



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 16.09.2022

Prüfnummer: 3667703-22-d Rev.1

Objekt: **Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung**
Windenergieanlage Vestas V162-6.8/7.2 MW
Turm: Hybridturm HA2A90A (T22)
Nabenhöhe: 169 m über GOK
Windzone S, Erdbebenzone 3
Lebensdauer: 25 Jahre
Hier: Ø = 25,50 m (rund) mit Auftrieb

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

**Hersteller Wind-
energieanlage:** Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 42
8200 Aarhus N
Dänemark

**Konstruktion und
Berechnung
Fundament:** Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Straße 1
92369 Sengenthal

Auftraggeber: Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Straße 1
92369 Sengenthal

Geltungsdauer: bis 30.08.2027

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/AME

Dokument:
3667703-22-d-
Rev.1_Vestas_V162_6.8-
7.2MW_HH169m_FGmA_25,5m
_25y.docx

Das Dokument besteht aus
8 Seiten.
Seite 1 von 8

Die auszugsweise Wiedergabe des
Dokumentes und die Verwendung
zu Werbezwecken bedürfen der
schriftlichen Genehmigung der
TÜV SÜD Industrie Service GmbH.

Die Prüfergebnisse beziehen
sich ausschließlich auf die
untersuchten Prüfgegenstände.

Sitz: München
Amtsgericht München HRB 96 869
UST-IdNr. DE129484218
Informationen gemäß § 2 Abs. 1 DL-InfoV
unter www.tuvsud.com/impressum

Aufsichtsrat:
Reiner Block (Vors.)
Geschäftsführer:
Ferdinand Neuwieser (Sprecher),
Thomas Kainz, Simon Kellerer

Telefon: +49 89 5791-3146
Telefax: +49 89 5791-2956
www.tuvsud.com/de-is



TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit für die
Bautechnische Prüfung von
Windenergieanlagen
Westendstraße 199
80686 München
Deutschland



Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	31.08.2022	Erstfassung
1	16.09.2022	Dateiname angepasst

Inhaltsverzeichnis

1.	Unterlagen	3
1.1.	Geprüfte Unterlagen.....	3
1.2.	Eingesehene Unterlagen.....	3
2.	Prüfgrundlage	4
3.	Beschreibung	5
3.1.	Baustoffe.....	5
3.2.	Lastannahmen	5
3.3.	Baugrund	5
4.	Prüfumfang	6
5.	Prüfbemerkungen.....	6
6.	Prüfergebnis.....	7
	Auflagen.....	7



Industrie Service

1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

Folgende Dokumente alle von Max Bögl Wind AG erstellt, wurden zur Prüfung vorgelegt:

- [1] Statische Berechnung „Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm T22, Bauteil: Fundament mit Auftrieb mit D=25,5m, Windenergieanlage: V162-6.8/7.2MW, Nabenhöhe: 169 m“, 197 Seiten,
Dokument Nr. D00282008, Rev. 01, Datum 2022-08-22
- [2] „Schalplan Fundament Ø25,50m“,
Dokument Nr. DE_T22_005_XX_X, Rev. a, Datum 2022-08-18
- [3] „Bewehrung Fundament Ø25.50m“,
Dokument Nr. DE_T22_006_XX_X, Rev. a, Datum 2022-08-18

1.2. Eingesehene Unterlagen

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [4] „Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm T22“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 17 Seiten,
Dokument Nr. D00282001, Rev. 01, vom 2022-08-22
- [5] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, Bauteil: Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 50 Seiten,
Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [6] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung – Statischer Nachweis der Bauteile für die untere Spanngliedverankerung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen gemäß DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2015“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, 9 Seiten,
Dokument Nr. 8118 409 048-6 D, Rev. 0, Datum 2021-03-05
- [7] „Übersichtsplan Gesamtturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG,
Dokument Nr. DE_T22_001_XX_X_Uebersicht, Rev. a, Datum 2022-08-23
- [8] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm HA2A90A (T22), Windenergieanlage V162-6.8/7.2MW, 169 m Nabenhöhe, Windzone S, Erbebenzone 3, Lebensdauer 25 Jahre“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 15 Seiten,
Dokument Nr. 3667703-12-d, Rev. 0, Datum 2022-08-31



Industrie Service

2. Prüfgrundlage

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgender Richtlinie:

- /1/ „Richtlinie für Windenergieanlagen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Ausgabe Oktober 2012, korrigierte Fassung März 2015

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /2/ DIN EN 1991-1-1:2010 „Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-1/NA:2010 + DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2015
- /3/ DIN EN 1992-1-1:2011 „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken –Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010“ + DIN EN 1992-1-1/A1:2015, mit nationalem Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2013 + DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015
- /4/ DIN EN 1997-1:2009 „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC: 2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1997-1/NA:2010
- /5/ DIN 1054:2010 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“ + DIN 1054/A1:2012 und DIN 1054/A2:2015
- /6/ DIN EN 1998-1:2010 „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1998-1/NA:2011
- /7/ DIN 4149:2005 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“
- /8/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439 „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /9/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600 „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012



Industrie Service

3. Beschreibung

Der Hybridturm für die Windenergieanlage vom Typ Vestas V162-6.8/7.2 MW mit 169 m Nabenhöhe wird mit Spanngliedern extern vorgespannt und im Fundamentsockel mit einer Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatten verankert.

Die Flachgründung besteht aus einer kreisförmigen Fundamentplatte mit 25,50 m Außendurchmesser mit veränderlicher Höhe sowie einem darauf aufgesetzten Sockel. Zwischen Turmfuß und Sockel ist eine Mörtelausgleichsschicht angeordnet.

Die Fundamentplatte wird mit Erdreich überschüttet, um die statisch erforderliche Auflast zu erreichen.

Das Fundament kann wahlweise ohne Arbeitsfugen oder abschnittsweise gemäß [2] hergestellt werden.

Die genauen Abmessungen des Fundaments können dem Schalplan [2] entnommen werden.

3.1. Baustoffe

Beton für Fundament	C30/37 mit Expositionsclassen XC4, XD1, XF1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton für Sockel	C40/50 mit Expositionsclassen XC4, XD1, XF1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/

3.2. Lastannahmen

Die dimensionierenden Lasten für die Fundamentauslegung sind im Fundamentlastdokument [4] angegeben. Diese Lasten wurden mit dem Prüfbericht zum Turm [8] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [8] auf Basis der DIN EN 1998-1 /6/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /7/ in Deutschland abgedeckt.

Auf der Oberseite des Sockels wurde eine Verkehrslast von 10 kN/m² berücksichtigt.

Eigengewichte wurden gemäß DIN EN 1991-1-1 /2/ und nach Herstellerangaben berücksichtigt.

3.3. Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Zeichnung [2] $k_{\phi, \text{dyn}} \geq 200 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\phi, \text{stat}} \geq 40 \text{ GNm/rad}$.

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt 0,38 m über Fundamentunterkante.



Industrie Service

4. Prüfumfang

Dieser Prüfbericht für eine Typenprüfung umfasst die Prüfung hinsichtlich der Standsicherheit der in Abschnitt 3 beschriebenen Flachgründung mit Auftrieb auf Basis der in Abschnitt 2 genannten Prüfgrundlagen.

Für eine vollständige Typenprüfung sind alle in Dokument /1/, Kapitel 3 im Abschnitt I gelisteten gutachtlichen Stellungnahmen sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung von Turm und Fundament erforderlich. Diese können bis spätestens zu Baubeginn der ersten Anlage nachgereicht werden.

Die Überprüfung der Standorteignung sowie des Blitzschutz- und Erdungskonzepts ist nicht Gegenstand dieses Berichts.

Abweichungen von den geprüften Unterlagen und Prüfgrundlagen bezüglich Konstruktion, Lastannahmen, Randbedingungen und Ausführung, die Einfluss auf die Standsicherheit haben, sind durch diesen Bericht nicht abgedeckt und erfordern eine Überarbeitung der Berechnung und deren Prüfung.

5. Prüfbemerkungen

Die vorgelegten Nachweise wurden durch eigene Vergleichsrechnungen überprüft. Auf Basis der eingereichten Unterlagen und unserer Vergleichsrechnungen können ausreichende Sicherheiten bestätigt werden. Die Zeichnungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen der Berechnungen sowie den Vorgaben der in Abschnitt 2 genannten Prüfgrundlagen geprüft.

Schnittstellen:

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß wurden in der statischen Berechnung des Turms geführt und in [8] bestätigt.

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Beton des Fundaments werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung wurden in Dokument [5] mit exemplarischen Lasten geführt und mit der gutachtlichen Stellungnahme [6] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die in [5] getroffenen Annahmen mit den Randbedingungen dieses Fundamentes übereinstimmen und die Prüfaussage in [6] für dieses Fundament gültig ist.

Teilsicherheitsbeiwerte:

In [1] wurde abweichend von den Regelungen in /1/ der Teilsicherheitsbeiwert für günstig wirkendes Eigengewicht für die Fundamentplatte mit 0,95 im Grenzzustand der Tragfähigkeit angesetzt. Die daraus resultierende minimale Wichte des Fundamentkörpers von 23,7 kN/m³ ist durch entsprechende Qualitätssicherung auf der Baustelle sicher nachzuweisen, siehe Auflage 8.

Imperfektionen:

Die Lasten aus [4] enthalten bereits Effekte aus einer Turmschiefstellung, Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung statischer Bodenkennwerte.

Abweichend von /1/ wurden in der statischen Berechnung für die Turmschiefstellung lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters statt 5 mm/m angesetzt. Dieser Ansatz wurde mit [8] bestätigt.



Industrie Service

Revision 1 dieses Prüfberichts:

Die Leistung der Anlage in dem Dateinamen wurde angepasst.

6. Prüfergebnis

Die Berechnungen und die zugehörigen Konstruktions- und Bewehrungszeichnungen für das Fundament entsprechen den in Abschnitt 2 genannten Normen und Richtlinien und sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

Die Anforderungen an die Standsicherheit der Gründung sind erfüllt, vorausgesetzt, die nachstehenden Auflagen sowie alle Auflagen und Bemerkungen der zugehörigen Prüfberichte und Gutachten werden beachtet bzw. vollzogen.

Die Prüfung der technischen Unterlagen für das Fundament ist hiermit abgeschlossen.

Auflagen

Baugrund

1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1 /3/ und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.
2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsberichts durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] angegeben.
3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3. müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.
4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.

Ausführung Fundament

5. Sollte Expositionsklasse XA oder XS gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/ abweichend von den gewählten Expositionsklassen gemäß Abschnitt 3.1. am Standort zu berücksichtigen sein, so sind gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen zum Schutz des Betons und der Bewehrung zu ergreifen.
6. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete betontechnologische Maßnahmen zu ergreifen.
7. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeit des Vergussmörtels und Betons für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
8. Die in der Berechnung angesetzte Wichte des Stahlbetons des Fundaments von 23,7 kN/m³ ist durch entsprechende Qualitätssicherung und im Rahmen der Bauüberwachung zu bestätigen.



Industrie Service

9. Das in [2] spezifizierte Gesamtgewicht der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Überschüttung muss gleichmäßig über den Umfang verteilt sein. Die Ausführung der Überschüttung muss in Abstimmung mit dem Bodengutachter gewählt werden.

Prüfintervalle

10. Die Anforderungen an die wiederkehrenden Prüfungen gemäß DIBt-Richtlinie /1/ sind zu beachten.

Für die Verlängerung der Typenprüfung sind die Zeichnungen und die Berechnungen zu einer erneuten Überprüfung hinsichtlich geänderter Vorschriften oder Richtlinien vorzulegen.

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit für die
bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen**

Der Bearbeiter

A green ink signature of A. Molins Estellés, written in a cursive style.

A. Molins Estellés

Der Leiter

A green ink signature of S. Mayer, written in a cursive style.

i.V. S. Mayer

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Durch Vergleichsrechnung geprüft

Statische Berechnung

Max Bögl Hybridturm T22

Structural design Max Bögl hybrid tower T22

Projektnummer /
Project number:

21683-T22

Documentnummer /
Document number

D00282008

Anlagenhersteller /
Wind turbine manufacturer:

Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 44
DK-8200 Aarhus

Windenergieanlage /
Wind turbine generator:

V162-6.8/7.2MW

Nabenhöhe /
Hub height:

169 m

TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer
5 Jahre/Wiedervorlage bis 30.08.2027

Bauteil /
Component:

Fundament mit Auftrieb
D=25,5m
Foundation with Buoyancy
D=25,5m

Verfasser / Author:

Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Str. 1
DE-92369 Sengenthal

3667703-22-d

Datum / Date:

22.08.2022

In bautechnischer Hinsicht geprüft.

