moment	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF311	Welle aus N (Anströmung auf NT)	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.1.1 LASTFÄLLE - BERECHNUNGSPARAMETER

Lastfall	LF-Bezeichnung	Berechnungsparameter	
LF321	Welle aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT)	Optionen	<input checked="" type="checkbox"/> Belastung mit Faktor bearbeiten: 0.100
		Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
LF331	Welle aus OSO (Anströmung auf HT)	Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
		Optionen	<input checked="" type="checkbox"/> Belastung mit Faktor bearbeiten: 0.100
LF501	Erwärmung konstant	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF502	Abkühlung konstant	Optionen	<input checked="" type="checkbox"/> Belastung mit Faktor bearbeiten: 0.100
		Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
LF511	Erwärmung außen Ac. 1	Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
		Optionen	<input checked="" type="checkbox"/> Belastung mit Faktor bearbeiten: 0.100
LF512	Erwärmung außen Ac. 2	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF513	Erwärmung außen Ac. 3	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF514	Erwärmung außen Ac. 4	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF515	Erwärmung außen Ac. 5	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF516	Erwärmung außen Ac. 6	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF517	Erwärmung außen Ac. 7	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF518	Erwärmung außen Ac. 8	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF519	Erwärmung außen Ac. 9	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF520	Erwärmung außen Ac. 10	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF521	Erwärmung außen Ac. 11	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF522	Erwärmung außen Ac. 12	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF531	Abkühlung außen Ac. 1	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF532	Abkühlung außen Ac. 2	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF533	Abkühlung außen Ac. 3	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF534	Abkühlung außen Ac. 4	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF535	Abkühlung außen Ac. 5	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson
LF536	Abkühlung außen Ac. 6	Berechnungstheorie	<input type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear)
		Berechnungsverfahren für das S	<input type="checkbox"/> Newton-Raphson



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.1.1 LASTFÄLLE - BERECHNUNGSPARAMETER

Lastfall	LF-Bezeichnung	Berechnungsparameter
		System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen
LF537	Abkühlung außen Ac. 7	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF538	Abkühlung außen Ac. 8	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF539	Abkühlung außen Ac. 9	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF540	Abkühlung außen Ac. 10	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF541	Abkühlung außen Ac. 11	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF542	Abkühlung außen Ac. 12	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF550	Erwärmung außen - kombiniert 1	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF571	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 1	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF572	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 2	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF573	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 3	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF574	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 4	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF575	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 5	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF576	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 6	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF577	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 7	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF578	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 8	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF579	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 9	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF580	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 10	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF581	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 11	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF582	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 12	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Newton-Raphson
LF590	Abkühlung außen - kombiniert 1	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear)



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.1.1 LASTFÄLLE - BERECHNUNGSPARAMETER

Lastfall	LF-Bezeichnung	Berechnungsparameter
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF611	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 1	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF612	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 2	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF613	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 3	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF614	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 4	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF615	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 5	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF616	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 6	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF617	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 7	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF618	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 8	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF619	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 9	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF620	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 10	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF621	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 11	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson
LF622	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 12	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> Theorie I. Ordnung (linear) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Newton-Raphson

2.5 LASTKOMBINATIONEN

Lastkombin.	BS	Lastkombination Bezeichnung	Nr.	Faktor			Lastfall
LK1		Summe G_1,00 (Auf- und Ausbauten 1,00-fach)	1	1.00	LF1	Eigengewicht Konstruktion	
			2	1.00	LF11	Fb.-Aufbau KG	
			3	1.00	LF12	Ausbauten KG	
			4	1.00	LF21	Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)	
			5	1.00	LF22	Ausbauten 1. OG (Schlafen)	
			6	1.00	LF31	Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)	
			7	1.00	LF32	Ausbauten 2. OG (Küche)	
			8	1.00	LF41	Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)	
			9	1.00	LF42	Ausbauten 3. OG (Dienst)	
			10	1.00	LF51	Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)	
			11	1.00	LF52	Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)	
			12	1.00	LF61	Aufbau Dach	
			13	1.00	LF62	Ausbau Dach	
LK2		Summe G_0,75 (Auf- und Ausbauten 0,75-fach)	1	1.00	LF1	Eigengewicht Konstruktion	
			2	0.75	LF11	Fb.-Aufbau KG	
			3	0.75	LF12	Ausbauten KG	
			4	0.75	LF21	Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)	
			5	0.75	LF22	Ausbauten 1. OG (Schlafen)	
			6	0.75	LF31	Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)	
			7	0.75	LF32	Ausbauten 2. OG (Küche)	
			8	0.75	LF41	Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)	



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.5 LASTKOMBINATIONEN

Last-kombin.	BS	Lastkombination Bezeichnung	Nr.	Faktor	Lastfall	
LK3 LK101		Summe G_0,00 (Auf- und Ausbauten 0,00-fach) Summe Q	9	0.75	LF42	Ausbauten 3. OG (Dienst)
			10	0.75	LF51	Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)
			11	0.75	LF52	Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)
			12	0.75	LF61	Aufbau Dach
			13	0.75	LF62	Ausbau Dach
			1	1.00	LF1	Eigengewicht Konstruktion
			1	1.00	LF111	Nutzlasten KG
			2	1.00	LF121	Nutzlasten 1. OG (Schlaf)
			3	1.00	LF131	Nutzlasten 2. OG (Küche)
			4	1.00	LF141	Nutzlasten 3. OG (Dienst)
			5	1.00	LF151	Nutzlasten 4. OG (Laterne+Balkon)
			6	1.00	LF161	Nutzlasten Dach
			LK102		Summe S	1
2	1.00	LF165				Schneelasten Dach
3	1.00	LF191				Vereisung
LK211		Wind aus N-1 (längs+quer+M)	1	1.00	LF211	Wind aus N (Anströmung auf NT)
			2	1.00	LF212	Wind aus N (Anströmung auf NT) - QUER
LK212		Wind aus N-2 (längs-quer-M)	3	1.00	LF213	Wind aus N (Anströmung auf NT) - Moment
			1	1.00	LF211	Wind aus N (Anströmung auf NT)
			2	-1.00	LF212	Wind aus N (Anströmung auf NT) - QUER
LK213		Wind aus N-3 (längs-quer+M)	3	-1.00	LF213	Wind aus N (Anströmung auf NT) - Moment
			1	1.00	LF211	Wind aus N (Anströmung auf NT)
			2	-1.00	LF212	Wind aus N (Anströmung auf NT) - QUER
LK214		Wind aus N-4 (längs+quer-M)	3	1.00	LF213	Wind aus N (Anströmung auf NT) - Moment
			1	1.00	LF211	Wind aus N (Anströmung auf NT)
			2	1.00	LF212	Wind aus N (Anströmung auf NT) - QUER
LK222		Wind aus ONO-1 (längs+quer+M)	3	-1.00	LF213	Wind aus N (Anströmung auf NT) - Moment
			1	1.00	LF221	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT)
			2	1.00	LF222	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - QUER
LK231		Wind aus OSO-1 (längs+quer+M)	3	1.00	LF223	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - Moment
			1	1.00	LF231	Wind aus OSO (Anströmung auf HT)
			2	1.00	LF232	Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - QUER
LK301		max V: G+Q+S	3	1.00	LF233	Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - Moment
			1	1.35	LF1	Eigengewicht Konstruktion
			2	1.35	LF11	Fb.-Aufbau KG
			3	1.35	LF12	Ausbauten KG
			4	1.35	LF21	Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)
			5	1.35	LF22	Ausbauten 1. OG (Schlafen)
			6	1.35	LF31	Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)
			7	1.35	LF32	Ausbauten 2. OG (Küche)
			8	1.35	LF41	Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)
			9	1.35	LF42	Ausbauten 3. OG (Dienst)
			10	1.35	LF51	Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)
			11	1.35	LF52	Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)
			12	1.35	LF61	Aufbau Dach
			13	1.35	LF62	Ausbau Dach
			14	1.50	LF111	Nutzlasten KG
			15	1.50	LF121	Nutzlasten 1. OG (Schlaf)
			16	1.50	LF131	Nutzlasten 2. OG (Küche)
			17	1.50	LF141	Nutzlasten 3. OG (Dienst)
			18	1.50	LF151	Nutzlasten 4. OG (Laterne+Balkon)
			19	1.50	LF155	Schneelasten 4. OG (Laterne+Balkon)
			20	1.50	LF161	Nutzlasten Dach
			LK302		max V+W_N: G+Q+S+W_N	21
22	1.50	LF191				Vereisung
1	1.35	LF1				Eigengewicht Konstruktion
2	1.35	LF11				Fb.-Aufbau KG
3	1.35	LF12				Ausbauten KG
4	1.35	LF21				Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)
5	1.35	LF22				Ausbauten 1. OG (Schlafen)
6	1.35	LF31				Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)
7	1.35	LF32				Ausbauten 2. OG (Küche)
8	1.35	LF41				Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)
9	1.35	LF42				Ausbauten 3. OG (Dienst)
10	1.35	LF51				Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)
11	1.35	LF52				Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)
12	1.35	LF61	Aufbau Dach			
13	1.35	LF62	Ausbau Dach			
14	1.50	LF111	Nutzlasten KG			
15	1.50	LF121	Nutzlasten 1. OG (Schlaf)			
16	1.50	LF131	Nutzlasten 2. OG (Küche)			
17	1.50	LF141	Nutzlasten 3. OG (Dienst)			
18	1.50	LF151	Nutzlasten 4. OG (Laterne+Balkon)			
19	1.50	LF155	Schneelasten 4. OG (Laterne+Balkon)			
20	1.50	LF161	Nutzlasten Dach			
21	1.50	LF165	Schneelasten Dach			
22	1.50	LF191	Vereisung			
23	1.50	LF211	Wind aus N (Anströmung auf NT)			



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.5 LASTKOMBINATIONEN

Last-kombin.	BS	Lastkombination Bezeichnung	Nr.	Faktor	Lastfall	
LK303		max V+W_ONO: G+Q+S+W_ONO	24	1.50	LF212	Wind aus N (Anströmung auf NT) - QUER
			25	1.50	LF213	Wind aus N (Anströmung auf NT) - Moment
			1	1.35	LF1	Eigengewicht Konstruktion
			2	1.35	LF11	Fb.-Aufbau KG
			3	1.35	LF12	Ausbauten KG
			4	1.35	LF21	Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)
			5	1.35	LF22	Ausbauten 1. OG (Schlafen)
			6	1.35	LF31	Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)
			7	1.35	LF32	Ausbauten 2. OG (Küche)
			8	1.35	LF41	Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)
			9	1.35	LF42	Ausbauten 3. OG (Dienst)
			10	1.35	LF51	Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)
			11	1.35	LF52	Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)
			12	1.35	LF61	Aufbau Dach
			13	1.35	LF62	Ausbau Dach
			14	1.50	LF111	Nutzlasten KG
			15	1.50	LF121	Nutzlasten 1. OG (Schlaf)
			16	1.50	LF131	Nutzlasten 2. OG (Küche)
			17	1.50	LF141	Nutzlasten 3. OG (Dienst)
			18	1.50	LF151	Nutzlasten 4. OG (Laterne+Balkon)
			19	1.50	LF155	Schneelasten 4. OG (Laterne+Balkon)
			20	1.50	LF161	Nutzlasten Dach
			21	1.50	LF165	Schneelasten Dach
22	1.50	LF191	Vereisung			
23	1.50	LF221	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT)			
LK304		max V+W_OS0: G+Q+S+W_OS0	24	1.50	LF222	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - QUER
			25	1.50	LF223	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - Moment
			1	1.35	LF1	Eigengewicht Konstruktion
			2	1.35	LF11	Fb.-Aufbau KG
			3	1.35	LF12	Ausbauten KG
			4	1.35	LF21	Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)
			5	1.35	LF22	Ausbauten 1. OG (Schlafen)
			6	1.35	LF31	Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)
			7	1.35	LF32	Ausbauten 2. OG (Küche)
			8	1.35	LF41	Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)
			9	1.35	LF42	Ausbauten 3. OG (Dienst)
			10	1.35	LF51	Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)
11	1.35	LF52	Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)			
12	1.35	LF61	Aufbau Dach			
13	1.35	LF62	Ausbau Dach			
14	1.50	LF111	Nutzlasten KG			
15	1.50	LF121	Nutzlasten 1. OG (Schlaf)			
16	1.50	LF131	Nutzlasten 2. OG (Küche)			
17	1.50	LF141	Nutzlasten 3. OG (Dienst)			
18	1.50	LF151	Nutzlasten 4. OG (Laterne+Balkon)			
19	1.50	LF155	Schneelasten 4. OG (Laterne+Balkon)			
20	1.50	LF161	Nutzlasten Dach			
21	1.50	LF165	Schneelasten Dach			
22	1.50	LF191	Vereisung			
23	1.50	LF231	Wind aus OSO (Anströmung auf HT)			
24	1.50	LF232	Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - QUER			
25	1.50	LF233	Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - Moment			
LK311		min V+W_N: G_0,75+W_N	1	0.90	LF1	Eigengewicht Konstruktion
			2	0.75	LF11	Fb.-Aufbau KG
			3	0.75	LF12	Ausbauten KG
			4	0.75	LF21	Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)
			5	0.75	LF22	Ausbauten 1. OG (Schlafen)
			6	0.75	LF31	Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)
			7	0.75	LF32	Ausbauten 2. OG (Küche)
			8	0.75	LF41	Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)
			9	0.75	LF42	Ausbauten 3. OG (Dienst)
			10	0.75	LF51	Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)
			11	0.75	LF52	Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)
			12	0.75	LF61	Aufbau Dach
			13	0.75	LF62	Ausbau Dach
			14	1.50	LF211	Wind aus N (Anströmung auf NT)
			15	1.50	LF212	Wind aus N (Anströmung auf NT) - QUER
LK312		min V+W_N: G_0,75+W_ONO	16	1.50	LF213	Wind aus N (Anströmung auf NT) - Moment
			1	0.90	LF1	Eigengewicht Konstruktion
			2	0.75	LF11	Fb.-Aufbau KG
			3	0.75	LF12	Ausbauten KG
			4	0.75	LF21	Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)
			5	0.75	LF22	Ausbauten 1. OG (Schlafen)
			6	0.75	LF31	Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)
			7	0.75	LF32	Ausbauten 2. OG (Küche)
			8	0.75	LF41	Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)
9	0.75	LF42	Ausbauten 3. OG (Dienst)			
10	0.75	LF51	Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)			
11	0.75	LF52	Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)			
12	0.75	LF61	Aufbau Dach			
13	0.75	LF62	Ausbau Dach			
14	1.50	LF221	Wind aus ONO (Anströmung auf W			



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.5 LASTKOMBINATIONEN

Last-kombin.	BS	Lastkombination Bezeichnung	Nr.	Faktor	Lastfall				
LK313		min V+W_N: G_0,75+W_OSO	15	1.50	LF222	Winkelhalbierende zw. HT)			
			16	1.50	LF223	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - QUER			
			1	0.90	LF1	Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - Moment			
			2	0.75	LF11	Eigengewicht Konstruktion			
			3	0.75	LF12	Fb.-Aufbau KG			
			4	0.75	LF21	Ausbauten KG			
			5	0.75	LF22	Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)			
			6	0.75	LF31	Ausbauten 1. OG (Schlafen)			
			7	0.75	LF32	Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)			
			8	0.75	LF41	Ausbauten 2. OG (Küche)			
			9	0.75	LF42	Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)			
			10	0.75	LF51	Ausbauten 3. OG (Dienst)			
			11	0.75	LF52	Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)			
			12	0.75	LF61	Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)			
			13	0.75	LF62	Aufbau Dach			
			LK321		min V+We_N: G_0,75+We_N	14	1.50	LF231	Ausbau Dach
15	1.50	LF232				Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - QUER			
16	1.50	LF233				Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - Moment			
1	0.90	LF1				Eigengewicht Konstruktion			
2	0.75	LF11				Fb.-Aufbau KG			
3	0.75	LF12				Ausbauten KG			
4	0.75	LF21				Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)			
5	0.75	LF22				Ausbauten 1. OG (Schlafen)			
6	0.75	LF31				Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)			
7	0.75	LF32				Ausbauten 2. OG (Küche)			
8	0.75	LF41				Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)			
9	0.75	LF42				Ausbauten 3. OG (Dienst)			
10	0.75	LF51				Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)			
11	0.75	LF52				Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)			
12	0.75	LF61				Aufbau Dach			
LK322		min V+We_ONO: G_0,75+We_ONO				13	0.75	LF62	Ausbau Dach
			14	1.50	LF311	Welle aus N (Anströmung auf NT)			
			1	0.90	LF1	Eigengewicht Konstruktion			
			2	0.75	LF11	Fb.-Aufbau KG			
			3	0.75	LF12	Ausbauten KG			
			4	0.75	LF21	Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)			
			5	0.75	LF22	Ausbauten 1. OG (Schlafen)			
			6	0.75	LF31	Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)			
			7	0.75	LF32	Ausbauten 2. OG (Küche)			
			8	0.75	LF41	Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)			
			9	0.75	LF42	Ausbauten 3. OG (Dienst)			
			10	0.75	LF51	Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)			
			11	0.75	LF52	Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)			
			12	0.75	LF61	Aufbau Dach			
			LK323		min V+We_OSO: G_0,75+We_OSO	13	0.75	LF62	Ausbau Dach
						14	1.50	LF321	Welle aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT)
1	0.90	LF1				Eigengewicht Konstruktion			
2	0.75	LF11				Fb.-Aufbau KG			
3	0.75	LF12				Ausbauten KG			
4	0.75	LF21				Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)			
5	0.75	LF22				Ausbauten 1. OG (Schlafen)			
6	0.75	LF31				Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)			
7	0.75	LF32				Ausbauten 2. OG (Küche)			
8	0.75	LF41				Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)			
9	0.75	LF42				Ausbauten 3. OG (Dienst)			
10	0.75	LF51				Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)			
11	0.75	LF52				Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)			
12	0.75	LF61				Aufbau Dach			
LK511		Erwärmung außen - Ac. 1-3				14	1.50	LF331	Welle aus OSO (Anströmung auf HT)
						1	1.00	LF512	Erwärmung außen Ac. 2
LK512		Erwärmung außen - Ac. 1-6	2	1.00	LF513	Erwärmung außen Ac. 3			
			1	1.00	LF511	Erwärmung außen Ac. 1			
			2	1.00	LF512	Erwärmung außen Ac. 2			
			3	1.00	LF513	Erwärmung außen Ac. 3			
			4	1.00	LF514	Erwärmung außen Ac. 4			
LK513		Erwärmung außen - Ac. 1-9	5	1.00	LF515	Erwärmung außen Ac. 5			
			6	1.00	LF516	Erwärmung außen Ac. 6			
			1	1.00	LF511	Erwärmung außen Ac. 1			
			2	1.00	LF512	Erwärmung außen Ac. 2			
			3	1.00	LF513	Erwärmung außen Ac. 3			
			4	1.00	LF514	Erwärmung außen Ac. 4			
			5	1.00	LF515	Erwärmung außen Ac. 5			
			6	1.00	LF516	Erwärmung außen Ac. 6			
LK514		Erwärmung außen - Ac. 1-12	7	1.00	LF517	Erwärmung außen Ac. 7			
			8	1.00	LF518	Erwärmung außen Ac. 8			
			9	1.00	LF519	Erwärmung außen Ac. 9			
			1	1.00	LF511	Erwärmung außen Ac. 1			
			2	1.00	LF512	Erwärmung außen Ac. 2			
			3	1.00	LF513	Erwärmung außen Ac. 3			
			4	1.00	LF514	Erwärmung außen Ac. 4			
			5	1.00	LF515	Erwärmung außen Ac. 5			
6	1.00	LF516	Erwärmung außen Ac. 6						
7	1.00	LF517	Erwärmung außen Ac. 7						
8	1.00	LF518	Erwärmung außen Ac. 8						



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.5 LASTKOMBINATIONEN

Last-kombin.	BS	Lastkombination Bezeichnung	Nr.	Faktor	Lastfall	
LK531		Abkühlung außen - Ac. 1-3	9	1.00	LF519	Erwärmung außen Ac. 9
			10	1.00	LF520	Erwärmung außen Ac. 10
			11	1.00	LF521	Erwärmung außen Ac. 11
			12	1.00	LF522	Erwärmung außen Ac. 12
			1	1.50	LF531	Abkühlung außen Ac. 1
LK532		Abkühlung außen - Ac. 1-6	2	1.50	LF532	Abkühlung außen Ac. 2
			3	1.50	LF533	Abkühlung außen Ac. 3
			1	1.50	LF531	Abkühlung außen Ac. 1
LK533		Abkühlung außen - Ac. 1-9	2	1.50	LF532	Abkühlung außen Ac. 2
			3	1.50	LF533	Abkühlung außen Ac. 3
			4	1.50	LF534	Abkühlung außen Ac. 4
			5	1.50	LF535	Abkühlung außen Ac. 5
			6	1.50	LF536	Abkühlung außen Ac. 6
			1	1.50	LF531	Abkühlung außen Ac. 1
LK534		Abkühlung außen - Ac. 1-12	2	1.50	LF532	Abkühlung außen Ac. 2
			3	1.50	LF533	Abkühlung außen Ac. 3
			4	1.50	LF534	Abkühlung außen Ac. 4
			5	1.50	LF535	Abkühlung außen Ac. 5
			6	1.50	LF536	Abkühlung außen Ac. 6
			7	1.50	LF537	Abkühlung außen Ac. 7
			8	1.50	LF538	Abkühlung außen Ac. 8
			9	1.50	LF539	Abkühlung außen Ac. 9
			10	1.50	LF540	Abkühlung außen Ac. 10
			11	1.50	LF541	Abkühlung außen Ac. 11
			12	1.50	LF542	Abkühlung außen Ac. 12
			LK571		Erwärmung außen - kombiniert - Ac. 1-3	1
2	1.50	LF572				Erwärmung außen - kombiniert Ac. 2
3	1.50	LF573				Erwärmung außen - kombiniert Ac. 3
LK572		Erwärmung außen - kombiniert - Ac. 1-6	1	1.50	LF571	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 1
			2	1.50	LF572	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 2
			3	1.50	LF573	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 3
			4	1.50	LF574	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 4
			5	1.50	LF575	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 5
			6	1.50	LF576	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 6
LK573		Erwärmung außen - kombiniert - Ac. 1-9	1	1.50	LF571	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 1
			2	1.50	LF572	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 2
			3	1.50	LF573	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 3
			4	1.50	LF574	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 4
			5	1.50	LF575	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 5
			6	1.50	LF576	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 6
			7	1.50	LF577	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 7
			8	1.50	LF578	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 8
			9	1.50	LF579	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 9
LK574		Erwärmung außen - kombiniert - Ac. 1-12	10	1.50	LF580	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 10
			11	1.50	LF581	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 11
			12	1.50	LF582	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 12
			1	1.50	LF571	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 1
			2	1.50	LF572	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 2
			3	1.50	LF573	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 3
			4	1.50	LF574	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 4
			5	1.50	LF575	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 5
			6	1.50	LF576	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 6
			7	1.50	LF577	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 7
			8	1.50	LF578	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 8
			9	1.50	LF579	Erwärmung außen - kombiniert Ac. 9
LK611		Abkühlung außen - kombiniert - Ac. 1-3	1	1.50	LF611	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 1
			2	1.50	LF612	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 2
			3	1.50	LF613	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 3
LK612		Abkühlung außen - kombiniert - Ac. 1-6	1	1.50	LF611	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 1
			2	1.50	LF612	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 2
			3	1.50	LF613	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 3
			4	1.50	LF614	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 4
			5	1.50	LF615	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 5
			6	1.50	LF616	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 6
LK613		Abkühlung außen - kombiniert - Ac. 1-9	1	1.50	LF611	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 1
			2	1.50	LF612	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 2
			3	1.50	LF613	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 3



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.5 LASTKOMBINATIONEN

Last-kombin.	BS	Lastkombination Bezeichnung	Nr.	Faktor	Lastfall	
					LF	Abkühlung
LK614		Abkühlung außen - kombiniert - Ac. 1-12	4	1.50	LF614	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 4
			5	1.50	LF615	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 5
			6	1.50	LF616	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 6
			7	1.50	LF617	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 7
			8	1.50	LF618	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 8
			9	1.50	LF619	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 9
			1	1.50	LF611	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 1
			2	1.50	LF612	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 2
			3	1.50	LF613	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 3
			4	1.50	LF614	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 4
			5	1.50	LF615	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 5
			6	1.50	LF616	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 6
7	1.50	LF617	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 7			
8	1.50	LF618	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 8			
9	1.50	LF619	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 9			
10	1.50	LF620	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 10			
11	1.50	LF621	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 11			
12	1.50	LF622	Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 12			

2.5.2 LASTKOMBINATIONEN - BERECHNUNGSPARAMETER

Last-kombin.	Bezeichnung	Berechnungsparameter
LK1	Summe G_1,00 (Auf- und Ausbauten 1,00-fach)	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK2	Summe G_0,75 (Auf- und Ausbauten 0,75-fach)	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK3	Summe G_0,00 (Auf- und Ausbauten 0,00-fach)	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK101	Summe Q	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das S : <input type="radio"/> Picard



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.5.2 LASTKOMBINATIONEN - BERECHNUNGSPARAMETER

Last-kombin.	Bezeichnung	Berechnungsparameter
		System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ , EI_y , EI_z , EA , GA_y , GA_z)
LK102	Summe S	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ , EI_y , EI_z , EA , GA_y , GA_z)
LK211	Wind aus N-1 (längs+quer+M)	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ , EI_y , EI_z , EA , GA_y , GA_z)
LK212	Wind aus N-2 (längs-quer-M)	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ , EI_y , EI_z , EA , GA_y , GA_z)
LK213	Wind aus N-3 (längs-quer+M)	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ , EI_y , EI_z , EA , GA_y , GA_z)
LK214	Wind aus N-4 (längs+quer-M)	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ , EI_y , EI_z , EA , GA_y , GA_z)
LK222	Wind aus ONO-1 (längs+quer+M)	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System b



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.5.2 LASTKOMBINATIONEN - BERECHNUNGSPARAMETER

Last-kombin.	Bezeichnung	Berechnungsparameter
		beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK231	Wind aus OSO-1 (längs+quer+M)	Berechnungstheorie : <input checked="" type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="checkbox"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK301	max V: G+Q+S	Berechnungstheorie : <input checked="" type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="checkbox"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK302	max V+W_N: G+Q+S+W_N	Berechnungstheorie : <input checked="" type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="checkbox"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK303	max V+W_ONO: G+Q+S+W_ONO	Berechnungstheorie : <input checked="" type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="checkbox"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK304	max V+W_OSO: G+Q+S+W_OSO	Berechnungstheorie : <input checked="" type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="checkbox"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK311	min V+W_N: G_0,75+W_N	Berechnungstheorie : <input checked="" type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="checkbox"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.5.2 LASTKOMBINATIONEN - BERECHNUNGSPARAMETER

Last-kombin.	Bezeichnung	Berechnungsparameter
		<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für $GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z$)
LK312	min V+W_N: G_0,75+W_ONO	<ul style="list-style-type: none"> Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T Steißigkeitsbeiwerte aktivieren für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für $GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z$)
LK313	min V+W_N: G_0,75+W_OSO	<ul style="list-style-type: none"> Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T Steißigkeitsbeiwerte aktivieren für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für $GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z$)
LK321	min V+We_N: G_0,75+We_N	<ul style="list-style-type: none"> Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T Steißigkeitsbeiwerte aktivieren für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für $GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z$)
LK322	min V+We_ONO: G_0,75+We_ONO	<ul style="list-style-type: none"> Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T Steißigkeitsbeiwerte aktivieren für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für $GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z$)
LK323	min V+We_OSO: G_0,75+We_OSO	<ul style="list-style-type: none"> Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T Steißigkeitsbeiwerte aktivieren für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für $GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z$)
LK511	Erwärmung außen - Ac. 1-3	<ul style="list-style-type: none"> Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T Steißigkeitsbeiwerte aktivieren für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M)



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.5.2 LASTKOMBINATIONEN - BERECHNUNGSPARAMETER

Last-kombin.	Bezeichnung	Berechnungsparameter
LK512	Erwärmung außen - Ac. 1-6	<ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z) : <input type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) : <input type="checkbox"/> Picard <p>Berechnungstheorie</p> <p>Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen</p> <p>Optionen</p> <ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T <p>Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für:</p> <ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z)
LK513	Erwärmung außen - Ac. 1-9	<ul style="list-style-type: none"> : <input type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) : <input type="checkbox"/> Picard <p>Berechnungstheorie</p> <p>Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen</p> <p>Optionen</p> <ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T <p>Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für:</p> <ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z)
LK514	Erwärmung außen - Ac. 1-12	<ul style="list-style-type: none"> : <input type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) : <input type="checkbox"/> Picard <p>Berechnungstheorie</p> <p>Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen</p> <p>Optionen</p> <ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T <p>Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für:</p> <ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z)
LK531	Abkühlung außen - Ac. 1-3	<ul style="list-style-type: none"> : <input type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) : <input type="checkbox"/> Picard <p>Berechnungstheorie</p> <p>Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen</p> <p>Optionen</p> <ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T <p>Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für:</p> <ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z)
LK532	Abkühlung außen - Ac. 1-6	<ul style="list-style-type: none"> : <input type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) : <input type="checkbox"/> Picard <p>Berechnungstheorie</p> <p>Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen</p> <p>Optionen</p> <ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T <p>Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für:</p> <ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z)
LK533	Abkühlung außen - Ac. 1-9	<ul style="list-style-type: none"> : <input type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) : <input type="checkbox"/> Picard <p>Berechnungstheorie</p> <p>Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen</p> <p>Optionen</p> <ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y, M_z und M_T <p>Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für:</p> <ul style="list-style-type: none"> : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y, I_z, A, A_y, A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y, EI_z, EA, GA_y, GA_z)
LK534	Abkühlung außen - Ac. 1-12	<ul style="list-style-type: none"> : <input type="checkbox"/> II. Ordnung (P-Delta) : <input type="checkbox"/> Picard <p>Berechnungstheorie</p> <p>Berechnungsverfahren für das S</p>



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.5.2 LASTKOMBINATIONEN - BERECHNUNGSPARAMETER

Last-kombin.	Bezeichnung	Berechnungsparameter
		System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y , I_z , A, A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK571	Erwärmung außen - kombiniert - Ac. 1-3	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y , I_z , A, A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK572	Erwärmung außen - kombiniert - Ac. 1-6	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y , I_z , A, A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK573	Erwärmung außen - kombiniert - Ac. 1-9	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y , I_z , A, A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK574	Erwärmung außen - kombiniert - Ac. 1-12	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y , I_z , A, A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK611	Abkühlung außen - kombiniert - Ac. 1-3	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input checked="" type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J, I_y , I_z , A, A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ, EI_y , EI_z , EA, GA_y , GA_z)
LK612	Abkühlung außen - kombiniert - Ac. 1-6	Berechnungstheorie : <input checked="" type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta)



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.5.2 LASTKOMBINATIONEN - BERECHNUNGSPARAMETER

Last-kombin.	Bezeichnung	Berechnungsparameter
		Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ , EI_y , EI_z , EA , GA_y , GA_z)
LK613	Abkühlung außen - kombiniert - Ac. 1-9	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ , EI_y , EI_z , EA , GA_y , GA_z)
LK614	Abkühlung außen - kombiniert - Ac. 1-12	Berechnungstheorie : <input type="radio"/> II. Ordnung (P-Delta) Berechnungsverfahren für das System der nichtlinearen algebraischen Gleichungen : <input type="radio"/> Picard Optionen : <input checked="" type="checkbox"/> Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen : <input checked="" type="checkbox"/> Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für: <input checked="" type="checkbox"/> Normalkräfte N <input checked="" type="checkbox"/> Querkräfte V_y und V_z <input checked="" type="checkbox"/> Momente M_y , M_z und M_T Steifigkeitsbeiwerte aktivieren für: : <input checked="" type="checkbox"/> Materialien (Teilsicherheitsbeiwert γ_M) : <input checked="" type="checkbox"/> Querschnitte (Faktor für J , I_y , I_z , A , A_y , A_z) : <input checked="" type="checkbox"/> Stäbe (Faktor für GJ , EI_y , EI_z , EA , GA_y , GA_z)

2.7 ERGEBNISKOMBINATIONEN

Ergebn.-kombin.	Bezeichnung	Belastung
EK1	MAX Wind mit maxV	LK301 oder bis LK304
EK2	MAX Wind mit minV	LK311 oder bis LK313
EK3	MAX Welle mit min V	LK321 oder bis LK323
EK501	Temperatur 1.1: Erwärmung außen	1.5*LF550 + LK511 oder bis LK514
EK503	Temperatur 1.2: Erwärmung außen	1.5*LF501 + LK571 oder bis LK574
EK511	Temperatur 2.1: Abkühlung außen	1.5*LF590 + LK531 oder bis LK534
EK512	Temperatur 2.2: Abkühlung außen	1.5*LF502 + LK611 oder bis LK614
EK521	Erwärmung/Abkühlung	1.5*LF501 oder 1.5*LF502 oder EK501 oder EK511 oder EK503 oder EK512

3.2 STABLASTEN

LF21: Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Last-Art	Last-verteilung	Last-Richtung	Bezugs-Länge	Symbol	Lastparameter Wert	Einheit
1	Stäbe	2080,2081, 2090	Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	0.650	kN/m
2	= Holztreppe oben Stäbe = Stahltreppe unten	2110,2111	Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	3.000	kN/m

3.15 GENERIERTE LASTEN

LF21: Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)

Nr.	Lastbezeichnung
1	Aus Flächenlasten durch Ebene
	Flächenlastrichtung : <input checked="" type="checkbox"/> Senkrecht zur Ebene : <input checked="" type="checkbox"/> z
	Stablastrichtung : <input checked="" type="checkbox"/> Richtung der generierten Stablaster: : <input checked="" type="checkbox"/> Lokal in x, y, z
	Lastangriffsbereich : <input checked="" type="checkbox"/> Völlig geschlossene Ebene
	Lastverteilungstyp: : <input checked="" type="checkbox"/> Kombiniert
	Flächenlastgröße : <input checked="" type="checkbox"/> Konstant : 4.70 kN/m ²
	Berandung der Flächenlastebene : Eckknoten : 1119,1129,1019,1029, 1039,1049,1059,1069.1

LF21
Fb.-Aufbau 1. OG
(Schlafen)



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

■ **3.15 GENERIERTE LASTEN**

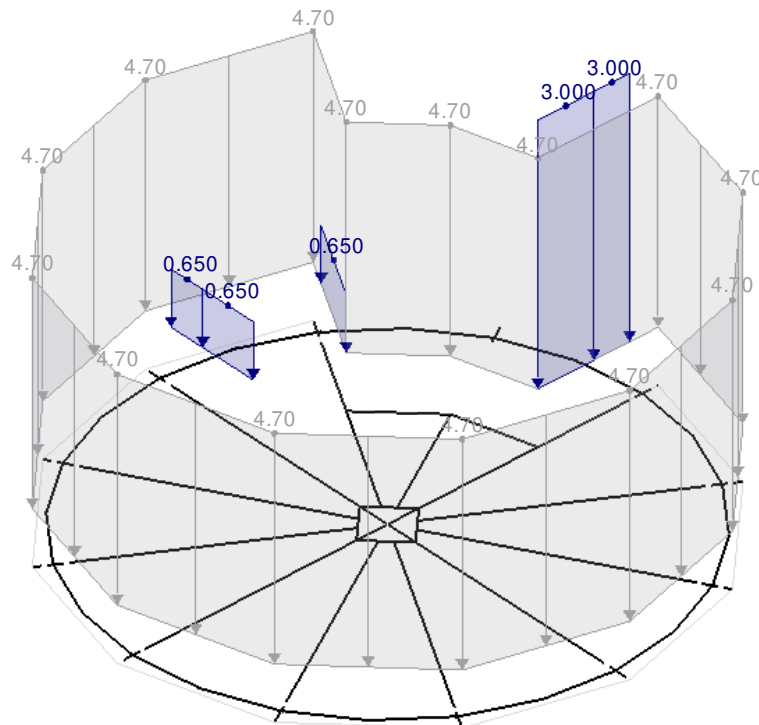
LF21: Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)

Nr.	Lastbezeichnung	
	Hinweis	1079,1089,1099,2091, 2101,2111 : Jede Zeile in der Liste beschreibt eine Ebene
Ohne Wirkung auf	Einzelstäbe	: 1019,1029,1039,1049, 1059,1069,1079,1089, 1099,1119,1129,2019, 2029,2039,2049,2059, 2069,2079,2089,2092, 2099,2101,2102,2109, 2119,2129
Gesamtlasten generieren in Richtung	Σ P Flächen	X : 0.000 kN
		Y : 0.000 kN
		Z : 114.983 kN
	Σ P Stäbe	X : 0.000 kN
		Y : 0.000 kN
		Z : 114.983 kN
Gesamtmoment zum Ursprung	Σ M Flächen	X : 1183.220 kNm
		Y : -1155.720 kNm
		Z : 0.000 kNm
	Σ M Stäbe	X : 1173.350 kNm
		Y : -1153.980 kNm
		Z : 0.000 kNm
Zellen für Generierung gewählt	Σ Anzahl Zellen	: 1
	Σ Zellenfläche	: 24.465 m²
Flächenlast wird umgewandelt auf Stäbe Nr.		: 2010,2020,2021,2025, 2030,2040,2050,2051, 2055,2060,2070, 2080-2082,2085,2090, 2091,2110-2112,2115, 2120,21037

■ **LF21: FB.-AUFBAU 1. OG (SCHLAFEN)**

LF 21: Fb.-Aufbau 1. OG (Schlafen)
Belastung [kN/m], [kN/m²]

Isometrie





Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **3.1 KNOTENLASTEN - KOMPONENTENWEISE
- KOORDINATENSYSTEM**

LF22
Ausbauten 1. OG (Schlafen)

LF22: Ausbauten 1. OG (Schlafen)

Nr.	An Knoten Nr.	Koordinaten-system	Kraft [kN]			Moment [kNm]		
			P_x / P_u	P_y / P_v	P_z / P_w	M_x / M_u	M_y / M_v	M_z / M_w
1	2091,2101,2111, 20281,20282	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.900	0.000	0.000	0.000
	= Innenwand raumhoch => 1,0 kN/m ² * 4,4 m * 0,87 m / 2							
2	2091,2101,20282	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.900	0.000	0.000	0.000
	= Innenwand raumhoch => 1,0 kN/m ² * 4,4 m * 0,87 m / 2							
3	2070,2110,2111, 20281	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.200	0.000	0.000	0.000
	= Innenwand über Tür => 1,0 kN/m ² * 2,4 m * 1,0 m / 2							
4	2111,20281	0 Globales XYZ	0.000	0.000	3.300	0.000	0.000	0.000
	= Innenwand im oberen Bereich => 1,0 kN/m ² * 2,2 m * 3,0 m / 2							

■ **3.3 LINIENLASTEN**

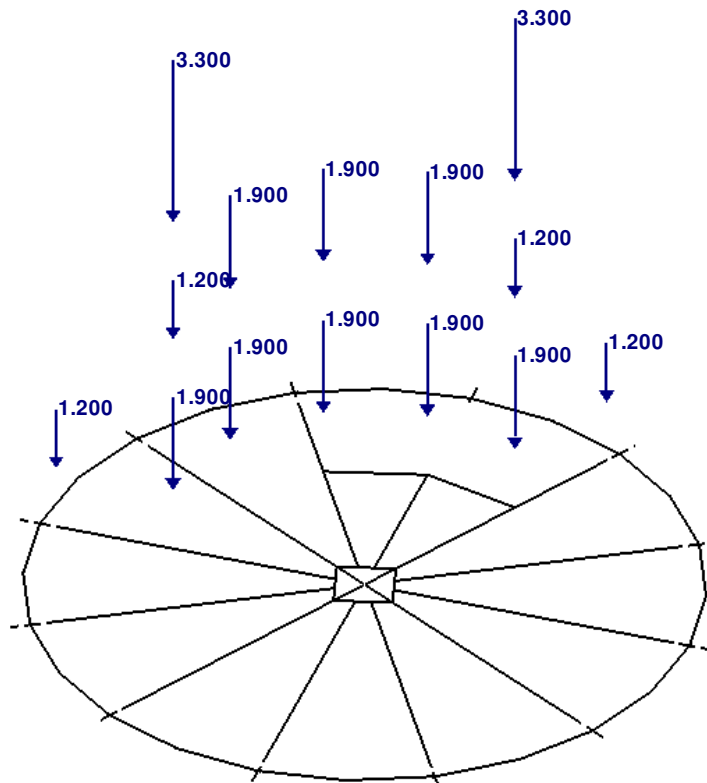
LF22: Ausbauten 1. OG (Schlafen)

Nr.	Beziehen auf	An Linien Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Lastparameter		
						Symbol	Wert	Einheit
1	Linien	2210-2233	Kraft	Konstant	ZL	p	3.960	kN/m

■ **LF22: AUSBAUTEN 1. OG (SCHLAFEN)**

LF 22: Ausbauten 1. OG (Schlafen)
Belastung [kN]

Isometrie



LF31
Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)

■ **3.2 STABLASTEN**

LF31: Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Bezugs-Länge	Lastparameter		
							Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe	4111,4112	Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	1.250	kN/m
	= Holztreppe unten								
2	Stäbe	4081,4091, 21040	Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	0.650	kN/m
	= Holztreppe oben								



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

3.15 GENERIERTE LASTEN

LF31: Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)

Nr.	Lastbezeichnung		
1	Aus Flächenlasten durch Ebene		
	Flächenlastrichtung	Global bezogen auf wahre Fläche: <input checked="" type="checkbox"/> ZL	
	Lastangriffsbereich	<input checked="" type="checkbox"/> Völlig geschlossene Ebene	
	Lastverteilungstyp:	<input checked="" type="checkbox"/> Kombiniert	
	Flächenlastgröße	<input checked="" type="checkbox"/> Konstant : 1.15 kN/m ²	
	Berandung der Flächenlastebene	Eckknoten : 3119,3129,3019,3029, 3039,3049,3059,3069, 3079,3089,3099,4093, 4103,4113 Hinweis : Jede Zeile in der Liste beschreibt eine Ebene	
	Ohne Wirkung auf	Einzelstäbe : 3019,3029,3039,3049, 3059,3069,3079,3089, 3099,3119,3129,4029, 4039,4049,4059,4069, 4079,4089,4093,4099, 4102,4103,4109,4119, 4129,4139	
	Gesamtlasten generieren in Richtung	ΣP Flächen	X : 0.000 kN
			Y : 0.000 kN
			Z : 23.535 kN
		ΣP Stäbe	X : 0.000 kN
			Z : 23.535 kN
	Gesamtmoment zum Ursprung	ΣM Flächen	X : 241.068 kNm
			Y : -236.359 kNm
			Z : 0.000 kNm
ΣM Stäbe		X : 239.774 kNm	
		Z : -236.131 kNm	
Zellen für Generierung gewählt	Σ Anzahl Zellen : 1		
	Σ Zellenfläche : 20.465 m ²		
Flächenlast wird umgewandelt auf Stäbe Nr.	: 4011,4021,4022,4025, 4031,4041,4051,4052, 4055,4061,4071,4081, 4082,4085,4091,4092, 4111-4113,4115,4121, 21036,21040		



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

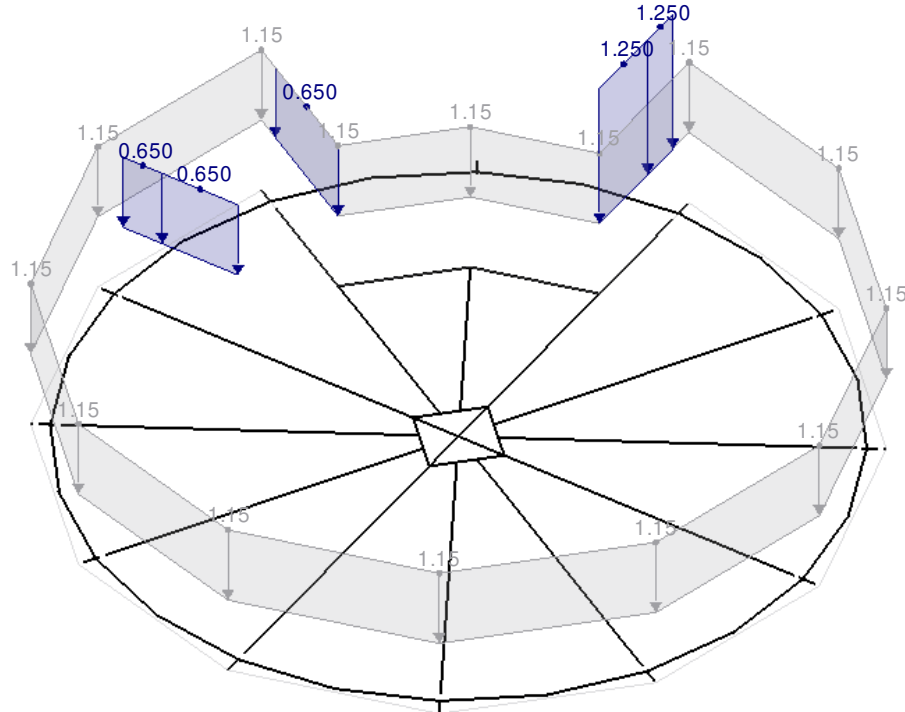
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **LF31: FB.-AUFBAU 2. OG (KÜCHE)**

LF 31: Fb.-Aufbau 2. OG (Küche)
Belastung [kN/m], [kN/m²]