Siehe Prüfbericht vom 31.08.2022

München

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit
von Windenergieanlagen

Revision / Revision:

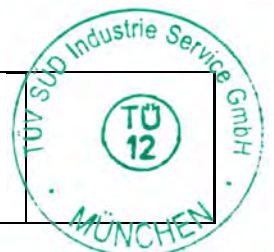
01

Der Bearbeiter:

Der Leiter:

Bauteil /
Component: Fundament D=25,5m/
Foundation D=25,5m

Block /
Chapter:



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Änderungsverzeichnis / Table of revision

Revision / Revision	Datum / Date	Beschreibung / Description	Bearbeiter / Author
-	15.07.2022	Erstausgabe / First release	J. Goycoolea
01	22.08.2022	Alle Markov Matrizen wurden berücksichtigt / All Markov Matrix are considered	J. Goycoolea

Datum / Date: 22.08.2022

Aufgestellt /
Prepared by:



i.A. Joaquin Goycoolea

Geprüft /
Checked by:



i.A. Christoph von Oesen

Geprüft und freigegeben /
Checked and approved by:



i.A. Thorsten Betz

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	Änderungsverzeichnis / Table of revision	
		Seite/ Page: Rev01

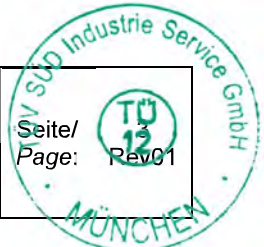
Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Inhaltsverzeichnis / Table of contents

Änderungsverzeichnis / Table of revision 2

Inhaltsverzeichnis / Table of contents..... 3

1	Allgemeines / General.....	6
1.1	Vorbemerkungen / Preliminary remarks	6
1.2	Geometrie / Geometry	8
1.3	Materialien / Materials	10
1.4	Unterlagen, Vorschriften und Literatur / Documents, regulations and literature	11
2	FE-Modell / FE model.....	12
2.1	Allgemeine Beschreibung / General description.....	12
2.2	Geometrie und Elementierung / Geometry and elements	14
2.3	Materialien / Materials	16
2.4	Bettung / Bedding	17
3	Lasten / Loads.....	18
3.1	Eigengewicht / Dead weight.....	19
3.2	Erdüberschüttung / Backfill cover	20
3.3	Auftrieb / Buoyancy	21
3.4	Nutzlast / Live load.....	22
3.5	Vorspannung / Prestressing.....	23
3.6	Turmlasten / Tower loads	26
4	Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design	32
4.1	Lasten / Loads	32
4.2	Nachweis gegen Klaffen / Gapping	33
4.3	Randdruckspannung / Soil edge pressure.....	38
4.4	Baugrunderfordernungen / Subsoil requirement.....	43
4.5	Nachweis der Bodendrehfedersteifigkeit / Verification of the ground rotational stiffness	45
4.5.1	Statische Drehfedersteifigkeit / Static rotational stiffness	46
4.5.2	Dynamische Drehfedersteifigkeit / Dynamic rotational stiffness	47
5	Bemessungsschnittgrößen / Design internal forces	48
5.1	Lastfallkombinationen / Load combination.....	48
5.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit / Ultimate limit state	51
5.3	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit / Serviceability limit state	52

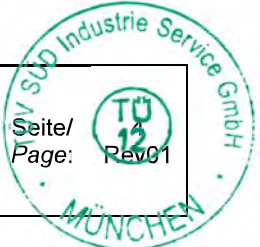
Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	Inhaltsverzeichnis / Table of contents	
		Seite/ Page: Rev01

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022

6	Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design.....	53
6.1	Bemessungsverfahren / Design procedure	53
6.1.1	Bemessungsvorgaben für GZT / ULS design specifications	54
6.1.2	Bemessungsvorgaben für GZG / SLS design specifications	55
6.2	GZT: erforderliche Bewehrung (FE-Modell) / ULS: required reinforcement (FE model)	57
6.3	GZG: erforderliche Bewehrung zur Beschränkung der Rissbreite (FE-Modell) / SLS: required reinforcement for crack width control (FE model)	58
6.4	Mindestbewehrung / Minimum reinforcement.....	59
6.4.1	Mindestbewehrung für duktilen Bauteilverhalten / Minimum reinforcement for ductile behavior	59
6.4.2	Mindestbewehrung zur Beschränkung der Rissbreite / Minimum reinforcement for crack width control	61
6.5	Erforderliche Bewehrung / Required reinforcement	64
6.6	Lasteinleitung / Load introduction	65
6.6.1	Windzugseite / Wind tension side	65
6.6.2	Winddruckseite / Wind compression side	68
6.6.3	Betonpressung am Turmfuß / Concrete compression at tower base	71
6.6.4	Spaltzugbewehrung oberhalb der Ankerplatte / Splitting tensile reinforcement above the anchor plate	72
6.7	Gewählte Bewehrung, Übersicht und Skizze / Chosen reinforcement summary and sketch	73
7	Ermüdungsnachweise / Fatigue design	77
7.1	Allgemeines / General.....	77
7.2	Biege- und Schubbewehrung / Bending and shear reinforcement	79
7.3	Lasteinleitung / Load introduction	84
7.3.1	Bewehrung an der Windzugseite / Reinforcement at wind tension side	84
7.3.2	Beton am Turmfuß / Concrete at tower base.....	87
7.3.3	Beton oberhalb der Ankerplatte / Concrete above the anchor plate.....	88
8	Betonierfuge / Construction joint.....	91
8.1	Allgemeines / General.....	91
8.2	Fugentragfähigkeit in GZT erste Fuge/ First joint resistance in ULS.....	92
8.3	Fugentragfähigkeit in GZT zweite Fuge/ Second joint resistance in ULS	94
8.4	Fugentragfähigkeit unter Ermüdung / Joint resistance under fatigue	96

Anhang A: FE-System / Annex A: FE system

Anhang B: Lasten / Annex B: Loads

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: Rev01
Block / Chapter:	Inhaltsverzeichnis / Table of contents	

Verfasser / Author:  MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen			Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybriddturm / Hybrid tower: T22	Datum / Date: 22.08.2022

Anhang C: Schnittgrößen / Annex C: Internal forces

Anhang D: Bewehrung / Annex D: Reinforcement

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	Seite/ Page:
Block / Chapter:	Inhaltsverzeichnis / Table of contents	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

1 Allgemeines / General

1.1 Vorbemerkungen / Preliminary remarks

Für den nachfolgend beschriebenen Hybridturm wird in dem vorliegenden Dokument das Fundament ausgelegt.

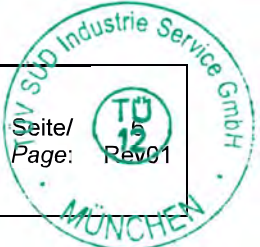
This documents contains the structural design of the foundation for the next stated hybrid tower.

Anlagenhersteller / <i>Wind turbine manufacturer:</i>	Vestas Wind Systems A/S
Windenergieanlage / <i>Wind turbine:</i>	V162-6.8/7.2MW
Hybridturm / <i>Hybrid Tower:</i>	T22
Nabenhöhe / <i>Hub Height:</i>	169 m
Starterring / <i>Starter ring:</i>	C33
Gesamtlänge / <i>Total tower length:</i>	163,850 m
Stahlturmlänge / <i>Steel tower length:</i>	69,160 m
Betonturmlänge / <i>Concrete tower length:</i>	94,690 m
Vorspannsystem / <i>Prestressing system:</i>	24x SUSPA EX-84
Höhe der Fundamentoberkante / <i>Foundation upper edge height:</i>	2,520

Die genaue Geometrie des Hybridturmes kann dem folgenden Übersichtsplan entnommen werden.

Further detailed information on the geometry of the hybrid tower is defined on the following general overview drawing.

DE_T22_001_XX_X_Uebersicht

Bauteil / <i>Component:</i>	Fundament / <i>Foundation</i>	
Block / <i>Chapter:</i>	1 Allgemeines / General	
		Seite/ Page: Rev01

Verfasser / Author:			Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW		NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22
			Datum / Date: 22.08.2022

Das Fundament wird für die in dem Fundamentanforderungen-Dokument [G-1] angegebenen Lasten und Anforderungen ausgelegt.

The foundation is designed for the loads and requirements specified in the Foundation Design Requirements document [G-1].

Die Lebensdauer beträgt:

The design lifetime is:

Lebensdauer / Design lifetime: 20, 25 Jahre / years

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	1 Allgemeines / General	

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022

1.2 Geometrie / Geometry

Die Fundamentgeometrie wird nachfolgend definiert. Die angegebenen Werte entsprechen die in der Abbildung / Figure 1 angegebenen Parameter.

The geometry of the foundation is defined with the next values in accordance to Abbildung / Figure 1.

Geometrie / Geometry

Betonkörper / Concrete body

Äußerdurchmesser / Outer diameter

$d_s = 25,50 \text{ m}$

Sockeldurchmesser / Base diameter

$d_{so} = 11,88 \text{ m}$

Weichschichtdurchmesser / Soft layer diameter

$d_{ws} = 4,40 \text{ m}$

Innere Weichschichtsringdurchmesser / Soft layer ring inner diameter

$d_{wsr,i} = 11,88 \text{ m}$

Äußere Weichschichtsringdurchmesser / Soft layer ring outer diameter

$d_{wsr,a} = 15,88 \text{ m}$

Fundamenthöhe / Foundation height

$h_{ges} = 2,90 \text{ m}$

Spornhöhe / Outer height

$h_{sp} = 0,70 \text{ m}$

Spornneigungshöhe / Nose incline height

$h_n = 1,60 \text{ m}$

Sockelhöhe / Base height

$h_{so} = 0,60 \text{ m}$

Abstand Fundamentoberkante - Grundoberkante /

Separation foundation top edge - ground level

$h_{GOK} = 2,520 \text{ m}$

Abstand Fundamentoberkante - Überschüttungsoberkante /

Separation foundation top edge - soil cover top edge

$h_{Auf} = 0,10 \text{ m}$

Weichschichtsdicke / Soft layer thickness

$h_{ws} = 0,05 \text{ m}$

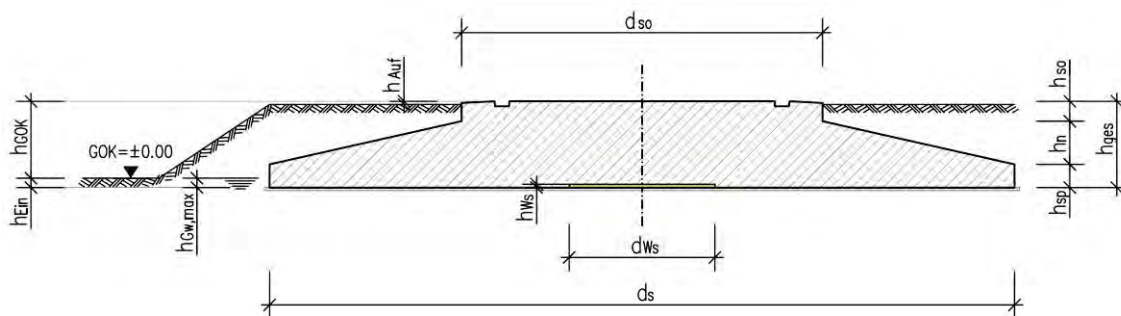
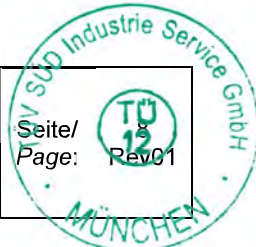


Abbildung / Figure 1: Fundamentgeometrie, wesentliche Parameter / Geometry of the foundation, key parameters

Die nachfolgenden Erdüberschüttungen und Grundwasserstände (Auftrieb) werden in der Fundamentplanung berücksichtigt.

The following backfill and groundwater level (buoyancy) are to be considered for the foundation design.

Überschüttung / Backfill

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: Rev01
Block / Chapter:	1 Allgemeines / General	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Höhe Erdüberschüttung innen / *Inner thickness backfill* $t_{\text{MaxÜs,inn}} = 0,500 \text{ m}$

Höhe Erdüberschüttung außen / *Outer thickness backfill* $t_{\text{MaxÜs,aus}} = 2,100 \text{ m}$

Auftrieb / Buoyancy

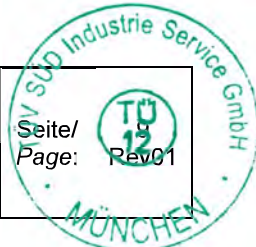
Höhe Wassersäule / *Buoyancy height* $h_{\text{GW,max}} = 0,380 \text{ m}$

Wie in der Abbildung / Figure 1 dargestellt, wird unter dem inneren Bereich eine Weichschicht mit einem Durchmesser von 4,4 m angeordnet. Der Bereich über der Weichschicht wird unbewehrt ausgeführt. Das Fundament wirkt dadurch statisch als Kreisringplatte.

Der Betonteil des Hybridturmes wird mit externen Spannglieder vorgespannt. Diese werden im Fundament verankert. Die Geometrie, Eigenschaften und Design des Verankerungssystem sind in der statischen Berechnung der Spanngliederverankerung [G-3] angegeben.

As it can be seen in Abbildung / Figure 1, a soft layer with a diameter of 4,4 m is arranged below the inner area. The area above the soft layer is executed without reinforcement. The foundation performs statically as a circular ring plate.

The concrete segment of the hybrid tower is prestressed with external tendons. These are anchored in the foundation. The geometry, properties and design of the anchoring system are detailed in its structural calculation document [G-3].

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	1 Allgemeines / General	
		Seite/ Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridenturm / Hybrid tower: T22	

1.3 Materialien / Materials

Die Materialien des Fundaments werden nachfolgend aufgelistet.