Isometrie



■ **3.1 KNOTENLASTEN - KOMPONENTENWEISE
- KOORDINATENSYSTEM**

LF32

Ausbauten 2. OG (Küche)

LF32: Ausbauten 2. OG (Küche)

Nr.	An Knoten Nr.	Koordinatensystem	Kraft [kN]			Moment [kNm]		
			P _X / P _U	P _Y / P _V	P _Z / P _W	M _X / M _U	M _Y / M _V	M _Z / M _W
1	4113,20280	0 Globales XYZ	0.000	0.000	2.700	0.000	0.000	0.000
	= Innenwand an Decke => 1,0 kN/m ² * 1,8 m * 2,0 m / 2							
2	4070,4110,4113,20280	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000
	= Innenwand über Tür => 1,0 kN/m ² * 2,2 m * 1,0 m / 2							
3	4093,4103,4113,20279,20280	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.830	0.000	0.000	0.000
	= Innenwand raumhoch => 1,0 kN/m ² * 4,2 m * 0,87 m / 2							
4	4093,4103,20279	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.830	0.000	0.000	0.000
	= Innenwand raumhoch => 1,0 kN/m ² * 4,2 m * 0,87 m / 2							

■ **3.3 LINIENLASTEN**

LF32: Ausbauten 2. OG (Küche)

Nr.	Beziehen auf	An Linien Nr.	Last-Art	Last-verteilung	Last-Richtung	Lastparameter		
						Symbol	Wert	Einheit
1	Linien	4210-4233	Kraft	Konstant	ZL	p	3.800	kN/m



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

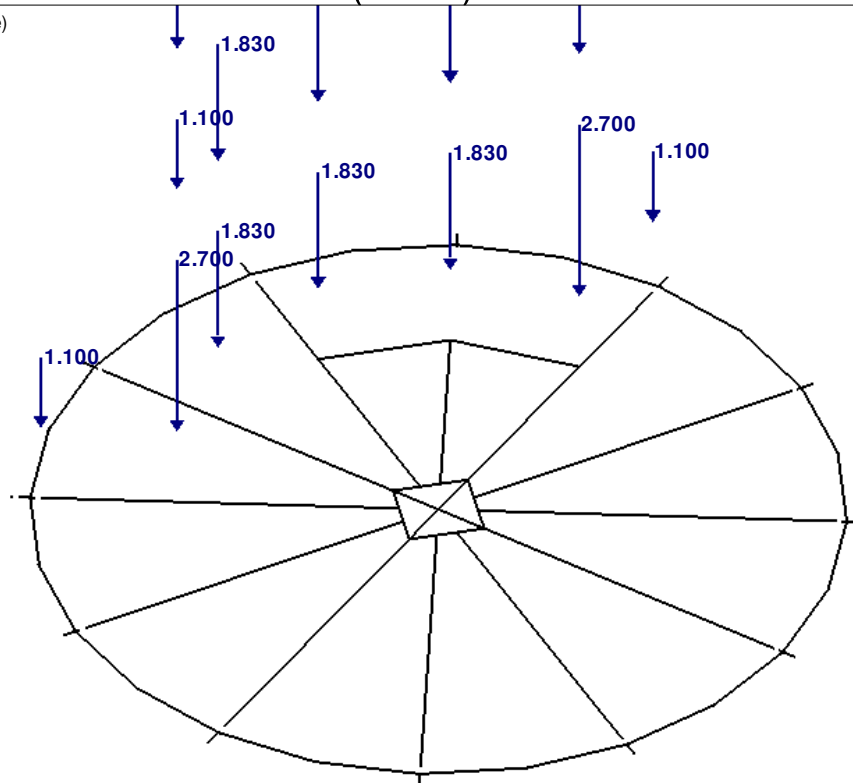
Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

■ LF32: AUSBAUTEN 2. OG (KÜCHE)

LF 32: Ausbauten 2. OG (Küche)
Belastung [kN]

Isometrie



LF41

Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)

■ 3.1 KNOTENLASTEN - KOMPONENTENWEISE
- KOORDINATENSYSTEM

LF41: Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)

Nr.	An Knoten Nr.	Koordinatensystem	Kraft [kN]			Moment [kNm]		
			P_x / P_U	P_y / P_V	P_z / P_W	M_x / M_U	M_y / M_V	M_z / M_W
1	6047,6087,6127,12081,12085,12096,12121,12123,12125,12131,12133,12135	0 Globales XYZ	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.000
2	12101,14101,16101	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.200	0.000	0.000	0.000

■ 3.3 LINIENLASTEN

LF41: Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)

Nr.	Beziehen auf	An Linien Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter Wert	Einheit
1	Linien	6210-6215,6218-6223,6226-6231,12051-12053,12091-12093,12101-12103,12131-12133,12141-12143,12151-12153	Kraft	Konstant	ZL	p	0.600	kN/m

■ 3.15 GENERIERTE LASTEN

LF41: Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)

Nr.	Lastbezeichnung
1	Aus Flächenlasten durch Ebene
	Flächenlastrichtung: Global bezogen auf wahre Fläche: <input checked="" type="checkbox"/> ZL
	Lastangriffsbereich: <input checked="" type="checkbox"/> Völlig geschlossene Ebene
	Lastverteilungstyp: <input checked="" type="checkbox"/> Kombiniert
	Flächenlastgröße: <input checked="" type="checkbox"/> Konstant : 1.15 kN/m ²
	Berandung der Flächenlastebene: Eckknoten : 6016,5029,5039,5049,5059,5069,5079,5089,5099,6093,6103,6113,5119,6126
	Hinweis: Jede Zeile in der Liste beschreibt eine Ebene
	Ohne Wirkung auf Einzelstäbe : 5019,5029,5039,5049,5059,5069,5079,5089,5



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

■ **3.15 GENERIERTE LASTEN**

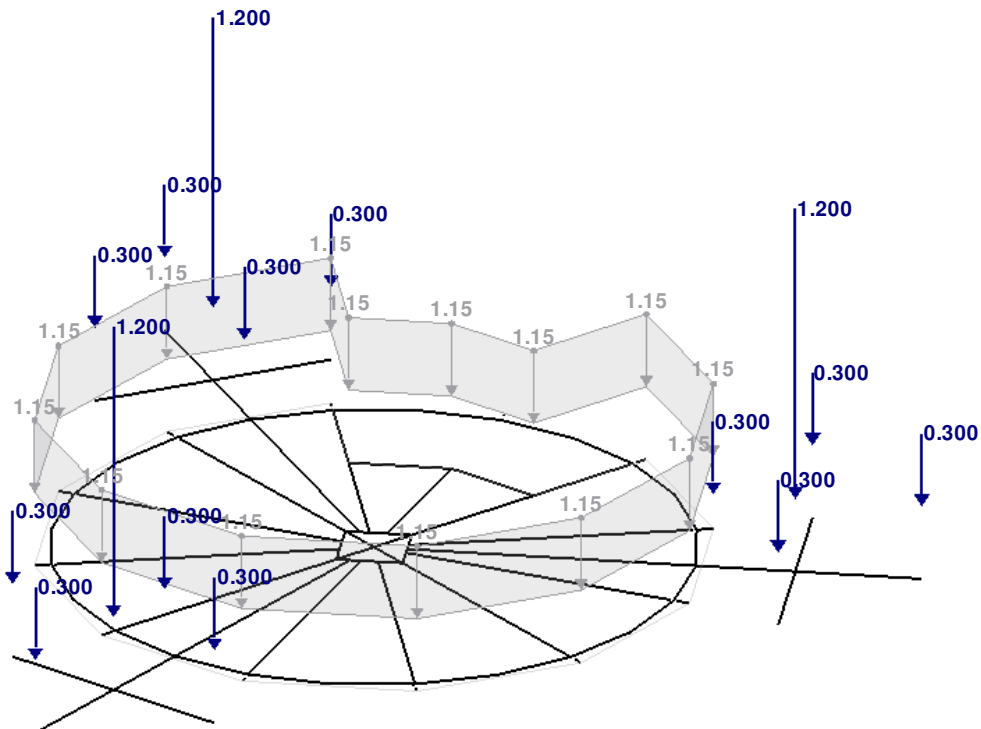
LF41: Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)

Nr.	Lastbezeichnung		
			5099,5119,5129,6029, 6039,6048,6049,6059, 6069,6079,6088,6089, 6093,6099,6103,6109, 6119,6128,6129,6139
Gesamtlasten generieren in Richtung	ΣP Flächen	X	: 0.000 kN
		Y	: 0.000 kN
		Z	: 19.745 kN
	ΣP Stäbe	X	: 0.000 kN
		Y	: 0.000 kN
		Z	: 19.745 kN
Gesamtmoment zum Ursprung	ΣM Flächen	X	: 202.033 kNm
		Y	: -198.259 kNm
		Z	: 0.000 kNm
	ΣM Stäbe	X	: 199.466 kNm
		Y	: -197.813 kNm
		Z	: 0.000 kNm
Zellen für Generierung gewählt	Σ Anzahl Zellen	:	1
	Σ Zellenfläche	:	17.170 m ²
Flächenlast wird umgewandelt auf Stäbe Nr.			: 6011,6021,6022,6025, 6031,6041,6051,6052, 6055,6061,6071, 6081-6083,6085,6091, 6092,6102,6111-6113, 6115,6121,12031,14031, 16031

■ **LF41: FB.-AUFBAU 3. OG (DIENST)**

LF 41: Fb.-Aufbau 3. OG (Dienst)
Belastung [kN/m²], [kN]

Isometrie





Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

LF42

Ausbauten 3. OG (Dienst)

**3.1 KNOTENLASTEN - KOMPONENTENWEISE
- KOORDINATENSYSTEM**

LF42: Ausbauten 3. OG (Dienst)

Nr.	An Knoten Nr.	Koordinatensystem	Kraft [kN]			Moment [kNm]		
			P_x / P_u	P_y / P_v	P_z / P_w	M_x / M_u	M_y / M_v	M_z / M_w
1	12084, 12101, 12131 = Stahltreppe => 1,0 kN / 3	0 Globales XYZ	0.000	0.000	0.350	0.000	0.000	0.000
2	12081, 12085, 12096, 12121, 12123, 12125, 12131, 12133, 12135 = Zierverblechung an Erkern (unten) => 1,5 kN / 3	0 Globales XYZ	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000

3.2 STABLASTEN

LF42: Ausbauten 3. OG (Dienst)

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Last-Art	Last-verteilung	Last-Richtung	Bezugs-Länge	Lastparameter		
							Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe = Holztreppe unten	6111, 6112	Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	2.000	kN/m
2	Stäbe = Innenwand => 1,0 kN/m ² * 3,8 m	6081, 6082	Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	3.800	kN/m

3.3 LINIENLASTEN

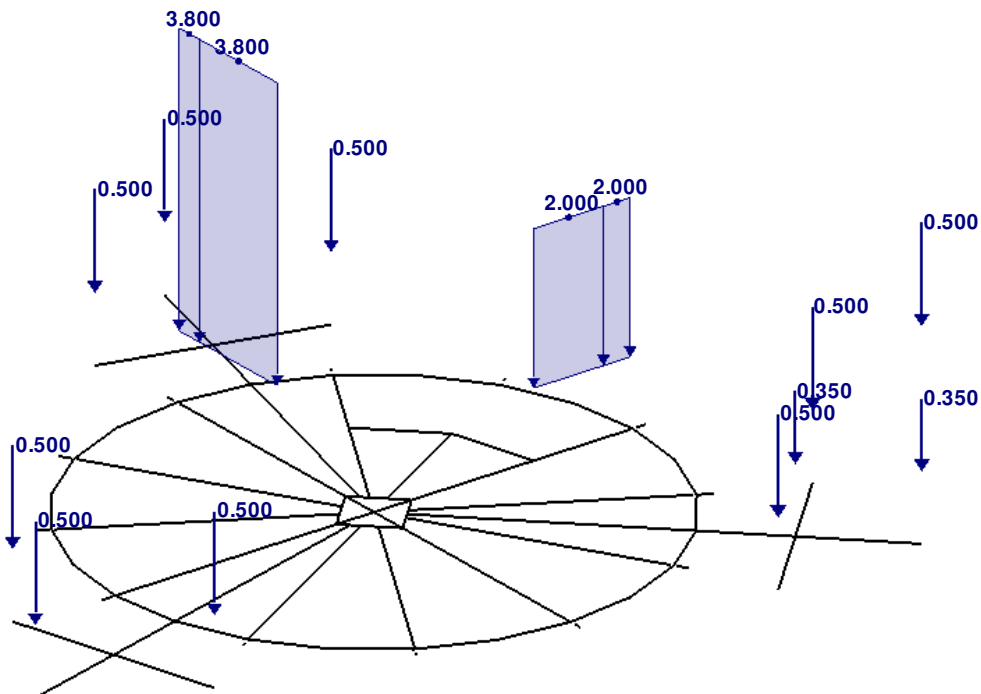
LF42: Ausbauten 3. OG (Dienst)

Nr.	Beziehen auf	An Linien Nr.	Last-Art	Last-verteilung	Last-Richtung	Lastparameter		
						Symbol	Wert	Einheit
1	Linien	12051-12053, 12091-12093, 12101-12103, 12131-12133, 12141-12143, 12151-12153	Kraft	Konstant	ZL	p	0.910	kN/m
2	Linien	6210-6215, 6218-6223, 6226-6231	Kraft	Konstant	ZL	p	3.450	kN/m

LF42: AUSBAUTEN 3. OG (DIENST)

LF 42: Ausbauten 3. OG (Dienst)
Belastung [kN/m], [kN]

Isometrie



**3.1 KNOTENLASTEN
- KOMPONENTENWEISE
KOORDINATENSYSTEM**

LF51: Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)

LF51

Fb.-Aufbau 4. OG
(Laterne+Balkon)

Nr.	An Knoten Nr.	Koordinatensystem	Kraft [kN]			Moment [kNm]		
			P_x / P_u	P_y / P_v	P_z / P_w	M_x / M_u	M_y / M_v	M_z / M_w
1	8012, 8042, 8072, 8	0 Globales XYZ	0.000	0.000	0.600	0.000	0.000	0.000



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

3.1 KNOTENLASTEN - KOMPONENTENWEISE KOORDINATENSYSTEM

LF51: Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)

Nr.	An Knoten Nr.	Koordinaten-system	Kraft [kN]			Moment [kNm]		
			P_x / P_U	P_y / P_V	P_z / P_W	M_x / M_U	M_y / M_V	M_z / M_W
2	8102	0 Globales XYZ	0.000	0.000	2.400	0.000	0.000	0.000
	= Zwischenboden Laterne => 0,6 kN/m ² * 8 m ² / (2*4)							
3	8000	0 Globales XYZ	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000
	= Zwischenboden Laterne => 0,6 kN/m ² * 8 m ² / (2*4) * 4							
4	8047,8087,8127, 14084,14089,14097, 14122,14124,14126, 14132,14134,14136	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.800	0.000	0.000	0.000
	= Fb. Erker => 1,2 kN/m ² * 3 m ² / (2*4) = Fb. Erker => 1,2 kN/m ² * 3 m ² / (2*4) * 4							

3.3 LINIENLASTEN

LF51: Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)

Nr.	Beziehen auf	An Linien Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Lastparameter		
						Symbol	Wert	Einheit
1	Linien	8210-8215,8218-8223, 8226-8231,12271-12273, 12301-12303,12311-12313, 12341-12343,12351-12353, 12361,12363,12364	Kraft	Konstant	ZL	p	0.600	kN/m

3.15 GENERIERTE LASTEN

LF51: Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)

Nr.	Lastbezeichnung																			
2	Aus Flächenlasten durch Ebene																			
	Flächenlastichtung	Global bezogen auf wahre Fläche: <input checked="" type="checkbox"/> ZL																		
	Lastangriffsbereich	<input checked="" type="checkbox"/> Völlig geschlossene Ebene																		
	Lastverteilungstyp:	<input checked="" type="checkbox"/> Kombiniert																		
	Flächenlastgröße	<input checked="" type="checkbox"/> Konstant : 1.55 kN/m ²																		
	Berandung der Flächenlastebene	Eckknoten : 8016,7029,7039,7049, 7059,7069,7079,7089, 7099,7109,7119,8126 Hinweis : Jede Zeile in der Liste beschreibt eine Ebene																		
	Ohne Wirkung auf	Einzelstäbe : 7009,7019,7029,7039, 7049,7059,7069,7079, 7089,7099,7119,7129, 8013,8014,8023,8024, 8029,8033,8034,8039, 8043,8044,8049,8053, 8054,8059,8063,8064, 8069,8073,8074,8079, 8083,8084,8089,8093, 8094,8099,8103,8104, 8109,8113,8114,8119, 8123,8124,8129,8139																		
	Gesamtlasten generieren in Richtung	<table border="0"> <tr> <td>ΣP Flächen</td> <td>X</td> <td>: 0.000 kN</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Y</td> <td>: 0.000 kN</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Z</td> <td>: 29.882 kN</td> </tr> <tr> <td>ΣP Stäbe</td> <td>X</td> <td>: 0.000 kN</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Y</td> <td>: 0.000 kN</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Z</td> <td>: 29.882 kN</td> </tr> </table>	ΣP Flächen	X	: 0.000 kN		Y	: 0.000 kN		Z	: 29.882 kN	ΣP Stäbe	X	: 0.000 kN		Y	: 0.000 kN		Z	: 29.882 kN
	ΣP Flächen	X	: 0.000 kN																	
		Y	: 0.000 kN																	
	Z	: 29.882 kN																		
ΣP Stäbe	X	: 0.000 kN																		
	Y	: 0.000 kN																		
	Z	: 29.882 kN																		
Gesamtmoment zum Ursprung	<table border="0"> <tr> <td>ΣM Flächen</td> <td>X</td> <td>: 298.820 kNm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Y</td> <td>: -298.819 kNm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Z</td> <td>: 0.000 kNm</td> </tr> <tr> <td>ΣM Stäbe</td> <td>X</td> <td>: 298.819 kNm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Y</td> <td>: -298.819 kNm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Z</td> <td>: 0.000 kNm</td> </tr> </table>	ΣM Flächen	X	: 298.820 kNm		Y	: -298.819 kNm		Z	: 0.000 kNm	ΣM Stäbe	X	: 298.819 kNm		Y	: -298.819 kNm		Z	: 0.000 kNm	
ΣM Flächen	X	: 298.820 kNm																		
	Y	: -298.819 kNm																		
	Z	: 0.000 kNm																		
ΣM Stäbe	X	: 298.819 kNm																		
	Y	: -298.819 kNm																		
	Z	: 0.000 kNm																		
Zellen für Generierung gewählt	<table border="0"> <tr> <td>Σ Anzahl Zellen</td> <td>: 1</td> </tr> <tr> <td>Σ Zellenfläche</td> <td>: 19.279 m²</td> </tr> </table>	Σ Anzahl Zellen	: 1	Σ Zellenfläche	: 19.279 m ²															
Σ Anzahl Zellen	: 1																			
Σ Zellenfläche	: 19.279 m ²																			
Flächenlast wird umgewandelt auf Stäbe Nr.	: 8011,8012,8021,8022, 8025,8031,8032,8041, 8042,8051,8052,8055, 8061,8062,8071,8072, 8081,8082,8085,8091, 8092,8101,8102,8111, 8112,8115,8121,8122																			



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

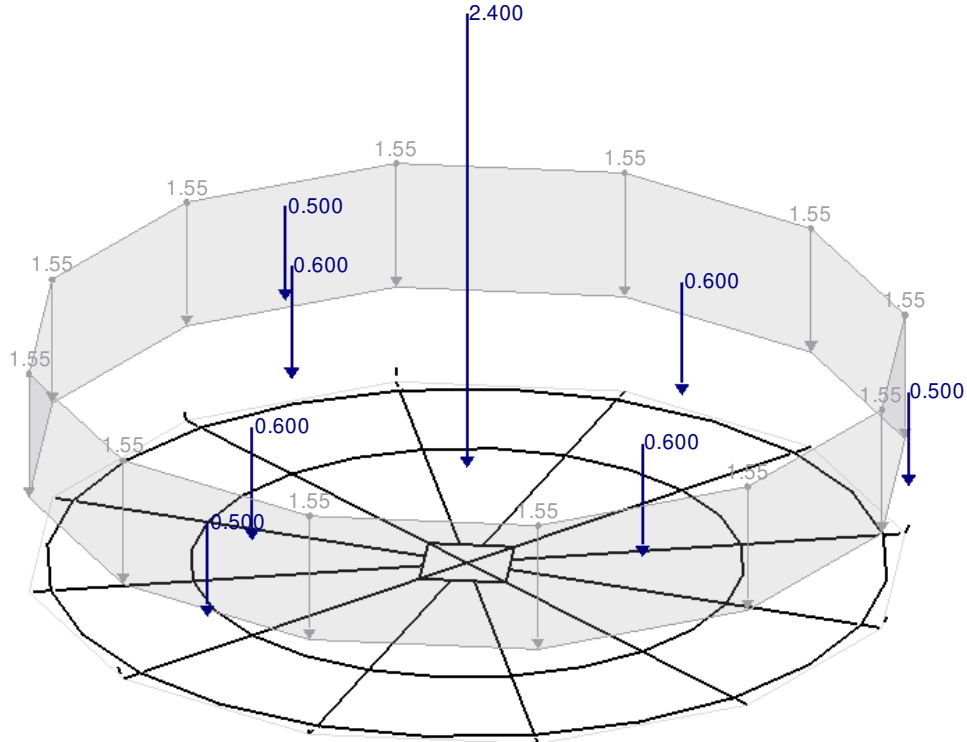
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **LF51: FB.-AUFBAU 4. OG (LATERNE+BALKON)**

LF 51: Fb.-Aufbau 4. OG (Laterne+Balkon)
Belastung [kN/m²], [kN]

Isometrie



■ **3.1 KNOTENLASTEN
- KOMPONENTENWEISE
KOORDINATENSYSTEM**

LF52: Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)

LF52
Ausbauten 4. OG
(Laterne+Balkon)

Nr.	An Knoten Nr.	Koordinaten- system	Kraft [kN]			Moment [kNm]		
			P _x / P _U	P _y / P _V	P _z / P _W	M _x / M _U	M _y / M _V	M _z / M _W
1	12151,12171	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.500	0.000	0.000	0.000

■ **3.2 STABLASTEN**

LF52: Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Lastparameter	
							Symbol	Wert Einheit
1	Stäbe	8013,8014,8023,8024,8033,8034,8043,8044,8053,8054,8063,8064,8073,8074,8083,8084,8093,8094,8103,8104,8113,8114	Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	0.530 kN/m
= innenseitige Verblechung Laterne => 0,24 kN/m ² * 2,2 m								

■ **3.3 LINIENLASTEN**

LF52: Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)

Nr.	Beziehen auf	An Linien Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Lastparameter		
						Symbol	Wert Einheit	
2	Linien	20811,20820,20830,20840,20850,20860,20870,20880,21308,21318,21328,21338,21348,21358,21368,21378,21438-21443	Kraft	Konstant	ZL	p	0.440 kN/m	
4	Linien	21438-21443	Kraft	Konstant	ZL	p	0.240 kN/m	
5	Linien	8210-8215,8218-8223,8226-8231,12271-12273,12301-12303,12312,12313,12341-12343,12352,12353,12361,12363,12364	Kraft	Konstant	ZL	p	0.550 kN/m	



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

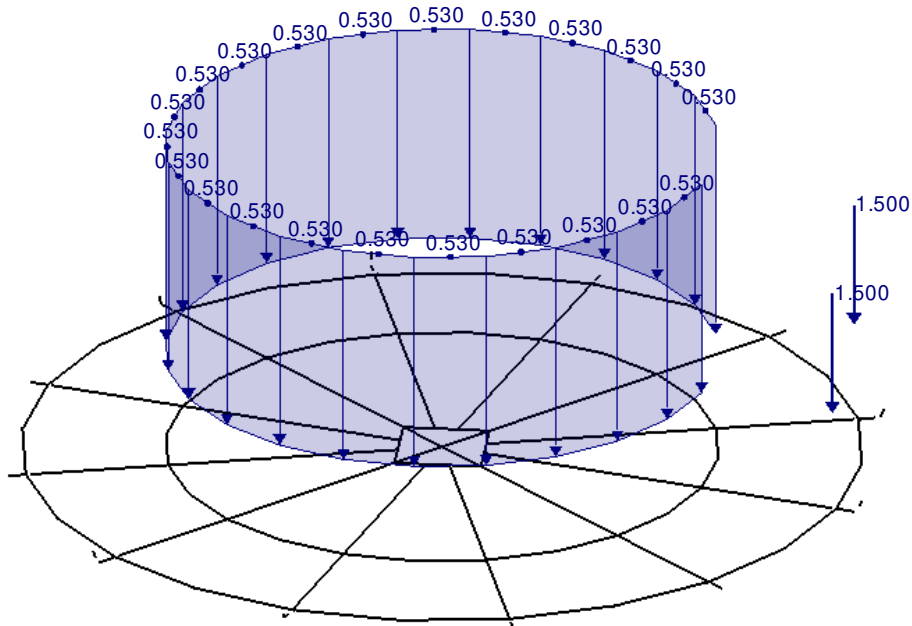
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **LF52: AUSBAUTEN 4. OG (LATERNE+BALKON)**

LF 52: Ausbauten 4. OG (Laterne+Balkon)
Belastung [kN/m], [kN]

Isometrie



■ **3.1 KNOTENLASTEN - KOMPONENTENWEISE
- KOORDINATENSYSTEM**

LF61
Aufbau Dach

LF61: Aufbau Dach

Nr.	An Knoten Nr.	Koordinaten- system	Kraft [kN]			Moment [kNm]		
			P_x / P_U	P_y / P_V	P_z / P_W	M_x / M_U	M_y / M_V	M_z / M_W
2	11601,11622,11652, 11682 = Firstspitze => 0,8 kN / 4 (Aufteilung auf 4 Punkte)	0 Globales XYZ	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000
3	12831 = Firstspitze	0 Globales XYZ	0.000	0.000	0.800	0.000	0.000	0.000



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

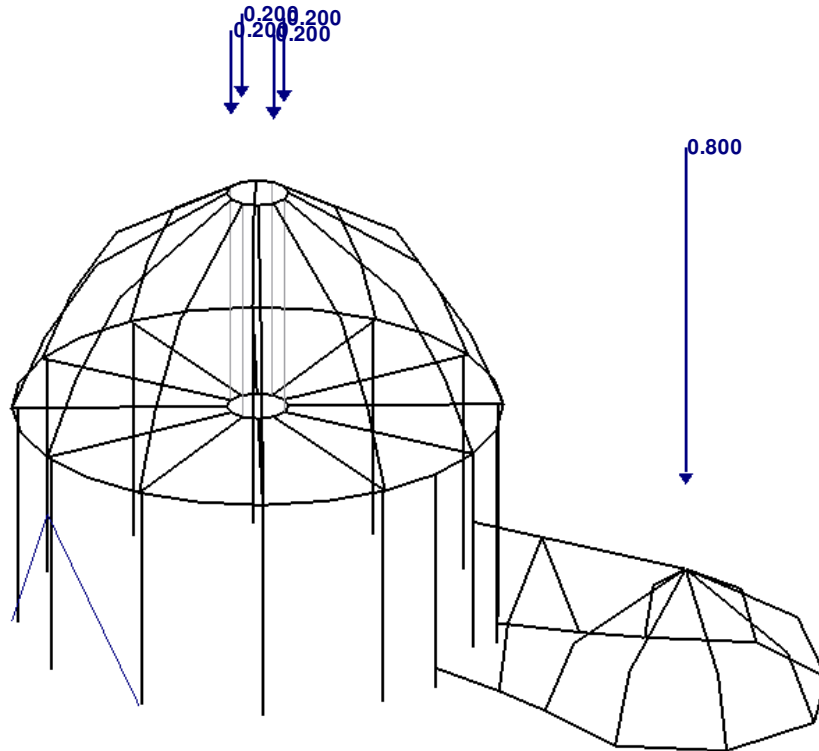
Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

■ **LF61: AUFBAU DACH**

LF 61: Aufbau Dach
Belastung [kN]

Isometrie



LF62
Ausbau Dach

■ **3.3 LINIENLASTEN**

LF62: Ausbau Dach

Nr.	Beziehen auf	An Linien Nr.	Last-Art	Last-verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
							Wert	Einheit
1	Linien	9042-20764	Kraft	Konstant	ZL	p	0.400	kN/m



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

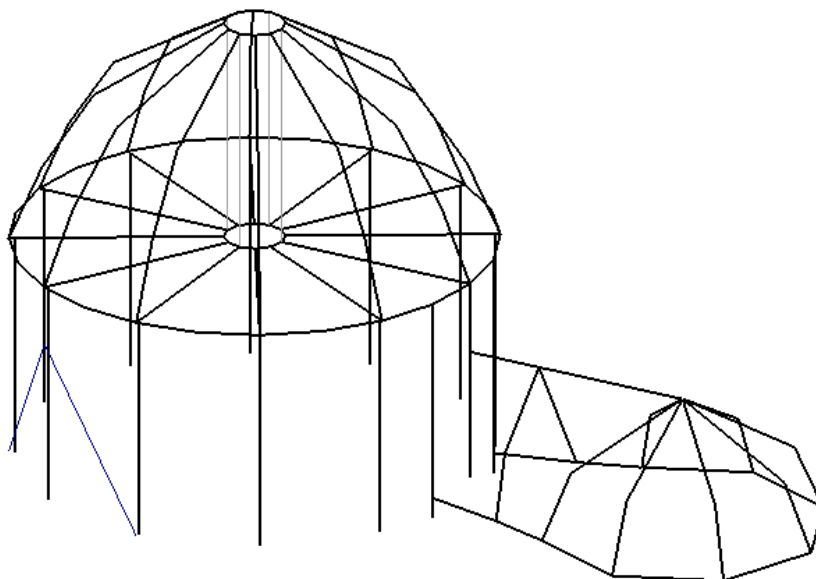
Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

■ **LF62: AUSBAU DACH**

LF 62: Ausbau Dach

Isometrie



LF121

Nutzlasten 1. OG (Schlaf)

■ **3.2 STABLASTEN**

LF121: Nutzlasten 1. OG (Schlaf)

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Bezugs-Länge	Symbol	Lastparameter Wert	Einheit
1	Stäbe = q aus Stahltreppe unten	2110,2111	Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	6.000	kN/m
2	Stäbe = q aus Holztreppe oben	2080,2081,2090	Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	2.500	kN/m

■ **3.15 GENERIERTE LASTEN**

LF121: Nutzlasten 1. OG (Schlaf)

Nr.	Lastbezeichnung			
1	Aus Flächenlasten durch Ebene			
	Flächenlastrichtung	Global bezogen auf wahre Fläche:		<input checked="" type="checkbox"/> ZL
	Lastangriffsbereich	<input checked="" type="checkbox"/> Völlig geschlossene Ebene		
	Lastverteilungstyp:	<input checked="" type="checkbox"/> Kombiniert		
	Flächenlastgröße	<input checked="" type="checkbox"/> Konstant		3.00 kN/m ²
	Berandung der Flächenlastebene	Eckknoten		1119,1129,1019,1029,1039,1049,1059,1069,1079,1089,1099,2091,2101,2111
	Hinweis			Jede Zeile in der Liste beschreibt eine Ebene
	Ohne Wirkung auf	Einzelstäbe		1019,1029,1039,1049,1059,1069,1079,1089,1099,1119,1129,2019,2029,2039,2049,2059,2069,2079,2089,2092,2099,2101,2102,2109,2119,2129
	Gesamtlasten generieren in Richtung	ΣP Flächen	X : Y : Z :	0.000 kN 0.000 kN 73.394 kN
		ΣP Stäbe	X : Y : Z :	0.000 kN 0.000 kN 73.394 kN
	Gesamtmoment zum Ursprung	ΣM Flächen	X :	755.246 kNm



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

■ 3.15 GENERIERTE LASTEN

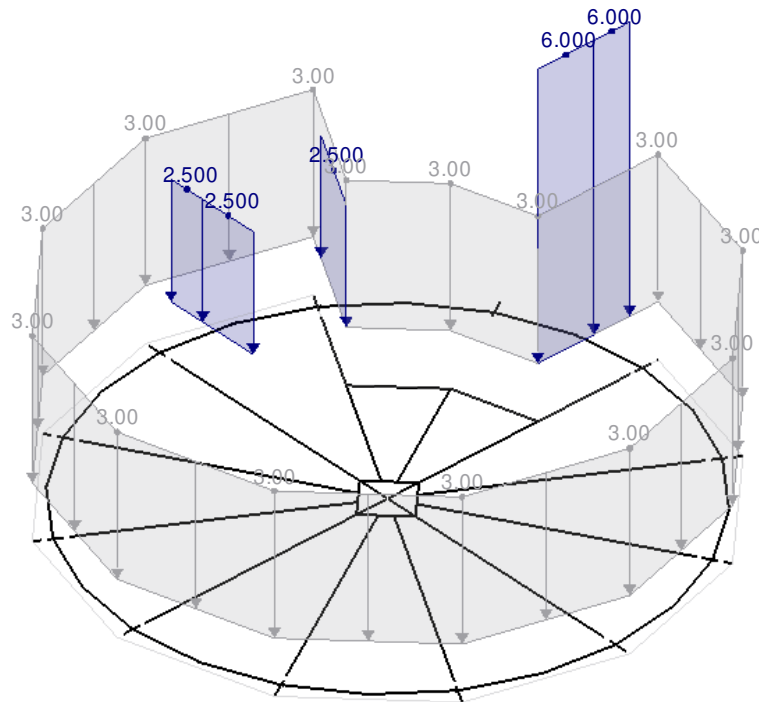
LF121: Nutzlasten 1. OG (Schlaf)

Nr.	Lastbezeichnung		
		Y	: -737.694 kNm
		Z	: 0.000 kNm
	$\Sigma M_{\text{Stäbe}}$	X	: 748.949 kNm
		Y	: -736.584 kNm
		Z	: 0.000 kNm
Zellen für Generierung gewählt	Σ Anzahl Zellen		: 1
	Σ Zellenfläche		: 24.465 m ²
Flächenlast wird umgewandelt auf Stäbe Nr.			: 2010,2020,2021,2025, 2030,2040,2050,2051, 2055,2060,2070, 2080-2082,2085,2090, 2091,2110-2112,2115, 2120,21037

■ LF121: NUTZLASTEN 1. OG (SCHLAF)

LF 121: Nutzlasten 1. OG (Schlaf)
Belastung [kN/m], [kN/m²]

Isometrie



LF131

Nutzlasten 2. OG (Küche)

■ 3.2 STABLASTEN

LF131: Nutzlasten 2. OG (Küche)

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Bezugs-Länge	Symbol	Lastparameter Wert	Einheit
1	Stäbe	4111,4112	Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	5.000	kN/m
2	= q ausTreppe unten Stäbe	4081,4091, 21040	Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	2.500	kN/m
	= q ausTreppe oben								

■ 3.15 GENERIERTE LASTEN

LF131: Nutzlasten 2. OG (Küche)

Nr.	Lastbezeichnung		
1	Aus Flächenlasten durch Ebene		
	Flächenlastrichtung	Global bezogen auf wahre Fläche:	: <input checked="" type="checkbox"/> ZL
	Lastangriffsbereich	<input checked="" type="checkbox"/> Völlig geschlossene Ebene	
	Lastverteilungstyp:	<input checked="" type="checkbox"/> Kombiniert	
	Flächenlastgröße	<input checked="" type="checkbox"/> Konstant	: 3.00 kN/m ²
	Berandung der Flächenlastebene	Eckknoten	: 3119,3129,3019,3029,3



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

■ **3.15 GENERIERTE LASTEN**

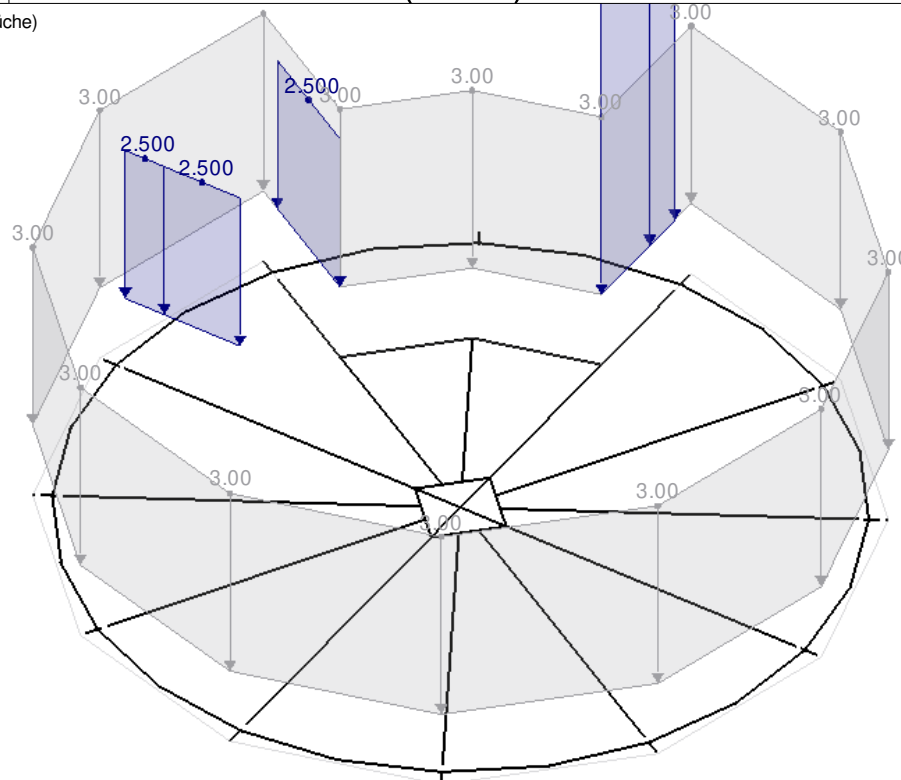
LF131: Nutzlasten 2. OG (Küche)

Nr.	Lastbezeichnung	
	Hinweis	3039,3049,3059,3069, 3079,3089,3099,4093, 4103,4113 : Jede Zeile in der Liste beschreibt eine Ebene
Ohne Wirkung auf	Einzelstäbe	: 3019,3029,3039,3049, 3059,3069,3079,3089, 3099,3119,3129,4029, 4039,4049,4059,4069, 4079,4089,4093,4099, 4102,4103,4109,4119, 4129,4139
Gesamtlasten generieren in Richtung	ΣP Flächen	X : 0.000 kN Y : 0.000 kN Z : 61.396 kN
	ΣP Stäbe	X : 0.000 kN Y : 0.000 kN Z : 61.396 kN
Gesamtmoment zum Ursprung	ΣM Flächen	X : 628.873 kNm Y : -616.589 kNm Z : 0.000 kNm
	ΣM Stäbe	X : 625.498 kNm Y : -615.993 kNm Z : 0.000 kNm
Zellen für Generierung gewählt	Σ Anzahl Zellen	: 1
	Σ Zellenfläche	: 20.465 m ²
Flächenlast wird umgewandelt auf Stäbe Nr.		: 4011,4021,4022,4025, 4031,4041,4051,4052, 4055,4061,4071,4081, 4082,4085,4091,4092, 4111-4113,4115,4121, 21036,21040

■ **LF131: NUTZLASTEN 2. OG (KÜCHE)**

LF 131: Nutzlasten 2. OG (Küche)
Belastung [kN/m], [kN/m²]

Isometrie





Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

**3.1 KNOTENLASTEN - KOMPONENTENWEISE
- KOORDINATENSYSTEM**

LF141: Nutzlasten 3. OG (Dienst)

Nr.	An Knoten Nr.	Koordinaten- system	Kraft [kN]			Moment [kNm]		
			P _x / P _u	P _y / P _v	P _z / P _w	M _x / M _u	M _y / M _v	M _z / M _w
1	6047,6087,6127, 12081,12085,12096, 12121,12123,12125, 12131,12133,12135 = q Erker => 3,0 kN/m ² * 3 m ² / (2*4)	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.150	0.000	0.000	0.000
2	12101,14101,16101 = q Erker => 3,0 kN/m ² * 3 m ² / (2*4) * 4	0 Globales XYZ	0.000	0.000	4.500	0.000	0.000	0.000

3.2 STABLASTEN

LF141: Nutzlasten 3. OG (Dienst)

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Lastparameter		
							Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe	6111,6112	Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	5.000	kN/m

3.15 GENERIERTE LASTEN

LF141: Nutzlasten 3. OG (Dienst)

Nr.	Lastbezeichnung		
1	Aus Flächenlasten durch Ebene		
	Flächenlastrichtung	Global bezogen auf wahre Fläche: <input checked="" type="checkbox"/> ZL	
	Lastangriffsbereich	<input checked="" type="checkbox"/> Völlig geschlossene Ebene	
	Lastverteilungstyp:	<input checked="" type="checkbox"/> Kombiniert	
	Flächenlastgröße	<input checked="" type="checkbox"/> Konstant : 3.00 kN/m ²	
	Berandung der Flächenlastebene	Eckknoten : 6016,5029,5039,5049, 5059,5069,5079,5089, 5099,6093,6103,6113, 5119,6126 Hinweis : Jede Zeile in der Liste beschreibt eine Ebene	
	Ohne Wirkung auf	Einzelstäbe : 5019,5029,5039,5049, 5059,5069,5079,5089, 5099,5119,5129,6029, 6039,6048,6049,6059, 6069,6079,6088,6089, 6093,6099,6103,6109, 6119,6128,6129,6139	
	Gesamtlasten generieren in Richtung	Σ P Flächen	X : 0.000 kN Y : 0.000 kN Z : 51.509 kN
		Σ P Stäbe	X : 0.000 kN Y : 0.000 kN Z : 51.509 kN
		Gesamtmoment zum Ursprung	Σ M Flächen
	Σ M Stäbe		X : 520.345 kNm Y : -516.033 kNm Z : 0.000 kNm
	Zellen für Generierung gewählt		Σ Anzahl Zellen : 1 Σ Zellenfläche : 17.170 m ²
	Flächenlast wird umgewandelt auf Stäbe Nr.	: 6011,6021,6022,6025, 6031,6041,6051,6052, 6055,6061,6071, 6081-6083,6085,6091, 6092,6102,6111-6113, 6115,6121,12031,14031, 16031	

LF141

Nutzlasten 3. OG (Dienst)



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

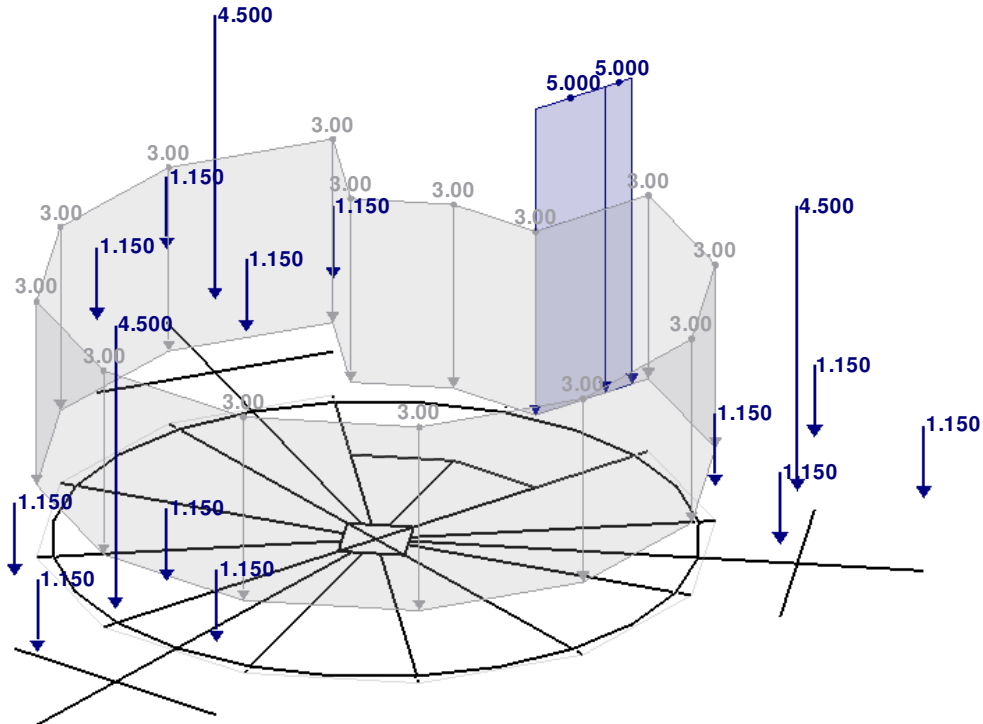
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ LF141: NUTZLASTEN 3. OG (DIENST)

LF 141: Nutzlasten 3. OG (Dienst)
Belastung [kN/m], [kN/m²], [kN]

Isometrie



■ 3.1 KNOTENLASTEN
- KOMPONENTENWEISE
KOORDINATENSYSTEM

LF151: Nutzlasten 4. OG (Laterne+Balkon)

LF151
Nutzlasten 4. OG
(Laterne+Balkon)