The foundation materials are listed next.

Materialien / Materials

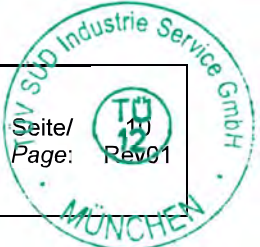
Beton / Concrete

Betongüte Sockelbereich / Concrete strength base area C40/50

Betongüte Plattenbereich / Concrete strength plate area C30/37

Betonstahl / Reinforcement steel

Betonstahlgüte / Reinforcement strength B 500B

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	1 Allgemeines / General	

Seite/ 19
Page: Rev01

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

1.4 Unterlagen, Vorschriften und Literatur / Documents, regulations and literature

Dokumente und Gutachten / Documents and reports

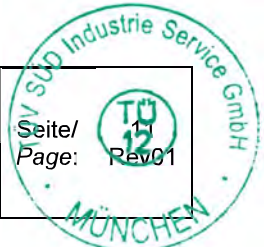
- [G-1] Max Bögl Wind AG: Anforderungen an das Fundamentdesign. Max Bögl Hybridturm T22. Projektnummer 21683-T22. August 2022.
- [G-2] Max Bögl Wind AG: Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm, Revision i, Juni 2021.
- [G-3] Max Bögl Wind AG: Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0. Bauteil: Spanngliedverankerung. Februar 2021.

Technische Vorschriften und Richtlinien / Technical regulations and guidelines

- [T-1] DIBt RiLi WEA 2012, Deutsches Institut für Bautechnik, Richtlinie für Windenergieanlagen, Oktober 2012.
- [T-2] DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1). Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010. August 2011.
- [T-3] IEC 61400-6 ED1 (88/751/FDIS): Wind energy generation systems – Part 6: Tower and foundation design requirements. Date of circulation 2019-12-27.
- [T-4] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010. Januar 2011.
- [T-5] DIN EN 1992-1-1/NA: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, April 2013
- [T-6] DIN EN 1997-1: Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009 + A1:2013. März 2014.
- [T-7] DIN EN 1997-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln. Dezember 2010.
- [T-8] CEB-FIP Model Code 1990, Comité Euro-International du Béton. 1993.

Literatur / Literatur

- [L-1] Witt: Grundbau-Taschenbuch. Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke. 2009.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	1 Allgemeines / General	
		Seite/ Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

2 FE-Modell / FE model

2.1 Allgemeine Beschreibung / General description

Die Schnittgrößen und die erforderliche Bewehrung werden mittels eines FE-Modells mit dem Programm Sofistik ermittelt.

Hierzu wird das Fundament mit Schalelemente (Sofistik „QUAD“-Element) modelliert. Exzentrische Schalelemente mit variable Dicke bilden den Fundamentkörper ab.

Das Fundament wird als Kreisringplatte mit ungebetteten Bereichen modelliert. Der innere unbewehrte Bereich des Fundaments wird auf der sicheren Seite nicht im FE-System abgebildet.

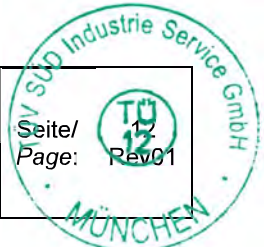
Der Boden wird über das Steifemodulverfahren als elastischer Halbraum abgebildet.

The internal forces and the required reinforcement are computed in a FE model on the structural design software Sofistik.

The foundation body is modeled with shell elements (Sofistik's "QUAD" element). Eccentric shell elements and variable thickness are chosen for this purpose.

The foundation is modeled as a circular ring plate. The inner unreinforced and non-bedded area of the foundation is conservatively not included.

The soil interaction is represented using the constrained modulus method, in which the soil is modelled as an elastic half-space.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	2 FE-Modell / FE model	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridenturm / Hybrid tower: T22	

In der Abbildung / Figure 2 ist eine isometrische Ansicht der Elementgeometrie des FE-Modells zu finden.

Abbildung / Figure 2 shows an isometric view of the tridimensional visualization of the FE model geometry as presented from Sofistik.

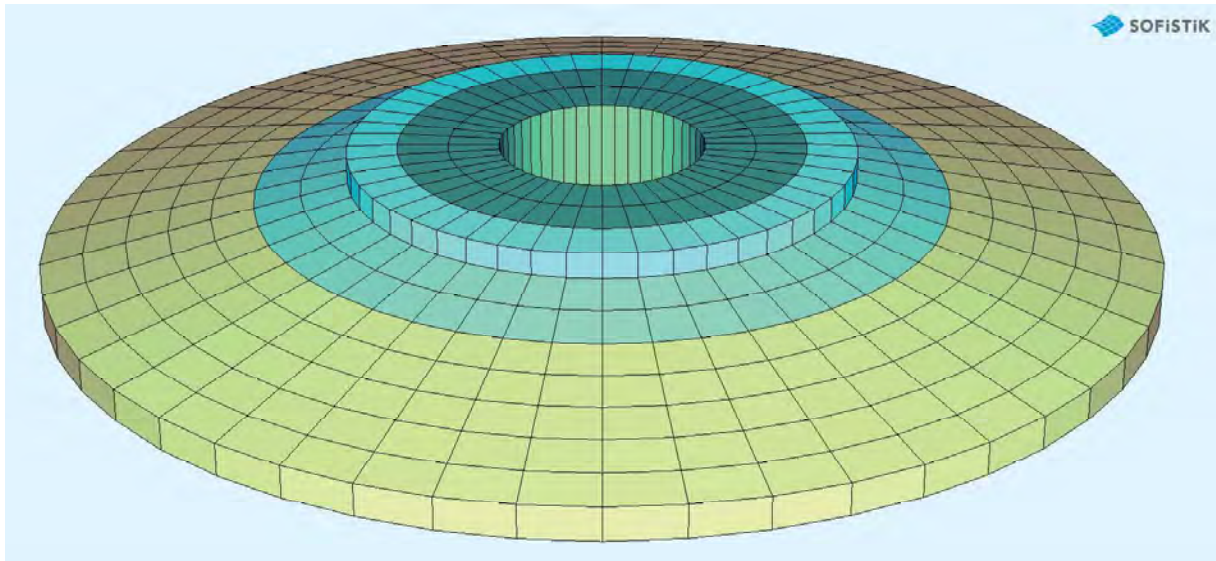
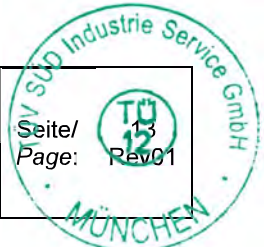


Abbildung / Figure 2: 3D-Ansicht der Geometrie des FE-Modells / Tridimensional visualization of the FE model geometry

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	2 FE-Modell / FE model	

Seite/
Page: 13
Rev01

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022

2.2 Geometrie und Elementierung / Geometry and elements

Zur Abbildung des Kreisringfundamentes werden die Schalelemente in einem radial-tangentialen Raster angeordnet. Die Elementanzahl beträgt 48 Elemente in Umfangsrichtung. In Radial Richtung wird die Anzahl gemäß Abbildung / Figure 3 möglichst gleichmäßig gewählt.

The shell elements are arranged in a radial-tangential grid. This grid consists of 48 elements equal-sized in the circumferential direction. In radial direction the elements are chosen as even as possible resulting in the dimensions shown in Abbildung / Figure 3.

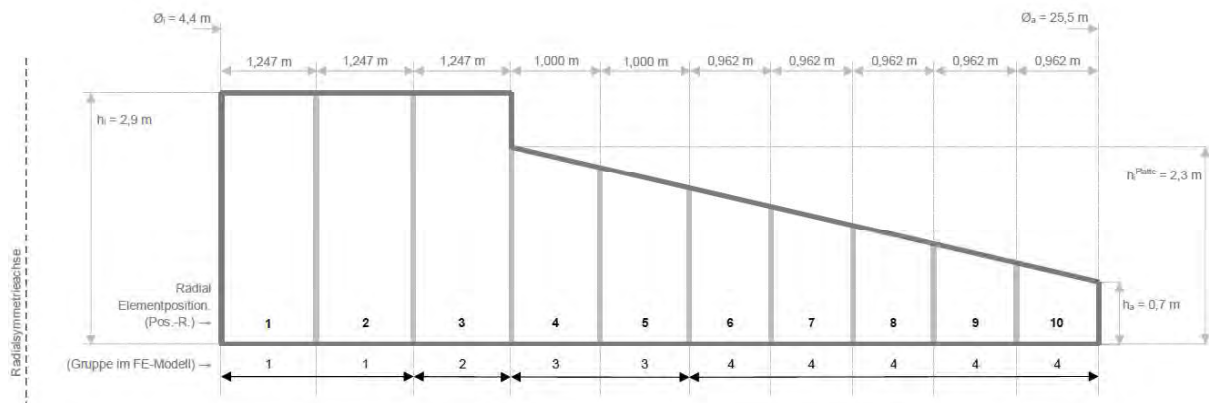


Abbildung / Figure 3: Elementgeometrie in Radialrichtung / Element geometry in radial direction

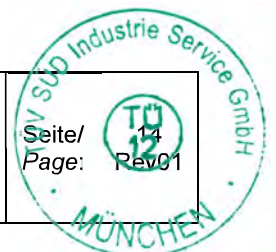
Für die Auswertung werden die Elemente in Gruppen eingeteilt (siehe Abbildung / Figure 3). Die Elemente der Gruppe 1 und 2 (Pos.-R 1 bis 3) bilden den Sockelbereich ab. Die Elemente der Gruppe 3 und 4 (Pos. R 4 bis 10) modellieren die Platte.

The elements are grouped on its radial position for analytical purposes (see Abbildung / Figure 3). The elements of groups 1 and 2 (Pos.-R 1 to 3) represent the area where the base is. The elements of groups 3 and 4 (Pos.-R 4 to 10) model the plate.

Weitere Information der Modellierung des Fundaments sind im „Anhang A: FE-System“ angegeben.

Further information on the modeling of the foundation can be found in “Annex A: FE system”.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 14 Rev01
Block / Chapter:	2 FE-Modell / FE model	



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Die geometrischen Eigenschaften der Elemente sind in der folgenden Tabelle angegeben.

The geometric properties of the elements are detailed in the following table.

Pos.-R	Ri	Ra	b-R	b-U	A	Mitt.-R	Mitt.-U	H
Numm.	m	m	m	m	m ²	m	m	m
1	2,200	3,447	1,247	0,369	0,46	2,823	17,740	2,900
2	3,447	4,693	1,247	0,532	0,66	4,070	25,573	2,900
3	4,693	5,940	1,247	0,695	0,87	5,317	33,406	2,875
4	5,940	6,940	1,000	0,842	0,84	6,440	40,464	2,090
5	6,940	7,940	1,000	0,973	0,97	7,440	46,747	1,870
6	7,940	8,902	0,962	1,102	1,06	8,421	52,911	1,654
7	8,902	9,864	0,962	1,227	1,18	9,383	58,955	1,442
8	9,864	10,826	0,962	1,353	1,30	10,345	65,000	1,230
9	10,826	11,788	0,962	1,479	1,42	11,307	71,044	1,018
10	11,788	12,750	0,962	1,605	1,54	12,269	77,088	0,806

Pos.-R: Elementposition in radialer Richtung / *Element position in radial direction*

Ri: Innerer Radius des Elementkreises / *Inner radius of the element circle*

Ra: Äußerer Radius des Elementkreises / *Outer radius of the element circle*

b-R: Breite eines Elements in radialer Richtung / *Element width in radial direction*

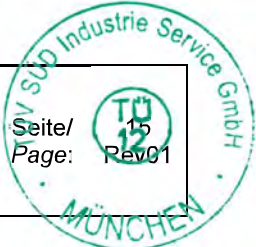
b-U: Mittlere Breite eines Elements in Umfangsrichtung / *Element middle width in circumferential direction*

A: Fläche eines Elements / *Area of an element*

Mitt.-R: Mittlerer Radius des Elementkreises / *Middle radius of the element circle*

Mitt.-U: Mittlerer Umfang des Elementkreises / *Middle circumference of the element circle*

H: Mittlere Höhe (Dicke) des Elementkreises / *Middle height (thickness) of the element circle*

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	2 FE-Modell / FE model	
		Seite/ Page: 15 Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

2.3 Materialien / Materials

Alle Elemente werden mit den gleichen Materialeigenschaften modelliert.

All elements are modeled using the same material properties.

Modelliertes Beton /
Modelled reinforcement: C30/37

Modelliertes Betonstahl /
Modelled reinforcement: B 500B

Die im FE-Modell benutzten Parameter und Eigenschaften sind in Abbildung / Figure 4 definiert.

The material parameters and properties used in the FE-model are listed in Abbildung / Figure 4.