Nr.	An Knoten Nr.	Koordinaten- system	Kraft [kN]			Moment [kNm]		
			P _X / P _U	P _Y / P _V	P _Z / P _W	M _X / M _U	M _Y / M _V	M _Z / M _W
1	8047,8087,8127, 14084,14089,14097, 14122,14124,14126, 14132,14134,14136	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.900	0.000	0.000	0.000
2	12231,14231,16231	0 Globales XYZ	0.000	0.000	7.500	0.000	0.000	0.000
3	8000	0 Globales XYZ	0.000	0.000	4.000	0.000	0.000	0.000
4	12231	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.500	0.000	0.000	0.000
5	8002,8012,8020, 12171	0 Globales XYZ	0.000	0.000	0.750	0.000	0.000	0.000

■ 3.15 GENERIERTE LASTEN

LF151: Nutzlasten 4. OG (Laterne+Balkon)

Nr.	Lastbezeichnung
1	Aus Flächenlasten durch Ebene
	Flächenlastrichtung : Global bezogen auf wahre Fläche: <input type="checkbox"/> ZL
	Lastangriffsbereich : <input checked="" type="checkbox"/> Völlig geschlossene Ebene
	Lastverteilungstyp: <input checked="" type="checkbox"/> Kombiniert
	Flächenlastgröße : <input checked="" type="checkbox"/> Konstant : 5.00 kN/m ²
	Berandung der Flächenlastebene : Eckknoten : 8016,7029,7039,7049, 7059,7069,7079,7089, 7099,7109,7119,8126
	Hinweis : Jede Zeile in der Liste beschreibt eine Ebene
	Ohne Wirkung auf Einzelstäbe : 7009,7019,7029,7039, 7049,7059,7069,7079, 7089,7099,7119,7129, 8013,8014,8023,8024, 8029,8033,8034,8039,8



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

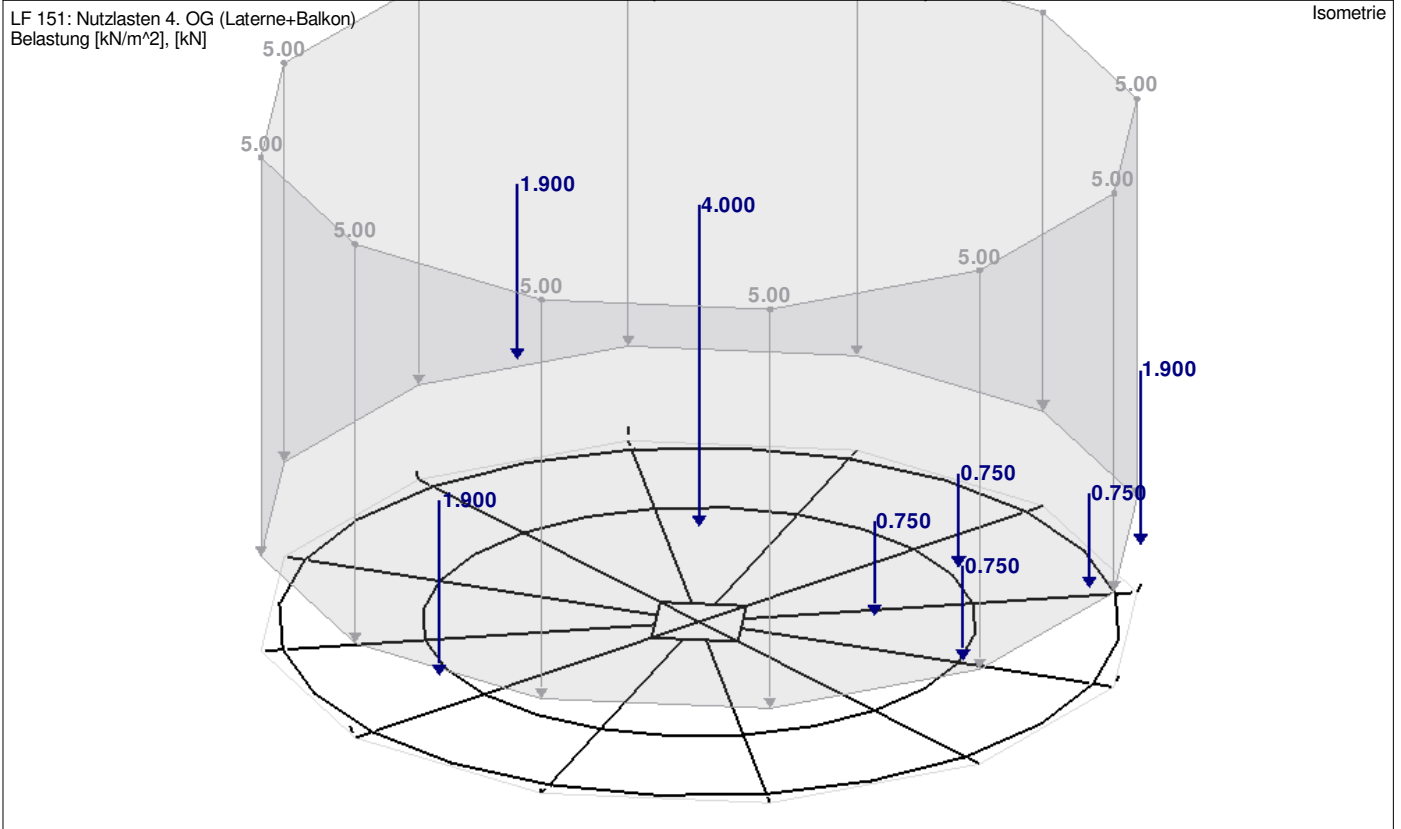
Datum: 11.06.2019

■ **3.15 GENERIERTE LASTEN**

LF151: Nutzlasten 4. OG (Laterne+Balkon)

Nr.	Lastbezeichnung			
				8043,8044,8049,8053, 8054,8059,8063,8064, 8069,8073,8074,8079, 8083,8084,8089,8093, 8094,8099,8103,8104, 8109,8113,8114,8119, 8123,8124,8129,8139
Gesamtlasten generieren in Richtung	ΣP Flächen	X	:	0.000 kN
		Y	:	0.000 kN
		Z	:	96.393 kN
ΣP Stäbe	X	:	0.000 kN	
	Y	:	0.000 kN	
	Z	:	96.393 kN	
Gesamtmoment zum Ursprung	ΣM Flächen	X	:	963.934 kNm
		Y	:	-963.934 kNm
		Z	:	0.000 kNm
ΣM Stäbe	X	:	963.934 kNm	
	Y	:	-963.934 kNm	
	Z	:	0.000 kNm	
Zellen für Generierung gewählt	Σ Anzahl Zellen	:	1	
	Σ Zellenfläche	:	19.279 m ²	
Flächenlast wird umgewandelt auf Stäbe Nr.		:	8011,8012,8021,8022, 8025,8031,8032,8041, 8042,8051,8052,8055, 8061,8062,8071,8072, 8081,8082,8085,8091, 8092,8101,8102,8111, 8112,8115,8121,8122	

■ **LF151: NUTZLASTEN 4. OG (LATERNE+BALKON)**





Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

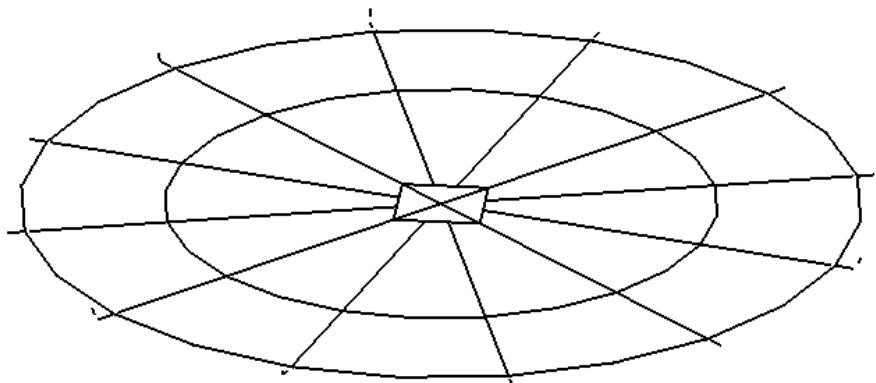
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **LF155: SCHNEELASTEN 4. OG (LATERNE+BALKON)**

LF 155: Schneelasten 4. OG (Laterne+Balkon)

Isometrie



■ **3.1 KNOTENLASTEN - KOMPONENTENWEISE
- KOORDINATENSYSTEM**

LF161: Nutzlasten Dach

LF161

Nutzlasten Dach

Nr.	An Knoten Nr.	Koordinaten- system	Kraft [kN]			Moment [kNm]		
			P_x / P_U	P_y / P_V	P_z / P_W	M_x / M_U	M_y / M_V	M_z / M_W
1	11601,11652,12831 = Mannlast Dach	0 Globales XYZ	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

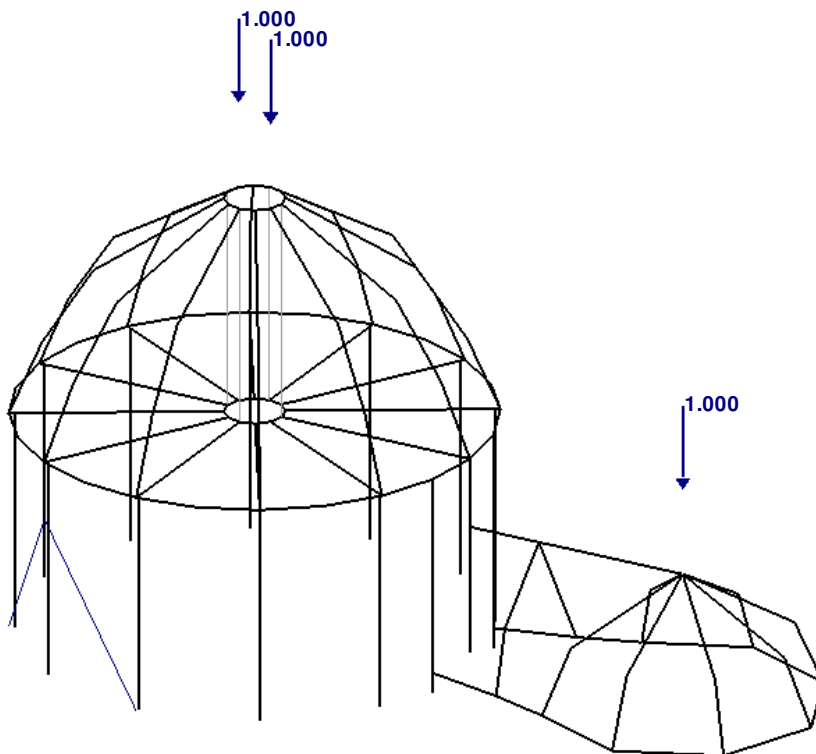
Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

■ **LF161: NUTZLASTEN DACH**

LF 161: Nutzlasten Dach
Belastung [kN]

Isometrie



LF165
Schneelasten Dach

■ **3.1 KNOTENLASTEN - KOMPONENTENWEISE
- KOORDINATENSYSTEM**

LF165: Schneelasten Dach

Nr.	An Knoten Nr.	Koordinaten- system	Kraft [kN]			Moment [kNm]		
			P_x / P_U	P_y / P_V	P_z / P_W	M_x / M_U	M_y / M_V	M_z / M_W
1	11401,11411,11421, 11431,11441,11451, 11461,11471,11481, 11491,11501,11511	0 Globales XYZ	0.000	0.000	0.860	0.000	0.000	0.000
= Schneelasten Dach => $((\pi/4 * (3,17 \text{ m})^2) * 1,3 \text{ kN/m}^2) / 12 \text{ Lastpunkte}$								
2	12611,12621,12632, 12641,12651,12661, 12681,18276,18277	0 Globales XYZ	0.000	0.000	0.480	0.000	0.000	0.000
= Schneelasten Dach => $(3,35 \text{ m}^2 * 1,3 \text{ kN/m}^2) / 9 \text{ Lastpunkte}$								

■ **3.2 STABLASTEN**

LF165: Schneelasten Dach

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Lastparameter		
							Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe		Kraft	Konstant	ZL	Wahre Länge	p	0.230	kN/m
9042,10013,10014,10023,10024,10033,10034,10044,10053,10054,10063,10064,10073,10074,10083,10084,10093,10094, 10103,10104,10113,10114,10123,10124,12471,12501,12511,12541,12551,12561,20760,20761,20763,20764 = Schneeüberhang an Traufe									



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

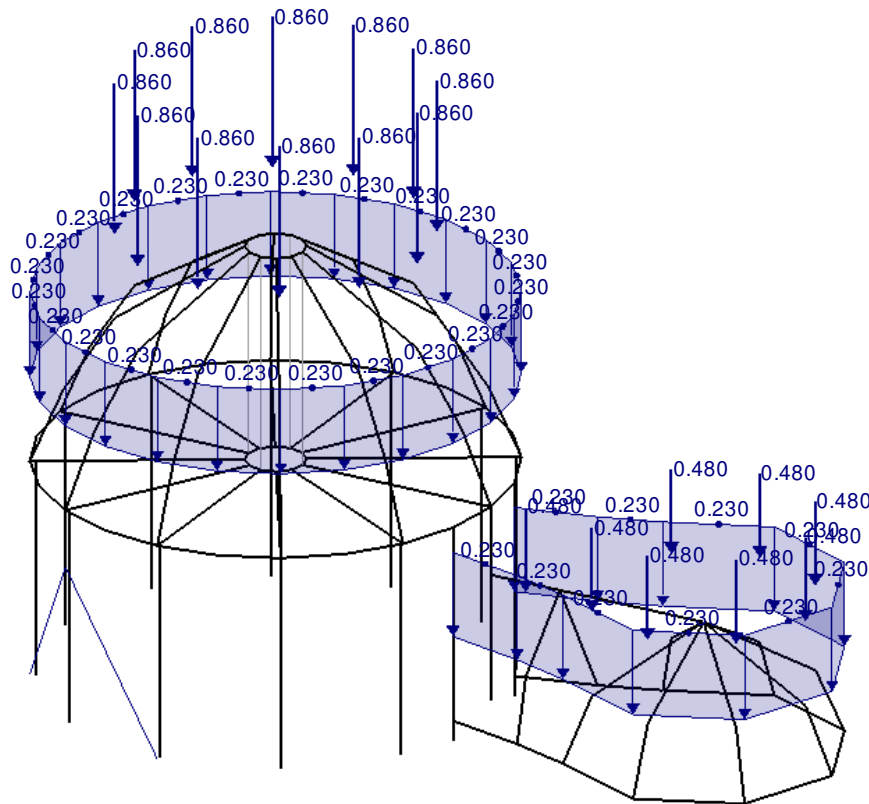
Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

■ **LF165: SCHNEELASTEN DACH**

LF 165: Schneelasten Dach
Belastung [kN/m], [kN]

Isometrie



LF211

Wind aus N (Anströmung
auf NT)

■ **3.1/6 KNOTENLASTEN - RICHTUNGSWEISE - IDENTISCH MIT DEM STAB**

LF211: Wind aus N (Anströmung auf NT)

Nr.	An Knoten Nr.	Richtungs- typ:	Kraft P [kN]	Moment M [kNm]	Stab Nr.	Kommentar
1	1109	Identisch mit dem Stab	9.100	0.000	2101	= 22,6 * 0,4
2	1049	Identisch mit dem Stab	13.600	0.000	2101	= 22,7 kN * 0,6
3	3109	Identisch mit dem Stab	9.400	0.000	2101	= 23,5 kN * 0,4
4	3049	Identisch mit dem Stab	14.100	0.000	2101	= 23,5 kN * 0,6
5	5109	Identisch mit dem Stab	4.560	0.000	2101	= 11,4 kN * 0,4
6	5049	Identisch mit dem Stab	6.840	0.000	2101	= 11,4 kN * 0,6
7	5109	Identisch mit dem Stab	11.200	0.000	2101	= 28,1 kN * 0,4
8	5049	Identisch mit dem Stab	16.900	0.000	2101	= 28,1 kN * 0,6
9	7109	Identisch mit dem Stab	22.500	0.000	2101	= 56,3 kN * 0,4
10	7049	Identisch mit dem Stab	33.800	0.000	2101	= 56,3 kN * 0,6
11	14093	Identisch mit dem Stab	20.440	0.000	2101	= 51,1 kN * 0,4
12	14023	Identisch mit dem Stab	30.700	0.000	2101	= 51,1 kN * 0,6



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

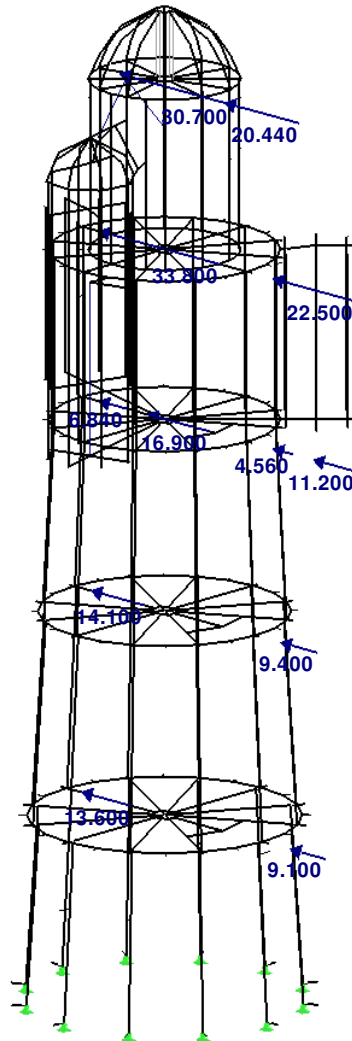
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **LF211: WIND AUS N (ANSTRÖMUNG AUF NT)**

LF 211: Wind aus N (Anströmung auf NT)
Belastung [kN]

Isometrie



LF212

Wind aus N (Anströmung auf NT) - QUER

■ **3.1/6 KNOTENLASTEN - RICHTUNGSWEISE - IDENTISCH MIT DEM STAB**

LF212: Wind aus N (Anströmung auf NT) - QUER

Nr.	An Knoten Nr.	Richtungs-typ:	Kraft P [kN]	Moment M [kNm]	Stab Nr.	Kommentar
7	5079	Identisch mit dem Stab	-5.610	0.000	8012	= 28,1 kN * 0,2
9	7079	Identisch mit dem Stab	-11.300	0.000	8012	= 56,3 kN * 0,2
11	14063	Identisch mit dem Stab	-10.200	0.000	8012	= 51,1 kN * 0,2



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

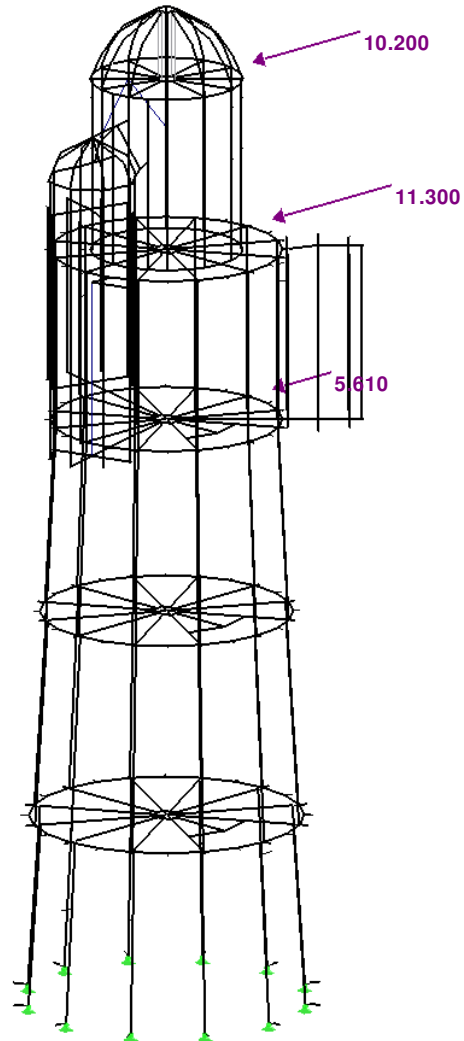
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **LF212: WIND AUS N (ANSTRÖMUNG AUF NT) - QUER**

LF 212: Wind aus N (Anströmung auf NT) - QUER
Belastung [kN]

Isometrie



LF213

Wind aus N (Anströmung
auf NT) - Moment

■ **3.1/6 KNOTENLASTEN - RICHTUNGSWEISE - IDENTISCH MIT DEM STAB**

LF213: Wind aus N (Anströmung auf NT) - Moment

Nr.	An Knoten Nr.	Richtungs- typ:	Kraft P [kN]	Moment M [kNm]	Stab Nr.	Kommentar
7	12061	Identisch mit dem Stab	7.230	0.000	2101	= M aus W mit eSt = 4,77
8	6070	Identisch mit dem Stab	-7.230	0.000	2101	= M aus W mit eSt = 4,77
9	12171	Identisch mit dem Stab	14.510	0.000	2101	= M aus W mit eSt = 4,77
10	8070	Identisch mit dem Stab	-14.510	0.000	2101	= M aus W mit eSt = 4,77
11	14002	Identisch mit dem Stab	20.300	0.000	2101	= M aus W mit eSt = 3,10
12	14062	Identisch mit dem Stab	-20.300	0.000	2101	= M aus W mit eSt = 3,10



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

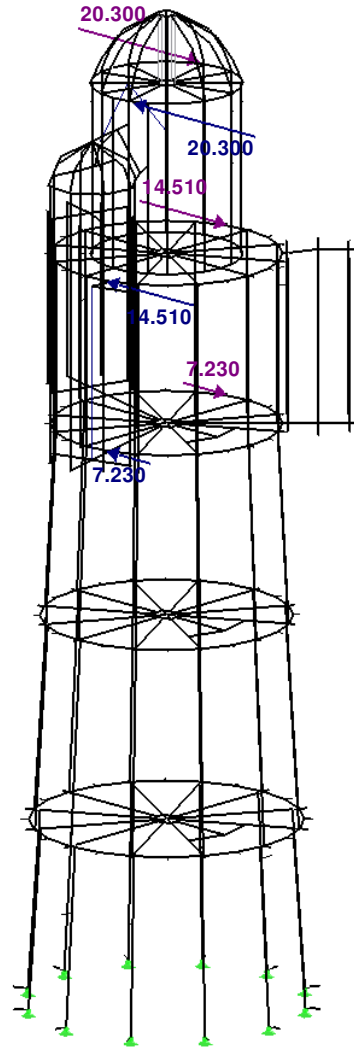
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **LF213: WIND AUS N (ANSTRÖMUNG AUF NT) - MOMENT**

LF 213: Wind aus N (Anströmung auf NT) - Moment
Belastung [kN]

Isometrie



LF221

Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT)

■ **3.1/6 KNOTENLASTEN - RICHTUNGSWEISE - IDENTISCH MIT DEM STAB**

LF221

Nr.	An Knoten Nr.	Richtungs- typ:	Kraft P [kN]	Moment M [kNm]	Stab Nr.	Kommentar
1	2127	Identisch mit dem Stab	9.100	0.000	12121	= 22,7 kN * 0,4
2	2067	Identisch mit dem Stab	13.600	0.000	12121	= 22,7 kN * 0,6
3	4127	Identisch mit dem Stab	9.400	0.000	12121	= 23,5 kN * 0,4
4	4067	Identisch mit dem Stab	14.100	0.000	12121	= 23,5 kN * 0,6
5	6127	Identisch mit dem Stab	4.560	0.000	12121	= 11,4 kN * 0,4
6	6067	Identisch mit dem Stab	6.840	0.000	12121	= 11,4 kN * 0,6
7	6127	Identisch mit dem Stab	11.200	0.000	12121	= 28,1 kN * 0,4
8	6067	Identisch mit dem Stab	16.900	0.000	12121	= 28,1 kN * 0,6
9	8127	Identisch mit dem Stab	22.500	0.000	12121	= 56,3 kN * 0,4
10	8067	Identisch mit dem Stab	33.800	0.000	12121	= 56,3 kN * 0,6
11	14113	Identisch mit dem Stab	20.440	0.000	12121	= 51,1 kN * 0,4
12	14053	Identisch mit dem Stab	30.700	0.000	12121	= 51,1 kN * 0,6



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

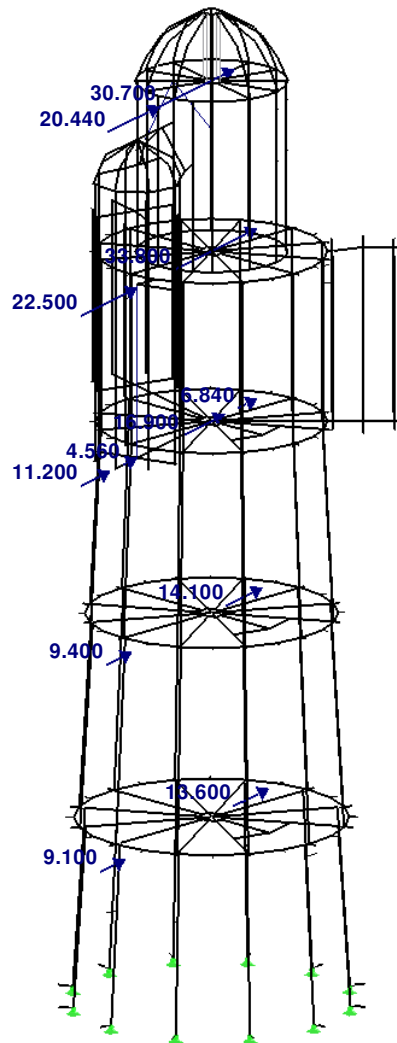
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **LF221: WIND AUS ONO (ANSTRÖMUNG AUF WINKELHALBIERENDE ZW. HT)**

LF 221: Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT)
Belastung [kN]

Isometrie



LF222

Wind aus ONO (Anströmung
auf Winkelhalbierende zw.
HT) - QUER

■ **3.1/6 KNOTENLASTEN - RICHTUNGSWEISE - IDENTISCH MIT DEM STAB**

LF222

Nr.	An Knoten Nr.	Richtungs- typ:	Kraft P [kN]	Moment M [kNm]	Stab Nr.	Kommentar
7	6037	Identisch mit dem Stab	5.600	0.000	10098	= 28,1 kN * 0,2
9	8037	Identisch mit dem Stab	11.300	0.000	10098	= 56,3 kN * 0,2
11	14023	Identisch mit dem Stab	10.200	0.000	10098	= 51,1 kN * 0,2



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

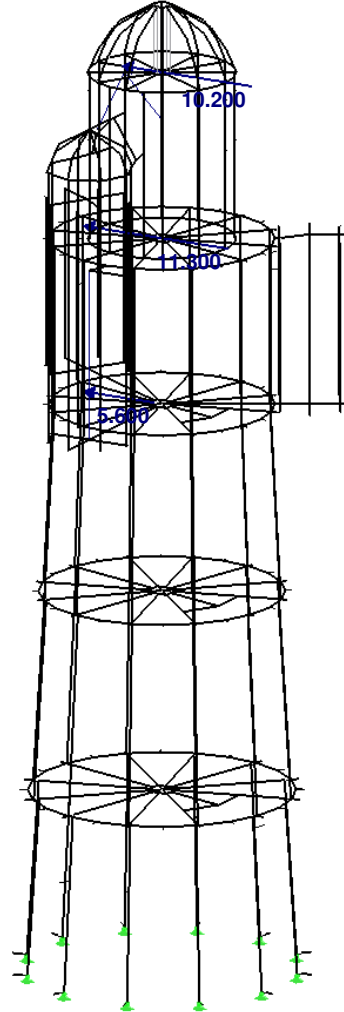
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **LF222: WIND AUS ONO (ANSTRÖMUNG AUF WINKELHALBIERENDE ZW. HT) - QUER**

LF 222: Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - QUER
Belastung [kN]

Isometrie



LF223

Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - Moment

■ **3.1/6 KNOTENLASTEN - RICHTUNGSWEISE - IDENTISCH MIT DEM STAB**

LF223

Nr.	An Knoten Nr.	Richtungs-typ:	Kraft P [kN]	Moment M [kNm]	Stab Nr.	Kommentar
7	6100	Identisch mit dem Stab	7.230	0.000	12031	= M aus W mit eSt = 4,77
8	6040	Identisch mit dem Stab	-7.230	0.000	12031	= M aus W mit eSt = 4,77
9	8100	Identisch mit dem Stab	14.510	0.000	12031	= M aus W mit eSt = 4,77
10	8040	Identisch mit dem Stab	-14.510	0.000	12031	= M aus W mit eSt = 4,77
11	14083	Identisch mit dem Stab	20.300	0.000	12031	= M aus W mit eSt = 3,10
12	14023	Identisch mit dem Stab	-20.300	0.000	12031	= M aus W mit eSt = 3,10



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

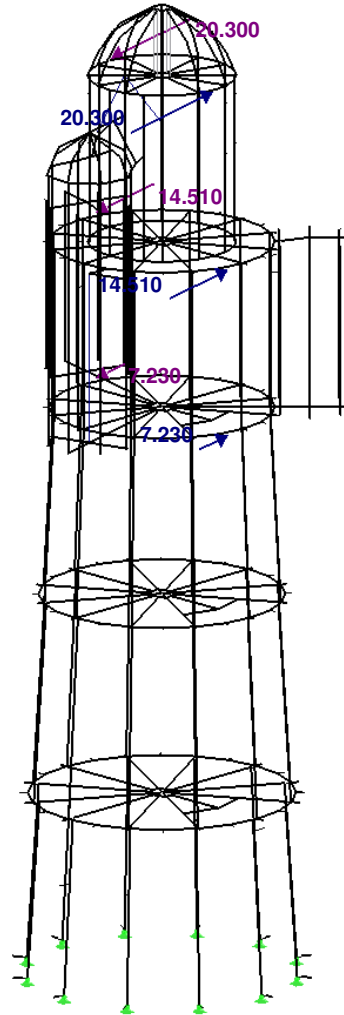
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **LF223: WIND AUS ONO (ANSTRÖMUNG AUF WINKELHALBIERENDE ZW. HT) - MOMENT**

LF 223: Wind aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT) - Moment
Belastung [kN]

Isometrie



LF231
Wind aus OSO (Anströmung
auf HT)

■ **3.1/6 KNOTENLASTEN - RICHTUNGSWEISE - IDENTISCH MIT DEM STAB**
LF231: Wind aus OSO (Anströmung auf HT)

Nr.	An Knoten Nr.	Richtungs- typ:	Kraft P [kN]	Moment M [kNm]	Stab Nr.	Kommentar
1	1029	Identisch mit dem Stab	9.100	0.000	4021	= 22,7 kN * 0,4
2	1089	Identisch mit dem Stab	13.600	0.000	4021	= 22,7 kN * 0,6
3	3029	Identisch mit dem Stab	9.400	0.000	4021	= 23,5 kN * 0,4
4	3089	Identisch mit dem Stab	14.100	0.000	4021	= 23,5 kN * 0,6
5	5029	Identisch mit dem Stab	4.560	0.000	4021	= 11,4 kN * 0,4
6	5089	Identisch mit dem Stab	6.840	0.000	4021	= 11,4 kN * 0,6
7	5029	Identisch mit dem Stab	11.200	0.000	4021	= 28,1 kN * 0,4
8	5089	Identisch mit dem Stab	16.900	0.000	4021	= 28,1 kN * 0,6
9	7029	Identisch mit dem Stab	22.500	0.000	4021	= 56,3 kN * 0,4
10	7089	Identisch mit dem Stab	33.800	0.000	4021	= 56,3 kN * 0,6
11	14003	Identisch mit dem Stab	20.440	0.000	4021	= 51,1 kN * 0,4
12	14063	Identisch mit dem Stab	30.700	0.000	4021	= 51,1 kN * 0,6



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

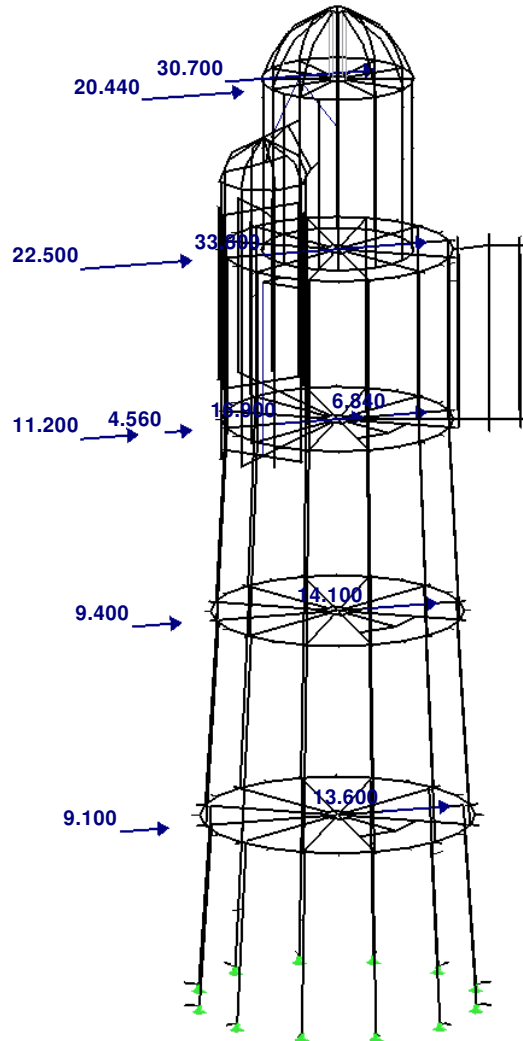
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **LF231: WIND AUS OSO (ANSTRÖMUNG AUF HT)**

LF 231: Wind aus OSO (Anströmung auf HT)
Belastung [kN]

Isometrie



LF232

Wind aus OSO (Anströmung
auf HT) - QUER

■ **3.1/6 KNOTENLASTEN - RICHTUNGSWEISE - IDENTISCH MIT DEM STAB**

LF232: Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - QUER

Nr.	An Knoten Nr.	Richtungs- typ:	Kraft P [kN]	Moment M [kNm]	Stab Nr.	Kommentar
7	5059	Identisch mit dem Stab	-5.600	0.000	2112	= 28,1 kN * 0,2
9	7059	Identisch mit dem Stab	-11.300	0.000	2112	= 56,3 kN * 0,2
11	14033	Identisch mit dem Stab	-10.200	0.000	2112	= 51,1 kN * 0,2



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

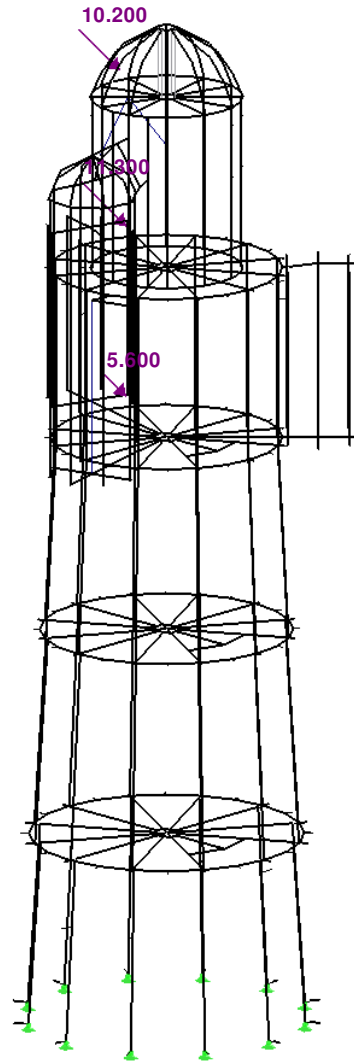
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ **LF232: WIND AUS OSO (ANSTRÖMUNG AUF HT) - QUER**

LF 232: Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - QUER
Belastung [kN]

Isometrie



LF233
Wind aus OSO (Anströmung
auf HT) - Moment

■ **3.1/6 KNOTENLASTEN - RICHTUNGSWEISE - IDENTISCH MIT DEM STAB**

LF233

Nr.	An Knoten Nr.	Richtungs- typ:	Kraft P [kN]	Moment M [kNm]	Stab Nr.	Kommentar
7	6050	Identisch mit dem Stab	-7.230	0.000	6021	= M aus W mit eSt = 4,77
8	6110	Identisch mit dem Stab	7.230	0.000	6021	= M aus W mit eSt = 4,77
9	8050	Identisch mit dem Stab	-14.510	0.000	6021	= M aus W mit eSt = 4,77
10	8110	Identisch mit dem Stab	14.510	0.000	6021	= M aus W mit eSt = 4,77
11	14042	Identisch mit dem Stab	-20.300	0.000	6021	= M aus W mit eSt = 3,10
12	14102	Identisch mit dem Stab	20.300	0.000	6021	= M aus W mit eSt = 3,10



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

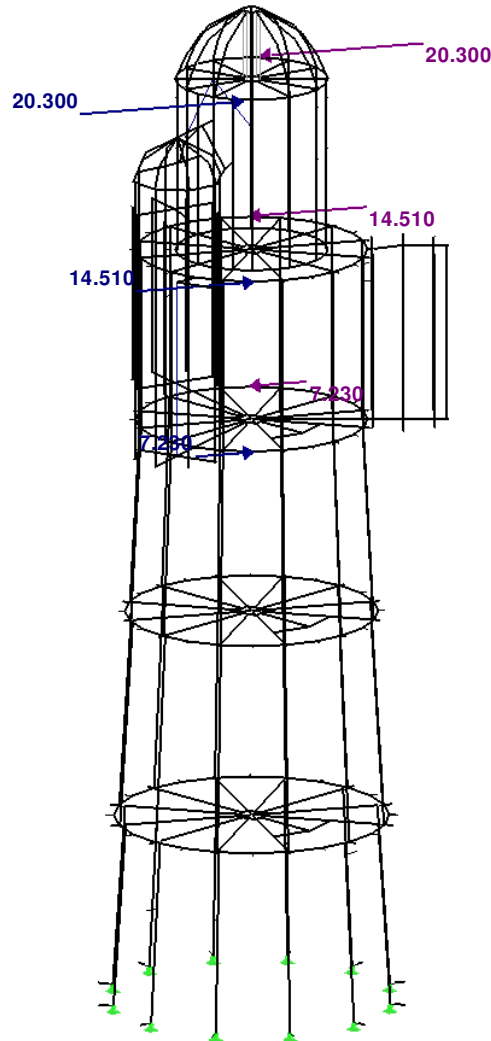
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

LF233: WIND AUS OSO (ANSTRÖMUNG AUF HT) - MOMENT

LF 233: Wind aus OSO (Anströmung auf HT) - Moment
Belastung [kN]

Isometrie



LF311

Welle aus N (Anströmung auf NT)

3.1/6 KNOTENLASTEN - RICHTUNGSWEISE - IDENTISCH MIT DEM STAB

LF311: Welle aus N (Anströmung auf NT)

Nr.	An Knoten Nr.	Richtungs- typ:	Kraft P [kN]	Moment M [kNm]	Stab Nr.	Kommentar
1	1109	Identisch mit dem Stab	1375.000	0.000	2101	= 4123 kN * 3/9
2	1099,1119	Identisch mit dem Stab	916.000	0.000	2101	= 4123 kN * 2/9
3	3109	Identisch mit dem Stab	194.000	0.000	2101	= 194 kN
4	1089,1129	Identisch mit dem Stab	458.000	0.000	2101	= 4123 kN * 1/9

LF321

Welle aus ONO (Anströmung auf Winkelhalbierende zw. HT)

3.1/6 KNOTENLASTEN - RICHTUNGSWEISE - IDENTISCH MIT DEM STAB

LF321

Nr.	An Knoten Nr.	Richtungs- typ:	Kraft P [kN]	Moment M [kNm]	Stab Nr.	Kommentar
1	1019,1129	Identisch mit dem Stab	1375.000	0.000	12121	= 4123 kN * 2/6
2	1029,1119	Identisch mit dem Stab	687.000	0.000	12121	= 4123 kN * 1/6
3	3019,3129	Identisch mit dem Stab	97.000	0.000	12121	= 194 kN * 1/2



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt, Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

LF331 Welle aus OSO (Anströmung auf HT)

3.1/6 KNOTENLASTEN - RICHTUNGSWEISE - IDENTISCH MIT DEM STAB

LF331: Welle aus OSO (Anströmung auf HT)

Table with 7 columns: Nr., An Knoten Nr., Richtungs-typ, Kraft P [kN], Moment M [kNm], Stab Nr., Kommentar. Contains 4 rows of node load data.

LF501 Erwärmung konstant

3.2 STABLASTEN

LF501: Erwärmung konstant

Table with 10 columns: Nr., Beziehen auf, An Stäben Nr., Last-Art, Last-verteilung, Last-Richtung, Bezugs-Länge, Symbol, Lastparameter Wert, Einheit. Contains 1 row of bar load data for temperature.

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF501: Erwärmung konstant

Table with 8 columns: Nr., An Flächen Nr., Last-Art, Last-verteilung, Last-Richtung, Symbol, Lastparameter Wert, Einheit. Contains 1 row of surface load data for temperature.

LF502 Abkühlung konstant

3.2 STABLASTEN

LF502: Abkühlung konstant

Table with 10 columns: Nr., Beziehen auf, An Stäben Nr., Last-Art, Last-verteilung, Last-Richtung, Bezugs-Länge, Symbol, Lastparameter Wert, Einheit. Contains 1 row of bar load data for cooling.

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF502: Abkühlung konstant

Table with 8 columns: Nr., An Flächen Nr., Last-Art, Last-verteilung, Last-Richtung, Symbol, Lastparameter Wert, Einheit. Contains 1 row of surface load data for cooling.