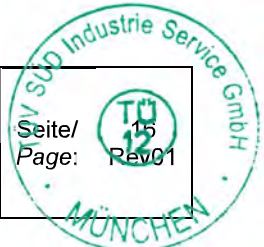
Mat 11 C 30/37 (EN 1992)

Elastizitätsmodul	E	32837	[N/mm ²]	Materialsicherheit		1.50	[-]
Querdehnzahl	μ	0.20	[-]	Rechenfestigkeit	f _c	25.50	[MPa]
Schubmodul	G	13682	[N/mm ²]	Nennfestigkeit	f _{ck}	30.00	[MPa]
Kompressionsmodul	K	18243	[N/mm ²]	Zugfestigkeit	f _{ctm}	2.90	[MPa]
Nominelle Wichte	γ	25.0	[kN/m ³]	Zugfestigkeit	f _{ctk,05}	2.03	[MPa]
Rohdichte	ρ	2400.0	[kg/m ³]	Zugfestigkeit	f _{ctk,95}	3.77	[MPa]
Ausdehnungskoeffizient	α	1.00E-05	[1/K]	Verbundspannung	f _{bd}	3.04	[MPa]
				Gebrauchsfestigkeit	f _{cm}	38.00	[MPa]
				Ermüdungsfestigkeit	f _{cd,fat}	14.96	[MPa]
				Zugfestigkeit	f _{ctd}	1.15	[MPa]
				Zugbruchenergie	G _f	0.14	[N/mm]

Mat 10 B 500 B (EN 1992)

Elastizitätsmodul	E	200000	[N/mm ²]	Materialsicherheit		1.15	[-]
Querdehnzahl	μ	0.30	[-]	Fließgrenze	f _y	500.00	[MPa]
Schubmodul	G	76923	[N/mm ²]	Druckfließgrenze	f _{yc}	500.00	[MPa]
Kompressionsmodul	K	166667	[N/mm ²]	Zugfestigkeit	f _t	540.00	[MPa]
Nominelle Wichte	γ	78.5	[kN/m ³]	Druckfestigkeit	f _c	540.00	[MPa]
Rohdichte	ρ	7850.0	[kg/m ³]	Bruchdehnung		50.00	[o/oo]
Ausdehnungskoeffizient	α	1.20E-05	[1/K]	Verbundwert relativ		1.00	[-]
max. Erzeugnisdicke	t-max	32.00	[mm]	Verbundwert k ₁ (EN1992)	k ₁	0.80	[-]
				Verfestigungsmodul	E _h	0.00	[MPa]
				Proportionalitätsgrenze	f _p	500.00	[MPa]
				Schwingbreite	σ -dyn	152.17	[MPa]

Abbildung / Figure 4: Materialeigenschaften / Material properties

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 15 Rev01
Block / Chapter:	2 FE-Modell / FE model	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

2.4 Bettung / Bedding

Da das Fundament an möglichst vielen Standorten eingesetzt werden soll, wird auf der sicheren Seite folgende Bodensteifigkeiten im FE-Modell angesetzt:

Given that the foundation should be used in so many locations as possible, the following soil stiffness is conservatively set in the FE model.

Steifemodul /
Constrained modulus: $E_b = 20 \text{ MN/m}^2$

Alle gebetteten Elemente bekommen das gleiche Steifemodul zugewiesen.

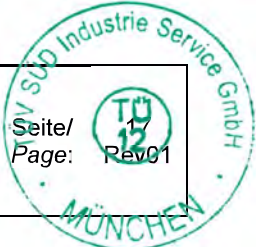
The static constrained modulus stated above is assigned to all elements.

Der Einfluss der Bodensteifigkeit auf die Berechnungsergebnisse wurde in hier nicht aufgeführten Vergleichsrechnungen untersucht. Die gewählten Bewehrungsmengen decken die umhüllenden Berechnungsergebnisse ab.

The influence of the soil stiffness on the results is considered in comparative calculations which are not included in this document. The chosen reinforcement covers the required reinforcement obtained from each of the performed calculations.

Die Ergebnisse werden nachfolgend beispielhaft für die Berechnung mit dem o.g. Steifemodul dokumentiert.

The results are next documented exemplary for the calculation with the aforementioned constrained modulus.

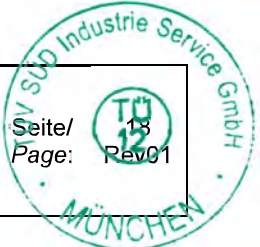
Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	2 FE-Modell / FE model	
		Seite/ Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybriddturm / Hybrid tower: T22	

3 Lasten / Loads

Graphische Auszüge der Lasteingabe im FE-Modell sind im „Anhang B: Lasten“ dargestellt.

Graphical extracts of the load inputs in the FE model are included in “Annex B: Loads”.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

3.1 Eigengewicht / Dead weight

Die angesetzte Wichte und das gesamte Eigengewicht werden nachfolgend angegeben.

The considered specific weight and the total own weight load are stated next.

Betongewicht / Concrete weight

Gesamtvolumen / Total volume $V_c = 881,6 \text{ m}^3$

Betonwichte / Concrete specific weight $\gamma_c = 25,0 \text{ kN/m}^3$

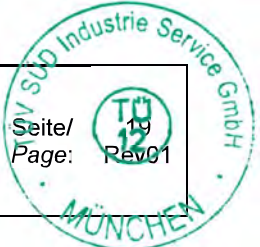
Betongewicht / Concrete weight $G_c = 22\,041 \text{ kN}$

Das Eigengewicht wird programmintern ermittelt (LF10).

The dead weight is internally determined by the software (LC10).

Das Gewicht des unbewehrten und nicht modellierten Betonbereiches in Fundamentmitte wird als Eingabelast am inneren Elementrand angesetzt (LF11). Die Ausmitte des Last-Schwerpunkts zum Angriffspunkt wird über ein gleichmäßiges verteiltes Torsionsmoment erfasst.

The weight of the unreinforced concrete area in the middle of the foundation, which is not modeled, is set as an input load on the inner edge of the elements (LC11). The eccentricity of this load is covered by applying a uniform distributed torsional moment on the inner element edge.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	
		Seite/ Page: 19 Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridenturm / Hybrid tower: T22	

3.2 Erdüberschüttung / Backfill cover

Die maximale Erdüberschüttungslast wird nach den folgenden Parameter definiert.

The maximum backfill cover load is defined according to the next parameters.

Überschüttung / Backfill cover

Höhe Erdüberschüttung innen / Inner thickness backfill $t_{\text{MaxÜs,inn}}$ = 0,500 m

Höhe Erdüberschüttung außen / Outer thickness backfill $t_{\text{MaxÜs,aus}}$ = 2,100 m

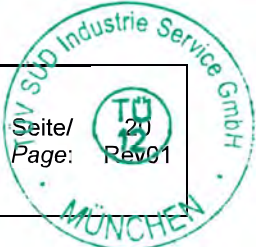
Volumen Erdüberschüttung / Volume soil cover $V_{\text{MaxÜs}}$ = 558,7 m³

Bodenwichte / Soil specific weight $\gamma_{\text{Üs}}$ = 18,0 kN/m³

Gewicht Erdüberschüttung / Soil cover weight $G_{\text{MaxÜs}}$ = 10 056 kN

Im FE-Modell wird diese als freie Flächenlast definiert (LF42).

In the FE model this load is defined as a free surface load (LC42).

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	

Seite/ 20
Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridenturm / Hybrid tower: T22	

3.3 Auftrieb / Buoyancy

Die Auftriebslast wird nach den folgenden Parameter definiert.

The buoyancy load is defined according to the next parameters.

Auftrieb / Buoyancy

Höhe Wassersäule / Buoyancy height $h_{Gw} = 0,380 \text{ m}$

Volumen Grundwasser / Volume ground water $V_{Gw} = 194,07 \text{ m}^3$

Wasserwichte / Water specific weight $\gamma_w = 10,0 \text{ kN/m}^3$

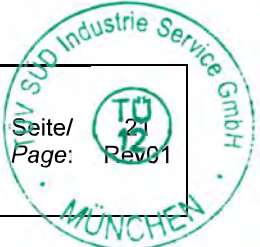
Auftriebskraft / Buoyancy force $G_{Gw} = -1\,941 \text{ kN}$

Im FE-Modell wird diese als freie Flächenlast definiert (LF52).

In the FE model this load is defined as a free surface load (LC52).

Analog zum Eigengewicht wird die Auftriebslast im nicht modellierten unbewehrten Bereich auf der Elementinnenkante aufgebracht, einschließlich eines linearen Torsionsmoments.

Analogically to the dead weight load definition, the loads on the non-modeled unreinforced area are placed on the element's inner edge, including a linear torsional moment.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	

Seite/
Page: 21
Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

3.4 Nutzlast / Live load

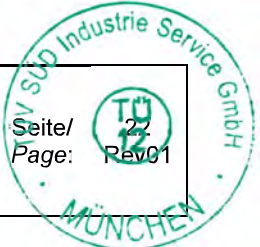
Die Nutzlasten im Turminnenraum (LF60) werden bei ungünstiger Wirkung im FE-Modell berücksichtigt. Die folgende Flächenlast q_{NL} wird auf der gesamten inneren Fläche des Anfangsringes definiert.

In the FE model live loads inside the tower are considered (LC60) when unfavourable. The following live load value q_{NL} is defined on the foundation area corresponding to the entire inner surface of the tower starting ring.

$$q_{NL} = 10 \text{ kN/m}^2$$

Analog zum Eigengewicht werden die Nutzlasten im nicht modellierten unbewehrten Bereich auf der Elementinnenkante aufgebracht einschließlich eines linearen Torsionsmoments.

Analogically to the dead weight load definition, the loads on the non-modeled unreinforced area are placed on the element's inner edge, including a linear torsional moment.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	
		Seite/ Page: 22 Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridenturm / Hybrid tower: T22	

3.5 Vorspannung / Prestressing

Die Vorspannung vom Betonturm tritt als Fundamentlast durch die Kontaktfläche mit dem Anfangsring und durch die Spanngliederankerung auf.

Die Gesamtlast von den Spanngliedern gemäß des Fundamentanforderungen-Dokument [G-1] ist nachfolgend angegeben.

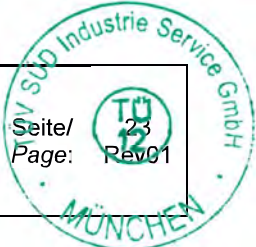
The prestressing loads of the concrete tower tendons are introduced in the foundation through the contact surface with the starter ring and through the tendon anchoring.

The total prestressing load of the tendons P_{ges} is defined in the foundation design requirements document [G-1] and is included next.

$$P_{ges} = 98\,960 \text{ kN}$$

Die Last wird im FE-Modell als freie Flächenlasten im Bereich der Turmwand und der Ankerringplatte aufgebracht (LF70). Eine Lastausbreitung bis auf die Fundamentmittelebene mit einem Lastausbreitungswinkel von $\alpha = 45^\circ$ (Abbildung / Figure 5) wird berücksichtigt.

In the FE model the load is defined as surface free loads (LC70). The above stated value is applied on each the tower base and the anchor ring plate. A load distribution to the foundation body middle level with a load distribution angle $\alpha = 45^\circ$ (Abbildung / Figure 5) is considered.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	
		Seite/ Page: 23 Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022

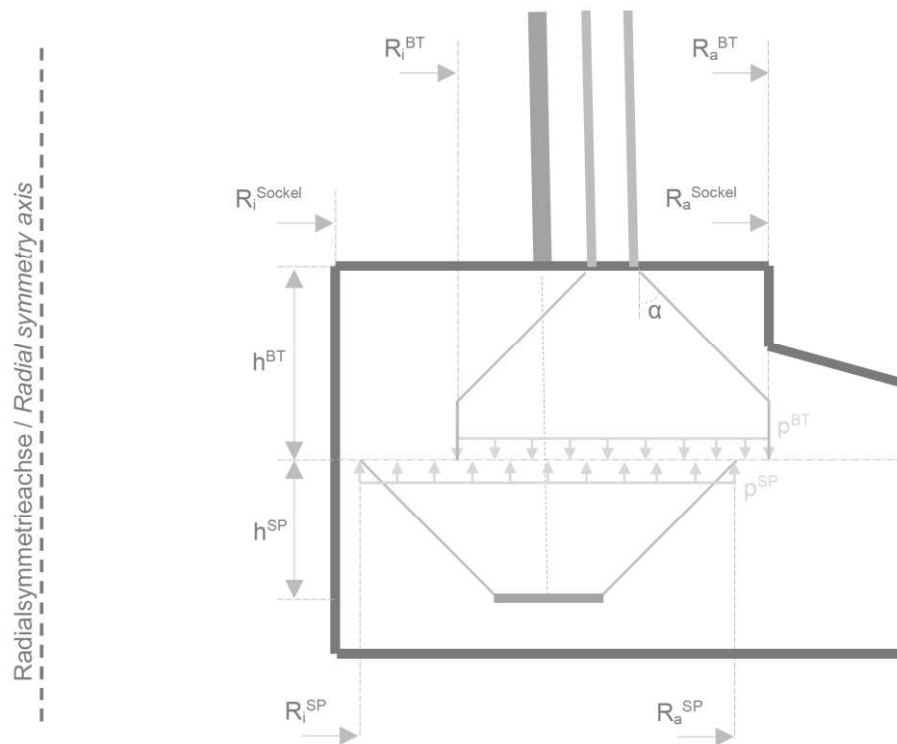


Abbildung / Figure 5: Lastausbreitung der Vorspannkkräfte / Load distribution of the prestressing forces

Eine detaillierte Ermittlung der im FE-Modell aufgetragenen Flächenlastwerte ist nachfolgend angegeben.