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

LF511
Erwärmung außen Ac. 1

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF511: Erwärmung außen Ac. 1

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	3,4,115,116,119,120,163-166,169,170,390,391,402-407	Temperatur	Konstant		T_c	30.0	°C
						ΔT	0.0

LF512
Erwärmung außen Ac. 2

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF512: Erwärmung außen Ac. 2

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	5-8,117,118,121,122,173-180	Temperatur	Konstant		T_c	30.0	°C
						ΔT	0.0

LF513
Erwärmung außen Ac. 3

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF513: Erwärmung außen Ac. 3

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	9-12,123-126,183-190	Temperatur	Konstant		T_c	30.0	°C
						ΔT	0.0

LF514
Erwärmung außen Ac. 4

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF514: Erwärmung außen Ac. 4

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	13-16,127-130,193-197,410-412,426	Temperatur	Konstant		T_c	30.0	°C
						ΔT	0.0

LF515
Erwärmung außen Ac. 5

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF515: Erwärmung außen Ac. 5

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	17-20,131-134,203-206,210,413-415,427,537	Temperatur	Konstant		T_c	30.0	°C
						ΔT	0.0

LF516
Erwärmung außen Ac. 6

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF516: Erwärmung außen Ac. 6

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	21,22,135-138,213-220,392,393	Temperatur	Konstant		T_c	30.0	°C
						ΔT	0.0

LF517
Erwärmung außen Ac. 7

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF517: Erwärmung außen Ac. 7

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	27,28,139-142,223-230,394,395	Temperatur	Konstant		T_c	30.0	°C
						ΔT	0.0

LF518
Erwärmung außen Ac. 8

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF518: Erwärmung außen Ac. 8

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	29-32,143-146,233-237,418-420,428,598	Temperatur	Konstant		T_c	30.0	°C
						ΔT	0.0

LF519
Erwärmung außen Ac. 9

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF519: Erwärmung außen Ac. 9

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	33-36,147-150,243-246,250,421-423,429,567	Temperatur	Konstant		T_c	30.0	°C
						ΔT	0.0

LF520
Erwärmung außen Ac. 10

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF520: Erwärmung außen Ac. 10

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	37-40,151-154,253-260	Temperatur	Konstant		T_c	30.0	°C
						ΔT	0.0



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

LF521
Erwärmung außen Ac. 11

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF521: Erwärmung außen Ac. 11

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	41-44,155-158,263-270	Temperatur	Konstant		T_c	30.0	°C
						ΔT	0.0

LF522
Erwärmung außen Ac. 12

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF522: Erwärmung außen Ac. 12

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	45,46,159-162,273-278,388,389,396-401,628	Temperatur	Konstant		T_c	30.0	°C
						ΔT	0.0

LF531
Abkühlung außen Ac. 1

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF531: Abkühlung außen Ac. 1

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	3,4,115,116,119,120,163-166,169,170,390,391,402-407	Temperatur	Konstant		T_c	-13.0	°C
						ΔT	0.0

LF532
Abkühlung außen Ac. 2

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF532: Abkühlung außen Ac. 2

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	5-8,117,118,121,122,173-180	Temperatur	Konstant		T_c	-13.0	°C
						ΔT	0.0

LF533
Abkühlung außen Ac. 3

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF533: Abkühlung außen Ac. 3

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	9-12,123-126,183-190	Temperatur	Konstant		T_c	-13.0	°C
						ΔT	0.0

LF534
Abkühlung außen Ac. 4

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF534: Abkühlung außen Ac. 4

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	13-16,127-130,193-197,410-412,426	Temperatur	Konstant		T_c	-13.0	°C
						ΔT	0.0

LF535
Abkühlung außen Ac. 5

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF535: Abkühlung außen Ac. 5

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	17-20,131-134,203-206,210,413-415,427,537	Temperatur	Konstant		T_c	-13.0	°C
						ΔT	0.0

LF536
Abkühlung außen Ac. 6

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF536: Abkühlung außen Ac. 6

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	21,22,135-138,213-220,392,393	Temperatur	Konstant		T_c	-13.0	°C
						ΔT	0.0

LF537
Abkühlung außen Ac. 7

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF537: Abkühlung außen Ac. 7

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	27,28,139-142,223-230,394,395	Temperatur	Konstant		T_c	-13.0	°C
						ΔT	0.0

LF538
Abkühlung außen Ac. 8

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF538: Abkühlung außen Ac. 8

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	29-32,143-146,233-237,418-420,428,598	Temperatur	Konstant		T_c	-13.0	°C
						ΔT	0.0



Projekt: GA218014a
LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605
Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

LF539
Abkühlung außen Ac. 9

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF539: Abkühlung außen Ac. 9

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	33-36,147-150,243-246,250,421-423,429,567	Temperatur	Konstant		T_c	-13.0	°C
						ΔT	0.0

LF540
Abkühlung außen Ac. 10

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF540: Abkühlung außen Ac. 10

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	37-40,151-154,253-260	Temperatur	Konstant		T_c	-13.0	°C
						ΔT	0.0

LF541
Abkühlung außen Ac. 11

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF541: Abkühlung außen Ac. 11

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	41-44,155-158,263-270	Temperatur	Konstant		T_c	-13.0	°C
						ΔT	0.0

LF542
Abkühlung außen Ac. 12

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF542: Abkühlung außen Ac. 12

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	45,46,159-162,273-278,388,389,396-401,628	Temperatur	Konstant		T_c	-13.0	°C
						ΔT	0.0

LF550
Erwärmung außen - kombiniert 1

3.2 STABLASTEN

LF550: Erwärmung außen - kombiniert 1

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Bezugs-Länge	Lastparameter		
							Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe		Temperatur	Konstant	z	Wahre Länge	T_c	15.0	°C

1-4, 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060, 1070, 1080, 1090, 1100, 1110, 1120, 2010, 2019-2021, 2025, 2029, 2030, 2039, 2040, 2049-2051, 2055, 2059, 2060, 2069, 2070, 2079-2082, 2085, 2089-2092, 2099, 2101, 2102, 2109-2112, 2115, 2119, 2120, 2129, 2210, 2211, 2220, 2221, 2230, 2231, 2240, 2241, 2250, 2251, 2260, 2261, 2270, 2271, 2280, 2281, 2290, 2291, 2300, 2301, 2310, 2311, 2320, 2321, 3010, 3020, 3030, 3040, 3050, 3060, 3070, 3080, 3090, 3100, 3110, 3120, 4011, 4021, 4022, 4025, 4029, 4031, 4039, 4041, 4049, 4051, 4052, 4055, 4059, 4061, 4069, 4071, 4079, 4081, 4082, 4085, 4089, 4091-4093, 4099, 4102, 4103, 4109, 4111-4113, 4115, 4119, 4121, 4129, 4139, 4210, 4211, 4220, 4221, 4230, 4231, 4240, 4241, 4250, 4251, 4260, 4261, 4270, 4271, 4280, 4281, 4290, 4291, 4300, 4301, 4310, 4311, 4320, 4321, 5010, 5020, 5030, 5040, 5050, 5060, 5070, 5080, 5090, 5100, 5110, 5120, 6011, 6021, 6022, 6025, 6029, 6031, 6039, 6041, 6048, 6049, 6051, 6052, 6055, 6059, 6061, 6069, 6071, 6079, 6081-6083, 6085, 6088, 6089, 6091-6093, 6099, 6102, 6103, 6109, 6111-6113, 6115, 6119, 6121, 6128, 6129, 6139, 6210, 6211, 6220, 6221, 6230, 6231, 6242, 6243, 6250, 6251, 6260, 6261, 6270, 6271, 6282, 6283, 6290, 6291, 6300, 6301, 6310, 6311, 7010, 7020, 7030, 7040, 7050, 7060, 7070, 7080, 7090, 7100, 7110, 7120, 8011-8014, 8021-8025, 8029, 8031-8034, 8039, 8041-8044, 8049, 8051-8055, 8059, 8061-8064, 8069, 8071-8074, 8079, 8081-8085, 8089, 8091-8094, 8099, 8101-8104, 8109, 8111-8115, 8119, 8121-8124, 8129, 8139, 8210, 8211, 8220, 8221, 8230, 8231, 8240, 8241, 8250, 8251, 8260, 8261, 8270, 8271, 8280, 8281, 8290, 8291, 8300, 8301, 8310, 8311, 8320, 8321, 9010-9012, 9020-9022, 9030-9032, 9040-9043, 9050-9052, 9060-9062, 9070-9072, 9080-9082, 9090-9092, 9100-9102, 9110-9112, 9121, 9122, 10013, 10014, 10018, 10023, 10024, 10028, 10033, 10034, 10038, 10044, 10048, 10053, 10054, 10058, 10063, 10064, 10068, 10073, 10074, 10078, 10083, 10084, 10088, 10093, 10094, 10098, 10103, 10104, 10108, 10113, 10114, 10117, 10118, 10123, 10124, 10127, 10128, 10137, 10147, 10157, 10167, 10177, 10187, 10197, 10207, 10217, 10227, 11601, 11611, 11621, 11631, 11641, 11651, 11661, 11671, 11681, 11691, 11701, 11711, 12031, 12071, 12081, 12111, 12121, 12161, 12171, 12172, 12181-12183, 12191-12193, 12201-12203, 12211-12213, 12221-12223, 12231, 12232, 12241, 12281, 12291, 12362, 12371, 12381, 12391, 12401, 12411, 12421, 12471, 12501, 12511, 12541, 12551, 12561, 14031, 14071, 14081, 14111, 14121, 14281, 14291, 14321, 14331, 16031, 16071, 16081, 16111, 16121, 16281, 16291, 16321, 16331, 20363-20365, 20373-20375, 20383-20385, 20393-20395, 20403-20405, 20413-20415, 20423-20425, 20433-20435, 20443-20445, 20453-20455, 20463-20465, 20473-20475, 20677, 20678, 20687, 20688, 20697, 20698, 20707, 20708, 20717, 20718, 20727, 20728, 20747, 20748, 20750, 20755-20757, 20760-20772, 20784, 20785, 20798, 20799, 20891, 21004-21017, 21022, 21023, 21032, 21033, 21036, 21037, 21040

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF550: Erwärmung außen - kombiniert 1

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	3-670	Temperatur	Konstant		T_c	15.0	°C
						ΔT	0.0

LF571
Erwärmung außen - kombiniert Ac. 1

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF571: Erwärmung außen - kombiniert Ac. 1

Nr.	An Flächen Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	3,4,115,116,119,120,163-166,169,170,390,391,402-407	Temperatur	Konstant		T_c	23.0	°C
						ΔT	0.0



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

LF572
Erwärmung außen -
kombiniert Ac. 2

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF572: Erwärmung außen - kombiniert Ac. 2

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	5-8,117,118,121,122,173-180	Temperatur	Konstant		T_c	23.0	°C
						ΔT	0.0

LF573
Erwärmung außen -
kombiniert Ac. 3

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF573: Erwärmung außen - kombiniert Ac. 3

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	9-12,123-126,183-190	Temperatur	Konstant		T_c	23.0	°C
						ΔT	0.0

LF574
Erwärmung außen -
kombiniert Ac. 4

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF574: Erwärmung außen - kombiniert Ac. 4

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	13-16,127-130,193-197,410-412,426	Temperatur	Konstant		T_c	23.0	°C
						ΔT	0.0

LF575
Erwärmung außen -
kombiniert Ac. 5

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF575: Erwärmung außen - kombiniert Ac. 5

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	17-20,131-134,203-206,210,413-415,427,537	Temperatur	Konstant		T_c	23.0	°C
						ΔT	0.0

LF576
Erwärmung außen -
kombiniert Ac. 6

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF576: Erwärmung außen - kombiniert Ac. 6

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	21,22,135-138,213-220,392,393	Temperatur	Konstant		T_c	23.0	°C
						ΔT	0.0

LF577
Erwärmung außen -
kombiniert Ac. 7

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF577: Erwärmung außen - kombiniert Ac. 7

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	27,28,139-142,223-230,394,395	Temperatur	Konstant		T_c	23.0	°C
						ΔT	0.0

LF578
Erwärmung außen -
kombiniert Ac. 8

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF578: Erwärmung außen - kombiniert Ac. 8

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	29-32,143-146,233-237,418-420,428,598	Temperatur	Konstant		T_c	23.0	°C
						ΔT	0.0

LF579
Erwärmung außen -
kombiniert Ac. 9

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF579: Erwärmung außen - kombiniert Ac. 9

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	33-36,147-150,243-246,250,421-423,429,567	Temperatur	Konstant		T_c	23.0	°C
						ΔT	0.0

LF580
Erwärmung außen -
kombiniert Ac. 10

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF580: Erwärmung außen - kombiniert Ac. 10

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	37-40,151-154,253-260	Temperatur	Konstant		T_c	23.0	°C
						ΔT	0.0

LF581
Erwärmung außen -
kombiniert Ac. 11

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF581: Erwärmung außen - kombiniert Ac. 11

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	41-44,155-158,263-270	Temperatur	Konstant		T_c	23.0	°C
						ΔT	0.0



Projekt: GA218014a
LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605
Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

LF582
Erwärmung außen -
kombiniert Ac. 12

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF582: Erwärmung außen - kombiniert Ac. 12

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	45,46,159-162,273-278,388,389,396-401,628	Temperatur	Konstant		T _c	23.0	°C
						ΔT	0.0

LF590
Abkühlung außen -
kombiniert 1

3.2 STABLASTEN

LF590: Abkühlung außen - kombiniert 1

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Symbol	Lastparameter	
								Wert	Einheit
1	Stäbe	1-4, 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060, 1070, 1080, 1090, 1100, 1110, 1120, 2010, 2019-2021, 2025, 2029, 2030, 2039, 2040, 2049-2051, 2055, 2059, 2060, 2069, 2070, 2079-2082, 2085, 2089-2092, 2099, 2101, 2102, 2109-2112, 2115, 2119, 2120, 2129, 2210, 2211, 2220, 2221, 2230, 2231, 2240, 2241, 2250, 2251, 2260, 2261, 2270, 2271, 2280, 2281, 2290, 2291, 2300, 2301, 2310, 2311, 2320, 2321, 3010, 3020, 3030, 3040, 3050, 3060, 3070, 3080, 3090, 3100, 3110, 3120, 4011, 4021, 4022, 4025, 4029, 4031, 4039, 4041, 4049, 4051, 4052, 4055, 4059, 4061, 4069, 4071, 4079, 4081, 4082, 4085, 4089, 4091-4093, 4099, 4102, 4103, 4109, 4111-4113, 4115, 4119, 4121, 4129, 4139, 4210, 4211, 4220, 4221, 4230, 4231, 4240, 4241, 4250, 4251, 4260, 4261, 4270, 4271, 4280, 4281, 4290, 4291, 4300, 4301, 4310, 4311, 4320, 4321, 5010, 5020, 5030, 5040, 5050, 5060, 5070, 5080, 5090, 5100, 5110, 5120, 6011, 6021, 6022, 6025, 6029, 6031, 6039, 6041, 6048, 6049, 6051, 6052, 6055, 6059, 6061, 6069, 6071, 6079, 6081-6083, 6085, 6088, 6089, 6091-6093, 6099, 6102, 6103, 6109, 6111-6113, 6115, 6119, 6121, 6128, 6129, 6139, 6210, 6211, 6220, 6221, 6230, 6231, 6242, 6243, 6250, 6251, 6260, 6261, 6270, 6271, 6282, 6283, 6290, 6291, 6300, 6301, 6310, 6311, 7010, 7020, 7030, 7040, 7050, 7060, 7070, 7080, 7090, 7100, 7110, 7120, 8011-8014, 8021-8025, 8029, 8031-8034, 8039, 8041-8044, 8049, 8051-8055, 8059, 8061-8064, 8069, 8071-8074, 8079, 8081-8085, 8089, 8091-8094, 8099, 8101-8104, 8109, 8111-8115, 8119, 8121-8124, 8129, 8139, 8210, 8211, 8220, 8221, 8230, 8231, 8240, 8241, 8250, 8251, 8260, 8261, 8270, 8271, 8280, 8281, 8290, 8291, 8300, 8301, 8310, 8311, 8320, 8321, 9010-9012, 9020-9022, 9030-9032, 9040-9043, 9050-9052, 9060-9062, 9070-9072, 9080-9082, 9090-9092, 9100-9102, 9110-9112, 9121, 9122, 10013, 10014, 10018, 10019, 10023, 10024, 10028, 10033, 10034, 10038, 10044, 10048, 10053, 10054, 10058, 10063, 10064, 10068, 10073, 10074, 10078, 10083, 10084, 10088, 10093, 10094, 10098, 10103, 10104, 10108, 10113, 10114, 10117, 10118, 10123, 10124, 10127, 10128, 10137, 10147, 10157, 10167, 10177, 10187, 10197, 10207, 10217, 10227, 11601, 11611, 11621, 11631, 11641, 11651, 11661, 11681, 11691, 11701, 11711, 12031, 12071, 12081, 12111, 12121, 12161, 12171, 12172, 12181-12183, 12191-12193, 12201-12203, 12211-12213, 12221-12223, 12231, 12232, 12241, 12281, 12291, 12362, 12371, 12381, 12391, 12401, 12411, 12421, 12471, 12501, 12511, 12541, 12551, 12561, 14031, 14071, 14081, 14111, 14121, 14281, 14291, 14321, 14331, 16031, 16071, 16081, 16111, 16121, 16281, 16291, 16321, 16331, 20363-20365, 20373-20375, 20383-20385, 20393-20395, 20403-20405, 20413-20415, 20423-20425, 20433-20435, 20443-20445, 20453-20455, 20463-20465, 20473-20476, 20677, 20678, 20687, 20688, 20697, 20698, 20707, 20708, 20717, 20718, 20727, 20728, 20747, 20748, 20750, 20755-20757, 20760-20772, 20784, 20785, 20798, 20799, 20891, 21004-21017, 21022, 21023, 21032, 21033, 21036, 21037, 21040	Temperatur	Konstant	z	Wahre Länge	T _c	-13.0	°C
								ΔT	0.0

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF590: Abkühlung außen - kombiniert 1

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	3-670	Temperatur	Konstant		T _c	-13.0	°C
						ΔT	0.0

LF611
Abkühlung außen -
kombiniert 2 Ac. 1

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF611: Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 1

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	3,4, 115, 116, 119, 120, 163-166, 169, 170, 390, 391, 402-407	Temperatur	Konstant		T _c	-10.0	°C
						ΔT	0.0

LF612
Abkühlung außen -
kombiniert 2 Ac. 2

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF612: Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 2

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	5-8, 117, 118, 121, 122, 173-180	Temperatur	Konstant		T _c	-10.0	°C
						ΔT	0.0

LF613
Abkühlung außen -
kombiniert 2 Ac. 3

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF613: Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 3

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	9-12, 123-126, 183-190	Temperatur	Konstant		T _c	-10.0	°C
						ΔT	0.0

LF614
Abkühlung außen -
kombiniert 2 Ac. 4

3.4 FLÄCHENLASTEN

LF614: Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 4

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	13-16, 127-130, 193-197, 410-412, 426	Temperatur	Konstant		T _c	-10.0	°C
						ΔT	0.0



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

LF615
Abkühlung außen -
kombiniert 2 Ac. 5

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF615: Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 5

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	17-20,131-134,203-206,210,413-415,427, 537	Temperatur	Konstant		T_c	-10.0	°C
						ΔT	0.0

LF616
Abkühlung außen -
kombiniert 2 Ac. 6

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF616: Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 6

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	21,22,135-138,213-220,392,393	Temperatur	Konstant		T_c	-10.0	°C
						ΔT	0.0

LF617
Abkühlung außen -
kombiniert 2 Ac. 7

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF617: Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 7

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	27,28,139-142,223-230,394,395	Temperatur	Konstant		T_c	-10.0	°C
						ΔT	0.0

LF618
Abkühlung außen -
kombiniert 2 Ac. 8

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF618: Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 8

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	29-32,143-146,233-237,418-420,428,598	Temperatur	Konstant		T_c	-10.0	°C
						ΔT	0.0

LF619
Abkühlung außen -
kombiniert 2 Ac. 9

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF619: Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 9

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	33-36,147-150,243-246,250,421-423,429, 567	Temperatur	Konstant		T_c	-10.0	°C
						ΔT	0.0

LF620
Abkühlung außen -
kombiniert 2 Ac. 10

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF620: Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 10

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	37-40,151-154,253-260	Temperatur	Konstant		T_c	-10.0	°C
						ΔT	0.0

LF621
Abkühlung außen -
kombiniert 2 Ac. 11

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF621: Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 11

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	41-44,155-158,263-270	Temperatur	Konstant		T_c	-10.0	°C
						ΔT	0.0

LF622
Abkühlung außen -
kombiniert 2 Ac. 12

■ **3.4 FLÄCHENLASTEN**

LF622: Abkühlung außen - kombiniert 2 Ac. 12

Nr.	An Flächen Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Symbol	Lastparameter	
						Wert	Einheit
1	45,46,159-162,273-278,388,389,396-401, 628	Temperatur	Konstant		T_c	-10.0	°C
						ΔT	0.0



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
Lastfall LF1 - Eigengewicht Konstruktion			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	424.01	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	424.01	kN	Abweichung 0.00%
Resultierende der Reaktionen um X	0.001	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.053, Y:9.970, Z:-15.702 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	0.7	mm	Stab Nr. 21016, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	-0.8	mm	FE-Netzknoten Nr. 16296 (X: 13.254, Y: 9.525, Z: -23.390 m)
Max. Verschiebung in Z	1.3	mm	Stab Nr. 4102, x: 0.000 m
Max. Verschiebung vektoriell	1.3	mm	Stab Nr. 4102, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	-4.1	mrad	Stab Nr. 4103, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um Y	2.2	mrad	Stab Nr. 4113, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um Z	-1.9	mrad	Stab Nr. 21013, x: 0.000 m
Berechnungstheorie	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (linear)
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	3		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.775E+16		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.0E+03		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	1.174E+9784		
Unendlich-Norm	4.273E+16		
Lastfall LF501 - Erwärmung konstant			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.053, Y:9.970, Z:-15.702 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	-0.003	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	10.2	mm	Stab Nr. 20784, x: 0.400 m
Max. Verschiebung in Y	-10.2	mm	Stab Nr. 10114, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	-11.0	mm	Stab Nr. 11681, x: 0.052 m
Max. Verschiebung vektoriell	11.0	mm	Stab Nr. 11611, x: 0.104 m
Max. Verdrehung um X	-1.7	mrad	FE-Netzknoten Nr. 173 (X: 9.288, Y: 13.161, Z: -6.865 m)
Max. Verdrehung um Y	1.7	mrad	FE-Netzknoten Nr. 49 (X: 13.161, Y: 10.712, Z: -6.865 m)
Max. Verdrehung um Z	-7.9	mrad	FE-Netzknoten Nr. 323 (X: 8.242, Y: 7.241, Z: -6.390 m)
Berechnungstheorie	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (linear)
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	4		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.576E+03		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	3.577E+7757		
Unendlich-Norm	3.172E+14		
Lastfall LF502 - Abkühlung konstant			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.053, Y:9.970, Z:-15.702 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	-0.003	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-8.8	mm	Stab Nr. 20784, x: 0.400 m
Max. Verschiebung in Y	8.8	mm	Stab Nr. 10114, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	9.5	mm	Stab Nr. 11681, x: 0.052 m
Max. Verschiebung vektoriell	9.5	mm	Stab Nr. 11621, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	1.5	mrad	FE-Netzknoten Nr. 173 (X: 9.288, Y: 13.161, Z: -6.865 m)
Max. Verdrehung um Y	-1.5	mrad	FE-Netzknoten Nr. 49 (X: 13.161, Y: 10.712, Z: -6.865 m)
Max. Verdrehung um Z	6.8	mrad	FE-Netzknoten Nr. 323 (X: 8.242, Y: 7.241, Z: -6.390 m)
Berechnungstheorie	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (linear)
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	3		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.576E+03		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	3.577E+7757		
Unendlich-Norm	3.172E+14		
Lastfall LF550 - Erwärmung außen - kombiniert 1			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ 4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
Resultierende der Reaktionen um X	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.053, Y:9.970, Z:-15.702 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	3.6	mm	Stab Nr. 20784, x: 0.400 m
Max. Verschiebung in Y	-3.6	mm	Stab Nr. 10114, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	-3.8	mm	Stab Nr. 11681, x: 0.052 m
Max. Verschiebung vektoriell	3.8	mm	Stab Nr. 11621, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	-0.6	mrad	FE-Netzknoten Nr. 173 (X: 9.288, Y: 13.161, Z: -6.865 m)
Max. Verdrehung um Y	0.6	mrad	FE-Netzknoten Nr. 49 (X: 13.161, Y: 10.712, Z: -6.865 m)
Max. Verdrehung um Z	-2.8	mrad	FE-Netzknoten Nr. 323 (X: 8.242, Y: 7.241, Z: -6.390 m)
Berechnungstheorie	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (linear)
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	4		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.576E+03		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	3.577E+7757		
Unendlich-Norm	3.172E+14		

Lastfall LF590 - Abkühlung außen - kombiniert 1

Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.053, Y:9.970, Z:-15.702 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-3.1	mm	Stab Nr. 20784, x: 0.400 m
Max. Verschiebung in Y	3.1	mm	Stab Nr. 10114, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	3.3	mm	Stab Nr. 11681, x: 0.052 m
Max. Verschiebung vektoriell	3.3	mm	Stab Nr. 20385, x: 0.978 m
Max. Verdrehung um X	0.5	mrad	FE-Netzknoten Nr. 173 (X: 9.288, Y: 13.161, Z: -6.865 m)
Max. Verdrehung um Y	-0.5	mrad	FE-Netzknoten Nr. 49 (X: 13.161, Y: 10.712, Z: -6.865 m)
Max. Verdrehung um Z	2.4	mrad	FE-Netzknoten Nr. 323 (X: 8.242, Y: 7.241, Z: -6.390 m)
Berechnungstheorie	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (linear)
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	3		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.576E+03		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	3.577E+7757		
Unendlich-Norm	3.172E+14		

Lastkombination LK301 - max V: G+Q+S

Summe Belastung in Richtung X	-0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	-0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	1915.77	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	1915.77	kN	Abweichung -0.00%
Resultierende der Reaktionen um X	-49.9	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	51.8	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	4.4	mm	FE-Netzknoten Nr. 16297 (X: 13.711, Y: 8.269, Z: -23.390 m)
Max. Verschiebung in Y	-4.7	mm	FE-Netzknoten Nr. 16296 (X: 13.254, Y: 9.525, Z: -23.390 m)
Max. Verschiebung in Z	31.5	mm	Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verschiebung vektoriell	31.5	mm	Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	-91.2	mrad	Stab Nr. 2092, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Y	27.5	mrad	Stab Nr. 2102, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Z	-10.9	mrad	FE-Netzknoten Nr. 16294 (X: 12.532, Y: 9.557, Z: -23.390 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	3		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	0.E+00		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	0.E+00		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	0.000E-1		
Unendlich-Norm	0.E+00		

Lastkombination LK302 - max V+W N: G+Q+S+W_N

Summe Belastung in Richtung X	90.35	kN	
Summe Lagerkräfte in X	90.35	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Y	278.25	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	278.25	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Z	1915.77	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	1915.77	kN	Abweichung 0.00%
Resultierende der Reaktionen um X	1228.2	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	-481.5	kNm	Im Schwerpunkt des Modells



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
Resultierende der Reaktionen um Z	272.3	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	16.0	mm	Stab Nr. 11711, x: 0.104 m
Max. Verschiebung in Y	-16.0	mm	Stab Nr. 11621, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	31.3	mm	Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verschiebung vektoriell	31.3	mm	Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	-91.0	mrad	Stab Nr. 2092, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Y	27.4	mrad	Stab Nr. 2102, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Z	24.6	mrad	FE-Netzknoten Nr. 10014 (X: 11.298, Y: 10.909, Z: -24.700 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	3		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	0.E+00		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	0.E+00		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	0.000E-1		
Unendlich-Norm	0.E+00		
Lastkombination LK303 - max V+W_ONO: G+Q+S+W_ONO			
Summe Belastung in Richtung X	-245.39	kN	
Summe Lagerkräfte in X	-245.39	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Y	159.28	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	159.28	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Z	1915.77	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	1915.77	kN	Abweichung 0.00%
Resultierende der Reaktionen um X	796.4	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	1148.1	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	-247.3	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-19.9	mm	Stab Nr. 10083, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	-20.3	mm	Stab Nr. 9082, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	31.4	mm	Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verschiebung vektoriell	31.4	mm	Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	-91.1	mrad	Stab Nr. 2092, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Y	73.1	mrad	Stab Nr. 6221, x: 0.662 m
Max. Verdrehung um Z	21.2	mrad	Stab Nr. 6119, x: 0.000 m
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	3		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	0.E+00		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	2.584E+03		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	0.000E+5039		
Unendlich-Norm	3.762E-37		
Lastkombination LK304 - max V+W_OS0: G+Q+S+W_OS0			
Summe Belastung in Richtung X	-258.33	kN	
Summe Lagerkräfte in X	-258.33	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Y	-137.29	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	-137.29	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Z	1915.77	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	1915.77	kN	Abweichung 0.00%
Resultierende der Reaktionen um X	-797.4	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	1217.8	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	-237.1	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-13.9	mm	Stab Nr. 20435, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	14.3	mm	Stab Nr. 20465, x: 0.978 m
Max. Verschiebung in Z	31.6	mm	Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verschiebung vektoriell	31.6	mm	Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	-91.2	mrad	Stab Nr. 2092, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Y	27.7	mrad	Stab Nr. 2102, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Z	-15.7	mrad	Stab Nr. 6029, x: 0.000 m
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	3		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	0.E+00		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	0.E+00		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	0.000E-1		
Unendlich-Norm	0.E+00		



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
Lastkombination LK311 - min V+W, N: G, 0,75+W, N			
Summe Belastung in Richtung X	90.35	kN	
Summe Lagerkräfte in X	90.35	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Y	278.25	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	278.25	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Z	786.43	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	786.43	kN	Abweichung 0.00%
Resultierende der Reaktionen um X	1252.2	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	-497.3	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	272.3	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	15.9	mm	Stab Nr. 11711, x: 0.104 m
Max. Verschiebung in Y	-15.8	mm	Stab Nr. 20474, x: 0.599 m
Max. Verschiebung in Z	16.0	mm	Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verschiebung vektoriell	16.9	mm	FE-Netzknoden Nr. 10012 (X: 11.489, Y: 10.542, Z: -24.700 m)
Max. Verdrehung um X	-53.5	mrad	Stab Nr. 4093, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Y	15.4	mrad	Stab Nr. 2102, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Z	23.9	mrad	FE-Netzknoden Nr. 10014 (X: 11.298, Y: 10.909, Z: -24.700 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
StEIFigkeITSreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	3		
Maximaler Wert des Elementes der SteifigkeITSmatrix auf der Diagonale	0.E+00		
Minimaler Wert des Elementes der SteifigkeITSmatrix auf der Diagonale	0.E+00		
Determinante der SteifigkeITSmatrix	0.000E-1		
Unendlich-Norm	0.E+00		
Lastkombination LK312 - min V+W, N: G, 0,75+W, ONO			
Summe Belastung in Richtung X	-245.39	kN	
Summe Lagerkräfte in X	-245.39	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Y	159.28	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	159.28	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Z	786.43	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	786.43	kN	Abweichung 0.00%
Resultierende der Reaktionen um X	822.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	1127.4	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	-247.3	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-19.8	mm	Stab Nr. 10083, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	-20.2	mm	Stab Nr. 9082, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	17.6	mm	Stab Nr. 10054, x: 0.414 m
Max. Verschiebung vektoriell	20.4	mm	Stab Nr. 9082, x: 0.050 m
Max. Verdrehung um X	-53.7	mrad	Stab Nr. 4093, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Y	81.5	mrad	Stab Nr. 4261, x: 0.721 m
Max. Verdrehung um Z	-20.7	mrad	Stab Nr. 9071, x: 0.550 m
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
StEIFigkeITSreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	3		
Maximaler Wert des Elementes der SteifigkeITSmatrix auf der Diagonale	0.E+00		
Minimaler Wert des Elementes der SteifigkeITSmatrix auf der Diagonale	0.E+00		
Determinante der SteifigkeITSmatrix	0.000E+7962		
Unendlich-Norm	24079		
	3.786E-37		
Lastkombination LK313 - min V+W, N: G, 0,75+W, OSO			
Summe Belastung in Richtung X	-258.33	kN	
Summe Lagerkräfte in X	-258.33	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Y	-137.29	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	-137.29	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Z	786.43	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	786.43	kN	Abweichung 0.00%
Resultierende der Reaktionen um X	-766.9	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	1196.7	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	-237.1	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-13.9	mm	Stab Nr. 11701, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	14.2	mm	Stab Nr. 20465, x: 0.978 m
Max. Verschiebung in Z	16.3	mm	Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verschiebung vektoriell	16.4	mm	Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	-54.0	mrad	Stab Nr. 4093, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Y	15.6	mrad	Stab Nr. 2102, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Z	-14.1	mrad	Stab Nr. 6029, x: 0.000 m
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
StEIFigkeITSreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	3		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	0.E+00		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	4.533E+24		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	0.000E+5038		
	7063		
Unendlich-Norm	2.217E-10		
Lastkombination LK511 - Erwärmung außen - Ac. 1-3			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	4.2	mm	Stab Nr. 11641, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	-4.3	mm	Stab Nr. 20405, x: 0.978 m
Max. Verschiebung in Z	3.8	mm	Stab Nr. 9082, x: 0.400 m
Max. Verschiebung vektoriell	4.3	mm	Stab Nr. 20395, x: 0.978 m
Max. Verdrehung um X	-5.1	mrad	Stab Nr. 8221, x: 0.662 m
Max. Verdrehung um Y	4.1	mrad	FE-Netzknoten Nr. 8027 (X: 12.077, Y: 11.454, Z: -22.510 m)
Max. Verdrehung um Z	-11.7	mrad	Stab Nr. 2019, x: 0.181 m
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	3		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.610E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	1.598E+7663		
	34		
Unendlich-Norm	3.172E+14		
Lastkombination LK512 - Erwärmung außen - Ac. 1-6			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	-0.1	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	8.3	mm	Stab Nr. 20718, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	8.9	mm	Stab Nr. 20698, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	-7.8	mm	Stab Nr. 20677, x: 0.490 m
Max. Verschiebung vektoriell	9.1	mm	Stab Nr. 20698, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	-23.9	mrad	Stab Nr. 14071, x: 0.615 m
Max. Verdrehung um Y	6.1	mrad	FE-Netzknoten Nr. 8017 (X: 12.525, Y: 10.221, Z: -22.510 m)
Max. Verdrehung um Z	18.1	mrad	FE-Netzknoten Nr. 20283 (X: 10.445, Y: 12.514, Z: -18.830 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	13		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.611E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	2.860E+7663		
	40		
Unendlich-Norm	3.172E+14		
Lastkombination LK513 - Erwärmung außen - Ac. 1-9			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	-0.1	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	6.7	mm	Stab Nr. 12561, x: 0.723 m
Max. Verschiebung in Y	7.1	mm	Stab Nr. 20707, x: 0.490 m
Max. Verschiebung in Z	-5.8	mm	Stab Nr. 20687, x: 0.490 m



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ 4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
Max. Verschiebung vektoriell	7.4	mm	Stab Nr. 20708, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	-25.4	mrاد	Stab Nr. 14071, x: 0.615 m
Max. Verdrehung um Y	5.6	mrاد	FE-Netzknoten Nr. 8017 (X: 12.525, Y: 10.221, Z: -22.510 m)
Max. Verdrehung um Z	19.1	mrاد	FE-Netzknoten Nr. 20284 (X: 7.601, Y: 9.128, Z: -18.830 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	13		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.611E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	2.860E+7663		
Unendlich-Norm	40		
	3.172E+14		
Lastkombination LK514 - Erwärmung außen - Ac. 1-12			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	3.6	mm	Stab Nr. 21016, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	-2.7	mm	FE-Netzknoten Nr. 402 (X: 11.855, Y: 7.351, Z: -7.358 m)
Max. Verschiebung in Z	-3.6	mm	Stab Nr. 12561, x: 0.000 m
Max. Verschiebung vektoriell	3.7	mm	Stab Nr. 21016, x: 0.207 m
Max. Verdrehung um X	-29.3	mrاد	Stab Nr. 14071, x: 0.615 m
Max. Verdrehung um Y	5.7	mrاد	FE-Netzknoten Nr. 8017 (X: 12.525, Y: 10.221, Z: -22.510 m)
Max. Verdrehung um Z	20.6	mrاد	FE-Netzknoten Nr. 20284 (X: 7.601, Y: 9.128, Z: -18.830 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	16		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.611E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	1.342E+7662		
Unendlich-Norm	23		
	3.172E+14		
Lastkombination LK531 - Abkühlung außen - Ac. 1-3			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-4.2	mm	Stab Nr. 12541, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	-4.5	mm	Stab Nr. 20688, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	3.8	mm	Stab Nr. 20747, x: 0.490 m
Max. Verschiebung vektoriell	4.7	mm	Stab Nr. 20698, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	4.0	mrاد	Stab Nr. 8211, x: 0.662 m
Max. Verdrehung um Y	-4.0	mrاد	FE-Netzknoten Nr. 8017 (X: 12.525, Y: 10.221, Z: -22.510 m)
Max. Verdrehung um Z	-4.1	mrاد	Stab Nr. 2039, x: 0.066 m
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	12		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.612E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	8.378E+7663		
Unendlich-Norm	35		
	3.172E+14		
Lastkombination LK532 - Abkühlung außen - Ac. 1-6			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-5.4	mm	Stab Nr. 20718, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	-5.8	mm	Stab Nr. 20698, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	5.1	mm	Stab Nr. 20677, x: 0.490 m
Max. Verschiebung vektoriell	5.9	mm	Stab Nr. 20697, x: 0.490 m
Max. Verdrehung um X	15.2	mrad	Stab Nr. 14031, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um Y	-8.3	mrad	Stab Nr. 4220, x: 0.540 m
Max. Verdrehung um Z	-11.6	mrad	FE-Netzknoten Nr. 20283 (X: 10.445, Y: 12.514, Z: -18.830 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	12		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.613E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	3.153E+7663		
	39		
Unendlich-Norm	3.172E+14		

Lastkombination LK533 - Abkühlung außen - Ac. 1-9			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-4.3	mm	Stab Nr. 12561, x: 0.723 m
Max. Verschiebung in Y	-4.6	mm	Stab Nr. 20707, x: 0.490 m
Max. Verschiebung in Z	-3.7	mm	Stab Nr. 21014, x: 0.621 m
Max. Verschiebung vektoriell	4.8	mm	Stab Nr. 20708, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	16.3	mrad	Stab Nr. 14071, x: 0.615 m
Max. Verdrehung um Y	-18.8	mrad	Stab Nr. 4220, x: 0.450 m
Max. Verdrehung um Z	-12.2	mrad	FE-Netzknoten Nr. 20284 (X: 7.601, Y: 9.128, Z: -18.830 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	12		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.619E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	2.566E+7663		
	42		
Unendlich-Norm	3.172E+14		

Lastkombination LK534 - Abkühlung außen - Ac. 1-12			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-2.3	mm	Stab Nr. 21016, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	1.7	mm	FE-Netzknoten Nr. 402 (X: 11.855, Y: 7.351, Z: -7.358 m)
Max. Verschiebung in Z	-5.1	mm	Stab Nr. 6250, x: 0.441 m
Max. Verschiebung vektoriell	5.1	mm	Stab Nr. 6250, x: 0.441 m
Max. Verdrehung um X	18.8	mrad	Stab Nr. 14071, x: 0.615 m
Max. Verdrehung um Y	-51.7	mrad	Stab Nr. 6250, x: 0.515 m
Max. Verdrehung um Z	-13.1	mrad	FE-Netzknoten Nr. 20284 (X: 7.601, Y: 9.128, Z: -18.830 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ 4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
Anzahl der Iterationen	13		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.618E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	7.215E+7663		
Unendlich-Norm	47		
	3.172E+14		
Lastkombination LK571 - Erwärmung außen - kombiniert - Ac. 1-3			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	7.5	mm	Stab Nr. 12541, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	8.0	mm	Stab Nr. 20688, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	-6.7	mm	Stab Nr. 20747, x: 0.490 m
Max. Verschiebung vektoriell	8.3	mm	Stab Nr. 20698, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	-7.3	mrاد	Stab Nr. 8211, x: 0.662 m
Max. Verdrehung um Y	7.2	mrاد	FE-Netzknoten Nr. 8017 (X: 12.525, Y: 10.221, Z: -22.510 m)
Max. Verdrehung um Z	7.3	mrاد	Stab Nr. 2039, x: 0.066 m
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	16		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.610E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	3.152E+7663		
Unendlich-Norm	30		
	3.172E+14		
Lastkombination LK572 - Erwärmung außen - kombiniert - Ac. 1-6			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	-0.1	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	9.6	mm	Stab Nr. 20718, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	10.3	mm	Stab Nr. 20698, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	-8.9	mm	Stab Nr. 20677, x: 0.490 m
Max. Verschiebung vektoriell	10.5	mm	Stab Nr. 20697, x: 0.490 m
Max. Verdrehung um X	-27.5	mrاد	Stab Nr. 14071, x: 0.615 m
Max. Verdrehung um Y	7.0	mrاد	FE-Netzknoten Nr. 8017 (X: 12.525, Y: 10.221, Z: -22.510 m)
Max. Verdrehung um Z	20.8	mrاد	FE-Netzknoten Nr. 20283 (X: 10.445, Y: 12.514, Z: -18.830 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	13		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.68E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	1.661E+7663		
Unendlich-Norm	23		
	3.172E+14		
Lastkombination LK573 - Erwärmung außen - kombiniert - Ac. 1-9			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	-0.1	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	-0.1	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	7.7	mm	Stab Nr. 12561, x: 0.723 m
Max. Verschiebung in Y	8.1	mm	Stab Nr. 20707, x: 0.490 m
Max. Verschiebung in Z	-6.6	mm	Stab Nr. 20687, x: 0.490 m
Max. Verschiebung vektoriell	8.5	mm	Stab Nr. 20707, x: 0.490 m



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ 4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
Max. Verdrehung um X	-29.3	mrad	Stab Nr. 14071, x: 0.615 m
Max. Verdrehung um Y	6.5	mrad	FE-Netzknoten Nr. 8017 (X: 12.525, Y: 10.221, Z: -22.510 m)
Max. Verdrehung um Z	22.0	mrad	FE-Netzknoten Nr. 20284 (X: 7.601, Y: 9.128, Z: -18.830 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	13		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.598E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	5.994E+7663		
	15		
Unendlich-Norm	3.172E+14		

Lastkombination LK574 - Erwärmung außen - kombiniert - Ac. 1-12			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	4.2	mm	Stab Nr. 21016, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	-3.1	mm	FE-Netzknoten Nr. 402 (X: 11.855, Y: 7.351, Z: -7.358 m)
Max. Verschiebung in Z	-4.2	mm	Stab Nr. 12561, x: 0.000 m
Max. Verschiebung vektoriell	4.3	mm	Stab Nr. 21016, x: 0.207 m
Max. Verdrehung um X	-33.8	mrad	Stab Nr. 14071, x: 0.615 m
Max. Verdrehung um Y	6.5	mrad	FE-Netzknoten Nr. 8017 (X: 12.525, Y: 10.221, Z: -22.510 m)
Max. Verdrehung um Z	23.8	mrad	FE-Netzknoten Nr. 20284 (X: 7.601, Y: 9.128, Z: -18.830 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	16		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.599E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	1.469E+7663		
	09		
Unendlich-Norm	3.172E+14		

Lastkombination LK611 - Abkühlung außen - kombiniert - Ac. 1-3			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-3.3	mm	Stab Nr. 12541, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	-3.5	mm	Stab Nr. 20688, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	2.9	mm	Stab Nr. 20747, x: 0.490 m
Max. Verschiebung vektoriell	3.6	mm	Stab Nr. 20697, x: 0.490 m
Max. Verdrehung um X	3.1	mrad	Stab Nr. 8211, x: 0.662 m
Max. Verdrehung um Y	-3.1	mrad	FE-Netzknoten Nr. 8017 (X: 12.525, Y: 10.221, Z: -22.510 m)
Max. Verdrehung um Z	-3.2	mrad	Stab Nr. 2039, x: 0.066 m
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	12		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.612E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	3.374E+7663		
	35		
Unendlich-Norm	3.172E+14		

Lastkombination LK612 - Abkühlung außen - kombiniert - Ac. 1-6			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-4.2	mm	Stab Nr. 20718, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	-4.5	mm	Stab Nr. 20698, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	3.9	mm	Stab Nr. 20677, x: 0.490 m
Max. Verschiebung vektoriell	4.6	mm	Stab Nr. 20697, x: 0.490 m
Max. Verdrehung um X	11.7	mrad	Stab Nr. 14071, x: 0.615 m
Max. Verdrehung um Y	-7.9	mrad	Stab Nr. 6251, x: 0.662 m
Max. Verdrehung um Z	-9.0	mrad	FE-Netzknoden Nr. 20283 (X: 10.445, Y: 12.514, Z: -18.830 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	12		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.612E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	1.930E+7663		
	38		
Unendlich-Norm	3.172E+14		

Lastkombination LK613 - Abkühlung außen - kombiniert - Ac. 1-9

Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-3.3	mm	Stab Nr. 12561, x: 0.723 m
Max. Verschiebung in Y	-3.5	mm	Stab Nr. 20707, x: 0.490 m
Max. Verschiebung in Z	-2.9	mm	Stab Nr. 21014, x: 0.621 m
Max. Verschiebung vektoriell	3.7	mm	FE-Netzknoden Nr. 12641 (X: 13.560, Y: 8.925, Z: -25.290 m)
Max. Verdrehung um X	12.5	mrad	Stab Nr. 14071, x: 0.615 m
Max. Verdrehung um Y	-8.7	mrad	Stab Nr. 4220, x: 0.630 m
Max. Verdrehung um Z	-9.4	mrad	FE-Netzknoden Nr. 20284 (X: 7.601, Y: 9.128, Z: -18.830 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	12		
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.617E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	4.327E+7663		
	40		
Unendlich-Norm	3.172E+14		

Lastkombination LK614 - Abkühlung außen - kombiniert - Ac. 1-12

Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	0.00	kN	
Resultierende der Reaktionen um X	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:10.1, Y:10.0, Z:-15.7 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.0	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-1.8	mm	Stab Nr. 21016, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	1.3	mm	FE-Netzknoden Nr. 402 (X: 11.855, Y: 7.351, Z: -7.358 m)
Max. Verschiebung in Z	1.8	mm	Stab Nr. 12561, x: 0.000 m
Max. Verschiebung vektoriell	1.9	mm	Stab Nr. 21016, x: 0.207 m
Max. Verdrehung um X	14.5	mrad	Stab Nr. 14071, x: 0.615 m
Max. Verdrehung um Y	-9.9	mrad	Stab Nr. 4310, x: 0.630 m
Max. Verdrehung um Z	-10.1	mrad	FE-Netzknoden Nr. 20284 (X: 7.601, Y: 9.128, Z: -18.830 m)
Berechnungstheorie	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear, Timoshenko)
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...	<input checked="" type="checkbox"/>		N, V _y , V _z , M _y , M _z , M _T
Steifigkeitsreduzierung			Materialien, Querschnitte, Stäbe
Entlastende Wirkung der Zugkräfte berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LK-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	13		



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

■ 4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
Maximaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	1.270E+14		
Minimaler Wert des Elementes der Steifigkeitsmatrix auf der Diagonale	7.616E+02		
Determinante der Steifigkeitsmatrix	2.469E+7663		
Unendlich-Norm	45		
	3.172E+14		

Gesamt

Max. Verschiebung in X	-19.9	mm	LK303, Stab Nr. 10083, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Y	-20.3	mm	LK303, Stab Nr. 9082, x: 0.000 m
Max. Verschiebung in Z	31.6	mm	LK304, Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verschiebung vektoriell	31.6	mm	LK304, Stab Nr. 2102, x: 0.000 m
Max. Verdrehung um X	-91.2	mrad	LK304, Stab Nr. 2092, x: 0.873 m
Max. Verdrehung um Y	81.5	mrad	LK312, Stab Nr. 4261, x: 0.721 m
Max. Verdrehung um Z	24.6	mrad	LK302, FE-Netzknoden Nr. 10014 (X: 11.298, Y: 10.909, Z: -24.700 m)

Sonstige Einstellungen:

Anzahl 1D-Finite-Elemente	1486		
Anzahl 2D-Finite-Elemente	2924		
Anzahl 3D-Finite-Elemente	0		
Anzahl FE-Netzknoden	2927		
Anzahl der Gleichungen	17562		
Schnittgrößen bezogen auf verformtes System für...:			
Maximale Anzahl Iterationen	100		
Anzahl der Stabteilungen für Ergebnisverläufe	10		
Stabteilung Seil-, Bettungs- und Voutenstäbe	10		
Anzahl der Stabteilungen für das Suchen der Maximalwerte	10		
Unterteilungen des FE-Netztes für grafische Ergebnisse	0		
Prozentuelle Anzahl der Iterationen der Methode nach Picard kombiniert mit der Methode nach Newton-Raphson	5	%	
Ausfallende Stäbe berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		

Optionen:

Schubsteifigkeit (Ay, Az) der Stäbe aktivieren	<input checked="" type="checkbox"/>		
Stäbe bei Theorie III. Ordnung bzw. Durchschlagproblem teilen	<input type="checkbox"/>		
Die eingestellten Steifigkeitsänderungen aktivieren	<input checked="" type="checkbox"/>		
Rotationsfreiheitsgrade ignorieren	<input type="checkbox"/>		
Kontrolle der kritischen Kräfte der Stäbe	<input checked="" type="checkbox"/>		
Unsymmetrischer direkter Gleichungslöser, falls für nichtlineares Modell erfordert	<input type="checkbox"/>		
Lösungsmethode für das Gleichungssystem	Direkt		
Platten-Biegetheorie	Mindlin		
Solver-Version	32-bit		

Genauigkeit und Toleranz:

Standardeinstellung ändern	<input type="checkbox"/>		
----------------------------	--------------------------	--	--

Nichtlineare Effekte - Aktivieren:

Ausfallende Stäbe infolge des Stabtyps	<input checked="" type="checkbox"/>		
--	-------------------------------------	--	--

Reaktivierung der ausgefallenen Stäbe:

Verformung der ausgefallenen Stäbe überprüfen und ggf. diese reaktivieren	<input checked="" type="checkbox"/>		
Maximale Anzahl der Reaktivierungen	3		
Zusätzliche Einstellungen:			



RF-STAHL Flächen
FA1
BM KG-DZ - V+H

Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

1.1 BASISANGABEN

Zu bemessende Flächen 3-22,27-46,115-166,169,170,173-180,183-190,193-197,203-206,210,213-220,223-230,
233-237,243-246,250,253-260,263-270,273-278,388-395,408,409,416,417,424-429,
659-670

Zu bemessende Ergebniskombinationen: EK1 MAX Wind mit maxV
EK2 MAX Wind mit minV

1.2 MATERIALIEN

Material Nr.	Material Bezeichnung	Teilsich.-Beiwert $\gamma_M [-]$	Streckgrenze $f_{yk} [kN/cm^2]$	Grenzspannungen [kN/cm ²]				
				Manuell	grenz σ_x	grenz τ	grenz σ_v	grenz $\sigma_{v,m}$
1	Puddelstahl/Schweiß eisen - PROFILE	1.48	22.00	<input type="checkbox"/>	14.86	8.58	14.86	14.86
3	Puddelstahl/Schweiß eisen - BLECHE*	1.48	22.00	<input type="checkbox"/>	14.86	8.58	14.86	14.86

1.3 FLÄCHEN

Fläche Nr.	Material Nr.	Dicke		Fläche A [m ²]	Gewicht G [t]	Kommentar
		Typ	d [mm]			
3	3	Konstant	10.0	1.39	1.54	0.12
4	3	Konstant	10.0	0.74	1.67	0.13
5	3	Konstant	10.0	0.32	1.54	0.12
6	3	Konstant	10.0	0.99	1.67	0.13
7	3	Konstant	10.0	1.55	1.54	0.12
8	3	Konstant	10.0	0.76	1.61	0.13
9	3	Konstant	10.0	0.72	1.47	0.12
10	3	Konstant	10.0	2.06	1.67	0.13
11	3	Konstant	10.0	3.27	1.54	0.12
12	3	Konstant	10.0	1.00	1.67	0.13
13	3	Konstant	10.0	0.74	1.54	0.12
14	3	Konstant	10.0	1.92	1.67	0.13
15	3	Konstant	10.0	3.04	1.54	0.12
16	3	Konstant	10.0	0.90	1.61	0.13
17	3	Konstant	10.0	0.59	1.47	0.12
18	3	Konstant	10.0	1.40	1.67	0.13
19	3	Konstant	10.0	2.14	1.54	0.12
20	3	Konstant	10.0	0.73	1.67	0.13
21	3	Konstant	10.0	0.68	1.54	0.12
22	3	Konstant	10.0	1.41	1.67	0.13
27	3	Konstant	10.0	3.36	1.54	0.12
28	3	Konstant	10.0	0.90	1.67	0.13
29	3	Konstant	10.0	0.39	1.54	0.12
30	3	Konstant	10.0	1.06	1.67	0.13
31	3	Konstant	10.0	2.12	1.54	0.12
32	3	Konstant	10.0	0.72	1.61	0.13
33	3	Konstant	10.0	0.69	1.47	0.12
34	3	Konstant	10.0	2.24	1.67	0.13
35	3	Konstant	10.0	3.11	1.54	0.12
36	3	Konstant	10.0	0.89	1.67	0.13
37	3	Konstant	10.0	0.63	1.54	0.12
38	3	Konstant	10.0	1.32	1.67	0.13
39	3	Konstant	10.0	2.50	1.54	0.12
40	3	Konstant	10.0	0.83	1.61	0.13
41	3	Konstant	10.0	0.58	1.47	0.12
42	3	Konstant	10.0	1.11	1.67	0.13
43	3	Konstant	10.0	1.42	1.54	0.12
44	3	Konstant	10.0	0.53	1.67	0.13
45	3	Konstant	10.0	0.43	1.54	0.12
46	3	Konstant	10.0	0.75	1.67	0.13
115	3	Konstant	10.0	2.45	1.60	0.13
116	3	Konstant	10.0	0.59	1.75	0.14
117	3	Konstant	10.0	4.72	1.60	0.13
118	3	Konstant	10.0	1.64	1.75	0.14
119	3	Konstant	10.0	2.40	1.60	0.13
120	3	Konstant	10.0	1.03	1.75	0.14
121	3	Konstant	10.0	0.74	1.60	0.13
122	3	Konstant	10.0	1.57	1.75	0.14
123	3	Konstant	10.0	2.94	1.60	0.13
124	3	Konstant	10.0	0.83	1.75	0.14
125	3	Konstant	10.0	1.18	1.60	0.13
126	3	Konstant	10.0	0.81	1.75	0.14
127	3	Konstant	10.0	3.87	1.60	0.13
128	3	Konstant	10.0	1.30	1.75	0.14
129	3	Konstant	10.0	0.95	1.60	0.13
130	3	Konstant	10.0	1.28	1.75	0.14
131	3	Konstant	10.0	3.31	1.60	0.13
132	3	Konstant	10.0	0.62	1.75	0.14
133	3	Konstant	10.0	0.97	1.60	0.13
134	3	Konstant	10.0	1.11	1.75	0.14
135	3	Konstant	10.0	3.67	1.60	0.13
136	3	Konstant	10.0	0.89	1.75	0.14
137	3	Konstant	10.0	1.36	1.60	0.13
138	3	Konstant	10.0	1.03	1.75	0.14
139	3	Konstant	10.0	2.81	1.60	0.13
140	3	Konstant	10.0	0.95	1.75	0.14
141	3	Konstant	10.0	2.91	1.60	0.13
142	3	Konstant	10.0	1.56	1.75	0.14
143	3	Konstant	10.0	4.47	1.60	0.13
144	3	Konstant	10.0	1.46	1.75	0.14
145	3	Konstant	10.0	1.23	1.60	0.13



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

1.3 FLÄCHEN

Fläche Nr.	Material Nr.	Dicke		Fläche A [m²]	Gewicht		Kommentar
		Typ	d [mm]		G [t]		
146	3	Konstant	10,0	1,45	1,75	0,14	
147	3	Konstant	10,0	2,97	1,60	0,13	
148	3	Konstant	10,0	0,95	1,75	0,14	
149	3	Konstant	10,0	1,01	1,60	0,13	
150	3	Konstant	10,0	0,89	1,75	0,14	
151	3	Konstant	10,0	2,06	1,60	0,13	
152	3	Konstant	10,0	0,53	1,75	0,14	
153	3	Konstant	10,0	1,02	1,60	0,13	
154	3	Konstant	10,0	0,69	1,75	0,14	
155	3	Konstant	10,0	5,20	1,60	0,13	
156	3	Konstant	10,0	1,52	1,75	0,14	
157	3	Konstant	10,0	0,82	1,60	0,13	
158	3	Konstant	10,0	1,85	1,75	0,14	
159	3	Konstant	10,0	1,58	1,60	0,13	
160	3	Konstant	10,0	0,45	1,75	0,14	
161	3	Konstant	10,0	1,13	1,60	0,13	
162	3	Konstant	10,0	0,48	1,75	0,14	
163	3	Konstant	10,0	1,71	1,38	0,11	
164	3	Konstant	10,0	1,97	1,50	0,12	
165	3	Konstant	10,0	1,78	1,38	0,11	
166	3	Konstant	10,0	1,59	1,50	0,12	
169	3	Konstant	8,0	8,26	1,22	0,08	
170	3	Konstant	8,0	3,55	1,22	0,08	
173	3	Konstant	10,0	2,18	1,38	0,11	
174	3	Konstant	10,0	1,20	1,50	0,12	
175	3	Konstant	10,0	3,26	1,38	0,11	
176	3	Konstant	10,0	2,32	1,50	0,12	
177	3	Konstant	8,0	2,20	1,22	0,08	
178	3	Konstant	8,0	5,47	1,22	0,08	
179	3	Konstant	8,0	9,48	1,22	0,08	
180	3	Konstant	8,0	3,82	1,22	0,08	
183	3	Konstant	10,0	1,57	1,38	0,11	
184	3	Konstant	10,0	1,14	1,50	0,12	
185	3	Konstant	10,0	1,41	1,38	0,11	
186	3	Konstant	10,0	0,96	1,50	0,12	
187	3	Konstant	8,0	2,37	1,22	0,08	
188	3	Konstant	8,0	4,10	1,22	0,08	
189	3	Konstant	8,0	4,20	1,22	0,08	
190	3	Konstant	8,0	1,64	1,22	0,08	
193	3	Konstant	10,0	0,71	1,38	0,11	
194	3	Konstant	10,0	0,99	1,50	0,12	
195	3	Konstant	10,0	2,27	1,38	0,11	
196	3	Konstant	10,0	1,80	1,50	0,12	
197	3	Konstant	8,0	4,72	1,22	0,08	
203	3	Konstant	10,0	2,48	1,38	0,11	
204	3	Konstant	10,0	1,02	1,50	0,12	
205	3	Konstant	10,0	1,41	1,38	0,11	
206	3	Konstant	10,0	0,54	1,50	0,12	
210	3	Konstant	8,0	3,95	1,22	0,08	
213	3	Konstant	10,0	2,21	1,38	0,11	
214	3	Konstant	10,0	1,61	1,50	0,12	
215	3	Konstant	10,0	2,49	1,38	0,11	
216	3	Konstant	10,0	1,58	1,50	0,12	
217	3	Konstant	8,0	3,71	1,22	0,08	
218	3	Konstant	8,0	3,91	1,22	0,08	
219	3	Konstant	8,0	7,03	1,22	0,08	
220	3	Konstant	8,0	4,05	1,22	0,08	
223	3	Konstant	10,0	5,11	1,38	0,11	
224	3	Konstant	10,0	2,52	1,50	0,12	
225	3	Konstant	10,0	2,22	1,38	0,11	
226	3	Konstant	10,0	1,08	1,50	0,12	
227	3	Konstant	8,0	11,81	1,22	0,08	
228	3	Konstant	8,0	6,55	1,22	0,08	
229	3	Konstant	8,0	5,16	1,22	0,08	
230	3	Konstant	8,0	2,04	1,22	0,08	
233	3	Konstant	10,0	0,49	1,38	0,11	
234	3	Konstant	10,0	1,16	1,50	0,12	
235	3	Konstant	10,0	2,45	1,38	0,11	
236	3	Konstant	10,0	1,41	1,50	0,12	
237	3	Konstant	8,0	5,90	1,22	0,08	
243	3	Konstant	10,0	0,72	1,38	0,11	
244	3	Konstant	10,0	1,05	1,50	0,12	
245	3	Konstant	10,0	1,47	1,38	0,11	
246	3	Konstant	10,0	0,71	1,50	0,12	
250	3	Konstant	8,0	3,63	1,22	0,08	
253	3	Konstant	10,0	1,49	1,38	0,11	
254	3	Konstant	10,0	1,03	1,50	0,12	
255	3	Konstant	10,0	1,62	1,38	0,11	
256	3	Konstant	10,0	1,27	1,50	0,12	
257	3	Konstant	8,0	3,63	1,22	0,08	
258	3	Konstant	8,0	2,41	1,22	0,08	
259	3	Konstant	8,0	4,54	1,22	0,08	
260	3	Konstant	8,0	2,42	1,22	0,08	
263	3	Konstant	10,0	0,93	1,38	0,11	
264	3	Konstant	10,0	1,59	1,50	0,12	
265	3	Konstant	10,0	3,79	1,38	0,11	
266	3	Konstant	10,0	0,98	1,50	0,12	
267	3	Konstant	8,0	2,94	1,22	0,08	
268	3	Konstant	8,0	2,26	1,22	0,08	
269	3	Konstant	8,0	4,84	1,22	0,08	
270	3	Konstant	8,0	1,77	1,22	0,08	



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

1.3 FLÄCHEN

Fläche Nr.	Material Nr.	Dicke		Fläche A [m²]	Gewicht G [t]	Kommentar
		Typ	d [mm]			
273	3	Konstant	10.0	0.59	1.38	0.11
274	3	Konstant	10.0	1.20	1.50	0.12
275	3	Konstant	10.0	0.66	1.38	0.11
276	3	Konstant	10.0	1.32	1.50	0.12
277	3	Konstant	8.0	3.11	1.22	0.08
278	3	Konstant	8.0	5.86	1.22	0.08
388	3	Konstant	10.0	1.10	0.57	0.04
389	3	Konstant	10.0	0.81	0.58	0.05
390	3	Konstant	10.0	0.72	0.57	0.04
391	3	Konstant	10.0	0.86	0.58	0.05
392	3	Konstant	10.0	1.96	0.57	0.04
393	3	Konstant	10.0	1.26	0.58	0.05
394	3	Konstant	10.0	1.15	0.57	0.04
395	3	Konstant	10.0	1.75	0.58	0.05
408	3	Konstant	8.0	5.79	0.33	0.02
409	3	Konstant	8.0	10.71	0.33	0.02
416	3	Konstant	8.0	3.55	0.33	0.02
417	3	Konstant	8.0	3.52	0.33	0.02
424	3	Konstant	8.0	2.33	0.33	0.02
425	3	Konstant	8.0	5.51	0.33	0.02
426	3	Konstant	8.0	8.08	1.22	0.08
427	3	Konstant	8.0	12.85	1.22	0.08
428	3	Konstant	8.0	7.46	1.22	0.08
429	3	Konstant	8.0	6.84	1.22	0.08
659	3	Konstant	5.0	27.08	1.40	0.05
660	3	Konstant	5.0	22.58	1.41	0.06
661	3	Konstant	5.0	13.86	1.40	0.05
662	3	Konstant	5.0	15.71	1.40	0.05
663	3	Konstant	5.0	16.71	1.41	0.06
664	3	Konstant	5.0	17.31	1.40	0.05
665	3	Konstant	5.0	23.97	1.40	0.05
666	3	Konstant	5.0	19.27	1.41	0.06
667	3	Konstant	5.0	18.96	1.40	0.05
668	3	Konstant	5.0	24.00	1.40	0.05
669	3	Konstant	5.0	16.04	1.41	0.06
670	3	Konstant	5.0	18.92	1.40	0.05

2.2 SPANNUNGEN MATERIALWEISE

Material Nr.	Fläche Nr.	FE-Netzpunkt Nr.	Punktkoordinaten [m]			Belastung	Spannung [kN/cm²]			Ausnutzung [-]
			X	Y	Z		Symbol	Vorh.	Grenze	
3	Puddelstahl/Schweißbleisen - BLECHE*									
	659	8080	7.759	9.184	-22.510	EK1	τ_{max}	4.57	8.58	0.53
	661	8115	10.120	9.671	-22.510	EK1	$\sigma_{1,+}$	196.24	14.86	13.20
	664	8002	11.561	9.725	-22.510	EK1	$\sigma_{2,+}$	113.43	14.86	7.63
	659	8080	7.759	9.184	-22.510	EK1	$\sigma_{1,-}$	402.48	14.86	27.08
	670	8080	7.759	9.184	-22.510	EK1	$\sigma_{2,-}$	148.63	14.86	10.00
	428	5089	7.618	9.133	-18.830	EK2	$\sigma_{1,m}$	17.57	14.86	1.18
	428	5089	7.618	9.133	-18.830	EK2	$\sigma_{2,m}$	7.86	14.86	0.53
	659	8080	7.759	9.184	-22.510	EK1	$\sigma_{v,max}$	365.97	14.86	24.62
	278	6126	11.942	8.371	-18.830	EK1	$\sigma_{v,m}$	33.86	14.86	2.28

RF-STAHL Flächen
FA2
BM KG-DZ - Temp.

1.1 BASISANGABEN

Zu bemessende Flächen: 3-22,27-46,115-166,169,170,173-180,183-190,193-197,203-206,210,213-220,223-230,233-237,243-246,250,253-260,263-270,273-278,388-395,408,409,416,417,424-429,659-670
 Zu bemessende Ergebniskombinationen: EK521 Erwärmung/Abkühlung

1.2 MATERIALIEN

Material Nr.	Material Bezeichnung	Teilsich.-Beiwert γ_M [-]	Streckgrenze f_{yk} [kN/cm²]	Grenzspannungen [kN/cm²]				
				Manuell	grenz σ_x	grenz τ	grenz σ_v	grenz $\sigma_{v,m}$
1	Puddelstahl/Schweißbleisen - PROFILE	1.48	22.00	<input type="checkbox"/>	14.86	8.58	14.86	14.86
3	Puddelstahl/Schweißbleisen - BLECHE*	1.48	22.00	<input type="checkbox"/>	14.86	8.58	14.86	14.86

1.3 FLÄCHEN

Fläche Nr.	Material Nr.	Dicke		Fläche A [m²]	Gewicht G [t]	Kommentar
		Typ	d [mm]			
3	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
4	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
5	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
6	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
7	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
8	3	Konstant	10.0	1.61	0.13	
9	3	Konstant	10.0	1.47	0.12	
10	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
11	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
12	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
13	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

1.3 FLÄCHEN

Fläche Nr.	Material Nr.	Dicke		Fläche A [m²]	Gewicht G [t]	Kommentar
		Typ	d [mm]			
14	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
15	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
16	3	Konstant	10.0	1.61	0.13	
17	3	Konstant	10.0	1.47	0.12	
18	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
19	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
20	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
21	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
22	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
27	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
28	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
29	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
30	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
31	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
32	3	Konstant	10.0	1.61	0.13	
33	3	Konstant	10.0	1.47	0.12	
34	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
35	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
36	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
37	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
38	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
39	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
40	3	Konstant	10.0	1.61	0.13	
41	3	Konstant	10.0	1.47	0.12	
42	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
43	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
44	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
45	3	Konstant	10.0	1.54	0.12	
46	3	Konstant	10.0	1.67	0.13	
115	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
116	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
117	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
118	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
119	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
120	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
121	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
122	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
123	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
124	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
125	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
126	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
127	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
128	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
129	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
130	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
131	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
132	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
133	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
134	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
135	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
136	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
137	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
138	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
139	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
140	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
141	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
142	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
143	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
144	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
145	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
146	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
147	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
148	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
149	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
150	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
151	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
152	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
153	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
154	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
155	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
156	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
157	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
158	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
159	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
160	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
161	3	Konstant	10.0	1.60	0.13	
162	3	Konstant	10.0	1.75	0.14	
163	3	Konstant	10.0	1.38	0.11	
164	3	Konstant	10.0	1.50	0.12	
165	3	Konstant	10.0	1.38	0.11	
166	3	Konstant	10.0	1.50	0.12	
169	3	Konstant	8.0	1.22	0.08	
170	3	Konstant	8.0	1.22	0.08	
173	3	Konstant	10.0	1.38	0.11	
174	3	Konstant	10.0	1.50	0.12	
175	3	Konstant	10.0	1.38	0.11	
176	3	Konstant	10.0	1.50	0.12	
177	3	Konstant	8.0	1.22	0.08	
178	3	Konstant	8.0	1.22	0.08	
179	3	Konstant	8.0	1.22	0.08	
180	3	Konstant	8.0	1.22	0.08	



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

1.3 FLÄCHEN

Fläche Nr.	Material Nr.	Dicke		Fläche A [m²]	Gewicht G [t]	Kommentar
		Typ	d [mm]			
183	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
184	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
185	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
186	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
187	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
188	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
189	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
190	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
193	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
194	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
195	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
196	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
197	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
203	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
204	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
205	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
206	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
210	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
213	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
214	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
215	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
216	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
217	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
218	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
219	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
220	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
223	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
224	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
225	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
226	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
227	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
228	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
229	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
230	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
233	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
234	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
235	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
236	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
237	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
243	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
244	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
245	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
246	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
250	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
253	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
254	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
255	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
256	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
257	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
258	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
259	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
260	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
263	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
264	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
265	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
266	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
267	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
268	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
269	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
270	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
273	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
274	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
275	3	Konstant	10,0	1,38	0,11	
276	3	Konstant	10,0	1,50	0,12	
277	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
278	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
388	3	Konstant	10,0	0,57	0,04	
389	3	Konstant	10,0	0,58	0,05	
390	3	Konstant	10,0	0,57	0,04	
391	3	Konstant	10,0	0,58	0,05	
392	3	Konstant	10,0	0,57	0,04	
393	3	Konstant	10,0	0,58	0,05	
394	3	Konstant	10,0	0,57	0,04	
395	3	Konstant	10,0	0,58	0,05	
408	3	Konstant	8,0	0,33	0,02	
409	3	Konstant	8,0	0,33	0,02	
416	3	Konstant	8,0	0,33	0,02	
417	3	Konstant	8,0	0,33	0,02	
424	3	Konstant	8,0	0,33	0,02	
425	3	Konstant	8,0	0,33	0,02	
426	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
427	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
428	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
429	3	Konstant	8,0	1,22	0,08	
659	3	Konstant	5,0	1,40	0,05	
660	3	Konstant	5,0	1,41	0,06	
661	3	Konstant	5,0	1,40	0,05	
662	3	Konstant	5,0	1,40	0,05	
663	3	Konstant	5,0	1,41	0,06	
664	3	Konstant	5,0	1,40	0,05	
665	3	Konstant	5,0	1,40	0,05	



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

1.3 FLÄCHEN

Fläche Nr.	Material Nr.	Dicke		Fläche A [m²]	Gewicht G [t]	Kommentar
		Typ	d [mm]			
666	3	Konstant	5.0	1.41	0.06	
667	3	Konstant	5.0	1.40	0.05	
668	3	Konstant	5.0	1.40	0.05	
669	3	Konstant	5.0	1.41	0.06	
670	3	Konstant	5.0	1.40	0.05	

2.2 SPANNUNGEN MATERIALWEISE

Material Nr.	Fläche Nr.	FE-Netzpunkt Nr.	Punktkoordinaten [m]			Belastung	Spannung [kN/cm²]			Ausnutzung [-]
			X	Y	Z		Symbol	Vorh.	Grenze	
3			Puddelstahl/Schweißeisen - BLECHE*							
	429	5099	8.371	8.058	-18.830	EK521	τ_{max}	2.27	8.58	0.26
	427	5059	9.133	12.382	-18.830	EK521	$\sigma_{1,+}$	104.80	14.86	7.05
	429	5099	8.371	8.058	-18.830	EK521	$\sigma_{2,+}$	76.88	14.86	5.17
	427	5059	9.133	12.382	-18.830	EK521	$\sigma_{1,-}$	177.24	14.86	11.92
	429	5099	8.371	8.058	-18.830	EK521	$\sigma_{2,-}$	128.21	14.86	8.63
	428	5089	7.618	9.133	-18.830	EK521	$\sigma_{1,m}$	30.50	14.86	2.05
	428	5089	7.618	9.133	-18.830	EK521	$\sigma_{2,m}$	13.24	14.86	0.89
	427	5059	9.133	12.382	-18.830	EK521	$\sigma_{v,max}$	160.69	14.86	10.81
	428	5089	7.618	9.133	-18.830	EK521	$\sigma_{v,m}$	46.13	14.86	3.10



RF-STAHL Stäbe
FA1
Hauptstützen

Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

1.1.1 BASISANGABEN

Zu bemessende Stäbe: 1-4,1010,1020,1030,1040,1050,1060,1070,1080,1090,1100,1110,1120,3010,3020,3030,3040,3050,3060,3070,3080,3090,3100,3110,3120,5010,5020,5030,5040,5050,5060,5070,5080,5090,5100,5110,5120,7010,7020,7030,7040,7050,7060,7070,7080,7090,7100,7110,7120,21007-21010,21022,21023
1-12

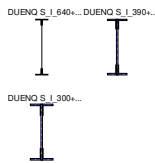
Zu bemessende Stabsätze:

Zu bemessende Ergebniskombinationen: EK1 MAX Wind mit maxV
EK2 MAX Wind mit minV

1.2 MATERIALIEN

Matl. Nr.	Material-Bezeichnung	Teilsich.-Faktor $\gamma_M [-]$	Streckgrenze $f_{yk} [kN/cm^2]$	Manuell	Grenzspannungen [kN/cm ²]		
					grenz σ_x	grenz τ	grenz σ_v
1	Puddelstahl/Schweißbeisen - PROFILE	1.48	22.00	<input type="checkbox"/>	14.86	8.58	14.86

1.3.1 QUERSCHNITTE



Quer. Nr.	Matl. Nr.	Querschnitt Bezeichnung	$I_t [cm^4]$	$I_y [cm^4]$	$I_z [cm^4]$	Kommentar
			A [cm ²]	$\alpha_{pl,y}$	$\alpha_{pl,z}$	
5	1	DUENQ S_I_640+4L65	16.26	49239.70	312.05	
			85.99	1.21	1.95	
7	1	DUENQ S_I_390+4L65	11.99	14929.50	310.99	
			65.99	1.20	1.87	
10	1	DUENQ S_I_300+4L60	5.31	6338.68	200.87	
			45.63	1.19	1.81	

2.1 SPANNUNGEN QUERSCHNITTSWEISE

Quer. Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Lastfall	Spannungsart	Spannung [kN/cm ²]		Ausnutzung
						Vorhanden	Limit	
5	DUENQ S_I_640+4L65							
	1030	0.000	66	EK1	Sigma gesamt	-5.94	14.86	0.40
	1030	0.000	3	EK1	Tau gesamt	-0.65	8.58	0.08
	1030	0.000	66	EK1	Sigma-v	5.95	14.86	0.40
7	DUENQ S_I_390+4L65							
	3040	0.000	35	EK1	Sigma gesamt	-2.52	14.86	0.17
	3110	3.937	3	EK1	Tau gesamt	0.20	8.58	0.02
	3040	0.000	3	EK1	Sigma-v	2.52	14.86	0.17
10	DUENQ S_I_300+4L60							
	2	0.500	66	EK1	Sigma gesamt	-8.36	14.86	0.56
	4	0.500	3	EK1	Tau gesamt	-1.80	8.58	0.21
	2	0.500	66	EK1	Sigma-v	8.36	14.86	0.56



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

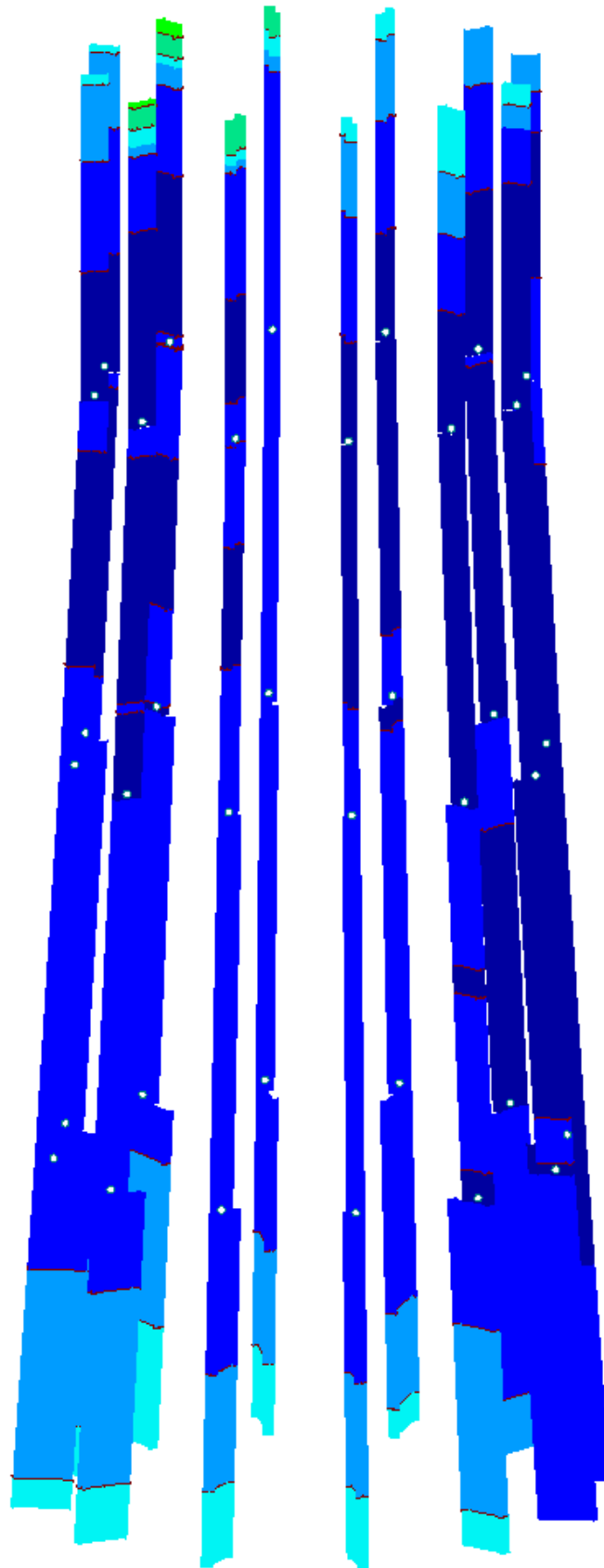
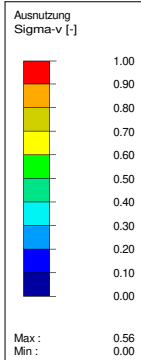
Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

Datum: 11.06.2019

AUSNUTZUNG Sigma-v

RF-STAHL Stäbe FA1

Isometrie



Max Sigma-v: 0.56, Min Sigma-v: 0.00



RF-STAHL Stäbe
FA10
D0 - Decke über KG

Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

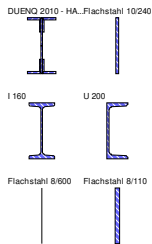
1.1.1 BASISANGABEN

Zu bemessende Stäbe:	2010,2019-2021,2025,2029,2030,2039,2040,2049-2051, 2055,2059,2060,2069,2070,2079-2082,2085,2089-2092, 2099,2101,2102,2109-2112,2115,2119,2120,2129,21037	
Zu bemessende Ergebniskombinationen:	EK1 EK2	MAX Wind mit maxV MAX Wind mit minV

1.2 MATERIALIEN

Matl. Nr.	Material-Bezeichnung	Teilsich.-Faktor $\gamma_M [-]$	Streckgrenze $f_{yk} [kN/cm^2]$	Manuell	Grenzspannungen [kN/cm ²]		
					grenz σ_x	grenz τ	grenz σ_v
1	Puddelstahl/Schweißeisen - PROFILE	1.48	22.00	<input type="checkbox"/>	14.86	8.58	14.86

1.3.1 QUERSCHNITTE



Quer. Nr.	Matl. Nr.	Querschnitt Bezeichnung	$I_t [cm^4]$ A [cm ²]	$I_y [cm^4]$ $\alpha_{pl,y}$	$I_z [cm^4]$ $\alpha_{pl,z}$	Kommentar
1	1	DUENQ 2010 - HAUPTTRÄGER	16.87 69.91	8454.75 1.20	496.80 1.80	
2	1	Flachstahl 10/240	7.79 24.00	1152.00 1.50	2.00 1.50	
3	1	I 160	6.57 22.80	935.00 1.16	54.70 1.86	
4	1	U 200	11.90 32.20	1910.00 1.07	148.00 1.92	
29	1	Flachstahl 8/600	10.15 48.00	14400.00 1.50	2.56 1.50	
30	1	Flachstahl 8/110	1.79 8.80	88.73 1.50	0.47 1.50	

2.1 SPANNUNGEN QUERSCHNITTSWEISE

Quer. Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Lastfall	Spannungsart	Spannung [kN/cm ²]		Ausnutzung
						Vorhanden	Limit	
1	DUENQ 2010 - HAUPTTRÄGER							
	2112	1.336	12	EK1	Sigma gesamt	13.48	14.86	0.91
	2111	0.000	53	EK1	Tau gesamt	3.72	8.58	0.43
2	Flachstahl 10/240							
	2049	0.000	1	EK1	Sigma gesamt	-7.43	14.86	0.50
	2129	0.133	1	EK1	Tau gesamt	-0.53	8.58	0.06
3	I 160							
	2090	1.030	6	EK1	Sigma gesamt	13.21	14.86	0.89
	2090	0.000	13	EK1	Tau gesamt	2.91	8.58	0.34
4	U 200							
	2102	0.000	1	EK1	Sigma gesamt	-2.45	14.86	0.16
	2102	0.000	3	EK1	Tau gesamt	-6.54	8.58	0.76
29/30	Flachstahl 8/600 - Flachstahl 8/110							
	2110	0.200	2	EK1	Sigma gesamt	7.99	14.86	0.54
	2110	0.400	1	EK1	Tau gesamt	4.07	8.58	0.47
	2110	0.200	2	EK1	Sigma-v	8.27	14.86	0.56



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

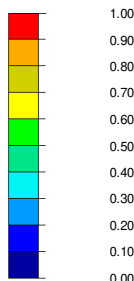
Datum: 11.06.2019

■ **AUSNUTZUNG Sigma-v**

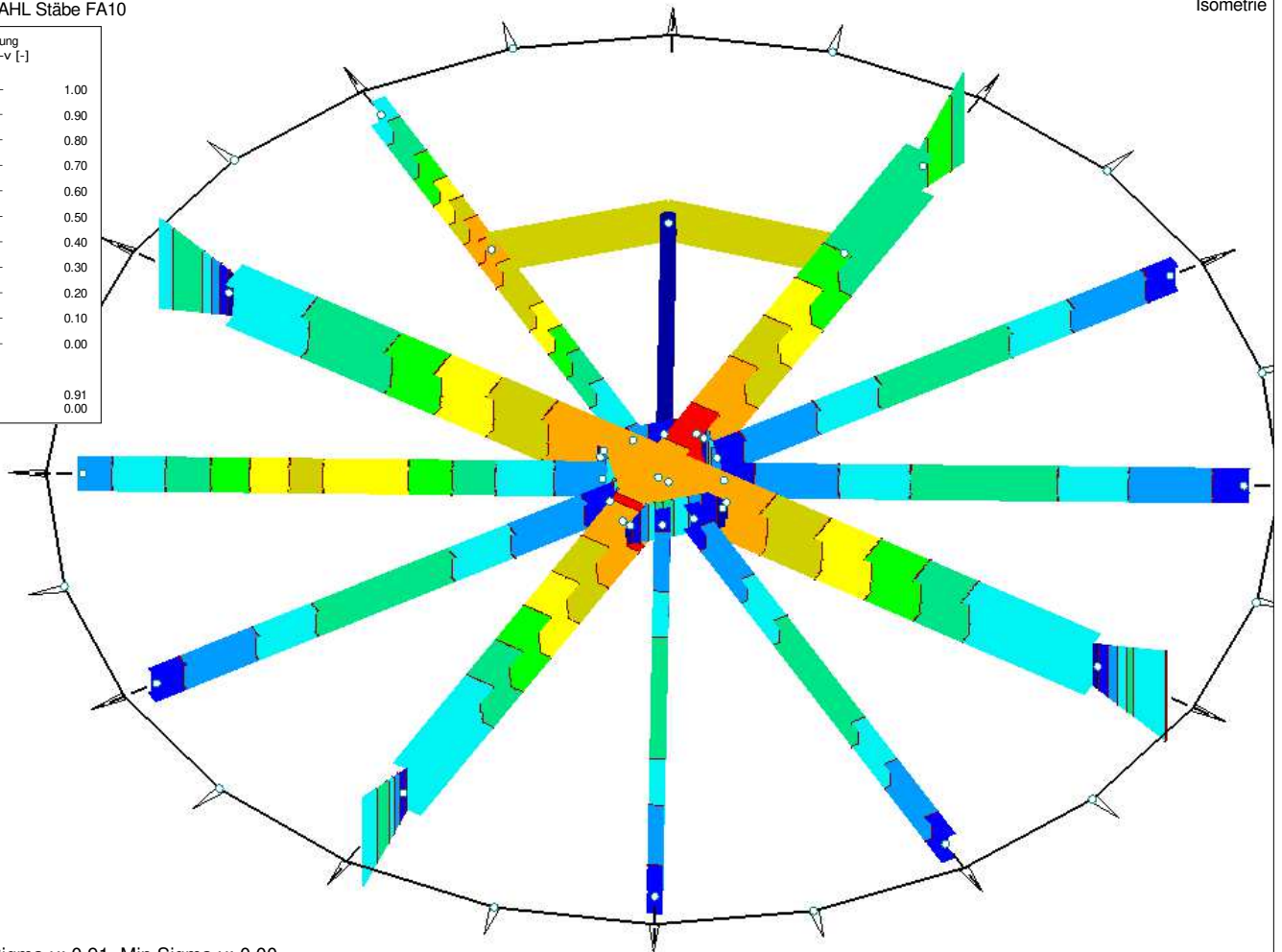
RF-STAHL Stäbe FA10

Isometrie

Ausnutzung
Sigma-v [-]



Max : 0.91
Min : 0.00



Max Sigma-v: 0.91, Min Sigma-v: 0.00

RF-STAHL Stäbe

FA11

D1 - Decke über SZ

■ **1.1.1 BASISANGABEN**

Zu bemessende Stäbe:

3019,3029,3039,3049,3059,3069,3079,3089,3099,3109,
3119,3129,4011,4021,4022,4025,4029,4031,4039,4041,
4049,4051,4052,4055,4059,4061,4069,4071,4079,4081,
4082,4085,4089,4091-4093,4099,4102,4103,4109,
4111-4113,4115,4119,4121,4129,4139,21036,21040

Zu bemessende Ergebniskombinationen:

EK1
EK2

MAX Wind mit maxV
MAX Wind mit minV

■ **1.2 MATERIALIEN**

Matl. Nr.	Material-Bezeichnung	Teilsich.-Faktor γ_M [-]	Streckgrenze f_{yk} [kN/cm ²]	Manuell	Grenzspannungen [kN/cm ²]		
					grenz σ_x	grenz τ	grenz σ_v
1	Puddelstahl/Schweißeisen - PROFILE	1.48	22.00	<input type="checkbox"/>	14.86	8.58	14.86

■ **1.3.1 QUERSCHNITTE**

Quer. Nr.	Matl. Nr.	Querschnitt Bezeichnung	I_t [cm ⁴] A [cm ²]	I_y [cm ⁴] $\alpha_{pl,y}$	I_z [cm ⁴] $\alpha_{pl,z}$	Kommentar
2	1	Flachstahl 10/240	7.79	1152.00	2.00	
			24.00	1.50	1.50	
3	1	I 160	6.57	935.00	54.70	
			22.80	1.16	1.86	
4	1	U 200	11.90	1910.00	148.00	
			32.20	1.07	1.92	
6	1	DUENQ HT_I_230+4L60	4.80	3360.34	200.74	
			41.43	1.20	1.79	
31	1	Flachstahl 6/90	0.62	36.45	0.16	
			5.40	1.50	1.50	

Flachstahl 10/240 I 160

U 200

DUENQ HT_I_230...