A detailed determination of the area load values applied in the FE model is included next.

Legende

XXX

→

Eingabe

BT

→

Betonturm

SP

→

Spannglieder

Eingabe

Lasten

P = 98 960 kN

Gesamtvorspannkraft

Geometrie

$R_{i\text{Sockel}}$ = 2,200 m

$R_{a\text{Sockel}}$ = 5,940 m

$R_{m\text{BT}}$ = 4,424 m

Mittlere Radius Betonturm

$b_{0\text{BT}}$ = 0,300 m

Breite Betonturm

h_{BT} = 1,400 m

$R_{m\text{SP}}$ = 3,882 m

Mittlere Radius Spannglieder

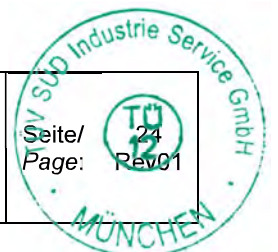
$b_{0\text{SP}}$ = 0,780 m

Breite Spannglieder

h_{SP} = 0,620 m

Berechnungsvorgaben

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ 24 Page: Rev01
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

$\alpha = 45^\circ$

Berechnung

$$b^{BT} = 3,033 \text{ m} = \text{MIN}(b_0^{BT} + 2 \cdot h^{BT} \cdot \tan(\alpha) ; 2 \cdot (R_{a}^{\text{Sockel}} - R_m^{BT}) ; 2 \cdot (R_m^{BT} - R_i^{\text{Sockel}}))$$

$$R_i^{BT} = 2,908 \text{ m} = R_m^{BT} - b^{BT} / 2$$

$$R_a^{BT} = 5,940 \text{ m} = R_m^{BT} + b^{BT} / 2$$

$$b^{SP} = 2,020 \text{ m} = \text{MIN}(b_0^{SP} + 2 \cdot h^{SP} \cdot \tan(\alpha) ; 2 \cdot (R_{a}^{\text{Sockel}} - R_m^{SP}) ; 2 \cdot (R_m^{SP} - R_i^{\text{Sockel}}))$$

$$R_i^{SP} = 2,872 \text{ m} = R_m^{SP} - b^{SP} / 2$$

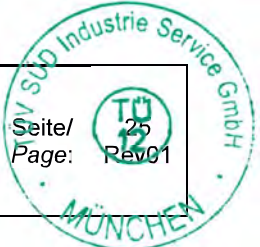
$$R_a^{SP} = 4,892 \text{ m} = R_m^{SP} + b^{SP} / 2$$

$$A^{BT} = 84,289 \text{ m}^2 = \pi \cdot ((R_a^{BT})^2 - (R_i^{BT})^2)$$

$$A^{SP} = 49,269 \text{ m}^2 = \pi \cdot ((R_a^{SP})^2 - (R_i^{SP})^2)$$

$$p^{BT} = 1\,174 \text{ kN/m}^2 = P / A^{BT}$$

$$p^{SP} = 2\,009 \text{ kN/m}^2 = P / A^{SP}$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	
		Seite/ Page: 25 Rev01

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

3.6 Turmlasten / Tower loads

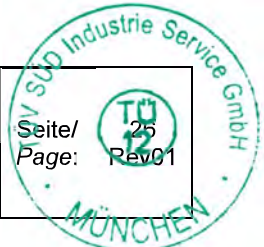
Die Belastung aus dem Hybridturm ist in dem Fundamentanforderungen-Dokument [G-1] definiert. Die Lasten werden als Schnittgröße an Fundamentoberkante angegeben.

Die Schnittgrößenkombinationen, die in der folgenden Tabelle angegeben sind, werden berücksichtigt.

The loads from the hybrid tower are defined in the foundation design requirements document [G-1]. These are given as actions on the top of the foundation.

The considered combinations of loads from the hybrid tower are defined in the next table.

LF-Nr. / LC No.	N _d	F _h	M _t	M _b	γ _E	LF-Beschreibung / LC description
Numm.	kN	kN	kNm	kNm	-	-
101	21 654	2 212	1 529	312 546	1,10	GZT: Max. Biegemoment + zugehörige (Max. N) / ULS: Max. bending moment + contemporary (Max. N)
102	19 686	2 212	1 529	312 546	1,10	GZT: Max. Biegemoment + zugehörige (Min. N) / ULS: Max. bending moment + contemporary (Min. N)
103	21 654	2 212	10 325	281 291	1,10	GZT: 0,9x Max. Biegemom. + 0,6x Max. Torsionsmom. (Max. N) / ULS: 0.9x Max. bending moment + 0.6x Max. torsional moment (Max. N)
104	19 686	2 212	10 325	281 291	1,10	GZT: 0,9x Max. Biegemom. + 0,6x Max. Torsionsmom. (Min. N) / ULS: 0.9x Max. bending moment + 0.6x Max. torsional moment (Min. N)
105	21 654	2 212	15 487	187 528	1,10	GZT: 0,6x Max. Biegemom. + 0,9x Max. Torsionsmom. (Max. N) / ULS: 0.6x Max. bending moment + 0.9x Max. torsional moment (Max. N)
106	19 686	2 212	15 487	187 528	1,10	GZT: 0,6x Max. Biegemom. + 0,9x Max. Torsionsmom. (Min. N) / ULS: 0.6x Max. bending moment + 0.9x Max. torsional moment (Min. N)
107	26 541	828	17 208	90 117	1,35	GZT: Max. Torsionsmoment + zugehörige (Max. N) / ULS: Max. torsional moment + contemporary (Max. N)
108	19 660	828	17 208	90 117	1,35	GZT: Max. Torsionsmoment + zugehörige (Min. N) / ULS: Max. torsional moment + contemporary (Min. N)
301	19 898	1 175	4 488	169 820	1,00	D.3 (Max. N) (quasi-ständige Kombination) / D.3 (Max. N) (quasi-permanent combination)
302	19 898	1 175	4 488	169 820	1,00	D.3 (Min. N) (quasi-ständige Kombination) / D.3 (Min. N) (quasi-permanent combination)
LF / LC: Lastfall / Loadcase N: Normalkraft / Normal load F _h : Horizontalkraft / Horizontal load M _t : Torsionsmoment / Torsional moment M _b : Biegemoment / Bending moment γ: Sicherheitsbeiwert / Safety factor GZT / ULS: Grenzzustand der Tragfähigkeit / Ultimate limit state						

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	
		Seite/ Page: 25 Rev01

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022

Die Belastung wird im FE-Modell als freie Flächenlasten eingegeben. Diese sind entsprechend dem Elementtraster im Umfangsrichtung ermittelt. Die Lasten werden auf dem Durchmesser der Turmunterkante definiert. Eine Lastausbreitung bis zu Fundamentmittelebene mit einem Winkel von $\alpha = 45^\circ$ (Abbildung / Figure 6) wird für die Belastung in vertikaler Richtung angesetzt.

Das Zusatzbiegemoment aus dem Abstand zwischen Fundamentoberkante und Knotenebene (Fundamentunterkante) wird angesetzt.

In the FE model these loads are defined as free area loads. The determination of its values is done discretely for each circumferential grid element. The loads are defined on the tower bottom diameter position. A load distribution to the foundation body middle level with a load distribution angle $\alpha = 45^\circ$ (Abbildung / Figure 6) is considered for the vertical loading.

The additional bending moment due to the distance between foundation top and node level (foundation bottom) is internally taken into account.

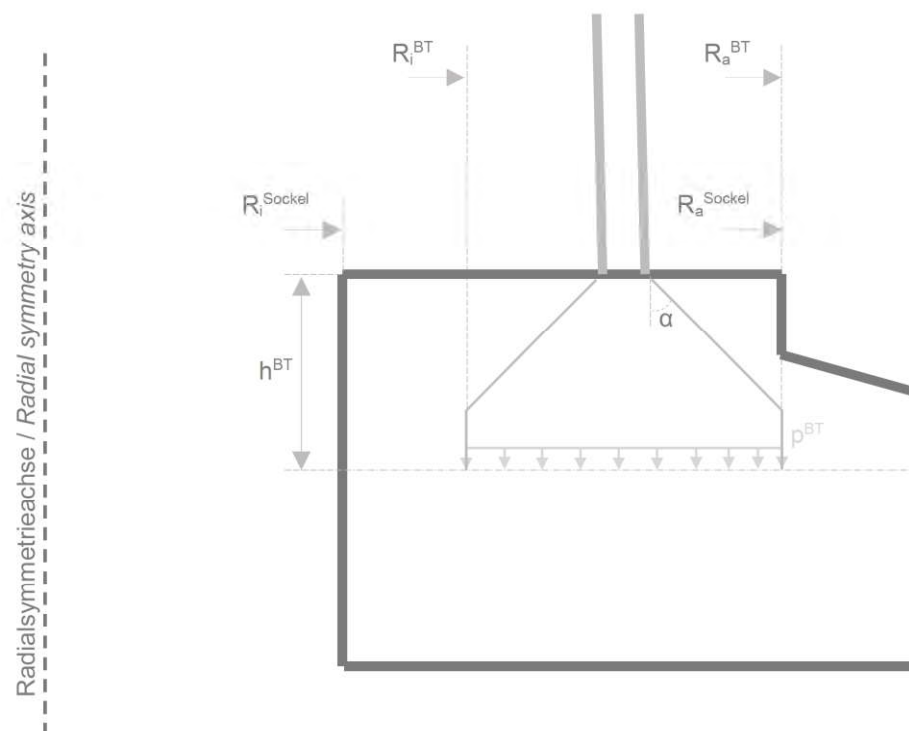
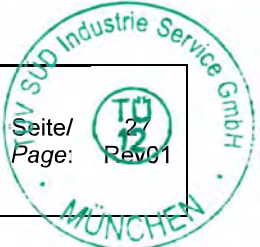


Abbildung / Figure 6: Lastausbreitung der Turmlasten / Load distribution of the tower forces

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 27 Rev01
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	

Verfasser / Author:	 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Datum / Date: 22.08.2022
	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Eine detaillierte Berechnung der eingegebenen Flächenlasten für das Schalenelement an der Winddruckseite (0°) für den Lastfall 101 ist nachfolgend beispielhaft angegeben.

A detailed calculation of the introduced area loads for the element on the circumferential position corresponding to the compression side (0°) for the load case 101 is exemplary included next.

Legende

XXX	→	Eingabe
AR	→	Anfangsring
BT	→	Betonturm
FOK	→	Fundamentoberkante
KE	→	Knotenebene

Eingabe

Geometrie

$R_{i\text{Sockel}}$	=	2,200	m	
$R_{a\text{Sockel}}$	=	5,940	m	
h_{Sockel}	=	2,900	m	
AR	=	C33		
R_m^{BT}	=	4,424	m	Mittlere Radius Betonturm
b_0^{BT}	=	0,300	m	Breite Betonturm
h^{BT}	=	1,400	m	

Berechnungsvorgaben

α	=	45	°
----------	---	----	---

Berechnung

Lastausbreitung-Parameter

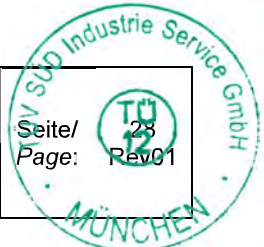
A_0^{BT}	=	8,339	m ²	=	$2 \cdot \pi \cdot R_m^{\text{BT}} \cdot b_0^{\text{BT}}$
I_0^{BT}	=	81,685	m ⁴	=	$(\pi / 4) \cdot ((R_m^{\text{BT}} + b_0^{\text{BT}} / 2)^4 - (R_m^{\text{BT}} - b_0^{\text{BT}} / 2)^4)$
b^{BT}	=	3,033	m	=	$\text{MIN}(b_0^{\text{BT}} + 2 \cdot h^{\text{BT}} \cdot \tan(\alpha);$ $; 2 \cdot (R_{a\text{Sockel}} - R_m^{\text{BT}}); 2 \cdot (R_m^{\text{BT}} - R_{i\text{Sockel}}))$
R_i^{BT}	=	2,908	m	=	$R_m^{\text{BT}} - b^{\text{BT}} / 2$
R_a^{BT}	=	5,940	m	=	$R_m^{\text{BT}} + b^{\text{BT}} / 2$
A_1^{BT}	=	84,289	m ²	=	$\pi \cdot ((R_a^{\text{BT}})^2 - (R_i^{\text{BT}})^2)$

Betonturm-Belastung

N_d^{FOK}	=	21 642	kN	LF101
$M_{y,d}^{\text{FOK}}$	=	312 546	kNm	LF101
$F_{x,d}^{\text{FOK}}$	=	2 212	kN	LF101
$M_{t,d}^{\text{FOK}}$	=	1 529	kNm	LF101
$M_{y,d}^{\text{KE}}$	=	318 936	kNm	= $M_{y,d}^{\text{FOK}} + F_{h,d}^{\text{FOK}} \cdot h_{\text{Sockel}}$

FE-Eingabe-Flächenlast

θ	=	0	°	Winkel zur Winddruckrichtung in UZS
$p_{\theta,z}^{\text{N}}$	=	257	kN/m ²	= $N_d^{\text{FOK}} / A_1^{\text{BT}}$
$p_{\theta,z}^{\text{My}}$	=	1 709	kN/m ²	= $(M_{y,d}^{\text{KE}} / I_0^{\text{BT}}) \cdot (R_m^{\text{BT}} \cdot \cos(\theta)) \cdot (A_0^{\text{BT}} / A_1^{\text{BT}})$
$p_{\theta,x}^{\text{Fx}}$	=	265	kN/m ²	= $F_{x,d}^{\text{FOK}} / A_0^{\text{BT}}$
$p_{\theta,x}^{\text{Mt}}$	=	0	kN/m ²	= $((M_{t,d}^{\text{FOK}} / R_m^{\text{BT}}) / A_0^{\text{BT}}) \cdot \sin(\theta)$
$p_{\theta,y}^{\text{Mt}}$	=	41	kN/m ²	= $((M_{t,d}^{\text{FOK}} / R_m^{\text{BT}}) / A_0^{\text{BT}}) \cdot \cos(\theta)$
$p_{\theta,x}$	=	265	kN/m ²	= $p_{\theta,x}^{\text{Fx}} + p_{\theta,x}^{\text{Mt}}$
$p_{\theta,y}$	=	41	kN/m ²	= $p_{\theta,y}^{\text{Mt}}$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ 23 Page: Rev01 MÜNCHEN
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	

Verfasser / Author:  MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen			Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybriddturm / Hybrid tower: T22	Datum / Date: 22.08.2022

$$p_{\theta,z} = 1\,965 \text{ kN/m}^2 = p_{\theta,z}^N + p_{\theta,z}^{My}$$

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Ermittlung der Werte der freien Flächenlast (siehe oben) für den Lastfall 101 tabellarisch dargestellt.

Subsequently a table with the results of the computation of the free area load values (see above) for the load case 101 is presented.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	

Verfasser / Author:			 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen		Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW			NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
			Hybridturm / Hybrid tower: T22		

Pos.-U	θ	$p_{\theta,z}^N$	$p_{\theta,z}^{My}$	$p_{\theta,x}^{Fx}$	$p_{\theta,x}^{Mt}$	$p_{\theta,y}^{Mt}$	$p_{\theta,x}$	$p_{\theta,y}$	$p_{\theta,z}$
Numm.	°	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
1	0,0	257	1 709	265	0	41	265	41	1 966
2	7,5	257	1 694	265	- 5	41	260	41	1 951
3	15,0	257	1 651	265	- 11	40	255	40	1 907
4	22,5	257	1 579	265	- 16	38	249	38	1 836
5	30,0	257	1 480	265	- 21	36	245	36	1 737
6	37,5	257	1 356	265	- 25	33	240	33	1 612
7	45,0	257	1 208	265	- 29	29	236	29	1 465
8	52,5	257	1 040	265	- 33	25	232	25	1 297
9	60,0	257	854	265	- 36	21	229	21	1 111
10	67,5	257	654	265	- 38	16	227	16	911
11	75,0	257	442	265	- 40	11	225	11	699
12	82,5	257	223	265	- 41	5	224	5	480
13	90,0	257	0	265	- 41	0	224	0	257
14	97,5	257	- 223	265	- 41	- 5	224	- 5	34
15	105,0	257	- 442	265	- 40	- 11	225	- 11	- 186
16	112,5	257	- 654	265	- 38	- 16	227	- 16	- 397
17	120,0	257	- 854	265	- 36	- 21	229	- 21	- 598
18	127,5	257	-1 040	265	- 33	- 25	232	- 25	- 784
19	135,0	257	-1 208	265	- 29	- 29	236	- 29	- 952
20	142,5	257	-1 356	265	- 25	- 33	240	- 33	-1 099
21	150,0	257	-1 480	265	- 21	- 36	245	- 36	-1 223
22	157,5	257	-1 579	265	- 16	- 38	249	- 38	-1 322
23	165,0	257	-1 651	265	- 11	- 40	255	- 40	-1 394
24	172,5	257	-1 694	265	- 5	- 41	260	- 41	-1 437

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	
		Seite/ Page: 39 Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Die eingegebenen vertikalen Lasten für den Lastfall 101 sind beispielhaft in der Abbildung / Figure 7 als Sofistik-Auszug graphisch dargestellt.

The defined vertical loads for the load case 101 are exemplary presented in the Abbildung / Figure 7 as a Sofistik-generated graphic.

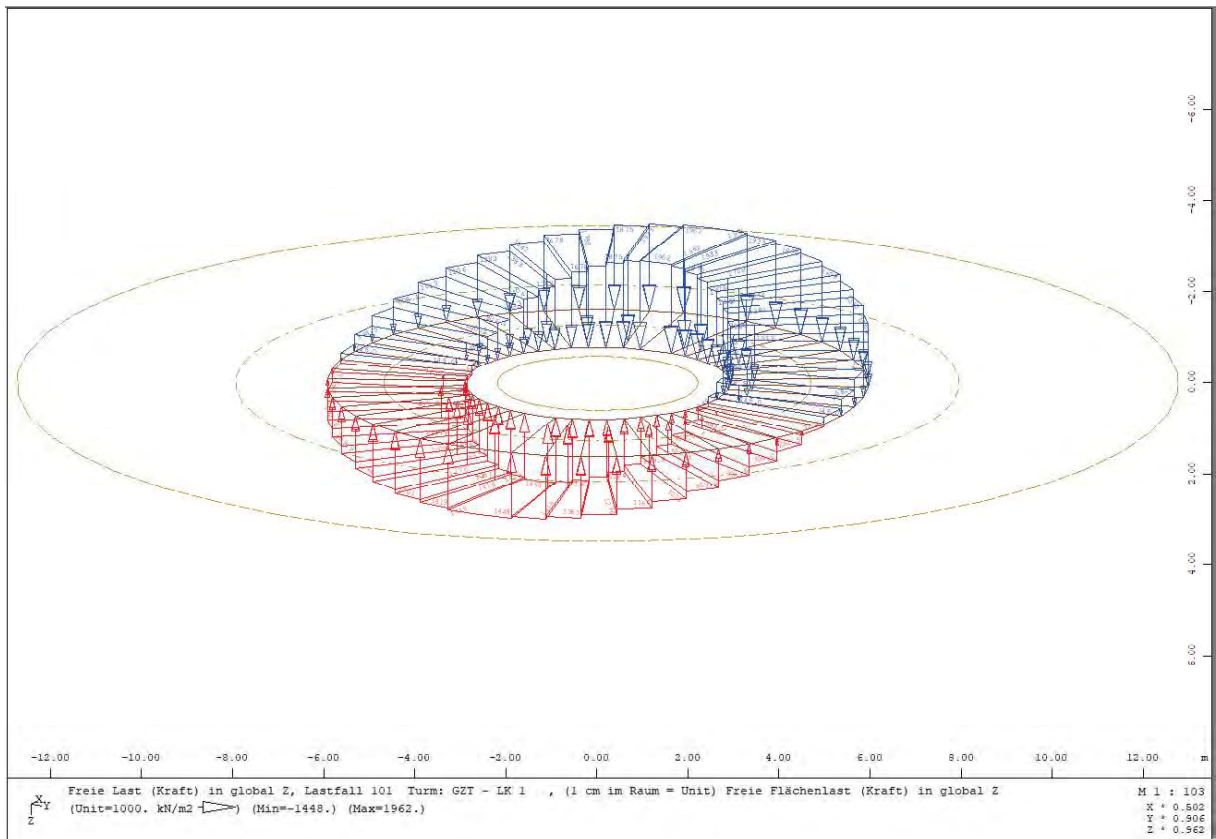
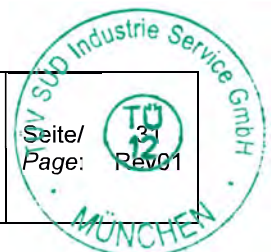


Abbildung / Figure 7: Visualisierung in Sofistik der vertikalen Belastung des Lastfalls 101 / Sofistik visualization of the vertical loading corresponding to the load case 101

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite / Page: 31 Rev01
Block / Chapter:	3 Lasten / Loads	



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybriddturm / Hybrid tower: T22	

4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design

4.1 Lasten / Loads

Nachfolgend ist die Belastung für die geotechnischen Nachweise aufgelistet.

The loads considered for the geotechnical design are listed next.

Die Turmlasten sind gemäß des Fundamentanforderungen-Dokuments [G-1] an Fundamentoberkante angegeben.

The tower loads are given at the top of the foundation as defined in the Foundation Design Requirements document [G-1].

Allgemeines / General

Betongewicht / Concrete weight	G_c	=	22 041 kN
Erdüberschüttungsgewicht / Soil cover weight	$G_{MaxÜs}$	=	10 056 kN
Auftriebskraft / Buoyancy force	G_{Gw}	=	-1 941 kN

S3 Einwirkungskombination / Action combination S3

Normalkraft S3 / Normal force S3	N_{S3}	=	19 898 kN
Querkraft S3 / Shear force S3	$F_{h,r,S3}$	=	1 175 kN
Biegemoment S3 / Bending moment S3	$M_{b,r,S3}$	=	169 820 kNm

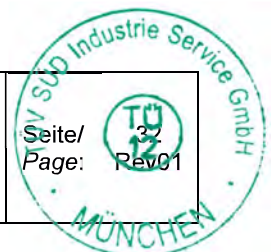
BS-P

Normalkraft BS-P / Normal force BS-P	N_{BS-P}	=	19 808 kN
Querkraft BS-P / Shear force BS-P	$F_{h,r,BS-P}$	=	2 162 kN
Biegemoment BS-P / Bending moment BS-P	$M_{b,r,BS-P}$	=	225 985 kNm

BS-A

Normalkraft BS-A / Normal force BS-A	N_{BS-A}	=	19 686 kN
Querkraft BS-A / Shear force BS-A	$F_{h,r,BS-A}$	=	2 011 kN
Biegemoment BS-A / Bending moment BS-A	$M_{b,r,BS-A}$	=	284 133 kNm

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 32 Rev01
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design	



Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022

4.2 Nachweis gegen Klaffen / Gapping

Die folgenden Nachweise gegen Klaffen werden in diesem Absatz durchgeführt.

The following gapping verifications are taken to term in this chapter.

Nr. / No.	Einwirkungskombination oder Bemessungssituation / Action combination or design situation	Zulässiges Klaffen / Allowed gapping	Kommentar / Comment
1	D.3 (quasi-ständig / quasi-permanent)	0 % (1. Kernweite / 1 st core range)	Gemäß / According to DIBt-Richtlinie 12.2.3.2 [T-1]. IEC 61400-6 Ch. 8.5.3.4 [T-3] ist abgedeckt / is covered.
2	Bemessungssituation BS-P / Load combination BS-P	50 % (2. Kernweite / 2 nd core range)	Gemäß / According to DIBt-Richtlinie 12.2.3.2 [T-1]. IEC 61400-6 [T-3] ist abgedeckt / is covered.

Die Nachweise werden mittels Kernweite gemäß [L-1] Ch. 3.1.3 durchgeführt.

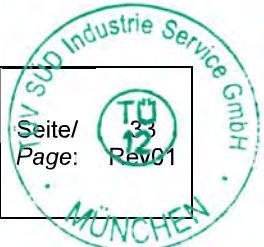
The verifications are performed using the core ranges (*Kernweite*) as defined in [L-1] Ch. 3.1.3.

Die Kernweite werden mittels eine Diskretisierung der Fundamentunterkante fläche durchgeführt, die die im Abs. 1.2 beschriebenen Weichschichten berücksichtigt. Die Bodensteifigkeit auf den Weichschichten wird vernachlässigt. Die Diskretisierung besteht aus 999 Streifen mit der gleichen Dicke.

The core ranges are computed using a discretization of the foundation bottom area which takes into account the soft layers described in Ch. 1.2. The soil stiffness on the soft layers area is neglected. The discretization consists of 999 same thickness stripes.

Die Kernweite werden durch die Modellierung der Grenzzustände, die sich aus jedem zulässigen Klaffen ergeben, ermittelt. Die Modellierung besteht aus einer linearen Verteilung der Vertikalspannungen auf den Streifen ohne Klaffen. Am äußersten Rand

The core ranges are obtained by modelling the limit situations given by the allowed gapping of each verification. The modelling consists on a linear distribution of the vertical stresses on the stripes with no gapping, assuming zero stress at the bending moment

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 33 Rev01
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW			Datum / Date: 22.08.2022
NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22		

der Biegemomentzugseite wird Null Spannung angesetzt, am äußersten Rand der Biegemomentdruckseite wird 1 MPa angesetzt. Die Normalkraft und Biegemoment, die das modellierte Grenzzustand hervorzusachen, werden mittels die Flächen, Kräfte, Hebelarme und Spannungen jeder Streife ermittelt. Das Verhältnis zwischen Biegemoment und Normalkraft ergibt die Kernweite für den modellierte Klaffenstand (Grenzwert). Die ist unabhängig von den in der Spannungsaufteilung angesetzten 1 MPa.