Flachstahl 6/90

Flachstahl 6/90



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

1.3.1 QUERSCHNITTE

Quer. Nr.	Matl. Nr.	Querschnitt Bezeichnung	I_x [cm ⁴] A [cm ²]	I_y [cm ⁴] $\alpha_{pl,y}$	I_z [cm ⁴] $\alpha_{pl,z}$	Kommentar
32	1	Flachstahl 6/350	2.49 21.00	2143.75 1.50	0.63 1.50	

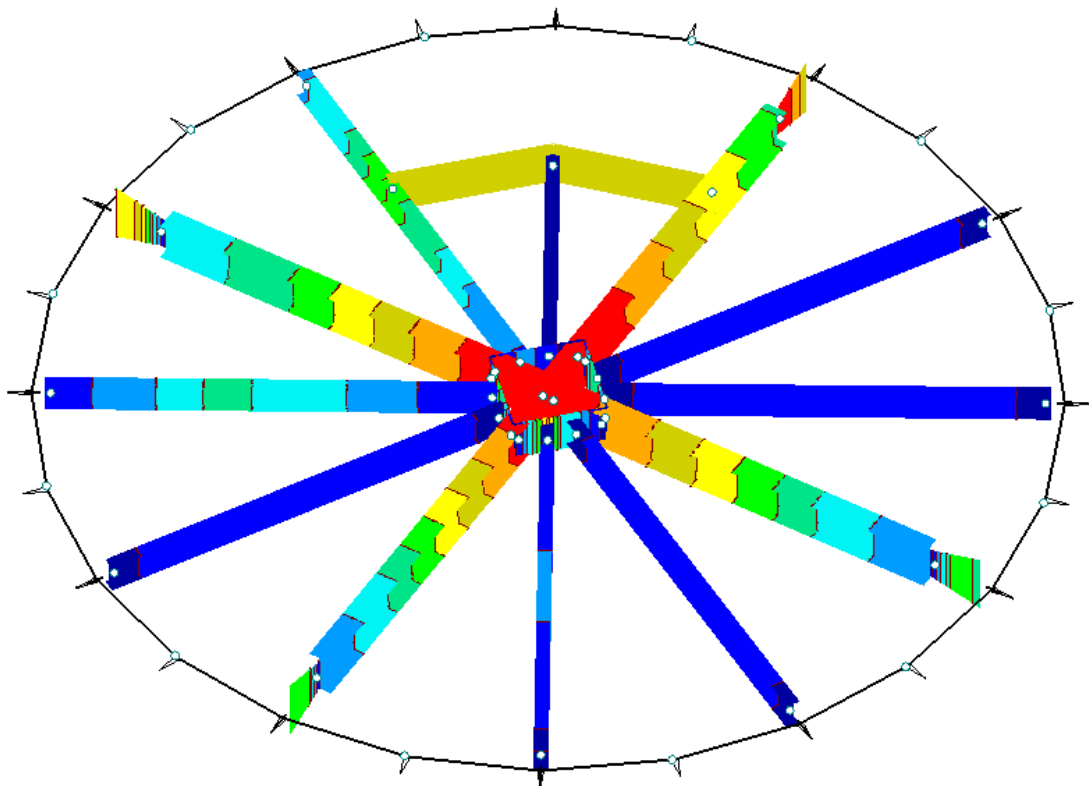
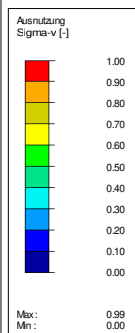
2.1 SPANNUNGEN QUERSCHNITTSWEISE

Quer. Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Lastfall	Spannungsart	Spannung [kN/cm ²]		Ausnutzung
						Vorhanden	Limit	
2	Flachstahl 10/240							
	4049	0.000	1	EK1	Sigma gesamt	-10.97	14.86	0.74
	4129	0.133	1	EK1	Tau gesamt	-0.61	8.58	0.07
3	I 160							
	4091	0.879	6	EK1	Sigma gesamt	8.55	14.86	0.58
	4091	0.000	13	EK1	Tau gesamt	2.45	8.58	0.29
4	U 200							
	4091	0.879	6	EK1	Sigma-v	8.93	14.86	0.60
	4103	0.000	1	EK1	Sigma gesamt	-2.13	14.86	0.14
6	DUENQ HT I 230+4L60							
	4093	0.873	3	EK1	Tau gesamt	6.42	8.58	0.75
	4093	0.873	4	EK1	Sigma-v	11.19	14.86	0.75
32/31	Flachstahl 6/350 - Flachstahl 6/90							
	4113	1.336	72	EK1	Sigma gesamt	-14.56	14.86	0.98
	4112	0.000	5	EK1	Tau gesamt	4.17	8.58	0.49
32/31	Flachstahl 6/350 - Flachstahl 6/90							
	4113	1.336	72	EK1	Sigma-v	14.65	14.86	0.99
	4111	0.150	4	EK1	Sigma gesamt	-12.09	14.86	0.81
32/31	Flachstahl 6/350 - Flachstahl 6/90							
	4111	0.300	1	EK1	Tau gesamt	7.98	8.58	0.93
	4111	0.300	3	EK1	Sigma-v	13.84	14.86	0.93

AUSNUTZUNG Sigma-v

RF-STAHL Stäbe FA11

Isometrie



Max Sigma-v: 0.99, Min Sigma-v: 0.00

RF-STAHL Stäbe
FA12
D2 - Decke über Kü

1.1.1 BASISANGABEN

Zu bemessende Stäbe:

5-7,5009,5019,5029,5039,5049,5059,5069,5079,5089,5099,
5119,5129,6011,6021,6022,6025,6029,6031,6039,6041,
6048,6049,6051,6052,6055,6059,6061,6069,6071,6079,
6081-6083,6085,6088,6089,6091-6093,6099,6102,6103,6



Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

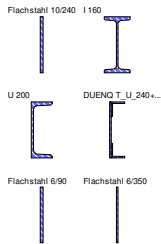
1.1.1 BASISANGABEN

Zu bemessende Ergebniskombinationen:	EK1 EK2	6109,6111-6113,6115,6119,6121,6128,6129,6139,12031, 12071,12081,12111,12121,14031,14071,14081,14111,14121, 16031,16071,16081,16111,16121,21018,21019,21024,21025, 21028,21029	MAX Wind mit maxV MAX Wind mit minV
--------------------------------------	------------	--	--

1.2 MATERIALIEN

Matl. Nr.	Material-Bezeichnung	Teilsich.-Faktor $\gamma_M [-]$	Streckgrenze $f_{yk} [kN/cm^2]$	Grenzspannungen [kN/cm ²]			
				Manuell	grenz σ_x	grenz τ	grenz σ_v
1	Puddelstahl/Schweißbeisen - PROFILE	1.48	22.00	<input type="checkbox"/>	14.86	8.58	14.86

1.3.1 QUERSCHNITTE



Quer. Nr.	Matl. Nr.	Querschnitt Bezeichnung	$I_t [cm^4]$ A [cm ²]	$I_y [cm^4]$ $\alpha_{pl,y}$	$I_z [cm^4]$ $\alpha_{pl,z}$	Kommentar
2	1	Flachstahl 10/240	7.79 24.00	1152.00 1.50	2.00 1.50	
3	1	I 160	6.57 22.80	935.00 1.16	54.70 1.86	
4	1	U 200	11.90 32.20	1910.00 1.07	148.00 1.92	
11	1	DUENQ T_U_240+2L60	5.60 33.02	2436.63 1.27	81.62 2.08	
31	1	Flachstahl 6/90	0.62 5.40	36.45 1.50	0.16 1.50	
32	1	Flachstahl 6/350	2.49 21.00	2143.75 1.50	0.63 1.50	

2.1 SPANNUNGEN QUERSCHNITTSWEISE

Quer. Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Lastfall	Spannungsart	Spannung [kN/cm ²]		Ausnutzung
						Vorhanden	Limit	
2	Flachstahl 10/240							
	6128	0.066	4	EK1	Sigma gesamt	18.43	14.86	1.24
	6129	0.066	1	EK1	Tau gesamt	-0.29	8.58	0.03
3	I 160							
	6031	0.852	10	EK1	Sigma gesamt	1.97	14.86	0.13
	6071	2.129	13	EK1	Tau gesamt	-0.45	8.58	0.05
4	U 200							
	6093	0.769	6	EK1	Sigma gesamt	1.31	14.86	0.09
	6103	0.000	4	EK1	Tau gesamt	-2.54	8.58	0.30
11	DUENQ T_U_240+2L60							
	12031	0.000	18	EK1	Sigma gesamt	-11.41	14.86	0.77
	12071	0.615	3	EK1	Tau gesamt	-2.49	8.58	0.29
32/31	Flachstahl 6/350 - Flachstahl 6/90							
	6111	0.125	3	EK1	Sigma gesamt	-6.48	14.86	0.44
	6111	0.250	1	EK1	Tau gesamt	3.09	8.58	0.36
	6111	0.125	3	EK1	Sigma-v	6.76	14.86	0.45



Projekt: GA218014a

LT Roter Sand

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

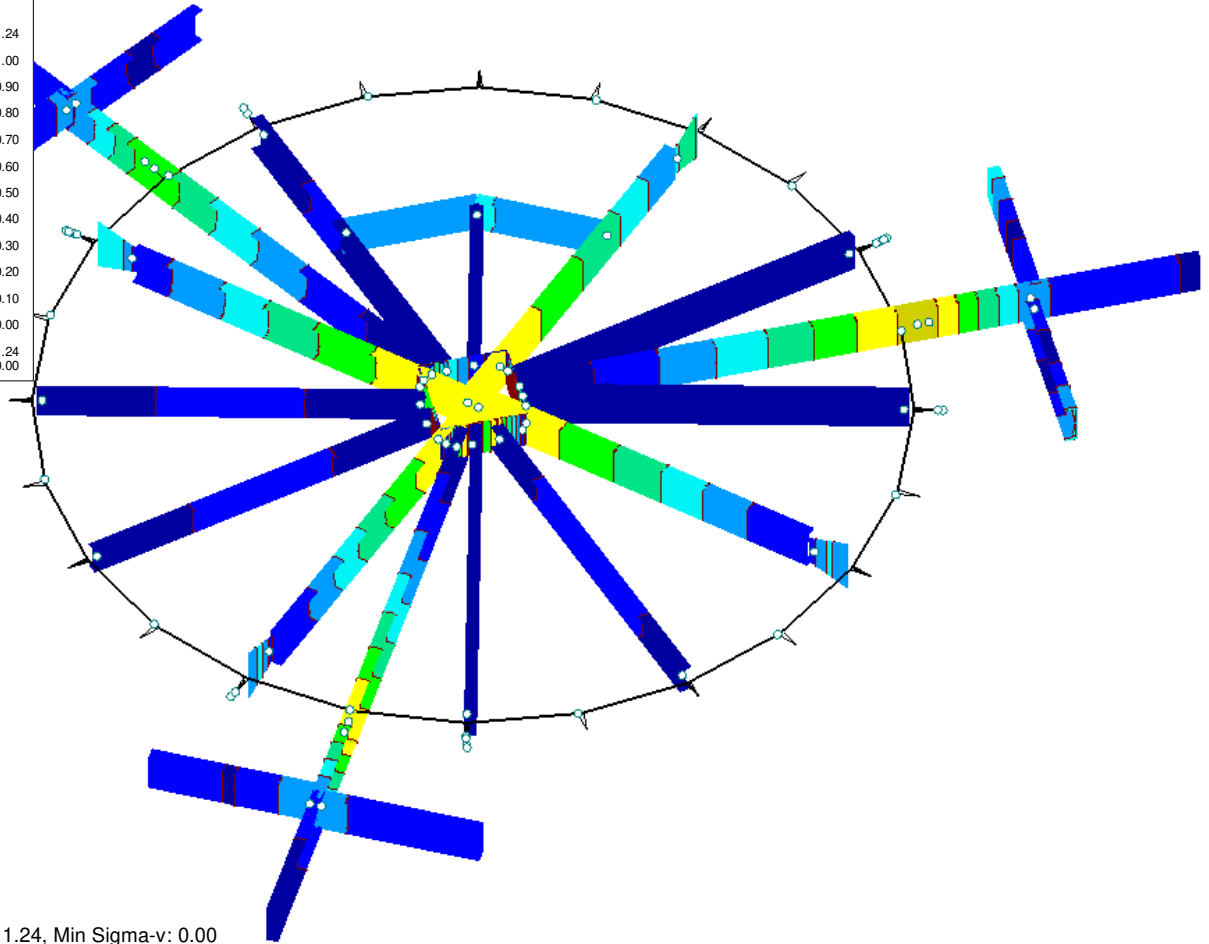
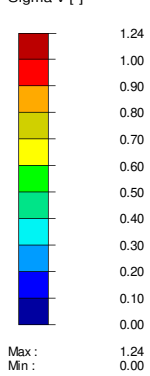
Datum: 11.06.2019

■ **AUSNUTZUNG Sigma-v**

RF-STAHL Stäbe FA12

Isometrie

Ausnutzung
Sigma-v [-]



Max Sigma-v: 1.24, Min Sigma-v: 0.00

RF-STAHL Stäbe
FA13
D3 - Decke über DZ

■ **1.1.1 BASISANGABEN**

Zu bemessende Stäbe:

7009,7019,7029,7039,7049,7059,7069,7079,7089,7099,
7119,7129,8011-8014,8021-8025,8029,8031-8034,8039,
8041-8044,8049,8051-8055,8059,8061-8064,8069,8071-8074,
8079,8081-8085,8089,8091-8094,8099,8101-8104,8109,
8111-8115,8119,8121-8124,8129,8139,21020,21021,21026,
21027,21030,21031

Zu bemessende Ergebniskombinationen:

EK1
EK2

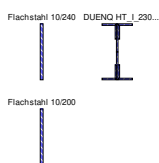
MAX Wind mit maxV
MAX Wind mit minV

■ **1.2 MATERIALIEN**

Matl. Nr.	Material-Bezeichnung	Teilsich.-Faktor γ_M [-]	Streckgrenze f_{yk} [kN/cm ²]	Manuell	Grenzspannungen [kN/cm ²]		
					grenz σ_x	grenz τ	grenz σ_v
1	Puddelstahl/Schweißbeisen - PROFILE	1.48	22.00	<input type="checkbox"/>	14.86	8.58	14.86

■ **1.3.1 QUERSCHNITTE**

Quer. Nr.	Matl. Nr.	Querschnitt Bezeichnung	I_x [cm ⁴] A [cm ²]	I_y [cm ⁴] $\alpha_{pl,y}$	I_z [cm ⁴] $\alpha_{pl,z}$	Kommentar
2	1	Flachstahl 10/240	7.79	1152.00	2.00	
			24.00	1.50	1.50	
6	1	DUENQ HT_I_230+4L60	4.80	3360.34	200.74	
			41.43	1.20	1.79	
16	1	Flachstahl 10/200	6.46	666.67	1.67	
			20.00	1.50	1.50	





Projekt: GA218014a

Modell: Stahlkonstruktion-Schale 190605

Datum: 11.06.2019

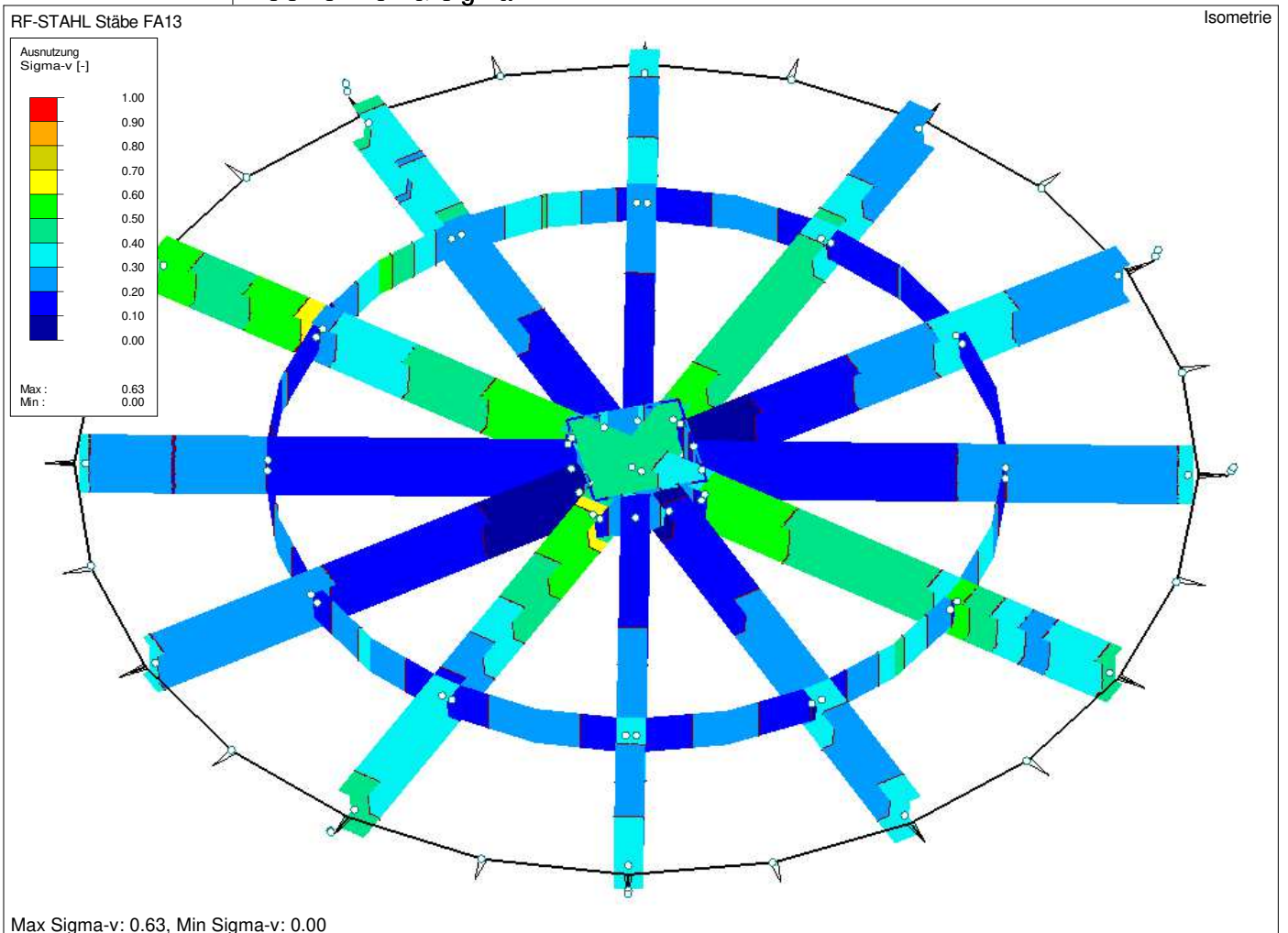
LT Roter Sand

Stützen ungeschwächt, Deckblech ergänzt,
Rahmenecken als Vouten bzw. Gelenke

2.1 SPANNUNGEN QUERSCHNITTWEISE

Quer. Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Lastfall	Spannungsart	Spannung [kN/cm ²]		Ausnutzung
						Vorhanden	Limit	
2	Flachstahl 10/240							
	8049	0.000	3	EK1	Sigma gesamt	5.92	14.86	0.40
	8079	0.000	1	EK1	Tau gesamt	-0.72	8.58	0.08
6	DUENQ HT I 230+4L60							
	8081	0.800	41	EK1	Sigma gesamt	9.39	14.86	0.63
	8091	0.800	5	EK1	Tau gesamt	3.48	8.58	0.41
16	Flachstahl 10/200							
	8084	0.000	4	EK1	Sigma gesamt	8.27	14.86	0.56
	8014	0.000	1	EK1	Tau gesamt	0.56	8.58	0.07
	8084	0.000	4	EK1	Sigma-v	8.28	14.86	0.56

AUSNUTZUNG Sigma-v



Kombinierter Biegedrillknicknachweis nach DIN EN 1993-1-1 (6.3.3)

Bemessungsschnittgrößen:

$\max N_d =$	<input type="text" value="370,0"/>	kN	$M_{z,d,a} =$	<input type="text" value="0,0"/>	kNm
$M_{y,d,a} =$	<input type="text" value="20,0"/>	kNm	$M_{z,d,f} =$	<input type="text" value="1,0"/>	kNm
$M_{y,d,f} =$	<input type="text" value="52,0"/>	kNm	$M_{z,d,e} =$	<input type="text" value="0,0"/>	kNm
$M_{y,d,e} =$	<input type="text" value="55,0"/>	kNm	$0,36 M_{z,d,max} =$	<input type="text" value="1,0"/>	kNm
$M_{y,d,max} =$	<input type="text" value="55,0"/>	kNm			

Momente für den kombinierten Nachweis:

$M_{y,d,h} =$	<input type="text" value="55,0"/>	kNm	$M_{z,d,h} =$	<input type="text" value="0,0"/>	kNm
$M_{y,d,s} =$	<input type="text" value="52,0"/>	kNm	$M_{z,d,s} =$	<input type="text" value="1,0"/>	kNm
$M_{LT,d,h} =$	<input type="text" value="55,0"/>	kNm			
$M_{LT,d,s} =$	<input type="text" value="52,0"/>	kNm			

Momentenverhältnisse:

$\psi_2 =$	<input type="text" value="0,36"/>	$\psi_3 =$	<input type="text" value="1,00"/>
------------	-----------------------------------	------------	-----------------------------------

Lastart:

Teilsicherheitsbeiwert:

$\gamma_{M1} =$

Systemkenngrößen:

$I_y =$	<input type="text" value="3,90"/>	m	$I_z =$	<input type="text" value="2,30"/>	m
$\beta_y =$	<input type="text" value="1"/>		$\beta_z =$	<input type="text" value="0,7"/>	

Profil: GeSchw_I 640_138_8_8
 Profilform: geschweißt I-Profil
 Verdrehsteifigkeit:

Material: → $f_y =$ N/mm²
 $E =$ kN/cm²

Materialbeiwert: $\epsilon =$
 $\epsilon =$

Querschnittswerte:

$h =$	<input type="text" value="640"/>	mm	$t =$	<input type="text" value="#NV"/>	mm
$h_1 =$	<input type="text" value="#NV"/>	mm	$s =$	<input type="text" value="#NV"/>	mm
$b =$	<input type="text" value="138"/>	mm	$A =$	<input type="text" value="85,99"/>	cm ²
$z_s =$	<input type="text" value="0"/>	cm	$i_z =$	<input type="text" value="1,90497"/>	cm
$i_y =$	<input type="text" value="23,929506"/>	cm	$I_T =$	<input type="text" value="16,26"/>	cm ⁴
$I_w =$	<input type="text" value="349905,01"/>	cm ⁴			

Flächenträgheitsmoment 2. Grades:

$$I_y = 49239,7 \text{ N/mm}^2$$

$$I_z = 312,05 \text{ N/mm}^2$$

Querschnittsklasse: 4

Widerstand in Abhängigkeit von QKL:

$$N_{y,Rk} = 1891,78 \text{ kN}$$

$$W_y = 1538,7406 \text{ cm}^3$$

$$M_{y,Rk} = 338,52 \text{ kNm}$$

$$W_z = 45,22464 \text{ cm}^3$$

$$M_{z,Rk} = 9,95 \text{ kNm}$$

Abminderungsfaktoren BK

Knicklänge:

$$L_{cr,y} = 3,9 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 1,61 \text{ m}$$

Schlankheitsgrad:

$$\lambda_{quer,y} = 0,17$$

$$\lambda_{quer,z} = 0,87$$

mit $\lambda_1 = 97,05$

Knicklinie: $h/b = 4,64$

→ b

→ c

Imperfektionswert:

$$\alpha_y = 0,34$$

$$\alpha_z = 0,49$$

$$\phi_y = 0,51$$

$$\phi_z = 1,04$$

Abminderungsfaktor:

$$\chi_y = 1,01$$

$$\chi_z = 0,62$$

Abminderungsfaktor BDK

Verzweigungslasten:

$$N_{cr} = 2376 \text{ kN}$$

$$M_{cr} = 895,6 \text{ kNm}$$

mit Trägheitsradius
Momentenbeiwert

$$c^2 = 1174,0$$

$$\xi = 1,10$$

Schlankheitsgrad: $\lambda_{LT} = 0,61$

Berechnung nach: -1-1 (6.3.2.3) → Tab. 6.5

Knicklinie: $h/b = 4,64$ → d

Imperfektionsbeiwert:

$$\alpha_{LT} = 0,76$$

mit $\beta = 0,75$

$$\phi_{LT} = 0,72$$

$$\lambda_{LT0} = 0,4$$

Abminderungsfaktor: $\chi_{LT} = 0,82 < 1,00$ und $2,65$

Korrekturbeiwert: $k_c = 1,00$

Modifizierung: $\chi_{LTmod} = 0,82$ mit $f = 1,00$

Äquivalente Momentenbeiwerte:

SBT Tafel 8.40
 $C_{my} = 0,956$
 $C_{mz} = 0,900$
 $C_{mLT} = 0,956$

Interaktionsbeiwerte:

$k_{yy} = 0,98$
 $k_{zz} = 1,06$
 $k_{zy} = 0,98$
 $k_{yz} = 1,06$

Nachweis:

$$\chi_y \times A \times f_y / \gamma_{M1} + \frac{k_{yy} \times (M_{yd})}{(\chi_{LT} \times M_{yRK} / \gamma_{M1})} + \frac{k_{yz} \times (M_{zd})}{(\chi_{LT} \times M_{zRK} / \gamma_{M1})} < 1$$

$$0,29 + 0,28 + 0,19 = 0,76 < 1$$

Nachweis erfüllt

$$\chi_z \times A \times f_y / \gamma_{M1} + \frac{k_{zy} \times (M_{yd})}{(\chi_{LT} \times M_{yRK} / \gamma_{M1})} + \frac{k_{zz} \times (M_{zd})}{(\chi_{LT} \times M_{zRK} / \gamma_{M1})} < 1$$

$$0,47 + 0,29 + 0,19 = 0,95 < 1$$

Nachweis erfüllt

Der Nachweis gegen Biegedrillknicken aufgrund Druck und Biegung ist erfüllt.

Kombinierter Biegedrillknicknachweis nach DIN EN 1993-1-1 (6.3.3)

Bemessungsschnittgrößen:

$$\begin{aligned} \max N_d &= 118,0 \text{ kN} \\ M_{y,d,a} &= 8,3 \text{ kNm} \\ M_{y,d,f} &= 20,0 \text{ kNm} \\ M_{y,d,e} &= 0,1 \text{ kNm} \\ M_{y,d,max} &= 20,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

SZ-Stütze

$$\begin{aligned} M_{z,d,a} &= 0,0 \text{ kNm} \\ M_{z,d,f} &= 1,0 \text{ kNm} \\ M_{z,d,e} &= 0,0 \text{ kNm} \\ M_{z,d,max} &= 1,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momente für den kombinierten Nachweis:

$$\begin{aligned} M_{y,d,h} &= 8,3 \text{ kNm} \\ M_{y,d,s} &= 20,0 \text{ kNm} \\ M_{LT,d,h} &= 8,3 \text{ kNm} \\ M_{LT,d,s} &= 20,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{z,d,h} &= 0,0 \text{ kNm} \\ M_{z,d,s} &= 1,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momentenverhältnisse:

$$\psi_2 = 0,01$$

$$\psi_3 = 1,00$$

Lastart:

Einzellast

Einzellast

Teilsicherheitsbeiwert:

$$\gamma_{M1} = 1,48$$

Systemkenngrößen:

$$\begin{aligned} l_y &= 4,43 \text{ m} \\ \beta_y &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_z &= 4,43 \text{ m} \\ \beta_z &= 0,5 \end{aligned}$$

Profil:

GeSchw_I 390_138_8_8

Profilform:

geschweißt I-Profil

Verdreheigenschaft:

verdrehweich

Material:

Puddel

→

$$f_y = 220 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 20000 \text{ kN/cm}^2$$

Materialbeiwert:

$$\epsilon =$$

$$\epsilon = 1,03$$

Querschnittswerte:

$$\begin{aligned} h &= 390 \text{ mm} \\ h_1 &= \text{\#NV} \text{ mm} \\ b &= 138 \text{ mm} \\ z_s &= 0 \text{ cm} \\ i_y &= 15,041237 \text{ cm} \\ I_w &= 127832,93 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= \text{\#NV} \text{ mm} \\ s &= \text{\#NV} \text{ mm} \\ A &= 65,99 \text{ cm}^2 \\ i_z &= 2,170872 \text{ cm} \\ I_T &= 11,99 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Flächenträgheitsmoment 2. Grades:

$$I_y = 14929,5 \text{ N/mm}^2$$

$$I_z = 310,99 \text{ N/mm}^2$$

Querschnittsklasse: 4

Widerstand in Abhängigkeit von QKL:

$$N_{y,Rk} = 1451,78 \text{ kN}$$

$$W_y = 765,61538 \text{ cm}^3$$

$$M_{y,Rk} = 168,44 \text{ kNm}$$

$$W_z = 45,07101 \text{ cm}^3$$

$$M_{z,Rk} = 9,92 \text{ kNm}$$

Abminderungsfaktoren BK

Knicklänge:

$$L_{cr,y} = 4,43 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 2,215 \text{ m}$$

Schlankheitsgrad:

$$\lambda_{quer,y} = 0,30$$

$$\lambda_{quer,z} = 1,05$$

mit $\lambda_1 = 97,05$

Knicklinie: $h/b = 2,83$

→ b

→ c

Imperfektionswert:

$$\alpha_y = 0,34$$

$$\alpha_z = 0,49$$

$$\phi_y = 0,56$$

$$\phi_z = 1,26$$

Abminderungsfaktor:

$$\chi_y = 0,96$$

$$\chi_z = 0,51$$

Abminderungsfaktor BDK

Verzweigungslasten:

$$N_{cr} = 1251 \text{ kN}$$

$$M_{cr} = 371,9 \text{ kNm}$$

mit Trägheitsradius
Momentenbeiwert

$$c^2 = 484,8$$

$$\xi = 1,35$$

Schlankheitsgrad: $\lambda_{LT} = 0,67$

Berechnung nach: -1-1 (6.3.2.3) → Tab. 6.5

Knicklinie: $h/b = 2,83$ → d

Imperfektionsbeiwert:

$$\alpha_{LT} = 0,76$$

mit $\beta = 0,75$

$$\phi_{LT} = 0,77$$

$$\lambda_{LT0} = 0,4$$

Abminderungsfaktor: $\chi_{LT} = 0,78 < 1,00$ und $2,21$

Korrekturbeiwert: $k_c = 0,75$

Modifizierung: $\chi_{LTmod} = 0,89$ mit $f = 0,88$

Äquivalente Momentenbeiwerte:

$C_{my} = 0,942$

SBT Tafel 8.40 $C_{mz} = 0,900$

$C_{mLT} = 0,942$

Interaktionsbeiwerte:

$k_{yy} = 0,96$

$k_{zz} = 0,99$

$k_{zy} = 0,99$

$k_{yz} = 0,99$

Nachweis:

$$\chi_y \times A \times f_y / \gamma_{M1} + \frac{k_{yy} \times (M_{yd})}{(\chi_{LT} \times M_{yRK} / \gamma_{M1})} + \frac{k_{yz} \times (M_{zd})}{(\chi_{LT} \times M_{zRK} / \gamma_{M1})} < 1$$

$$0,12 + 0,22 + 0,19 = 0,53 < 1$$

Nachweis erfüllt

$$\chi_z \times A \times f_y / \gamma_{M1} + \frac{k_{zy} \times (M_{yd})}{(\chi_{LT} \times M_{yRK} / \gamma_{M1})} + \frac{k_{zz} \times (M_{zd})}{(\chi_{LT} \times M_{zRK} / \gamma_{M1})} < 1$$

$$0,24 + 0,22 + 0,19 = 0,65 < 1$$

Nachweis erfüllt

Der Nachweis gegen Biegedrillknicken aufgrund Druck und Biegung ist erfüllt.

Kombinierter Biegedrillknicknachweis nach DIN EN 1993-1-1 (6.3.3)

Bemessungsschnittgrößen:

$$\begin{aligned} \max N_d &= 94,0 \text{ kN} \\ M_{y,d,a} &= 4,0 \text{ kNm} \\ M_{y,d,f} &= 14,0 \text{ kNm} \\ M_{y,d,e} &= 0,1 \text{ kNm} \\ M_{y,d,max} &= 14,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kü-Stütze

$$\begin{aligned} M_{z,d,a} &= 0,0 \text{ kNm} \\ M_{z,d,f} &= 1,0 \text{ kNm} \\ M_{z,d,e} &= 0,0 \text{ kNm} \\ M_{z,d,max} &= 1,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momente für den kombinierten Nachweis:

$$\begin{aligned} M_{y,d,h} &= 4,0 \text{ kNm} \\ M_{y,d,s} &= 14,0 \text{ kNm} \\ M_{LT,d,h} &= 4,0 \text{ kNm} \\ M_{LT,d,s} &= 14,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{z,d,h} &= 0,0 \text{ kNm} \\ M_{z,d,s} &= 1,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momentenverhältnisse:

$$\psi_2 = 0,03$$

$$\psi_3 = 1,00$$

Lastart: Einzellast

Einzellast

Teilsicherheitsbeiwert:

$$\gamma_{M1} = 1,48$$

Systemkenngrößen:

$$\begin{aligned} I_y &= 4,16 \text{ m} \\ \beta_y &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_z &= 4,16 \text{ m} \\ \beta_z &= 0,5 \end{aligned}$$

Profil: GeSchw_I 300_138_6_6
 Profilform: geschweißt I-Profil
 Verdrehsteifigkeit: verdrehweich

Material: Puddel → $f_y = 220 \text{ N/mm}^2$
 $E = 20000 \text{ kN/cm}^2$

Materialbeiwert: $\epsilon =$
 $\epsilon = 1,03$

Querschnittswerte:

$$\begin{aligned} h &= 300 \text{ mm} \\ h_1 &= \#NV \text{ mm} \\ b &= 138 \text{ mm} \\ z_s &= 0 \text{ cm} \\ i_y &= 11,78621 \text{ cm} \\ I_w &= 56790,008 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= \#NV \text{ mm} \\ s &= \#NV \text{ mm} \\ A &= 45,63 \text{ cm}^2 \\ i_z &= 2,09813 \text{ cm} \\ I_T &= 5,31 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Flächenträgheitsmoment 2. Grades:

$$I_y = 6338,68 \text{ N/mm}^2$$

$$I_z = 200,87 \text{ N/mm}^2$$

Querschnittsklasse: 4

Widerstand in Abhängigkeit von QKL:

$$N_{y,Rk} = 1003,86 \text{ kN}$$

$$W_y = 422,57867 \text{ cm}^3$$

$$M_{y,Rk} = 92,97 \text{ kNm}$$

$$W_z = 29,11159 \text{ cm}^3$$

$$M_{z,Rk} = 6,40 \text{ kNm}$$

Abminderungsfaktoren BK

Knicklänge:

$$L_{cr,y} = 4,16 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 2,08 \text{ m}$$

Schlankheitsgrad:

$$\lambda_{quer,y} = 0,36$$

$$\lambda_{quer,z} = 1,02$$

mit $\lambda_1 = 97,05$

Knicklinie: $h/b = 2,17$

→ b

→ c

Imperfektionswert:

$$\alpha_y = 0,34$$

$$\alpha_z = 0,49$$

$$\phi_y = 0,59$$

$$\phi_z = 1,22$$

Abminderungsfaktor:

$$\chi_y = 0,94$$

$$\chi_z = 0,53$$

Abminderungsfaktor BDK

Verzweigungslasten:

$$N_{cr} = 916 \text{ kN}$$

$$M_{cr} = 223,8 \text{ kNm}$$

mit Trägheitsradius
Momentenbeiwert

$$c^2 = 327,3$$

$$\xi = 1,35$$

Schlankheitsgrad: $\lambda_{LT} = 0,64$

Berechnung nach: -1-1 (6.3.2.3) → Tab. 6.5

Knicklinie: $h/b = 2,17$ → d

Imperfektionsbeiwert:

$$\alpha_{LT} = 0,76$$

mit $\beta = 0,75$

$$\phi_{LT} = 0,75$$

$$\lambda_{LT0} = 0,4$$

Abminderungsfaktor: $\chi_{LT} = 0,80 < 1,00$ und $2,41$

Korrekturbeiwert: $k_c = 0,75$

Modifizierung: $\chi_{LTmod} = 0,91$ mit $f = 0,88$

Äquivalente Momentenbeiwerte:

$C_{my} = 0,929$

SBT Tafel 8.40 $C_{mz} = 0,900$

$C_{mLT} = 0,929$

Interaktionsbeiwerte:

$k_{yy} = 0,95$

$k_{zz} = 1,01$

$k_{zy} = 0,99$

$k_{yz} = 1,01$

Nachweis:

$$\chi_y \times A \times f_y / \gamma_{M1} + \frac{k_{yy} \times (M_{yd})}{(\chi_{LT} \times M_{yRK} / \gamma_{M1})} + \frac{k_{yz} \times (M_{zd})}{(\chi_{LT} \times M_{zRK} / \gamma_{M1})} < 1$$

$$0,15 + 0,26 + 0,29 = 0,70 < 1$$

Nachweis erfüllt

$$\chi_z \times A \times f_y / \gamma_{M1} + \frac{k_{zy} \times (M_{yd})}{(\chi_{LT} \times M_{yRK} / \gamma_{M1})} + \frac{k_{zz} \times (M_{zd})}{(\chi_{LT} \times M_{zRK} / \gamma_{M1})} < 1$$

$$0,26 + 0,27 + 0,29 = 0,83 < 1$$

Nachweis erfüllt

Der Nachweis gegen Biegedrillknicken aufgrund Druck und Biegung ist erfüllt.

Kombinierter Biegedrillknicknachweis nach DIN EN 1993-1-1 (6.3.3)

Bemessungsschnittgrößen:

$$\begin{aligned} \max N_d &= 102,0 \text{ kN} \\ M_{y,d,a} &= 20,0 \text{ kNm} \\ M_{y,d,f} &= 20,0 \text{ kNm} \\ M_{y,d,e} &= 0,1 \text{ kNm} \\ M_{y,d,max} &= 20,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

DZ-Stütze

$$\begin{aligned} M_{z,d,a} &= 0,0 \text{ kNm} \\ M_{z,d,f} &= 1,0 \text{ kNm} \\ M_{z,d,e} &= 0,0 \text{ kNm} \\ M_{z,d,max} &= 1,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momente für den kombinierten Nachweis:

$$\begin{aligned} M_{y,d,h} &= 20,0 \text{ kNm} \\ M_{y,d,s} &= 20,0 \text{ kNm} \\ M_{LT,d,h} &= 20,0 \text{ kNm} \\ M_{LT,d,s} &= 20,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{z,d,h} &= 0,0 \text{ kNm} \\ M_{z,d,s} &= 1,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momentenverhältnisse:

$$\psi_2 = 0,01$$

$$\psi_3 = 1,00$$

Lastart:

Einzellast

Einzellast

Teilsicherheitsbeiwert:

$$\gamma_{M1} = 1,48$$

Systemkenngrößen:

$$\begin{aligned} I_y &= 3,70 \text{ m} \\ \beta_y &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_z &= 3,70 \text{ m} \\ \beta_z &= 0,5 \end{aligned}$$

Profil:

GeSchw_I 300_138_6_6

Profilform:

geschweißt I-Profil

Verdreheigenschaft:

verdrehweich

Material:

Puddel

→

$$f_y = 220 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 20000 \text{ kN/cm}^2$$

Materialbeiwert:

$$\epsilon =$$

$$\epsilon = 1,03$$

Querschnittswerte:

$$\begin{aligned} h &= 300 \text{ mm} \\ h_1 &= \#NV \text{ mm} \\ b &= 138 \text{ mm} \\ z_s &= 0 \text{ cm} \\ i_y &= 11,78621 \text{ cm} \\ I_w &= 56790,008 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= \#NV \text{ mm} \\ s &= \#NV \text{ mm} \\ A &= 45,63 \text{ cm}^2 \\ i_z &= 2,09813 \text{ cm} \\ I_T &= 5,31 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Flächenträgheitsmoment 2. Grades:

$$I_y = 6338,68 \text{ N/mm}^2$$

$$I_z = 200,87 \text{ N/mm}^2$$

Querschnittsklasse: 4

Widerstand in Abhängigkeit von QKL:

$$N_{y,Rk} = 1003,86 \text{ kN}$$

$$W_y = 422,57867 \text{ cm}^3$$

$$M_{y,Rk} = 92,97 \text{ kNm}$$

$$W_z = 29,11159 \text{ cm}^3$$

$$M_{z,Rk} = 6,40 \text{ kNm}$$

Abminderungsfaktoren BK

Knicklänge:

$$L_{cr,y} = 3,7 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 1,85 \text{ m}$$

Schlankheitsgrad:

$$\lambda_{quer,y} = 0,32$$

$$\lambda_{quer,z} = 0,91$$

mit $\lambda_1 = 97,05$

Knicklinie: $h/b = 2,17$

→ b

→ c

Imperfektionswert:

$$\alpha_y = 0,34$$

$$\alpha_z = 0,49$$

$$\phi_y = 0,57$$

$$\phi_z = 1,09$$

Abminderungsfaktor:

$$\chi_y = 0,96$$

$$\chi_z = 0,59$$

Abminderungsfaktor BDK

Verzweigungslasten:

$$N_{cr} = 1159 \text{ kN}$$

$$M_{cr} = 278,9 \text{ kNm}$$

mit Trägheitsradius
Momentenbeiwert

$$c^2 = 318,0$$

$$\xi = 1,35$$

Schlankheitsgrad: $\lambda_{LT} = 0,58$

Berechnung nach: -1-1 (6.3.2.3) → Tab. 6.5

Knicklinie: $h/b = 2,17$ → d

Imperfektionsbeiwert:

$$\alpha_{LT} = 0,76$$

mit $\beta = 0,75$

$$\phi_{LT} = 0,69$$

$$\lambda_{LT0} = 0,4$$

Abminderungsfaktor: $\chi_{LT} = 0,85 < 1,00$ und $3,00$

Korrekturbeiwert: $k_c = 0,75$

Modifizierung: $\chi_{LTmod} = 0,96$ mit $f = 0,89$

Äquivalente Momentenbeiwerte:

SBT Tafel 8.40
 $C_{my} = 1,000$
 $C_{mz} = 0,900$
 $C_{mLT} = 1,000$

Interaktionsbeiwerte:

$k_{yy} = 1,02$
 $k_{zz} = 0,99$
 $k_{zy} = 0,99$
 $k_{yz} = 0,99$

Nachweis:

$$\chi_y \times A \times f_y / \gamma_{M1} + \frac{k_{yy} \times (M_{yd})}{(\chi_{LT} \times M_{yRK} / \gamma_{M1})} + \frac{k_{yz} \times (M_{zd})}{(\chi_{LT} \times M_{zRK} / \gamma_{M1})} < 1$$

$$0,16 + 0,38 + 0,27 = 0,81 < 1$$

Nachweis erfüllt

$$\chi_z \times A \times f_y / \gamma_{M1} + \frac{k_{zy} \times (M_{yd})}{(\chi_{LT} \times M_{yRK} / \gamma_{M1})} + \frac{k_{zz} \times (M_{zd})}{(\chi_{LT} \times M_{zRK} / \gamma_{M1})} < 1$$

$$0,25 + 0,37 + 0,27 = 0,89 < 1$$

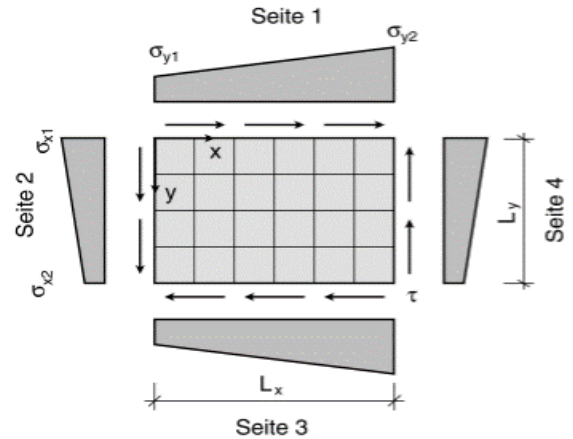
Nachweis erfüllt

Der Nachweis gegen Biegedrillknicken aufgrund Druck und Biegung ist erfüllt.

Beulsicherheitsnachweis für Einzelbeulfeld ohne Steifen nach DIN 18800-3

Abmessungen

Kantenlängen	$L_x =$	1520 mm	$\alpha =$	2,91
	$L_y =$	4430 mm		
Blechdicke	$t =$	10 mm		
Querschnittsfläche	$A_x =$	44.300 mm ²		
	$A_y =$	15.200 mm ²		
Flächenmoment	$I_x =$	139.194 mm ⁴		
	$I_y =$	405.678 mm ⁴		



Einwirkungen

Normalspannungen	$\sigma_{x1} =$	10 N/mm ²	$\psi_x =$	1,00
	$\sigma_{x2} =$	10 N/mm ²		
	$\sigma_{y1} =$	5 N/mm ²	$\psi_y =$	1,00
	$\sigma_{y2} =$	5 N/mm ²		
Schubspannung	$\tau =$	7 N/mm ²		

Material

E-Modul	$E =$	200.000 N/mm ²	$\mu =$	0,30
Schubmodul	$G =$	77.000 N/mm ²		
Streckgrenze	$f_{yk} =$	220 N/mm ²	$\gamma_M =$	1,48
Bezugsspannung	$\sigma_{e,x} =$	7,82 N/mm ²	bez. auf L_x	
	$\sigma_{e,y} =$	0,92 N/mm ²	bez. auf L_y	

Bemessung

Beulfeld und Beanspruchungen

Art des Beulfeldes: **Einzelfeld**

Lagerungsbed.: **allseitig gelagert**

Beanspruchung: **Normalspg. mit Randspg.-verhältnis $\psi \leq 1$**

Ermittlung der Grenzbeulspannungen (komponentenweise)

		Spg.-Anteile				Einheit	Bemerkungen
		x	y				
Beulwerte	k_{σ}	10,6100	34,0100	k_{τ}	49,8000		aus FE-Beulen (RUB-Stahl) o.ä.
ideale Beulspg.	σ_{Pi}	9,7750	31,3300	τ_{Pi}	45,8710	N/mm ²	aus FE-Beulen (RUB-Stahl) o.ä.
Bezugsspg.	σ_E	0,9	0,9		0,9	N/mm ²	informativ
Code		1-21-31	1-21-31		1-21-32		
bez. Schlankheit	$\lambda_{P\text{-quer}}$	4,7441	2,6499	$\lambda_{P\text{-quer}}$	1,6640		
Beiwert	c	1,13	1,13				
Abminderungsfak.	k	0,2271	0,3910	k_{τ}	0,5048		für Zugspg. ist $\kappa = 1,0$
Grenzbeulspg.	$\sigma_{P,Rd}$	33,76	58,13	$\tau_{P,Rd}$	43,32	N/mm ²	
Auslastung	η	0,3	0,09	η	0,16	$\leq 1,00$	der einzelnen Spg.-komponenten

Nachweis bei gleichzeitiger Wirkung von Randspannungen

Faktoren für Interaktionsbedingung:

$$e_1 = 1,003$$

$$e_2 = 1,023$$

$$e_3 = 1,023$$

$$V = 4,9E-07$$

Auslastung: $\eta = 1,18 > 1,00$!!! mit Interaktionsbedingung El. 504 (14) aus DIN 18800-3

Beulen mit knickstabähnlichem Verhalten

		Spg.-Anteile			Einheit	Bemerkungen
		x	y			
Λ		4	4			
Knicklangenbeiwert	β	1,0	1,0			
Knicklänge	s_K	1520	4430		mm	
Trägheitsradius	i	2,89	2,89		mm	
Schlankheitsgrad	λ_K	527	1535			
Bezugsschlankht.	λ_a	95	95			
bez. Schlankheit	$\lambda_{K\text{-quer}}$	6	16			
Eul. Knickspg.	σ_{Ki}	7,82	0,92		N/mm ²	
Verhältnis	σ_{Pi}/σ_{Ki}	1,25	34,01			
Wichtungsfaktor	ρ	0,91687	-10,005			Bei $\rho > 0$ ist knickstabähn. Verhalten zu untersuchen.
	ρ	> 0!	< 0			
Knickstabähn. ?		ja	nein			
Faktor	k	12,5257	4,4275			für KSL B
Abminderungsfak.	K_K	0,0415	0,1254			
Abminderungsfak.	K_{PK}	0,0711	1,0000			
Grenzbeulspg.	$\sigma_{P,Rd}$	11	148,65		N/mm ²	
Auslastung	η	0,95	0,03		$\leq 1,00$	

Bericht wird nachgereicht.

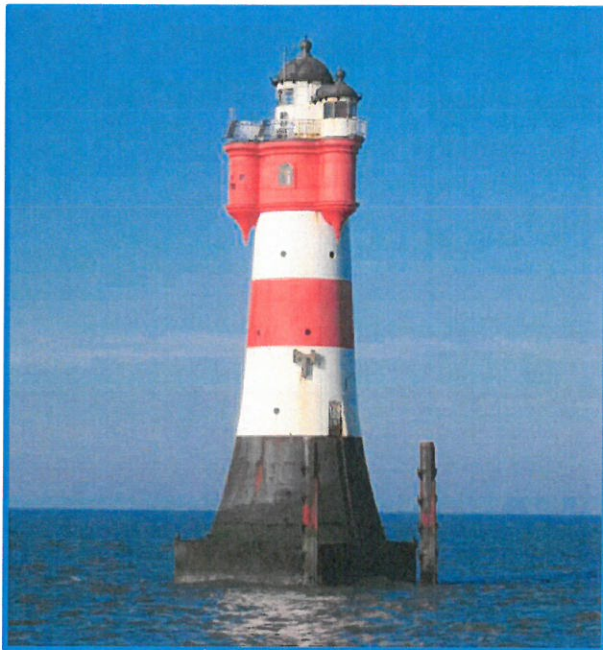
Gutachten

zur Sanierung 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, 14. Juni 2019



Dr.-Ing. P. Lieberwirth

Projekt: GA218014
Bearbeiter: Dipl.-Ing. E. Schulze

Inhalt:	Teil 0:	- Vorbemerkungen
	Teil I:	- Grundlagen, Erkenntnisse und Ergebnisse
	Teil II:	- Dokumentation zur Bauwerksprüfung
	Teil III:	- Nachrechnung des stählernen Turmhaupttragwerkes
	Teil IV:	- Nachrechnung des Turmsockels und des Caissons

Inhaltsverzeichnis

4	Nachrechnung des Turmsockels und des Caissons	2
4.01	Vorbemerkungen	2
4.02	Meeresgeologie	3
4.03	Lastermittlung.....	3
4.03.1	Stabilisierende Lasten	3
4.03.2	Destabilisierende Lasten.....	3
4.04	Äußere und innere Standsicherheit.....	5
4.04.1	Bemessungsschnitt 1: NHN +0,5 m – Verankerung des Turmsockels	5
4.04.2	Bemessungsschnitt 2: NHN -8,3 m – Gesamtstandsicherheit	5
4.05	Zusammenfassung und Auswertung der Untersuchungen.....	6
4.06	Maßnahmenempfehlung.....	6
4.07	Anhänge	7

4 Nachrechnung des Turmsockels und des Caissons

4.01 Vorbemerkungen

Gegenstand und Ziel

Gegenstand der vorliegenden Dokumentation ist eine überschlägliche Berechnung der Gründung des Leuchtturms. Ziel der Berechnungen ist eine globale Tragfähigkeitsabschätzung. Die gewonnenen Erkenntnisse sind Grundlage für die Definition der erforderlichen Ertüchtigungsmaßnahmen.