Die Streifendiskretisierung und ihre Parameter wurden auf einer Tabelle ermittelt. Ein Auszug davon und die Beschreibung der benutzten Parameter werden dargestellt.

“tension side” limit and 1 MPa at the bending moment “compression side” limit. The normal force and bending moment which produce the modelled situation are computed using the areas, forces, lever arms and stresses on each stripe. The relation between bending moment and normal force results into the core range for the considered gapping situation (limit value), which is independent from the 1 MPa assumed as maximum of the stress distribution.

The stripe discretization and its parameters have been computed using a tabular schema. An extract and a description of the parameters used in it are include..

Gapping verification

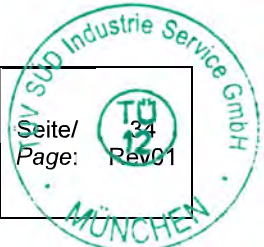
$$\begin{aligned}
 H &= 2,90 \text{ m} \\
 G_c &= 22\,041 \text{ kN} \\
 G_{\text{MaxÜs}} &= 10\,056 \text{ kN} \\
 G_{\text{Gw}} &= -1\,941 \text{ kN} \\
 N_{\text{Fund}} &= 30\,156 \text{ kN} = G_c + G_{\text{MaxÜs}} + G_{\text{Gw}}
 \end{aligned}$$

1st verification (S3, 0 % gapping allowed)

$$\begin{aligned}
 N_{\text{S3}} &= 19\,898 \text{ kN} \\
 F_{h,r,\text{S3}} &= 1\,175 \text{ kN} \\
 M_{b,r,\text{S3}} &= 169\,820 \text{ kNm} \\
 M_{b,\text{Fund},\text{S3}} &= 3\,408 \text{ kNm} = F_{h,r,\text{S3}} \cdot H \\
 M_{b,\text{FUK},\text{S3}} &= 173\,228 \text{ kNm} = M_{b,r,\text{S3}} + M_{b,\text{Fund},\text{S3}} \\
 N_{\text{FUK},\text{S3}} &= 50\,054 \text{ kN} = N_{\text{S3}} + N_{\text{Fund}} \\
 e_{\text{S3}} &= 3,461 \text{ m} = M_{b,\text{FUK},\text{S3}} / N_{\text{FUK},\text{S3}} \\
 R_{1,E} &= 3,461 \text{ m} = e_{\text{S3}} \\
 \Sigma F_{1,j} &= 204,2 \text{ MN} \\
 \Sigma M_{1,j} &= 729,2 \text{ MNm} \\
 R_1 &= 3,572 \text{ m} = \Sigma M_{1,i} / \Sigma R_{1,i} \\
 \eta_1 &= \mathbf{0,97} = R_{1,E} / R_1 \leq \mathbf{1,00}
 \end{aligned}$$

2nd verification (BS-P, 50 % gapping allowed)

$$\begin{aligned}
 N_{\text{BS-P}} &= 19\,808 \text{ kN} \\
 F_{h,r,\text{BS-P}} &= 2\,162 \text{ kN} \\
 M_{b,r,\text{BS-P}} &= 225\,985 \text{ kNm} \\
 M_{b,\text{Fund},\text{BS-P}} &= 6\,270 \text{ kNm} = F_{h,r,\text{BS-P}} \cdot H \\
 M_{b,\text{FUK},\text{BS-P}} &= 232\,255 \text{ kNm} = M_{b,r,\text{BS-P}} + M_{b,\text{Fund},\text{BS-P}} \\
 N_{\text{FUK},\text{BS-P}} &= 49\,964 \text{ kN} = N_{\text{BS-P}} + N_{\text{Fund}} \\
 e_{\text{BS-P}} &= 4,648 \text{ m} = M_{b,\text{FUK},\text{BS-P}} / N_{\text{FUK},\text{BS-P}}
 \end{aligned}$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ 24 Page: Rev01
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

$$\begin{aligned}
 R_{2,E} &= 4,648 \text{ m} &= e_{BS-P} \\
 \Sigma F_{2,i} &= 92,6 \text{ MN} \\
 \Sigma M_{2,i} &= 729,2 \text{ MN} \\
 R_2 &= 7,874 \text{ m} &= \Sigma M_{2,i} / \Sigma R_{2,i} \\
 \eta_2 &= \mathbf{0,59} &= R_{2,E} / R_2 \leq \mathbf{1,00}
 \end{aligned}$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design	

Seite/ 35
 Page: Rev01

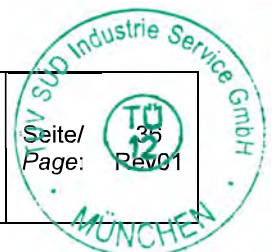
Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Tabellarische Diskretisierung / Tabular discretization

Parameter / Parameters

i	Linie-Index oder Streife-Index / <i>Line index or stripe index</i>	
x_i	X-Koordinate der Linie / <i>X Coordinate of the line i</i>	$= -R1 \cdot \cos((i / (n_{\text{Streifen}} + 1)) \cdot 180)$
x_{m,j}	X-Koordinate der Streifenmitte / <i>X Coordinate of the stripe j middle</i>	$= (x_i + x_{i-1}) / 2 \text{ for } i = j$
y_{aus,i}	Y-Koordinate außen der Fundamentfläche auf der Linie / <i>Outer Y Coordinate of the fundament perimeter on the line i</i>	$= (R1^2 - x_i^2)^{0,5}$
y_{inn,i}	Y-Koordinate innen der Fundamentfläche auf der Linie / <i>Inner Y Coordinate of the fundament perimeter on the line i</i>	$= (R2^2 - x_i^2)^{0,5} \text{ if } \text{ABS}(x_i) < R2$
y_{Wsr,aus,i}	Y-Koordinate außen der Weichschichtsringfläche auf der Linie / <i>Y Coordinate of the soft layer ring outer perimeter on the line i</i>	$= (R_{Wsr,a}^2 - x_i^2)^{0,5} \text{ if } \text{ABS}(x_i) < R_{Wsr,a}$
y_{Wsr,aus,i}	Y-Koordinate innen der Weichschichtsringfläche auf der Linie / <i>Y Coordinate of the soft layer ring inner perimeter on the line i</i>	$= (R_{Wsr,i}^2 - x_i^2)^{0,5} \text{ if } \text{ABS}(x_i) < R_{Wsr,i}$
A_j	Teilfläche der Fundamentfläche auf der Streife / <i>Fundament area part on the stripe j</i>	$= ((y_{aus,i-1} + y_{aus,i}) - (y_{inn,i-1} + y_{inn,i}) - ((y_{Wsr,aus,i-1} + y_{Wsr,aus,i}) - (y_{Wsr,inn,i-1} + y_{Wsr,inn,i}))) \cdot (x_{i-1} + x_i) \text{ für } i = j$
σ_{1,j}	Spannung in der Streifenmitte für die Ermittlung der 1. Kernweite / <i>Vertical stress in the stripe middle for the calculation of the limit state of the 1st verification</i>	$= (R1 + x_{m,j}) / (2 \cdot R1)$
F_{1,j}	Kraft in der Streife für die Ermittlung der 1. Kernweite / <i>Force in the stripe middle for the calculation of the limit state of the 1st verification</i>	$= \sigma_{1,j} \cdot A_j$
M_{1,j}	Momentbeitrag der Streife für die Ermittlung der 1. Kernweite / <i>Moment contribution of the stripe for the calculation of the limit state of the 1st verification</i>	$= F_{1,j} \cdot x_{m,j}$
σ_{2,j}	Spannung in der Streifenmitte für die Ermittlung der 2. Kernweite / <i>Vertical stress in the stripe middle for the calculation of the limit state of the 2nd verification</i>	$= 0 \text{ if } x_{m,j} < 0; x_{m,j} / R1 \text{ if } x_{m,j} > 0$
F_{2,j}	Kraft in der Streife für die Ermittlung der 2. Kernweite / <i>Force in the stripe middle for the calculation of the limit state of the 2nd verification</i>	$= \sigma_{2,j} \cdot A_j$
M_{2,j}	Momentbeitrag der Streife für die Ermittlung der 2. Kernweite / <i>Moment contribution of the stripe for the calculation of the limit state of the 2nd verification</i>	$= F_{2,j} \cdot x_{m,j}$

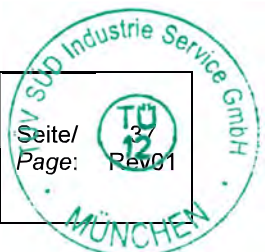
Bauteil / Component:	Fundament / Foundation
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybriddturm / Hybrid tower: T22	

Line i / Stripe j	x_i m	$x_{m,j}$ m	$y_{aus,i}$ m	$y_{inn,i}$ m	$y_{wsr,aus,i}$ m	$y_{wsr,aus,i}$ m	A_j mm ²	$\sigma_{1,j}$ MPa	$F_{1,j}$ MN	$M_{1,j}$ MNm	$\sigma_{2,j}$ MPa	$F_{2,j}$ MN	$M_{2,j}$ MNm
0	-12,750		0,000	0,000	0,000	0,000							
1	-12,750	-12,750	0,040	0,000	0,000	0,000	3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-12,750	-12,750	0,080	0,000	0,000	0,000	23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	-12,749	-12,750	0,120	0,000	0,000	0,000	63	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	-12,749	-12,749	0,160	0,000	0,000	0,000	123	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	-12,748	-12,749	0,200	0,000	0,000	0,000	204	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	-12,748	-12,748	0,240	0,000	0,000	0,000	305	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	-12,747	-12,747	0,280	0,000	0,000	0,000	426	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	-12,746	-12,746	0,320	0,000	0,000	0,000	567	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	-12,745	-12,745	0,360	0,000	0,000	0,000	728	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	-12,744	-12,744	0,400	0,000	0,000	0,000	910	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
495	-0,200	-0,220	12,748	2,191	7,937	5,937	685 499	0,491	0,337	-0,074	0,000	0,000	0,000
496	-0,160	-0,180	12,749	2,194	7,938	5,938	685 318	0,493	0,338	-0,061	0,000	0,000	0,000
497	-0,120	-0,140	12,749	2,197	7,939	5,939	685 172	0,495	0,339	-0,047	0,000	0,000	0,000
498	-0,080	-0,100	12,750	2,199	7,940	5,939	685 064	0,496	0,340	-0,034	0,000	0,000	0,000
499	-0,040	-0,060	12,750	2,200	7,940	5,940	684 991	0,498	0,341	-0,020	0,000	0,000	0,000
500	0,000	-0,020	12,750	2,200	7,940	5,940	684 955	0,499	0,342	-0,007	-0,002	-0,001	0,000
501	0,040	0,020	12,750	2,200	7,940	5,940	684 955	0,501	0,343	0,007	0,002	0,001	0,000
502	0,080	0,060	12,750	2,199	7,940	5,939	684 991	0,502	0,344	0,021	0,005	0,003	0,000
503	0,120	0,100	12,749	2,197	7,939	5,939	685 064	0,504	0,345	0,035	0,008	0,005	0,001
504	0,160	0,140	12,749	2,194	7,938	5,938	685 172	0,505	0,346	0,049	0,011	0,008	0,001
505	0,200	0,180	12,748	2,191	7,937	5,937	685 318	0,507	0,348	0,063	0,014	0,010	0,002
991	12,745	12,744	0,360	0,000	0,000	0,000	910	1,000	0,001	0,012	1,000	0,001	0,012
992	12,746	12,745	0,320	0,000	0,000	0,000	728	1,000	0,001	0,009	1,000	0,001	0,009
993	12,747	12,746	0,280	0,000	0,000	0,000	567	1,000	0,001	0,007	1,000	0,001	0,007
994	12,748	12,747	0,240	0,000	0,000	0,000	426	1,000	0,000	0,005	1,000	0,000	0,005
995	12,748	12,748	0,200	0,000	0,000	0,000	305	1,000	0,000	0,004	1,000	0,000	0,004
996	12,749	12,749	0,160	0,000	0,000	0,000	204	1,000	0,000	0,003	1,000	0,000	0,003
997	12,749	12,749	0,120	0,000	0,000	0,000	123	1,000	0,000	0,002	1,000	0,000	0,002
998	12,750	12,750	0,080	0,000	0,000	0,000	63	1,000	0,000	0,001	1,000	0,000	0,001
999	12,750	12,750	0,040	0,000	0,000	0,000	23	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
1000	12,750	12,750	0,000	0,000	0,000	0,000	3	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000

Bauteil / Fundament /
 Component: Foundation
 Block / 4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design
 Chapter:



Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW		NH / HH: 169 m	Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

4.3 Randdruckspannung / Soil edge pressure

Die Randdruckspannungen (maximale) werden für die folgenden Lastkombinationen ermittelt.

The soil edge pressure (maximal) is computed for the following load combinations.

1. Charakteristische Bemessungssituation BS-P / *Characteristic design situation BS-P*
2. Charakteristische Bemessungssituation BS-A / *Characteristic design situation BS-A*

Jede Lastkombination wird mit der minimalen und maximalen Normalkraft (Auftrieb jeweils berücksichtigt und nicht berücksichtigt) berechnet.

Each of them is computed in combination with minimal and maximal normal load (buoyancy considered and not considered respectively).