Planunterlagen

Siehe *Teil I* des Gutachtens.

Anmerkung

Zur Untersuchung der Standsicherheit des Turms und hier seiner Gründung wurden vor allem einerseits die Lastermittlungen und die Dimensionierung der erforderlichen Caissonverstärkung im Zuge der statischen Berechnung von G. W. Rogge von 1984 sowie andererseits die auf diesen Lasten und Ergebnissen basierende statische Berechnung des neuen Stahlcaissons der Ludwig Voss GmbH & Co. KG von 1987 herangezogen.

Des Weiteren ist die Meeresgeografie anhand der bis 2017 durchgeführten Peilungen (WSA Bremerhaven) im unmittelbaren Umfeld des Standorts in Zusammenhang mit den historischen Seegangsdaten (BSH) für die Erfassung der vorherrschenden Lastsituation von besonderer Bedeutung.

Das 1955 erstellte Gutachten bietet Aufschluss über die Konstruktion des Caissons von 1885 und lässt Schlüsse hinsichtlich der Alterung des Bauwerks zu.

Literatur

Siehe *Teil I* des Gutachtens.

Baubestimmungen und Normungen

Siehe *Teil I* des Gutachtens.

Standort:

Der Leuchtturm steht in der Wesermündung bei Bremerhaven im Wattenmeer an f. Position:

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

Bauwerksbeschreibung:

Der Caisson hat einen mandelförmigen Grundriss mit einer Länge von ca. 14 m und einer Breite von ca. 11 m. Er ist ca. 24 m hoch und besteht aus einer stählernen Mantelkonstruktion, die mittels innenliegenden Stahlträgern verstärkt wurde. Beim Bau wurde die Unterkante des Caissons ca. 15 m unter die Oberkante des Meeresbodens geführt und mit Beton bzw. Mauerwerk verfüllt. Einzig der mittig verlaufende Schacht für den Flutmesser und Kabel wurde freigelassen.

Nachdem aus den 1955 durchgeführten Erkundungen Schädigungen des Caissonmantels und teilweise minderwertige Betonqualitäten im Caissoninneren erkundet wurden, fand im Jahr 1987 auf Grundlage der durch die Gustav W. Rogge GmbH & Co. ermittelten Lasten die Bemessung sowie Umsetzung einer Verstärkung des Caissons durch Überstülpen einer weiteren Stahlmanschette durch die Ludwig Voss GmbH & Co. KG statt. Diese Verstärkung bindet gemäß der aktuellen Peilungen bis zu 1,20 m in den Meeresboden ein und ist umlaufend ca. 30 cm größer als der ursprüngliche Caisson. Der Zwischenraum wurde mit Unterwasserbeton ausgegossen.

4.02 Meeresgeologie

Der Leuchtturm Roter Sand befindet sich auf einer Sandbank in der Deutschen Bucht ca. 48 km nordwestlich von Bremerhaven.

Die Oberkante des Meeresgrundes direkt am Leuchtturm liegt ca. bei NHN -8,30 m. Das Plateau der Sandbank beträgt um den Gründungskörper in jede Richtung ca. 10,0 m. Von dort an fällt die Meeressohle allseitig unterschiedlich stark ab. Im Bereich der Hauptströmrichtung (Nord-Nord-West) fällt der Meeresboden bis ca. auf NHN -18,0 m bei einem Abstand von ca. 40,0 m vom Caisson ab. Die Meeressohle ist als sandig anzusprechen.

Für weitere Angaben wird auf die vorhandenen Gutachten und die daraus resultierenden Empfehlungen verwiesen (TU Dresden etc.)

4.03 Lastermittlung

Die Belastung der Gründung setzt sich zum einen aus den Einwirkungen aus dem stählernen Turmhaupttragwerk und zum anderen aus Beanspruchungen infolge Eis- und Seegang zusammen. Die für die Bemessung der Gründung relevanten Einwirkungen aus dem stählernen Turmhaupttragwerk umfassen dessen Eigengewicht und die auf den Turm wirkenden Windlasten und sind dem *Teil III* des Gutachtens entnommen. Die Ermittlung der Lastmodelle zur Beschreibung der Beanspruchungen aus Eis- und Seegang werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

Ein Schiffsanprall wird nicht betrachtet.

Zusätzlich wurden die statische Berechnungen [D_02] und [D_03] ausgewertet.

Eine vollständige Lastzusammenstellung ist im *Anhang A4.2* gegeben.

4.03.1 Stabilisierende Lasten

Eigengewicht des stählernen Turmhaupttragwerkes

Zur Bemessung des Sockels sowie des Caissons wurden die im Zuge der Nachrechnung des stählernen Turmhaupttragwerks ermittelten Lasten aus *Teil III* des Gutachtens übernommen. Die maßgebenden Lasten sind in *Anhang A4.2* zusammengefasst.

Sockel- und Caissoneseigengewicht

Die Ermittlung der für das Eigengewicht maßgebenden Bauteilabmessungen basiert auf den o.g. Bestandsunterlagen.

Die Wahl der ansetzbaren Wichte der Massivbauelemente (Betonverfüllung und Ausmauerung) erfolgt konservativ für geschwächtes Material in Anlehnung an die Ergebnisse der Untersuchungen aus dem Jahr 1955 [D_01].

Das Gewicht des Sockel- sowie Caissonmantels wurde auf der sicheren Seite liegend nicht berücksichtigt.

Abweichend von [D_02] wird davon ausgegangen, dass der Gründungskörper unter Auftrieb steht.

4.03.2 Destabilisierende Lasten

Windeinwirkungen

Zur Bemessung des Sockels sowie des Caissons wurden die im Zuge der Nachrechnung des stählernen Turmhaupttragwerks ermittelten Lasten aus *Teil III* des Gutachtens übernommen. Die maßgebenden Lasten sind in *Anhang A4.2* zusammengefasst.

Eisanprall

Die Lasten aus Eisanprall sind gemäß [R_11, EAK 7.4.3] für Bauwerke im Bereich der Nordsee ermittelt.

Wellenlasten

Analytische Lastermittlung

Zur Ermittlung der auf das Bauwerk einwirkenden Beanspruchungen aus Seegang wurde zunächst analog zu der statischen Berechnung von G. W. Rogge [D_02] ein analytischer Ansatz unter Berücksichtigung der vorhandenen Daten zum Relief der Meeressohle sowie zum Seegang untersucht.

Dabei wurden die unterschiedlichen Belastungsansätze von Goda [R_11, Tafel 4.3.2], Sainflou [R_11, Tafel 4.3.3] und die Belastung durch die am Bauwerk brechende Welle („Druckschlag“ n. [R_12, 5.7.3] untersucht. Durch die äußeren Randbedingungen (Länge und Tiefe der Meeressohle um den Turm; Länge, Tiefe und Entfernung der Kolke vom Turm usw.) ist gemäß den Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken [R_11] der Lastfall „Druckschlag“ auf den Turm anzusetzen. Die bei der Bemessung der Gründung anzusetzenden Horizontalkräfte und Momente wurden zur besseren Vergleichbarkeit (wie bei der Berechnung in [D_02]) auf die Oberkante des Meeresbodens bezogen. Die ermittelten Lasten übersteigen den in [D_02] berücksichtigten Lastansatz um das bis zu zehnfache.

Die Ergebnisse der analytischen Untersuchungen sind in *Anhang A4.1* wiedergegeben.

Unter Berücksichtigung der ermittelten Belastung kann die Standsicherheit des Bauwerkes (bei weitem) nicht nachgewiesen werden. Deswegen wurden zur Ermittlung realistischerer Belastungsdaten Spezialisten, die die im Folgenden beschriebenen numerischen Analysen durchgeführt haben, hinzugezogen.

Numerische Lastermittlung

Um einen realitätsnäheren Ansatz der Lasten aus Seegang zu erhalten, wurden die erforderlichen Daten an das Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (IWD) der Fakultät Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Dresden zur weitergehenden Untersuchung übergeben. Seitens des IWD wurden zunächst die Eingangsdaten gewertet sowie verfeinert. Anschließend erfolgte ebenfalls eine analytische Betrachtung, die Werte in der Größenordnung der oben beschriebenen Ansätze lieferte.

Da die vorhandenen analytischen Modelle jedoch stets von unendlich lagen Bauwerken ohne Um- bzw. Überspülung ausgehen und somit stabilisierende Wasserlasten auf der beanspruchungsgewandten Seite vernachlässigen, wurde seitens des IWD eine numerische Untersuchung unter Zuhilfenahme des Programms OpenFOAM durchgeführt.

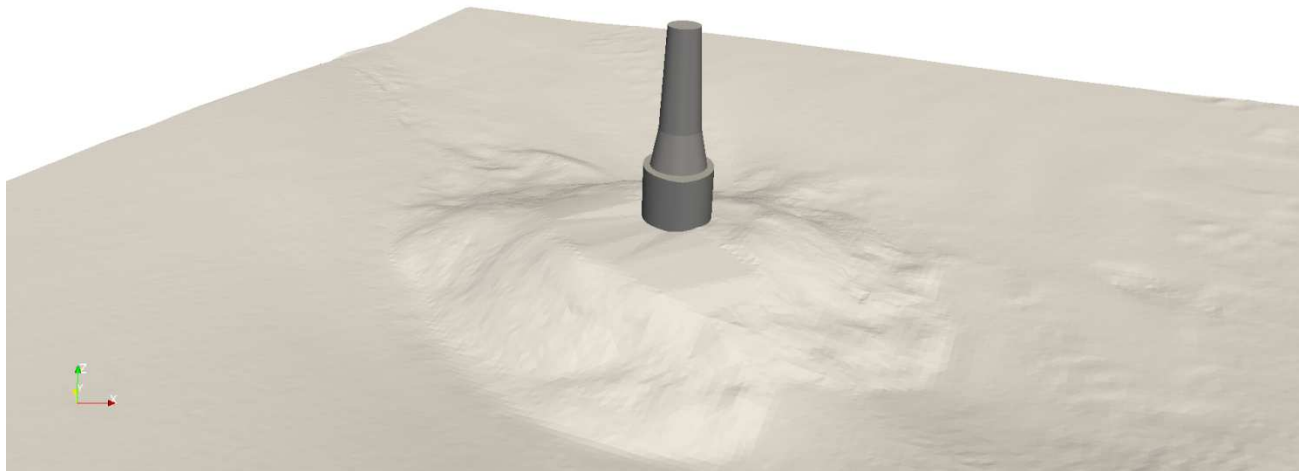


Abb. 4-1 Modellierung des Meeresbodens mit Turm

Dabei wurden Standort und Umgebung des Turms modelliert. Der Wasserstand wurde mit 3,00 m ü. NN auf Höhe einer Sturmflut aus den ursprünglichen Plänen herausgelesen. Aus Erfahrungswerten und in Betracht der geringeren Berechnungsdauer wurde die Welle als Airy-Welle modelliert. Die Wellenhöhe beträgt $H_{\max} = 7,1$ m (s. *Anhang A4.1*) und hat eine Länge von $L = 100$ m.

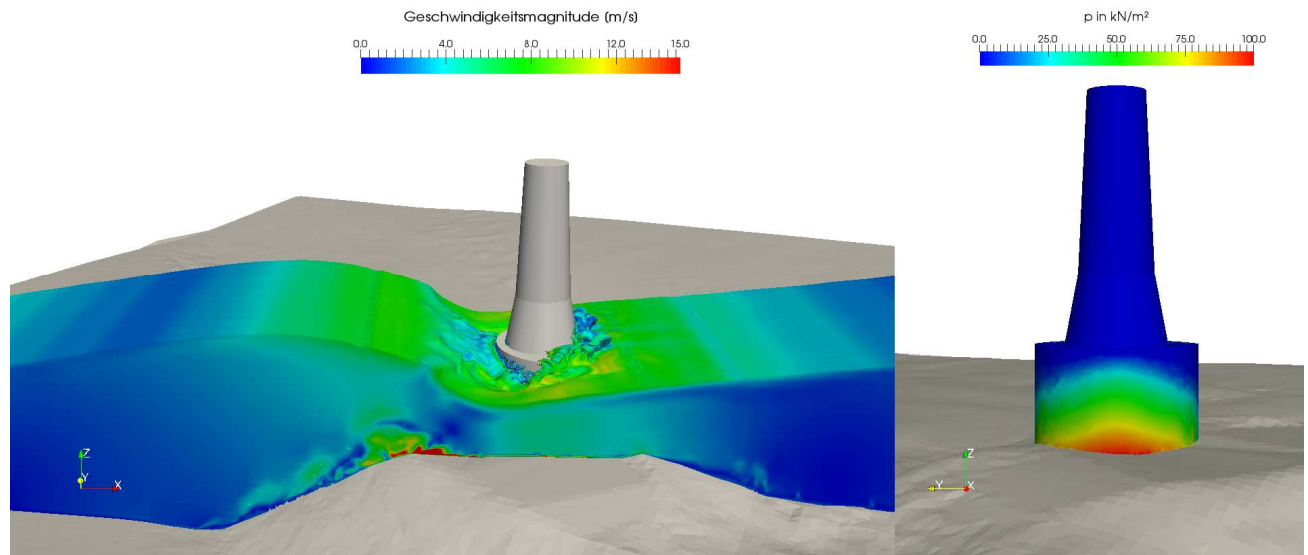


Abb. 4-2 links: Welle aus Westen (260°) bei 3,5 sek. vor der Ankunft am Turm;
rechts: Turmansicht mit entsprechendem hydrostatischem Druck

Es wurde eine IDDES-Turbulenzmodellierung aufgrund einer kürzeren Berechnungsdauer (gegenüber einer LES-) und einer besseren Wirbelabbildung gegenüber einer RAS-Turbulenzmodellierung gewählt. Die Berechnung erfolgte ohne Berücksichtigung der Rauheit des Meeresbodens.

Die Berechnungen haben ergeben, dass auf das Bauwerk sowohl partielle Sturzbrecher als auch gebrochene Wellen wirken können. Die Ergebnisse der Berechnungen wurden uns vorab zur Verfügung gestellt. Das Gutachten zur Ermittlung der Wellenlasten ist im *Anhang A4.3* hinterlegt. Das Lastniveau ist bis zu dreimal so hoch wie das in [D_02] berücksichtigte.

Gemäß der dem Modell zugrunde gelegten Seegangsdaten sind derartige Wellenbeanspruchungen bereits am Bauwerk aufgetreten.

Aufgrund der erheblichen Abweichungen zu dem bisher berücksichtigten Lastansatz in [D_02] und [D_03] ist eine erneute Betrachtung der Standsicherheit des Bauwerks erforderlich.

Die Ergebnisse der Untersuchung des IWD dienen als Grundlage für die weiteren Betrachtungen.

4.04 Äußere und innere Standsicherheit

Der Nachweis der Standsicherheit erfolgt unter Ansatz der o.g. numerisch ermittelten Lasten am Modell der Bemessung der Caissonverstärkung von 1984 / 1987 ([D_02] und [D_03]).

Es werden einerseits der Schnitt bei NHN +0,5 m zur Verankerung des Sockels im Caisson und andererseits der Schnitt bei NHN -8,3 m in Höhe des Meeresbodens zur Standsicherheit des Gesamtbauwerks untersucht.

4.04.1 Bemessungsschnitt 1: NHN +0,5 m – Verankerung des Turmsockels

Die Lasteinleitung der äußeren Einwirkungen vom Turm (Sockel) in den Caisson wurde in der geprüften statischen Berechnung [D_03, Kapitel 2.3.5, S. 2.183] für die in [D_02] ermittelten Lasten hinreichend nachgewiesen. Die Auslastungen betragen in dem untersuchten Schnitt bis zu ca. 83 %. Aufgrund der, bezogen auf die an der Oberkante des Caissons bei NHN +0,5 m (+0,73 m) einwirkenden Lasten aus dem Turm, geringen Abweichungen (bis zu 18%) zwischen [D_02] und den aktuellen Berechnungen ist kein erneuter Nachweis erforderlich. Die Verankerung des Turmsockels im Caisson ist gegeben.

4.04.2 Bemessungsschnitt 2: NHN -8,3 m – Gesamtstandsicherheit

Zum Nachweis der Lagesicherheit wurde die Situation, analog zu [D_02] und [D_03], als Schweregewichtsfundament betrachtet.

Die Nachrechnung hat ergeben, dass die äußere Standsicherheit hinsichtlich Gleiten gegeben ist. Aufgrund der Lage der Resultierenden jenseits der 2. Kernfläche klappt die Sohlfuge jedoch bis über den Mittelpunkt, so dass die Kippsicherheit nicht gegeben ist.

Bereits in den statischen Berechnungen von G. W. Rogge [D_02] und der Ludwig Voss GmbH & Co. KG [D_03] wurde festgestellt, dass eine Verstärkung bzw. Instandsetzung der Gründung erforderlich ist, was grundlegend bestätigt werden kann. Abweichend von den genannten Berechnungen, ist dem Kippproblem (infolge der höheren Wellenlasten) jedoch nicht durch die zusätzliche Masse des „neuen“ Caissons zu begegnen. Um Verstärkungsmaßnahmen zu vermeiden, wurden über die Schwergewichtsrundung hinausgehende Tragmechanismen gesucht. Letztlich wurde der Mantel des „alten“ Caissons zur Zugverankerung des Kippmomentes aktiviert. Die Zuglasten werden dabei über Mantelreibung in den Baugrund abgetragen.

Ergänzend wurden die Nachweise der inneren Standsicherheit zur Zugkraftübertragung im aktivierten Mantelbereich am Übergang zwischen dem „alten“ und dem „neuen“ Caisson geführt.

Die Berechnungen haben ergeben, dass für das untersuchte Lastniveau eine ausreichende Verankerung und somit Standsicherheit des Caissons gegeben ist.

4.05 Zusammenfassung und Auswertung der Untersuchungen

Lastermittlung

Die basierend auf Seegangdaten und Peilungen im Umfeld des Leuchtturmes unter Nutzung numerischer Modelle durch das IWD ermittelten Wellenlasten stellen einen Lastansatz dar, der die vorhandene Situation deutlich besser als die bisher verwendeten analytischen Ansätze beschreibt. Gemäß Rücksprache mit dem IWD ist der berücksichtigte Wellenlastansatz nach aktuellem Kenntnisstand in dem Bemessungszeitraum von 100 Jahren anwendbar.

Äußere und innere Standsicherheit

Die Verankerung des Turmsockels auf dem Caisson ist aufgrund der 1987 ausgebildeten Stahlbetonplatte auf der Oberseite des „alten“ Caissons gegeben.

Die Nachweise der Standsicherheit des Gründungskörpers haben ergeben, dass eine ausreichende Zugverankerung des Gründungskörpers im Meeresboden erforderlich ist. Die Verankerung erfolgt über den Mantel des „alten“ Caissons, der damit elementar für die Standsicherheit des Gesamtbauwerks ist. Bei den Nachweisen wurde der im Jahr 1955 erkundete Zustand des Blechmantels berücksichtigt. Es ist also sicherzustellen, dass keine Verschlechterung dieses Zustandes eingetreten ist bzw. in Zukunft eintritt.

Die Standsicherheit des Sockels und des Caissons ist nach derzeitigem Kenntnisstand gegeben.

4.06 Maßnahmenempfehlung

Baugrund und Meeresgeologie

Maßnahmen zur Sicherung der Meeressohle im Umfeld des Leuchtturmes werden durch Spezialisten des Instituts für Wasserbau und technische Hydromechanik der Technischen Universität Dresden bewertet (siehe *Teil I* des Gutachtens).

Empfehlungen zur Sicherstellung der äußeren und inneren Standsicherheit

Der Zustand der Stahlbetonplatte (mit OK NHN +0,73 m) auf der Oberseite des „alten“ Caissons ist im Zuge turnusmäßiger Untersuchungen zu prüfen und Fehlstellen/Störungen des Beton und der Bewehrung fachgerecht und kraftschlüssig auszubessern.

Zur Gewährleistung der Standsicherheit des Leuchtturmes ist es erforderlich die Funktionstüchtigkeit der Stahlwandung sowohl des „neuen“ Caissons von 1987 als auch des „alten“ von 1885 sicherzustellen. Mit Blick auf den Stahlmantel des „alten“ Caissons wird davon ausgegangen, dass sich der 1955 erkundete Zustand nicht wesentlich verändert hat. Diese Annahme ist für den Nachweis der Standsicherheit von größter Relevanz und durch entsprechende Untersuchungen zu be-

stätigen. Zur Erhaltung des Bauwerkes ist Korrosion an der Stahlwandung des „alten“ Caissons bestmöglich einzudämmen. Diesbezüglich wird empfohlen die Anschütthöhe zu vergrößern, so dass der „neue“ Caisson mindestens 1,5 m in die Meeressohle einbindet.

Der Zustand der Stahlwandungen der Caissons ist im Zuge turnusmäßiger Untersuchungen zu prüfen. Können die o.g. Annahmen nicht bestätigt werden und/oder tritt eine Verschlechterung des Zustandes ein, sind Maßnahmen zur Ertüchtigung zu ergreifen.

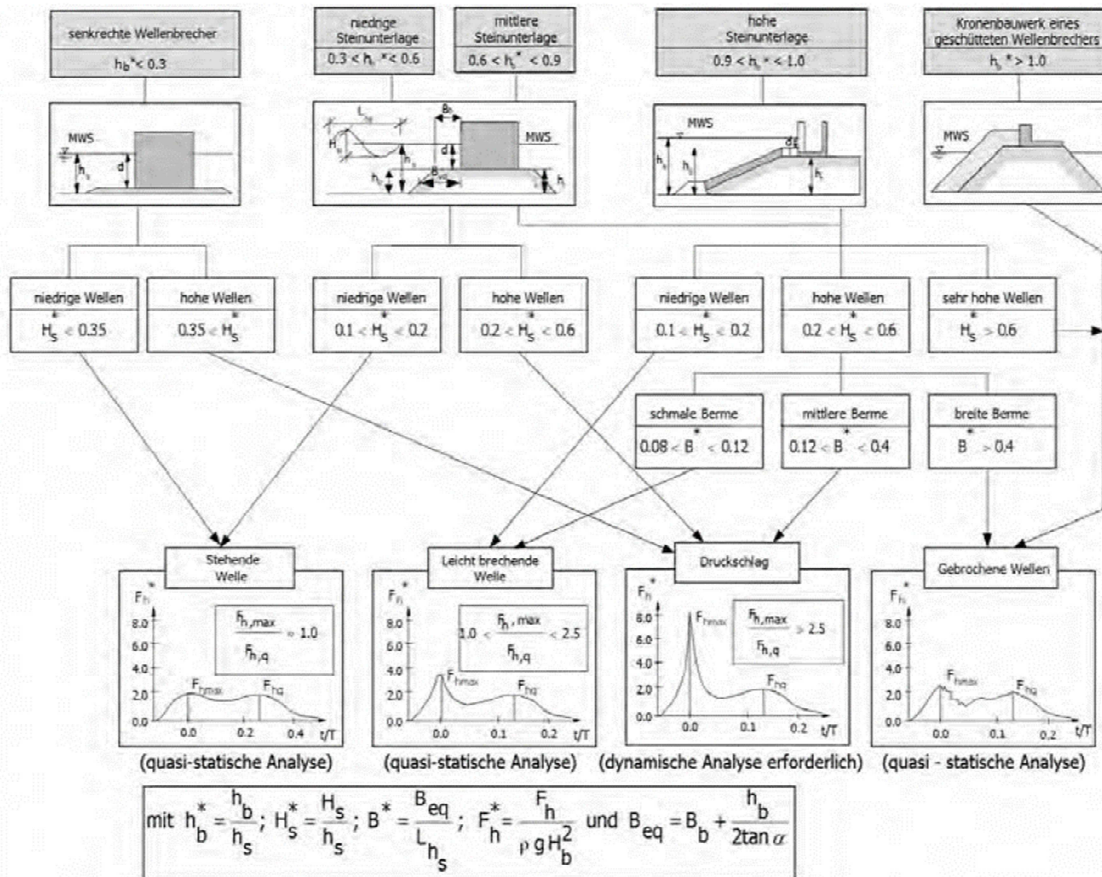
4.07 Anhänge

- | | | |
|--------------------|---|-------------|
| Anhang A4.1 | Analytische Wellenlastermittlung | (10 Seiten) |
| Anhang A4.2 | Lastzusammenstellung und Standsicherheitsnachweise | (14 Seiten) |
| Anhang A4.3 | Gutachten zur Beanspruchung infolge Seegang
Erstellt durch das Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik der TU Dresden | |

00. EAK S. 178: Empfehlung A - Lastfallbestimmung

Eingangswerte

- Lage GOK vor Berme:	NHN	-15,00 m	(siehe Peilung)
- Lage OK Berme:	NHN	-7,25 m	(siehe Peilung)
- Bemessungswasserhöhe:	$h = \text{NHN}$	4,08 m	(HHThw 17.02.1962)
- Wassertiefe vor Berme:	$h_s = \text{GOK} + h =$	19,08 m	
- Wassertiefe über Berme:	$d = \text{OK Berme} + h =$	11,33 m	
- Bermenhöhe:	$h_b = \text{GOK} - d =$	7,75 m	
- Bermenbreite vor dem BW:	$B_b =$	15,00 m	(siehe Peilung)
- Bermenanstieg:	$\alpha =$	14,48 °	(siehe Peilung)
- Signifikante Wellenhöhe:	$H_s =$	7,01 m mit	MAX (2013)
- Peak-Periode:	$T_p = (H_s + 4,05) / 0,89 =$	12,43 s	(siehe IMS: S.4)
- Wellenlänge:	$L_0 = g \cdot T_m^2 / (2\pi) =$	241,11 m	(analog L_0 Tafel A 4.3.1)
	$L = L_{pi} = L_0 \cdot [\tanh(2\pi \cdot h_s / L_0)]^{3/4} \cdot 2/3 =$	129,16 m	



Vorwerte mit Auswertung

- bezogene Bermenhöhe:	$h_b^* = h_b / h_s =$	0,41 -->	niedrige Steinunterlage
- bez. signif. Wellenhöhe:	$H_s^* = H_s / h_s =$	0,37 -->	hohe Welle
- mittlere Bermenbreite:	$B_{eq} = B_b + h_b / (2 \cdot \tan \alpha) =$	30,00 m	
- bezogene Bermenbreite:	$B^* = B_{eq} / L_{HS} =$	0,23 -->	mittlere Berme

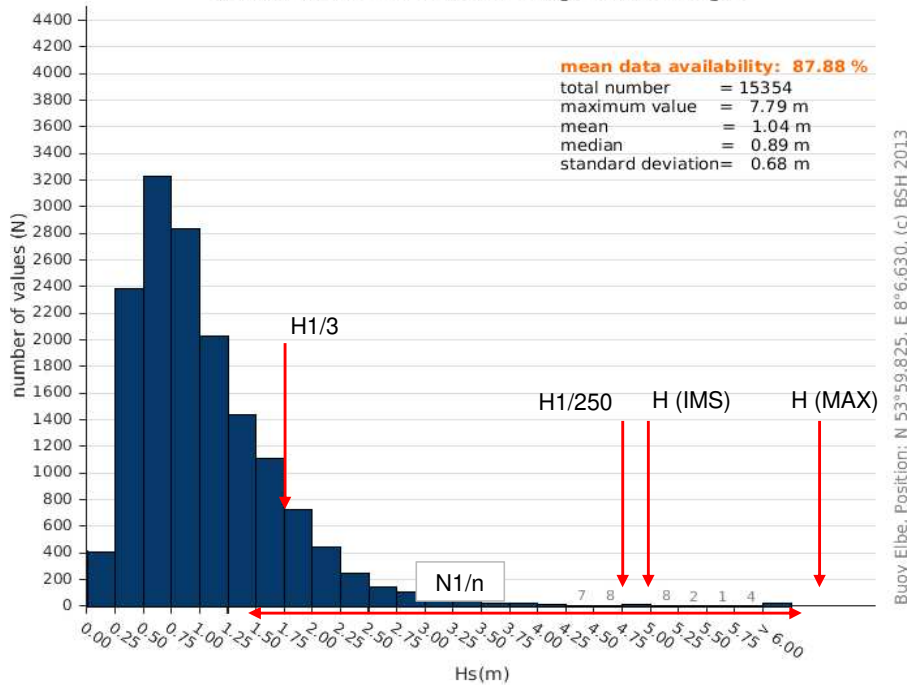
Anzusetzender Lastfall

Druckschlag

00.1 Auswertung der Daten BSH (Pegel Elbe) - Bestimmung der signifikanten Wellenhöhe

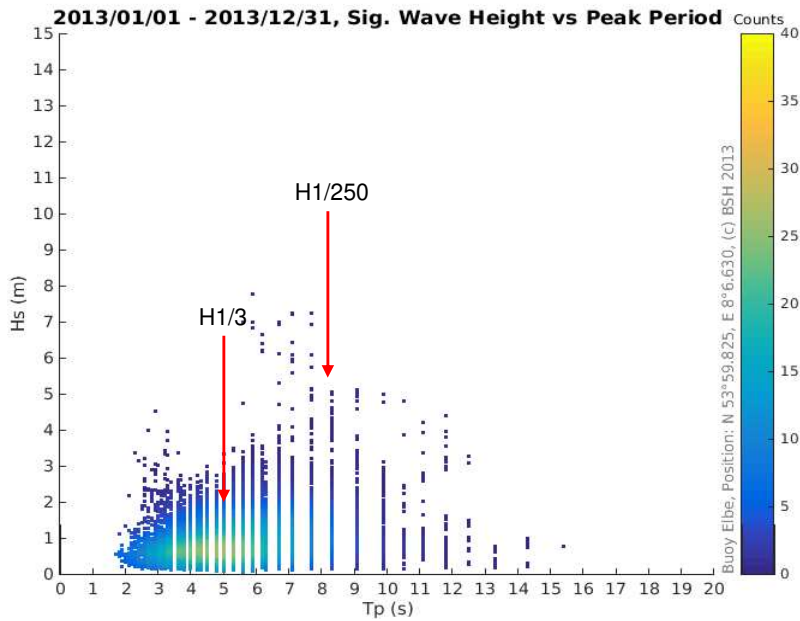
Daten der BSH für maßgebendes Bemessungsjahr (2013)

2013/01/01 - 2013/12/31, Sig. Wave Height



Buoy Elbe, Position: N 53°59.825, E 8°6.630, (c) BSH 2013

2013/01/01 - 2013/12/31, Sig. Wave Height vs Peak Period



Buoy Elbe, Position: N 53°59.825, E 8°6.630, (c) BSH 2013

Bestimmung H_G - Verfahren von Goda

- Gesamtwellenanzahl: $N = 15354$
- bezogene Menge: $1/n \text{ mit } n = 3$
- $N_{1/n} = 5118,0$
- Mittelwert: $H_{1/n} = \Sigma(H_i \cdot N_i) / N_{1/n} = 1,72$

- Hilfstabelle:

H	N	H*N
1,25	2050	2562,5
1,5	1450	2175
1,75	1100	1925
2	750	1500
2,25	450	1012,5
2,5	250	625
2,75	150	412,5
3	100	300
3,25	50	162,5
3,5	20	70
3,75	10	37,5
4	10	40
4,25	7	29,75
4,5	8	36
4,75	10	47,5
5	8	40
5,25	2	10,5
5,5	1	5,5
5,75	4	23
6	10	60
Σ	6440	11074,75

Bestimmung H_G - Verfahren von Sainflou

- Gesamtwellenanzahl: $N = 15354$
- bezogene Menge: $1/n \text{ mit } n = 250$
- $N_{1/n} = 61,4$
- Mittelwert: $H_{1/n} = \Sigma(H_i \cdot N_i) / N_{1/n} = 4,87 \text{ m}$

- Hilfstabelle:

H	N	H*N
4	10	40
4,25	7	29,75
4,5	8	36
4,75	10	47,5
5	8	40
5,25	2	10,5
5,5	1	5,5
5,75	4	23
6	10	60
Σ	60	292,25

Bestimmung H_S - Bemessung gemäß IMS (Stand 2012)

- bezogene Menge: $1/n$ mit $n = \text{IMS}$
- Mittelwert: $H_{1/n} = \Sigma(H_i \cdot N_i) / N_{1/n} = 5,01 \text{ m}$

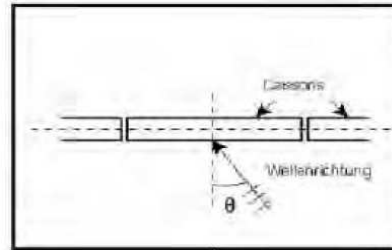
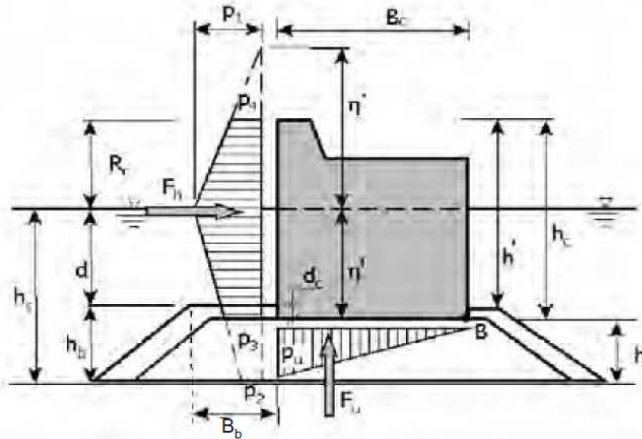
Bestimmung H_S - Bemessung gemäß gemessenem Max (BSH, Stand 2018)

- bezogene Menge: $1/n$ mit $n = \text{MAX}$
- Mittelwert: $H_{1/n} = \Sigma(H_i \cdot N_i) / N_{1/n} = 7,01 \text{ m}$

Zusammenstellung der anzusetzenden Wellenhöhen

- Goda: $H_{S,1/3} = 1,72 \text{ m}$
- Sainflou: $H_{S,1/250} = 4,87 \text{ m}$
- IMS: $H_{S,IMS} = 5,01 \text{ m}$
- MAX (BSH): $H_{S,max} = 7,01 \text{ m}$

01. EAK Tafel 4.3.2: Verfahren von Goda



Eingangswerte

- Dichte des Seewassers:	$\rho_w =$	1,025 t/m ³	(Wikipedia)
- Bauwerkshöhe über GOK:	$h' =$	32,25 m	
- Bauwerkshöhe über Wasser:	$R_C = h' - d =$	20,92 m	
- Lage GOK vor Berme:	NHN	-15,00 m	(siehe Peilung)
- Lage OK Berme:	NHN	-7,25 m	(siehe Peilung)
- Bemessungswasserhöhe:	$h = \text{NHN}$	4,08 m	(HHThw 17.02.1962)
- Wassertiefe vor Berme:	$h_S = \text{GOK} + h $	19,08 m	
- Wassertiefe über Berme:	$d = \text{OK Berme} + h $	11,33 m	
- Signifikante Wellenhöhe:	$H_S =$	1,72 m	(Referenzhöhe)
- Peak-Periode:	$T_p = (H_S + 4,05) / 0,89 =$	6,48 s	(siehe IMS: S.4)
- mittlere Wellenperiode:	$T_m =$	4,50 s	(geschätzt)
- signifikante Wellenperiode:	$T_{1/3} = 1,2 * T_m =$	5,40 s	
- Wellenlänge:	$L_0 = g * T_m^2 / (2\pi) =$	45,53 m	(analog L ₀ Tafel A 4.3.1)
	$L = L_{pi} = L_0 * [\tanh(2\pi * h_S / L_0)]^{3/4} / 2^{2/3} =$	45,29 m	

Bemessungswellenhöhe

- Bemessungswellenhöhe:	$H_D = 1,8 H_S =$	3,10 m	(Rayleigh-Verteilung; seawärts der Brandungszone)
- Wellenangriffswinkel:	$\theta =$	0,00 °	(ungünstige Annahme)

$$\eta^* = 0,75 * (1 + \cos \theta) * H_D = 4,64 \text{ m}$$

Horizontale Wellenbelastung

- Vorwerte:

$\alpha_1 = 0,6 + 1/2 * [(4\pi * h_S / L) / (\sinh(4\pi * h_S / L))]^2 =$	0,60	
$\alpha_2 = \min [(h_D - d) / (3 * h_D) * (H_D / d)^2; 2d / H_D] =$	0,02	mit $h_D = h_S$
$\alpha_3 = 1 - h' / h_S * [1 - 1 / \cosh(2\pi * h_S / L)] =$	-0,45	
$R_C^* = \min (\eta^*; R_C) =$	4,64 m	

- Wasserdruck:

$p_1 = 1/2 * (1 + \cos \theta) * (\alpha_1 + \alpha_2 * \cos^2 \theta) * \rho_w * g * H_D =$	19,3 kPa	(1 kPa = 1 kN/m ²)
$p_2 = p_1 / [\cosh(2\pi * h_S / L)] =$	2,8 kPa	
$p_3 = \alpha_3 * p_1 =$	-8,6 kPa	
für $\eta^* > R_C$: $p_4 = p_1 * (1 - R_C / \eta^*) =$	-67,5 kPa	
für $\eta^* \leq R_C$: $p_4 =$	0 kPa	zutreffend

- Ersatzlast:

$$F_h = 1/2 * (p_1 + p_3) * h' + 1/2 * (p_1 + p_4) * R_C^*$$

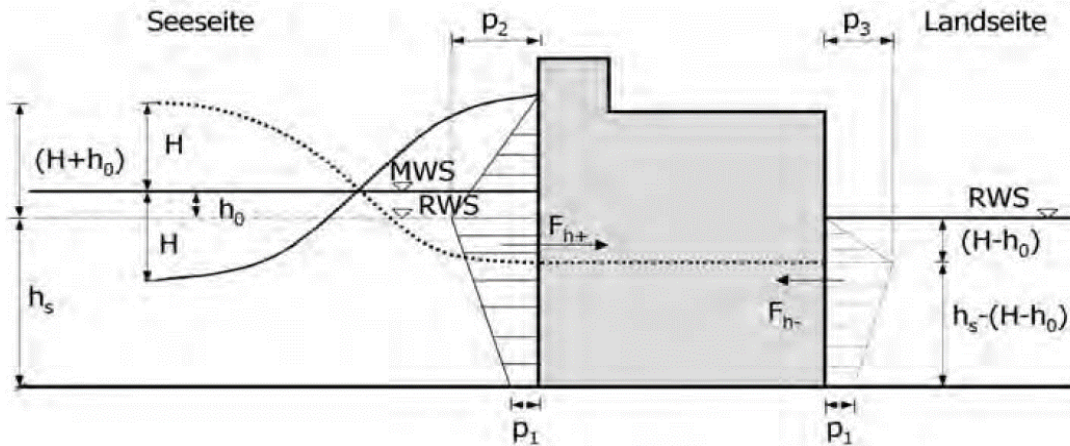
$$F_h = 215,9 \text{ kN/m}$$

- Moment an der Caisson-Hinterkante:

$$M_{Fh} = 1/6 * (2 * p_1 + p_3) * h'^2 + 1/2 * (p_1 + p_4) * h' * R_C + 1/6 * (p_1 + 2 * p_4) * R_C^2$$

$$M_{Fh} = 13075,2 \text{ kNm/m}$$

02. EAK Tafel 4.3.3: Verfahren von Sainflou



Eingangswerte

- Dichte des Seewassers:	$\rho =$	1,025 t/m ³	(Wikipedia)
- Erdbeschleunigung:	$g =$	9,81 m/s ²	
- Lage GOK vor Berme:	NHN	-15,00 m	(siehe Peilung)
- Lage OK Berme:	NHN	-7,25 m	(siehe Peilung)
- Bemessungswasserhöhe:	$h = \text{NHN}$	4,08 m	(HHThw 17.02.1962)
- Wassertiefe vor Berme:	$h_s = \text{GOK} + h $	19,08 m	
- Wassertiefe über Berme:	$d = \text{OK Berme} + h $	11,33 m	
- Höhe der einlaufenden Welle	$H = H_{1/250} =$	4,87 m	(Mittelwert $N_{1/250}$ aus Referenz Elbepegel)
- Peak-Periode:	$T_p = (H_s + 4,05)/0,89 =$	10,02 s	(siehe IMS: S.4)
- Wellenlänge:	$L_0 = g \cdot T_m^2 / (2\pi) =$	156,86 m	(analog L_0 Tafel A 4.3.1)
	$L = L_{pi} = L_0 \cdot [\tanh(2\pi \cdot h_s / L_0)]^{3/4} / 2^{2/3} =$	125,84 m	
- mittlere Wasserspiegelerhöhung:	$h_0 = \pi \cdot H^2 / L \cdot \coth(2\pi \cdot h_s / L)$		(hier $h_s = d$, da Berme vorhanden)
	$h_0 =$	1,16 m	

Bemessungswellenhöhe

- Reflexionskoeffizient:	$K_r =$	0,90	(Empfehlung siehe Anmerkung i)
- Bemessungswellenhöhe:	$H_{Bem} = (1 + K_r) \cdot H / 2 =$	4,63 m	(Rayleigh-Verteilung; seawärts der Brandungszone)

Horizontale Wellenbelastung

- Wasserdruck:

$$p_1 = \rho \cdot g \cdot H_{Bem} / \cosh(2\pi \cdot h_s / L) = 40,0 \text{ kPa} \quad (1 \text{ kPa} = 1 \text{ kN/m}^2)$$

$$p_2 = (p_1 + \rho \cdot g \cdot h_s) \cdot [(H_{Bem} + h_0) / (h_s + H_{Bem} + h_0)] = 52,0 \text{ kPa}$$

$$p_3 = \text{nicht maßgebend}$$

- Lage der Resultierenden über OK Berme (bezogen auf NHN -7,25):

$$h^* = \frac{\sum [p_i \cdot h_i \cdot h_{SP}]}{\sum [p_i \cdot h_i]} = 10,53 \text{ m}$$

$$\sum [p_i \cdot h_i \cdot h_{SP}] = p_2 \cdot (H_{Bem} + h_0) \cdot (d + (H_{Bem} + h_0) / 3) + (p_2 - p_1) \cdot d^2 / 3 + p_1 \cdot d^2 / 2$$

$$\sum [p_i \cdot h_i \cdot h_{SP}] = 7068,23 \text{ kN}$$

$$\sum [p_i \cdot h_i] = p_2 \cdot (h_{Bem} + h_0) / 2 + (p_2 - p_1) \cdot d / 2 + p_1 \cdot d$$

$$\sum [p_i \cdot h_i] = 671,4 \text{ kN/m}$$

- Ersatzlast:

$$F_{h+} = 1/2 \cdot [p_2 \cdot (H + h_0) + (p_2 + p_1) \cdot h_s]$$

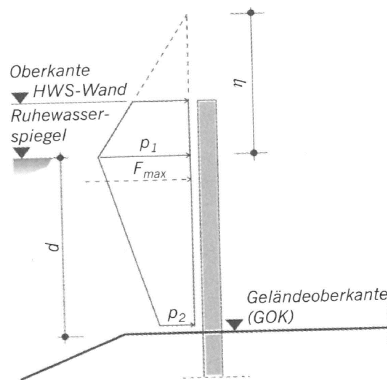
$$F_h = 671,4 \text{ kN/m}$$

- Moment an der Caisson-Hinterkante:

$$M_{Fh} = F_h \cdot h^*$$

$$M_{Fh} = 7068,2 \text{ kNm/m}$$

03. EAU 5.7.3: Belastung durch am Bauwerk brechende Wellen



Eingangswerte

- Dichte des Seewassers: $\rho = 1,025 \text{ t/m}^3$ (Wikipedia)
- Erdbeschleunigung: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Lage GOK vor Berme: NHN $-15,00 \text{ m}$ (siehe Peilung)
- Lage OK Berme: NHN $-7,25 \text{ m}$ (siehe Peilung)
- Bemessungswasserhöhe: $h = \text{NHN} = 4,08 \text{ m}$ (HHThw 17.02.1962)
- Wassertiefe vor Berme: $h_s = |\text{GOK}| + |h| = 19,08 \text{ m}$
- Wassertiefe über Berme: $d = |\text{OK Berme}| + |h| = 11,33 \text{ m}$
- Höhe der einlaufenden Welle $H_s = H_{1/i} = 7,01 \text{ m}$ ($H_{1/i}$ mit $1/i = \text{MAX (2013)}$)
- Peak-Periode: $T_p = (H_s + 4,05) / 0,89 = 12,43 \text{ s}$ (siehe IMS: S.4)
- Wellenlänge im tiefen Wasser: $L_0 = 1,56 * T_p^2 = 240,91 \text{ m}$
- Wellenlänge in Wassertiefe d: $L_d = L_0 * [\tanh(2\pi * h_s / L_0)]^{3/4} 1^{2/3}$
 $L_d = 163,44 \text{ m}$
- Wellenlänge der brechenden Welle: $L_b = L_0 * \tanh(2\pi * d_b / L_d)$ (hier $d_b = d$)
 $L_b = 98,77 \text{ m}$

Bemessungswellenhöhe

- Reflexionskoeffizient: $X_r = 0,90$ (Empfehlung siehe Anmerkung i)
- Bemessungswellenhöhe: $H_b = L_b * [0,1025 + 0,0217 * (1 - X_r) / (1 + X_r)] * \tanh(2\pi * d_b / L_b)$
 $H_b = 6,32 \text{ m}$ (hier $d_b = d$)

Horizontale Wellenbelastung

- Stoßfaktor: $\phi = 1,2$ (für Weiterrechnung: $h_s = d$, da Berme vorhanden)
- horizontale Ersatzlast: $F_{\max} = \phi * 8,0 * \rho * g * H_b^2 = 3855,4 \text{ kN/m}$ (nachgiebige Stützung; NW über 1,50 m u GOK)
- Druckordinate p_1 in Höhe des Ruhewasserspiegels:
 $p_1 = F_{\max} / [0,625 * d_b + 0,65 * H_b] = 344,6 \text{ kPa}$ (1 kPa = 1 kN/m²)
- Höhe der Druckfigur: $\eta = 1,3 * H_b = 8,2 \text{ m}$
- Druckordinate p_2 : $p_2 = 0,25 * p_1 = 86,1 \text{ kPa}$
- Lage der Resultierenden über OK Berme (bezogen auf NHN -7,25):
 $h^* = \Sigma[p_i * h_i * h_{SP}] / \Sigma[p_i * h_i] = 9,47 \text{ m}$
 $\Sigma[p_i * h_i * h_{SP}] = p_1 * \eta / 2 * (\eta / 3 + d) + (p_1 - p_2) * d^2 / 3 + p_2 * d^2 / 2$
 $\Sigma[p_i * h_i * h_{SP}] = 36500,16 \text{ kN}$
 $\Sigma[p_i * h_i] = p_1 * \eta / 2 + (p_1 - p_2) * d / 2 + p_2 * d$
 $\Sigma[p_i * h_i] = 3855,4 \text{ kN/m}$
- Ersatzlast: $F_{\max} = 3855,4 \text{ kN/m}$
- Moment an der Caisson-Hinterkante: $M_F = F_{\max} * h^*$
 $M_F = 36500,2 \text{ kNm/m}$

04. Zusammenfassung und Wertung der Lastermittlung

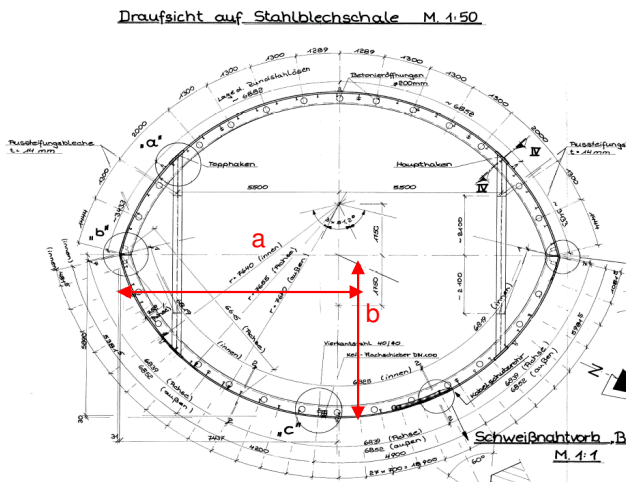
Ständige Lasten

- Wichte Mauerwerk:
- Wichte Beton:
- Lastermittlung gem. Turmbemessung:

$\gamma_{MW} =$	20 kN/m ³	
$\gamma_B =$	22 kN/m ³	
$V_{k,+0,5,Stahl} =$	772,0 kN	(siehe Turmbemessung)
$V_{k,+0,5,MW} =$	980,8 kN	(Keller; Wandh. 3,85 m; Wandd. 0,64 m)
$V_{k,+0,5,Z} =$	269,2 kN	(Zisterne; 1/4 Beton; 3/4 MW)
$\Sigma V_{k,+0,5,i} =$	2021,9 kN	

- Eigengewicht Caisson einschl. Verstärkung:

OK Caisson NHN	+0,50 m
$h_c =$	7,75 m
$a =$	7,468 m
$b =$	5,92 m
$A = \pi \cdot a \cdot b =$	138,9 m ²
$V_{k,Caisson} = \gamma_B \cdot A \cdot h_c$	
$V_{k,Caisson} =$	23681,0 kN



Windlasten

- Lastübergabe gem. Modellierung Turm:

$H_{k,w,res} =$	214,6 kN	(LK211)
$M_{k,w,res} =$	4427,9 kNm	(LK211)

Eisanprall gemäß EAK 7.4.3

- Kontaktbeiwert:	$c =$	0,7925 m ^{0,4}	(plastisches Eis)
- einaxiale Druckfestigkeit des Eises:	$\sigma_c =$	1500 kN/m ²	(EAK Tab. A.7.1)
- Pfahlbreite:	$d_c =$	14,9 m	(Caisson max d=2*a)
- Eisdicke:	$h =$	0,60 m	(EAK 7.4.4)
- Horizontale Eisdruckkraft:	$P = c * \sigma_c * d_c^{0,5} * h^{1,1} =$	2619,23 kN	

Wellenlasten

- maßgebende Turmbreite:	$b_t =$	10,00 m	(konservativ gemittelt)
- maßgebende Caissonbreite:	$b_c = 2 * a =$	14,94 m	(ungünstiger Ansatz)
- Lastordinate an OK Caisson NHN +0,50 m - Goda:	$p_0 = (p_1 - p_2) / h_s * (h_s - h + \text{OK Caisson}) + p_2$		
	$p_0 =$	16,2 kN/m	
	$h_1 =$	3,6 m	(h-OK Caisson)
- Lastordinate an OK Caisson NHN +0,50 m - Sainflou:	$p_0 = (p_2 - p_1) / d * (d - h + \text{OK Caisson}) + p_1$		
	$p_0 =$	48,2 kN/m	
	$h_1 =$	3,6 m	(h-OK Caisson)
- Lastordinate an OK Caisson NHN +0,50 m - Druckschlag:	$p_0 = (p_1 - p_2) / d * (d - h + \text{OK Caisson}) + p_2$		
	$p_0 =$	262,9 kN/m	
	$h_1 =$	3,6 m	(h-OK Caisson)
- Horizontallast bei OK Caisson NHN +0,50 m:	$F_{h,+0,5} = b_t * [p_{1/2} * \eta / 2 + (p_{1/2} - p_0) * h_1 / 2 + p_0 * h_1]$		
	$M_{h,+0,5} = b_t * [p_{1/2} * \eta / 2 * (\eta / 3 + h_1) + (p_{1/2} - p_0) * h_1^2 / 3 + p_0 * h_1^2 / 2]$		
... Goda:	$F_{h,+0,5,G} =$	1080,7 kN	
	$M_{h,+0,5,G} =$	3459,2 kNm	(genaue Bez. siehe 01-03)
... Sainflou:	$F_{h,+0,5,S} =$	3297,7 kN	
	$M_{h,+0,5,S} =$	11535,1 kNm	
... Druckschlag:	$F_{h,+0,5,D} =$	25028,3 kN	
	$M_{h,+0,5,D} =$	90390,6 kNm	

- Horizontallast bei UK Caisson NHN -7,25 m:

$$F_{h,-7,25} = F_{h,+0,5} + b_c * [(p_0 - p_{1/2}) * h_c / 2 + p_{1/2} * h_c]$$

$$M_{h,+0,5} = M_{h,+0,5} + F_{h,+0,5} * h_c + b_c * [(p_0 - p_{1/2}) * h_c^2 / 3 + p_{1/2} * h_c^2 / 2]$$

... Goda:	$F_{h,+0,5,G} =$	1515,9 kN	
	$M_{h,+0,5,G} =$	15374,2 kNm	(genaue Bez. siehe 01-03)
... Sainflou:	$F_{h,+0,5,S} =$	8400,3 kN	
	$M_{h,+0,5,S} =$	57480,9 kNm	
... Druckschlag:	$F_{h,+0,5,D} =$	45230,5 kN	
	$M_{h,+0,5,D} =$	375858,2 kNm	

Lastzusammenfassung und -vergleich

Ebene	Lastart	Ständige Lasten		Windlasten		Eislanprall		Wasserdruck			G. W. Rogge (1984)
		2018	1984	2018	1984	2018	1984	Goda	Sainflou	Druckschlag	
NHN +0,50	V [kN]	2021,9	7704,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	H [kN]	0,0	0,0	214,6	328,0	2619,2	4750,0	1080,7	3297,7	25028,3	3981,0
	M [kNm]	0,0	0,0	4427,9	4365,0	0,0	4370,0	3459,2	11535,1	90390,6	20476,0
NHN -7,25	V [kN]	25702,9	31920,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	H [kN]	0,0	0,0	214,6	406,0	2619,2	4750,0	1515,9	8400,3	45230,5	8646,0
	M [kNm]	0,0	0,0	6090,9	7332,0	20299,1	39985,0	15374,2	57480,9	375858,2	33167,0

Auswertung / Schlußfolgerung

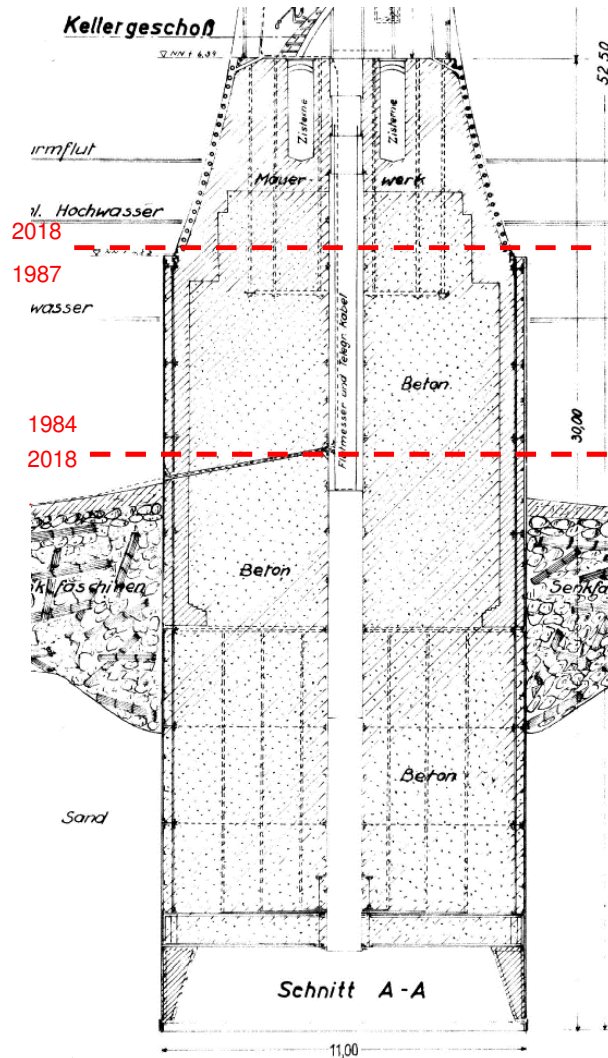
1. Lasten aus Druckschlag maßgebend (konservativer Ansatz); Überschreitung der Lasten von G. W. Rogge bis Faktor 10
--> exakte Ersatzlastermittlung aus Wellenbeanspruchung ggf. mit dynamischer Analyse erforderlich (extern)
2. aus Bauwerkshistorie und aktueller Lastermittlung ist erkennbar, dass der Caisson 1962 und 2013 sehr hoch belastet wurde
--> angesetztes Modell von G. W. Rogge nicht zutreffend; Anpassung des statischen Modells nach Auswertung Punkt 1
(Einbindung in Untergrund berücksichtigen)

Anhang A4.2: Statische Berechnungen

00. Grundlagen und Vorüberlegungen

Höheneinordnung des Bauwerks (Gründungsbereichs)

Es werden die zur weiteren Bemessung maßgebenden Höhen und Abmessungen des Turmsockels sowie des Caissons wiedergegeben.



Alle Höhenangaben NHN. Die Differenz von NN zu NHN wird vernachlässigt.

- OK Sockel: **6,39 m** (WSA Bremerhaven, Blatt 2, 1957)
- OK Caisson 1987: **0,73 m**
- Erhöhung 1885-1987: **0,50 m** (Ludwig Voss GmbH & Co. KG, B-0-7/87 b, 1987)
- OK Caisson 1885: **0,23 m** (WSA Bremerhaven, Blatt 2, 1957)
- Für die Bemessung der Wellenlasten wird vereinfachend von +0,50 m NHN ausgegangen.
- Gesamthöhe: **27 m** (WSA Bremerhaven, Blatt 2, 1957; abzgl. Sporn)
- Höhe Caisson 1987: **10 m** (Ludwig Voss GmbH & Co. KG, B-0-5/87 e, 1987)
- Höhe Wasser h_0 : **9,03 m** (OK Caisson - OK Meeresboden)
- OK Meeresboden: **-8,3 m** (WSA Bremerhaven, 212-0014349, 2017)
- UK Caisson 1987: **-9,27 m** (WSA Bremerhaven, 212-0014349, 2017)
- Caissonübergreifung $h_{Ü}$: **0,97 m** (OK Meeresboden - UK Caisson 1987)
- Zeichenklärung: **-----** (Bemessungsschnitte)
- Einbindetiefe h_{E} : **12,31 m** (OK Meeresboden - UK Caisson)
- Höhe Caisson 1885: **11,34 m**
- Breite Caisson 1885: **11,00 m**
- UK Caisson: **-20,61 m**

Vorüberlegungen

Ziel der nachfolgenden Untersuchung ist es, zunächst die der Verstärkungsmaßnahme von 1987 zugrundeliegenden Modellannahmen durch Ansatz exakt ermittelter Lastereignisse zu überprüfen und zu werten sowie anschließend eine Aussage zur künftigen Standsicherheit zu treffen.

Dazu sind im ersten Schritt die auf die Gründung einwirkenden Lasten anhand von Bestandsplänen, Ortsterminen sowie einer Nachbemessung des Turmtragwerks zu ermitteln. Hierzu zählt ebenfalls die Berechnung der bisher tatsächlich auf das Bauwerk einwirkenden Wellenbeanspruchungen anhand langjähriger Seegangs- sowie Wetterdaten (hier: Strömungsmessungen, Wind- und Seegangsdaten im Umfeld) unter Berücksichtigung der am Standort vorherrschenden Meeresbodengeografie (hier: Peilungen am Bauwerk bis 2017).

Anschließend erfolgt eine Untersuchung der Äußeren Standsicherheit am Rechenmodell von 1984 sowie von 1987 für die aktualisierten Lasten. Die Ergebnisse werden anschließend ausgewertet und hieraus ggf. weitere Ansätze abgeleitet (hier: Bewertung des Tragsystems und ggf. ergänzende Nachweise).

Abschließend werden die Ergebnisse analysiert sowie Schlußfolgerungen zur künftigen Standsicherheit sowie erforderlichen Maßnahmen getroffen.

01. Lastermittlung und -zusammenstellung

Es werden anschließend die auf die Gründung einwirkenden Lasten ermittelt.

Ständige Lasten

- Wichte Mauerwerk: $\gamma_{MW} = 18 \text{ kN/m}^3$
- Wichte Beton: $\gamma_B = 20 \text{ kN/m}^3$
- Wichte Auftrieb: $\gamma_W = 10 \text{ kN/m}^3$
- Lastermittlung gem. Turmbemessung:

$$V_{k,+0,5,\text{Stahl}} = 772,0 \text{ kN}$$

$$V_{k,+0,5,\text{MW}} = 882,7 \text{ kN}$$

$$V_{k,+0,5,\text{Sockel}} = 6207,9 \text{ kN}$$

$$\Sigma V_{k,+0,5,i} = 7862,6 \text{ kN}$$

- Eigengewicht Caisson einschl. Verstärkung:

OK Caisson 1987 NHN +0,50 m

$$h_{cV} = 10,00 \text{ m}$$

$$a = 7,468 \text{ m}$$

$$b = 5,92 \text{ m}$$

$$A = \pi \cdot a \cdot b = 138,9 \text{ m}^2$$

$$V_{k,\text{CaissonN}} = (\gamma_B - \gamma_W) \cdot A \cdot h_{cV}$$

$$V_{k,\text{CaissonN}} = 13889,2 \text{ kN}$$

- Eigengewicht Caisson 1885:

UK Caisson 1987 NHN -9,3 m

$$h_{cB} = 11,11 \text{ m}$$

$$a = 7,035 \text{ m}$$

$$b = 5,5 \text{ m}$$

$$A = \pi \cdot a \cdot b = 121,6 \text{ m}^2$$

$$V_{k,\text{CaissonB}} = (\gamma_B - \gamma_W) \cdot A \cdot h_{cB}$$

$$V_{k,\text{CaissonB}} = 13504,9 \text{ kN}$$

- Stabilisierendes Moment bei NHN -8,3 m:

$$M_{k,\text{Caisson},M} = \Sigma V_{k,i} \cdot (0,85 \cdot a)$$

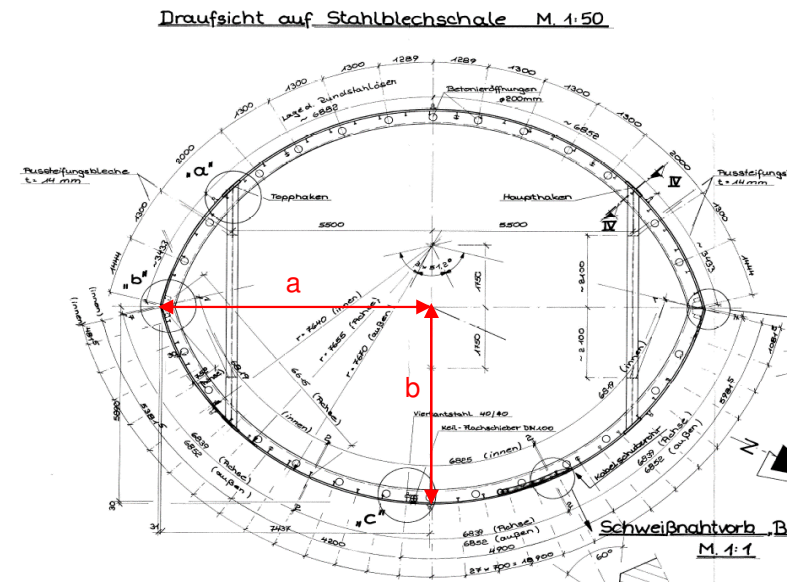
(Ansatz für geschwächten Beton)

(Annahme Caisson vollständig im Wasser)

(siehe Turmbemessung)

(Keller; Wandh. 3,85 m; Wandd. 0,64 m)

(Zisterne; 1/4 Beton; 3/4 MW)



(OK Meeresboden, Hebelarm stabilisierende Lasten konservativ angesetzt)

Windlasten

- Lastübergabe gem. Modellierung Turm:	$H_{k,w,res} =$	214,6 kN	(LK211)
	$M_{k,w,res} =$	4427,9 kNm	(LK211)

Eisanprall gemäß EAK 7.4.3

- Kontaktbeiwert:	$c =$	0,7925 m ^{0,4}	(plastisches Eis)
- einaxiale Druckfestigkeit des Eises:	$\sigma_c =$	1500 kN/m ²	(EAK Tab. A.7.1)
- Pfahlbreite:	$d_c =$	14,9 m	(Caisson max d=2*a)
- Eisdicke:	$h =$	0,60 m	(EAK 7.4.4)
- Horizontale Eisdruckkraft:	$P = c \cdot \sigma_c \cdot d_c^{0,5} \cdot h^{1,1} =$	2619,23 kN	

Wellenlasten

Abweichend von den in analytisch ermittelten Lasten werden für die Standsicherheitsnachweise anschließend die numerisch ermittelten Wellenlasten der TU Dresden, Institut für Wasserbau, angesetzt. Gemäß der Auswertung der vorhandenen Struktur sowie der numerischen Untersuchungen können partielle Sturzbrecher oder gebrochene Wellen auftreten.

Es sind anschließend die durch die zur weiteren Bemessung angesetzten Wellenlasten wiedergegeben.

- Wellenlasten an OK Caisson NHN +0,50 m:			
... Partiieller Sturzbrecher:	$F_{h,+0,5,P} =$	2502,0 kN	(Übermittlung per Mail, Stand 05.06.2019)
	$M_{h,+0,5,P} =$	24136,0 kNm	
... Gebrochene Welle:	$F_{h,+0,5,G} =$	5488,0 kN	
	$M_{h,+0,5,G} =$	7835,9 kNm	
- Wellenlasten an OK Meeresboden NHN -8,30 m:			
... Partiieller Sturzbrecher:	$F_{h,-8,3,P} =$	6936,0 kN	(Übermittlung per Mail, Stand 05.06.2019)
	$M_{h,-8,3,P} =$	44981,1 kNm	
... Gebrochene Welle:	$F_{h,-8,3,G} =$	12274,0 kN	
	$M_{h,-8,3,G} =$	98488,5 kNm	

Lastzusammenstellung und -vergleich

Es werden anschließend die oben ermittelten Lasten tabellarisch wiedergegeben sowie den in der Bemessung von G. W. Rogge von 1984 ermittelten Einwirkungen gegenübergestellt.

Ebene	Lastart	Ständige Lasten		Windlasten		Eislanprall		Wasserdruck		
		2018	1984	2018	1984	2018	1984	TUD - WaBau		G. W. Rogge (1984)
								Partieller Sturz- brecher	Gebrochene Welle	
NHN +0,50	V [kN]	7862,6	7704,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	H [kN]	0,0	0,0	214,6	328,0	2619,2	4750,0	2502,0	5488,0	3981,0
	M [kNm]	0,0	0,0	4427,9	4365,0	0,0	4370,0	24136,0	7835,9	20476,0
NHN -7,25 (-8,3)	V [kN]	21751,7	31920,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	H [kN]	0,0	0,0	214,6	406,0	2619,2	4750,0	6936,0	12274,0	8646,0
	M [kNm]	138075,7	0,0	6573,7	7332,0	26192,3	39985,0	44981,1	98488,5	33167,0
NHN -20,61	V [kN]	43119,2	-	0,0	-	0,0	-	0,0	0,0	-
	H [kN]	0,0	-	214,6	-	2619,2	-	6936,0	12274,0	-
	M [kNm]	171894,7	-	9215,2	-	58435,1	-	130363,3	249581,4	-

Auswertung / Schlußfolgerung

Es werden anschließend markante Abweichungen von den durch G. W. Rogge 1984 angesetzten Lasten und den 2018/2019 ermittelten Lasten ausgewertet.

- Ständige Lasten: ... Abweichung 1984/2018: 147 % für Ständige Vertikallasten bei NHN -7,25 (-8,3) (maßgebend Caissongewicht)
 ... Begründung: 1. 1984 hydrostatischer Auftrieb nicht angesetzt.
 2. 2018/2019 tatsächliche Höhenerfassung aufgrund vorhandener Peilungen
 3. 2018/2019 geringere Wichte für Betonfüllung mit unterschiedlicher Zusammensetzung in
 Anlehnung an Ergebnisse der Untersuchung von 1955 angesetzt.

- Eisanprall: ... Abweichung 1984/2018: 181 % für Horizontallasten aus Eisanprall bei NHN -7,25 (-8,3)
 153 % für destabilisierendes Moment aus Eisanprall bei NHN -7,25 (-8,3)
 ... Begründung: 1. 2018/2019 Vorgaben der aktuellen EAK Tab. A.7.1 angesetzt.

- Wasserdruck: ... Abweichung 1984/2018: 70 % für Horizontallasten aus Wellen bei NHN -7,25 (-8,3)
 34 % für destabilisierendes Moment aus Wellen bei NHN -7,25 (-8,3)
 ... Begründung: 1. 1984 Erheblich geringere Lasten aufgrund Ansatz der Wellenermittlung nach Saintflou.
 2. 2018/2019 Analytische und numerische Wellenmodelle aufgrund tatsächlicher Meeresboden-
 geografie und Seegangdaten (Winter 2013 zu 2014 maßgebend)
 (Anmerkung: Stärke der Wellenbelastung bereits in Gutachten 1955 Heft 1 S. 9 vermerkt, da-
 mals Einstiegsluken durch "schwerste See" aufgedrückt und Kohle in Pegelschacht gespült)

- Schlußfolgerung: Aufgrund der erheblichen Abweichungen zu den 1984 ermittelten und hier ungünstiger wirkenden Lasten ist der Nachweis der
 Äußeren Standsicherheit für den damals maßgebenden Bemessungsschnitt in Höhe OK Meeresboden erneut zu untersuchen.

02. Nachweis der Lasteinleitung aus dem Turmsockel - OK Caisson +0,5 m

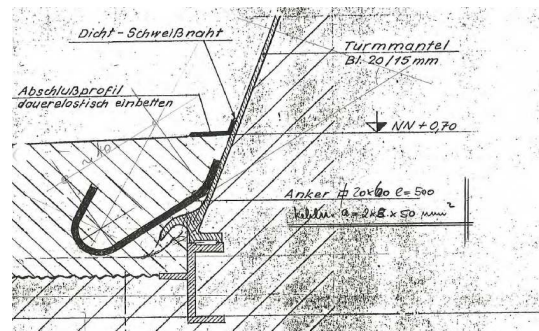
Einwirkungen gemäß Kapitel 01

Es werden anschließend die zur weiteren Bemessung in Höhe OK Caisson maßgebenden Lasten wiedergegeben.

Ebene	Lastart	Ständige Lasten		Windlasten		Eislanprall		Wasserdruck		
		2018	1984	2018	1984	2018	1984	TUD - WaBau		G. W. Rogge (1984)
								Partieller Sturzbrecher	Gebrochene Welle	
NHN +0,50	V [kN]	7862,6	7704,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	H [kN]	0,0	0,0	214,6	328,0	2619,2	4750,0	2502,0	5488,0	3981,0
	M [kNm]	0,0	0,0	4427,9	4365,0	0,0	4370,0	24136,0	7835,9	20476,0

02.1 Auswertung vorhandener Unterlagen und Lastvergleich

Die Lasteinleitung der äußeren Einwirkungen vom Turm in den Caisson wurde in der geprüften Statischen Berechnung der Ludwig Voss GmbH & Co. KG, Kapitel 2.3.5, S. 2.183 von 1987 für die von G. W. Rogge ermittelten Lasten hinreichend nachgewiesen. Die Auslastungen betragen in dem untersuchten Schnitt bis zu ca. 83 %. Aufgrund der geringen Unterschiede zwischen den an der OK des Caissons bei NHN +0,5 m (+0,73 m) von 1984 zu 2018 (bis zu 18%) ist kein erneuter Nachweis erforderlich. Die Verankerung des Turmsockels im Caisson ist gegeben.



Auszug Statik Ludwig Voss GmbH & Co. KG, Detail Anschluss Turmsockel, 1987

02.2 Anmerkungen und Schlußfolgerungen

Die Verankerung des Turmsockels ist aufgrund des 1987 ausgebildeten Rings im Übergangsbereich für die ermittelten Einwirkungen gegeben.

Zur Gewährleistung der künftigen Standsicherheit des Turms ist es erforderlich die Funktionstüchtigkeit des Anschlusses sicherzustellen. Hierfür muss der Korrosionsschutz durch den Aufbeton des Rings bestehen bleiben.

Es ist im Zuge turnusmäßiger Untersuchungen der Zustand des Aufbetons zu prüfen und Fehlstellen / Störungen der Betonoberfläche durch ein geeignetes System kraftschlüssig wiederherzustellen.

03. Nachweis der Äußeren und inneren Standsicherheit - OK Meeresboden -8,3 m

Einwirkungen gemäß Kapitel 01

Es werden anschließend die zur weiteren Bemessung in Höhe OK Meeresboden maßgebenden Lasten wiedergegeben.

Ebene	Lastart	Ständige Lasten	Windlasten	Eislanprall	Wasserdruck	
					TUD - WaBau	
					Partieller Sturzbrecher	Gebrochene Welle
		2018	2018	2018		
NHN -7,25 (-8,3)	V [kN] H [kN] M [kNm]	21751,7 0,0 138075,7	0,0 214,6 6573,7	0,0 2619,2 26192,3	0,0 6936,0 44981,1	0,0 12274,0 98488,5

03.1 Nachweis der Äußeren Standsicherheit

Es wird analog zum Rechenmodell von G. W. Rogge (1984) eine Schwergewichtsgründung angesetzt.

Nachweis der Kippsicherheit

Der Nachweis der Kippsicherheit wird durch einen Vergleich stabilisierender und destabilisierender Einwirkungen (Momente um gedachten Drehpunkt) erbracht. Der Kippunkt befindet sich bei $0,85 \cdot a$.

- Destabilisierendes Moment: $M_{dst} = M_{k,w,res} + \max(M_{k,p}; M_{h,i})$ Eislanprall und Wasserdruck nicht gleichzeitig wirkend
 $M_{dst} = 105062,2 \text{ kNm}$
- Stabilisierendes Moment: $M_{stb} = M_{k,Caisson}$
 $M_{stb} = 138075,7 \text{ kNm}$
- Kippsicherheitsnachweis: $\eta_{Kippen} = M_{dst} / M_{stb} = 0,76 < 1,00$ Nachweis eingehalten

Lage der Resultierenden

- Destabilisierendes Moment:	$M_{dst} = M_{k,w,res} + \max(M_{k,P}; M_{h,i})$	Eisanprall und Wasserdruck nicht gleichzeitig wirkend
	$M_{dst} = 105062,2 \text{ kNm}$	
- Stabilisierende Vertikallast:	$V_{stb} = V_{k,Caisson}$	
	$V_{stb} = 21751,7 \text{ kN}$	
- Ausmittigkeit:	$e_{zul,1} = 2 * 0,85 * a / 6 = 2,12 \text{ m}$	1. Kernweite
	$e_{zul,2} = 2 * 0,85 * a / 3 = 4,23 \text{ m}$	2. Kernweite
	$e_{vorh} = M_{dst} / V_{stb} = 4,83 \text{ m}$	Vorhandene Ausmittigkeit
	$e_{zul,1} < e_{vorh}$	Klaffende Fuge
	$e_{zul,2} < e_{vorh}$	Zugbew. erforderlich

Neigung der Resultierenden

- Destabilisierende Horizontalkraft:	$H_{dst} = H_{k,w,res} + \max(H_{k,P}; H_{h,i})$	Eisanprall und Wasserdruck nicht gleichzeitig wirkend
	$H_{dst} = 12488,6 \text{ kN}$	
- Stabilisierende Vertikallast:	$V_{stb} = V_{k,Caisson}$	
	$V_{stb} = 21751,7 \text{ kN}$	
- Vorhandener Reibungswinkel:	$\varphi = 35,0^\circ$	Geschätzt für Sand mit Feinkorn, ungesprengtes Korngefüge
- Neigung:	$\delta_{Res} = \arctan [V_{stb}/H_{dst}] = 60,14^\circ$	Neigung der Resultierenden zum Bemessungsschnitt
	$\varphi < \delta_{Res}$	Gleitsicherheit gegeben

Auswertung

Die Äußere Standsicherheit ist hinsichtlich Gleiten gegeben. Aufgrund der Lage der Resultierenden jenseits der 2. Kernfläche tritt in der Sohlfuge bei dem betrachteten Zustand (kein Einbinden in den Untergrund) Klaffen bis über den Mittelpunkt auf. Die Ergebnisse der statischen Berechnungen von G. W. Rogge (1984) sowie der Ludwig Voss GmbH & Co. KG (1987) werden somit grundlegend bestätigt. Es ist somit eine Rückverankerung in den Untergrund über den Stahlmantel des ursprünglichen Caissons erforderlich.

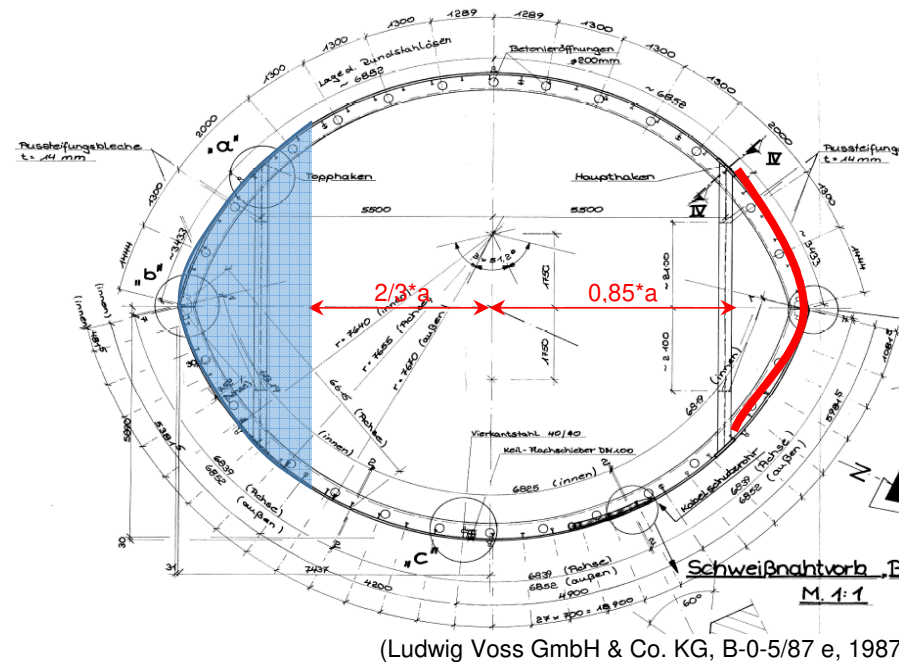
Ergänzend werden abweichend von den 1984 und 1987 erstellten statischen Berechnungen die Nachweise der inneren Standsicherheit zur Zugkraftübertragung im aktivierten Mantelbereich am Übergang Caisson 1885 zu 1987 und der Rückverankerung über Mantelreibung des ursprünglichen Caissons geführt.

03.2 Nachweis der Inneren Standsicherheit

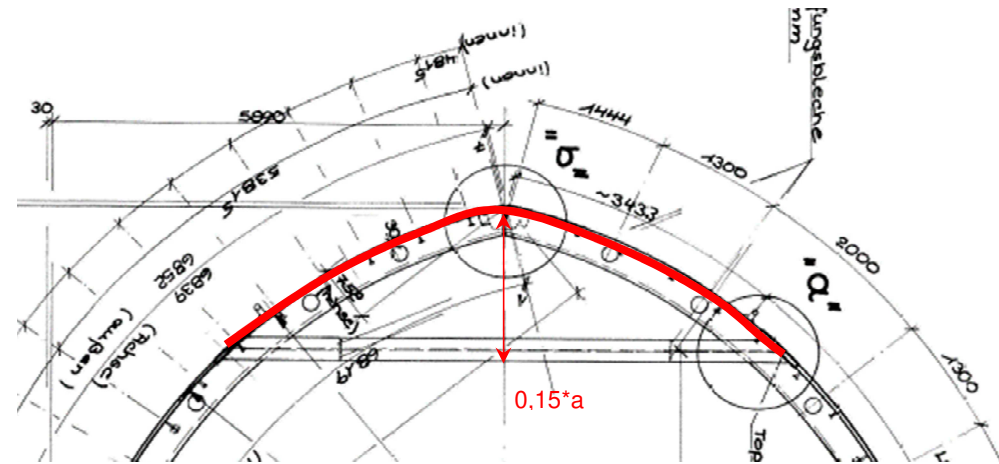
Nachweis der Zugkraftübertragung

Es wird anschließend der Nachweis der Zugstrebe im aktivierten Bereich des Stahlmantels des Caissons für die destabilisierenden Lasten im Verbundbereich zum Caisson von 1987 geführt.

- Übersichtsskizzen: ... Verteilung Druck-Zug-Zone



... Detail Zug-Zone:



(Ludwig Voss GmbH & Co. KG, B-0-5/87 e, 1987)

- Destabilisierendes Moment:

$$M_{dst} = M_{k,w,res} + \max(M_{k,p}; M_{n,i})$$

Eisanprall und Wasserdruck wirken nicht gleichzeitig

$$M_{dst} = 105062,2 \text{ kNm}$$

- Zugehöriger Hebelarm:

$$L_{dst} = 0,85 \cdot a + 2/3 \cdot a$$

Abstand Druck-Zugzone

$$L_{dst} = 11,33 \text{ m}$$

- Zugehörige Zugkraft im Mantel:

$$F_{k,Z,M} = M_{dst} / L_{dst}$$

$$F_{k,Z,M} = 9275,8 \text{ kN}$$

- Zugfestigkeit:

$$f_{yk} = 22,00 \text{ kN/cm}^2$$

Puddelstahl (siehe Teil III und Gutachten 1955 Heft 1)

$$\gamma_{MB} = 1,23$$

hier nur Stahlalter berücksichtigt (siehe Teil III, Kapitel 3.04)

$$f_{yd} = 17,89 \text{ kN/cm}^2$$

- Mantelquerschnitt:

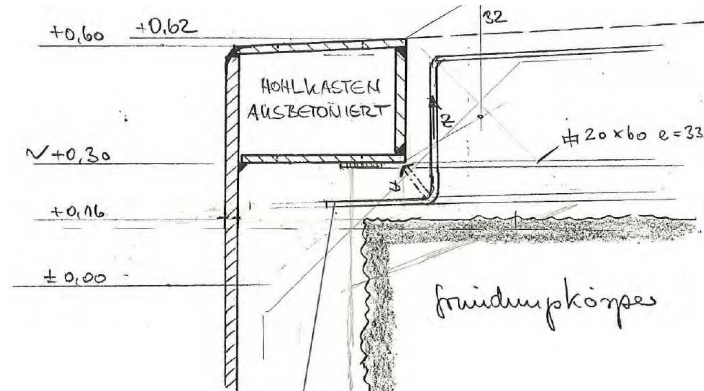
$$t_{Ma} = 7,0 \text{ mm}$$

(Gutachten 1955 Heft 1 S. 22)

- Erforderliche Mantellänge:	$L_{Ma,erf} = F_{k,Z,M} / (t_{Ma} * f_{yd})$	
	$L_{Ma,erf} = 7,41 \text{ m}$	
- Vorhandene Mantellänge:	$L_{Ma,vorh} = 8,49 \text{ m}$	Zugzone bis $0,85 * a$ (Ludwig Voss GmbH & Co. KG, B-0-5/87 e, 1987)
- Vorhandene Zugfläche:	$A_{Ma,vorh} = L_{Ma,vorh} * t_{Ma}$	
	$A_{Ma,vorh} = 594,16 \text{ cm}^2$	
- Bauteilwiderstand	$F_{Rk,Z,M} = A_{Mat,vorh} * f_{yk}$	
	$F_{Rk,Z,M} = 10627,3 \text{ kN}$	
- Nachweis der Zugstrebe:	$\eta_{Zug} = F_{k,Z,M} / F_{Rk,Z,M} = 0,87 < 1,00$	Nachweis eingehalten

Nachweis des Verbunds zwischen Caisson 1987 und Caisson 1885

Der Kraftübertragung zwischen dem Caisson von 1987 und 1885 wurde hinreichend in der geprüften Statischen Berechnung der Ludwig Voss GmbH & Co. KG, Kapitel 2.3.6, S. 2.189 von 1987 für die von G. W. Rogge ermittelten Lasten hinreichend nachgewiesen. Die Auslastung beträgt in dem untersuchten Schnitt ca. 3 %. Aufgrund der geringen Auslastung ist der Nachweis für das aktuelle (höhere) Lastniveau ohne erneute Berechnung erfüllt. Der Verbund zwischen dem Caisson 1987 und 1885 ist gegeben.



Auszug Statik Ludwig Voss GmbH & Co. KG,
 Detail Fuge Caisson, 1987

Auswertung

Die aus dem einwirkenden Moment resultierenden Zugkräfte können durch die Zugstrebe im Mantel aufgenommen werden.

03.3 Nachweis der Zugverankerung

- | | | |
|-------------------------|--|---------|
| - Bodenklassifizierung: | Sand mit Feinkorn
keine Sprengung des Korngerüsts | Annahme |
|-------------------------|--|---------|

Nachweis der Zugkraftverankerung

Die Zugkraftverankerung des Caissons erfolgt über Mantelreibung gemäß der oben ermittelten Zug-Zone sowie der vorhandenen Einbindetiefe.

- | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---|
| - Vorhandene Mantellänge: | $L_{Ma,vorh} =$ | 8,49 m | |
| - Vorhandene Einbindetiefe: | $h_U =$ | 12,31 m | (OK Meeresboden - UK Caisson) |
| - Vorhandene Kontakfläche: | $A_{S,vorh} = L_{Ma,vorh} \cdot h_U$ | | |
| | $A_{S,vorh} =$ | 104,49 m ² | |
| - Pfahlmantelreibung: | $q_{s,k} =$ | 10,00 MN/m ² | konservativer Ansatz (Unterer Grenzwert für nichtbindige Böden) |
| - Anpassungsfaktor: | $\eta_s =$ | 0,80 | Stahlprofil |
| - Auszieh Widerstand: | $R_{s,k} = A_{S,vorh} \cdot q_{s,k}$ | | |
| | $R_{s,k} =$ | 1044872,8 kN | |
| - Nachweis der Mantelreibung: | $\eta_{R,s} = F_{k,Z,M} / R_{s,d} =$ | 0,01 < 1,00 | Nachweis eingehalten |

Überprüfung des aktivierten Erdkegels

Es wird anschließend der durch die Zugverankerung aktivierte Erdkegel unter Berücksichtigung der darüber befindlichen Wassersäule überprüft.

- | | | | |
|-------------------------------|---|------------------------|---|
| - Bodenwichte unter Auftrieb: | $\gamma_{B,w} =$ | 10,5 kN/m ³ | Geschätzt für Sand mit Feinkorn, ungesprengtes Korngefüge |
| - Reibungswinkel: | $\varphi =$ | 35,0 ° | Geschätzt für Sand mit Feinkorn, ungesprengtes Korngefüge |
| - Vorhandene Mantellänge: | $L_{Ma,vorh} =$ | 8,49 m | |
| - Vorhandene Einbindetiefe: | $h_U =$ | 12,31 m | (OK Meeresboden - UK Caisson) |
| - Vorhandenes Volumen: | $V_{S,vorh} = L_{Ma,vorh} / 2 \cdot h_U^2 \cdot \tan \varphi$ | | |
| | $V_{S,vorh} =$ | 450,32 m ³ | |

- Eigenlast Erdkegel:	$R_{EK,vorh} = V_{S,vorh} \cdot \gamma_{B,W}$	
	$R_{EK,vorh} = 4728,33 \text{ kN}$	
- Wassersäule auf Erdkegel:	$h_U = 9,03 \text{ m}$	(OK Caisson - OK Meeresboden)
- Vorhandenes Volumen:	$V_{W,vorh} = L_{Ma,vorh} \cdot h_O \cdot h_U \cdot \tan \varphi$	
	$V_{W,vorh} = 660,66 \text{ m}^3$	
- Eigenlast Wassersäule:	$R_{W,vorh} = V_{W,vorh} \cdot \gamma_W$	$\gamma_W = 10 \text{ kN/m}^3$
	$R_{W,vorh} = 6606,60 \text{ kN}$	
- Kegel Gesamtlast:	$R_{vorh} = \Sigma R_{i,vorh}$	
	$R_{vorh} = 11334,93$	
- Nachweis gegen Herausziehen:	$\eta_R = F_{k,Z,M} / R_{vorh} = 0,82$	$< 1,00$ Nachweis eingehalten

03.4 Auswertung der Standsicherheitsnachweise

Die Nachweise der Standsicherheit des Gründungskörpers haben ergeben, dass unter Berücksichtigung des 1955 erkundeten Zustandes des Mantels des "alten" Caissons eine ausreichende Zugverankerung im Meeresboden und innere Standsicherheit gegeben ist. Zur Gewährleistung der Standsicherheit des Leuchtturmes ist es erforderlich die Funktionstüchtigkeit der Stahlwandung sowohl des „neuen“ Caissons von 1987 als auch des „alten“ von 1885 sicherzustellen. Mit Blick auf den Stahlmantel des „alten“ Caissons wird davon ausgegangen, dass sich der 1955 erkundete Zustand nicht wesentlich verändert hat. Diese Annahme ist für den Nachweis der Standsicherheit von größter Relevanz und durch entsprechende Untersuchungen zu bestätigen. Zur Erhaltung des Bauwerkes ist Korrosion an der Stahlwandung des „alten“ Caissons bestmöglich einzudämmen. Diesbezüglich wird empfohlen die Anschütthöhe zu vergrößern, so dass der „neue“ Caisson mindestens 1,5 m in die Meeressohle einbindet. Der Zustand der Stahlwandungen der Caissons ist im Zuge turnusmäßiger Untersuchungen zu prüfen. Können die o.g. Annahmen nicht bestätigt werden und/oder tritt eine Verschlechterung des Zustandes ein, sind Maßnahmen zur Ertüchtigung zu ergreifen.

Bericht wird nachgereicht.