Eine Diskretisierung wie die vom Klaffenachweis (siehe 4.2) wird benutzt um die Weichschicht bei der Berechnung des Klaffens jeder Kombination zu berücksichtigen.

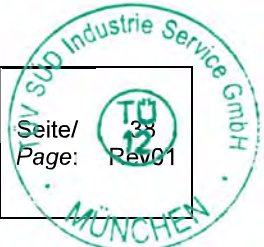
A discretization as the one used for the gapping verification (see 4.2) is used to take into account the soft layers when computing the corresponding gapping for each load combination.

Eine lineare Verteilung der Vertikalspannungen auf den Bereichen ohne Klaffen wird angesetzt. Gegeben eine Klaffenlänge Δx ab der Fundamentaußerkante; die Fläche ohne Klaffen A_{eff} , das Biegemoment und die Normalkraft werden in dieser Tabelle berechnet. Die Spannungsverteilung setzt Spannung gleich null an der Kante der Biegezugseite und $\sigma_N = N / A_{\text{eff}}$ auf einem Abstand $e = M_{b,E} / N_E$ von Fundamentmitte in der Richtung der Biegedruckseite an.

A linear distribution of the vertical stresses in the not gapping areas will be as well considered. Given a gapping length Δx starting at the foundation outer edge; the non-gapping area A_{eff} , the bending moment, and the normal force are computed in the table. The stress distribution considers stress equal to 0 at the bending moment "tension side" limit and $\sigma_N = N / A_{\text{eff}}$ at a distance $e = M_{b,E} / N_E$ of the middle of the foundation in the direction of the bending moment "compression side".

Das aus jeder Kombination sich ergebende Klaffen wird iterativ berechnet mit der Bedingung, dass das Biegemoment aus der Diskretisierung gleich das einwirkende Biegemoment sein muss.

The gapping resulting of each load combination is iteratively computed, given the condition that the bending moment resulting from the discretization has to be equal to the acting bending moment.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 23 Rev01
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Wenn das Klaffen ermittelt ist, die (maximale) Randdruckspannung wird aus der linearen Spannungsverteilung direkt berechnet.

Die Flächen und Spannungen jeder Streife der Diskretisierung werden tabellarisch ermittelt. Die detaillierte Berechnung der Randdruckspannungen für die Kombinationen mit minimalen Normalkraft werden nachfolgend dargestellt. Ein Auszug und die Beschreibung der benutzten Parameter folgen.

Die resultierenden maximalen Randdruckspannungen sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Once the gapping has been obtained, the soil edge (maximum) pressure is directly computed from the linear stress distribution.

The areas and stress of the stripes discretization have been computed using a tabular schema. The detailed calculation of the soil edge pressures for the combinations with minimal normal load is subsequently provided. An extract and a description of the parameters used in it follow.

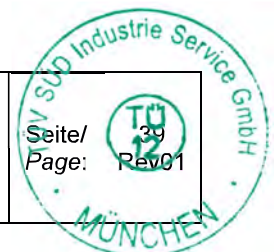
The resulting maximal soil edge pressures are given in the following table.

$\sigma_{\max,k}$ [kN/m ²]	Min. N	Max. N
BS-P	278	278
BS-A	367	361

Soil edge pressure

H	=	2,90 m	
G _c	=	22 041 kN	
G _{MaxÜs}	=	10 056 kN	
G _{Gw}	=	-1 941 kN	
N _{Fund}	=	30 156 kN	= G _c + G _{MaxÜs} + G _{Gw}
ΔM _{b,zul}	=	500 kNm	
BS-P			
N _{BS-P}	=	19 808 kN	
F _{h,r,BS-P}	=	2 162 kN	
M _{b,r,BS-P}	=	225 985 kNm	
M _{b,Fund,BS-P}	=	6 270 kNm	= F _{h,r,BS-P} · H
M _{b,FUK,BS-P}	=	232 255 kNm	= M _{b,r,BS-P} + M _{b,Fund,BS-P}
N _{FUK,BS-P}	=	49 964 kN	= N _{BS-P} + N _{Fund}
M _{b,E,BS-P}	=	232,3 MNm	= M _{b,FUK,BS-P}
N _{E,BS-P}	=	50,0 MN	= N _{FUK,BS-P}
e _{BS-P}	=	4,648 m	= M _{b,E,BS-P} / N _{E,BS-P}
Δx _{BS-P}	=	6,625 m	(iterative determined)

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ 39 Page: Rev01
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design	



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

$$\begin{aligned}
A_{\text{eff,BS-P}} &= 315,2 \text{ m}^2 = \Sigma A_j \text{ wenn } \sigma_{\text{BS-P},j} \neq 0 \\
\sigma_{\text{N,BS-P}} &= 158,5 \text{ kN/m}^2 = N_{\text{E,BS-P}} / A_{\text{eff,BS-P}} \\
\sigma_{\text{max,BS-P}} &= 278 \text{ kN/m}^2 = ((2 \cdot R1 - \Delta x_{\text{BS-P}}) / (R1 - \Delta x_{\text{BS-P}} + e_{\text{BS-P}})) \cdot \sigma_{\text{N,BS-P}} \\
M_{\text{b,TAB,BS-P}} &= 232,5 \text{ MNm} = \Sigma M_{\text{b,BS-P},i} \cdot \sigma_{\text{N,BS-P}} \\
\Delta M_{\text{b,BS-P}} &= -269 \text{ kNm} = M_{\text{b,E,BS-P}} - M_{\text{b,TAB,BS-P}}
\end{aligned}$$

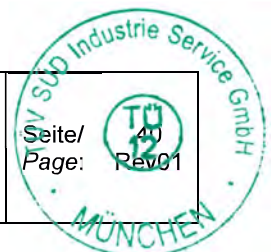
BS-A

$$\begin{aligned}
N_{\text{BS-A}} &= 19\,686 \text{ kN} \\
F_{\text{h,r,BS-A}} &= 2\,011 \text{ kN} \\
M_{\text{b,r,BS-A}} &= 284\,133 \text{ kNm} \\
M_{\text{b,Fund,BS-A}} &= 5\,832 \text{ kNm} = F_{\text{h,r,BS-A}} \cdot H \\
M_{\text{b,FUK,BS-A}} &= 289\,965 \text{ kNm} = M_{\text{b,r,BS-A}} + M_{\text{b,Fund,BS-A}} \\
N_{\text{FUK,BS-A}} &= 49\,842 \text{ kN} = N_{\text{BS-A}} + N_{\text{Fund}} \\
M_{\text{b,E,BS-A}} &= 290,0 \text{ MNm} = M_{\text{b,FUK,BS-P}} \\
N_{\text{E,BS-A}} &= 49,8 \text{ MN} = N_{\text{FUK,BS-P}} \\
e_{\text{BS-A}} &= 5,818 \text{ m} = M_{\text{b,E,BS-A}} / N_{\text{E,BS-A}} \\
\Delta x_{\text{BS-A}} &= 10,145 \text{ m} \quad (\text{iterative determined}) \\
A_{\text{eff,BS-A}} &= 251,4 \text{ m}^2 = \Sigma A_j \text{ wenn } \sigma_{\text{BS-A},j} \neq 0 \\
\sigma_{\text{N,BS-A}} &= 198,2 \text{ kN/m}^2 = N_{\text{BS-A}} / A_{\text{BS-A}} \\
\sigma_{\text{max,BS-A}} &= 361 \text{ kN/m}^2 = ((2 \cdot R1 - \Delta x_{\text{BS-A}}) / (R1 - \Delta x_{\text{BS-A}} + e_{\text{BS-A}})) \cdot \sigma_{\text{N,BS-A}} \\
M_{\text{b,TAB,BS-A}} &= 290,0 \text{ MNm} = \Sigma M_{\text{b,BS-A},i} \cdot \sigma_{\text{N,BS-A}} \\
\Delta M_{\text{b,BS-A}} &= -2 \text{ kNm} = M_{\text{b,E,BS-A}} - \Sigma M_{\text{b,TAB,BS-A}}
\end{aligned}$$

Eine Toleranz $\Delta M_{\text{b,zul}}$ wurde definiert, da wegen rechnerischen Gründe eine perfekte Konvergenz $\Delta M_{\text{b}} = 0$ kann nicht immer erreicht werden.

A tolerance $\Delta M_{\text{b,zul}}$ is defined, given that for computational reasons a perfect convergence $\Delta M_{\text{b}} = 0$ cannot always be obtained.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 49 Rev01
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design	



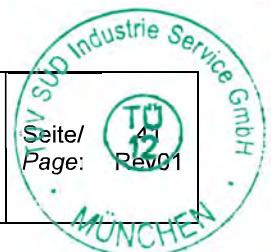
Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Tabellarische Diskretisierung / Tabular discretization

Parameter / Parameters

x_i	X-Koordinate der Linie / <i>X Coordinate of the line i</i>	$= -R1 \cdot \cos((i / (n_{\text{Streifen}} + 1)) \cdot 180)$
$x_{m,j}$	X-Koordinate der Streifenmitte / <i>X Coordinate of the stripe j middle</i>	$= (x_i + x_{i-1}) / 2 \text{ für } i = j$
$y_{\text{aus},i}$	Y-Koordinate außen der Fundamentfläche auf der Linie / <i>Outer Y Coordinate of the fundament perimeter on the line i</i>	$= (R1^2 - x_i^2)^{0,5}$
$y_{\text{inn},i}$	Y-Koordinate innen der Fundamentfläche auf der Linie / <i>Inner Y Coordinate of the fundament perimeter on the line i</i>	$= (R2^2 - x_i^2)^{0,5} \text{ wenn } \text{ABS}(x_i) < R2$
$y_{\text{Wsr},\text{aus},i}$	Y-Koordinate außen der Weichschichtsringfläche auf der Linie / <i>Y Coordinate of the soft layer ring outer perimeter on the line i</i>	$= (R_{\text{Wsr},a}^2 - x_i^2)^{0,5} \text{ wenn } \text{ABS}(x_i) < R_{\text{Wsr},a}$
$y_{\text{Wsr},\text{inn},i}$	Y-Koordinate innen der Weichschichtsringfläche auf der Linie / <i>Y Coordinate of the soft layer ring inner perimeter on the line i</i>	$= (R_{\text{Wsr},i}^2 - x_i^2)^{0,5} \text{ wenn } \text{ABS}(x_i) < R_{\text{Wsr},i}$
A_j	Teilfläche der Fundamentfläche auf der Streife / <i>Fundament area part on the stripe j</i>	$= ((y_{\text{aus},i-1} + y_{\text{aus},i}) - (y_{\text{inn},i-1} + y_{\text{inn},i}) - ((y_{\text{Wsr},\text{aus},i-1} + y_{\text{Wsr},\text{aus},i}) - (y_{\text{Wsr},\text{inn},i-1} + y_{\text{Wsr},\text{inn},i}))) \cdot (x_{i-1} + x_i) \text{ für } i = j$
$\sigma_{k,\text{BS-P},j}$	Vertical stress in the stripe middle for the calculation of the BS-P soil edge pressure / <i>Vertikale Spannung auf Streifenmitte für die Berechnung der BS-P Kantenpressungen</i>	$= 0 \text{ if } (R1 + x_{mj}) < \Delta x_{k,\text{BS-P}}; (R1 - \Delta x_{k,\text{BS-P}} + x_{mj}) / (R1 - \Delta x_{k,\text{BS-P}} + e_{k,\text{BS-P}}) \text{ if } (R1 + x_{mj}) > \Delta x_{k,\text{BS-P}}$
$M_{k,\text{BS-P},j}$	Bending moment contribution of the stripe middle for the calculation of the BS-P soil edge pressure / <i>Biegemomentbeitrag der Streifenmitte für die Berechnung der BS-P Kantenpressungen</i>	$= \sigma_{k,\text{BS-P},j} \cdot A_j \cdot x_{mj}$
$\sigma_{k,\text{BS-A},j}$	Vertical stress in the stripe middle for the calculation of the BS-A soil edge pressure / <i>Vertikale Spannung auf Streifenmitte für die Berechnung der BS-A Kantenpressungen</i>	$= 0 \text{ if } (R1 + x_{mj}) < \Delta x_{k,\text{BS-A}}; (R1 - \Delta x_{k,\text{BS-A}} + x_{mj}) / (R1 - \Delta x_{k,\text{BS-A}} + e_{k,\text{BS-A}}) \text{ if } (R1 + x_{mj}) > \Delta x_{k,\text{BS-A}}$
$M_{k,\text{BS-A},j}$	Bending moment contribution of the stripe middle for the calculation of the BS-A soil edge pressure / <i>Biegemomentbeitrag der Streifenmitte für die Berechnung der BS-A Kantenpressungen</i>	$= \sigma_{k,\text{BS-A},j} \cdot A_j \cdot x_{mj}$
$\sigma_{k,\text{BS-T},j}$	Vertical stress in the stripe middle for the calculation of the BS-T soil edge pressure / <i>Vertikale Spannung auf Streifenmitte für die Berechnung der BS-T Kantenpressungen</i>	$= 0 \text{ if } (R1 + x_{mj}) < \Delta x_{k,\text{BS-T}}; (R1 - \Delta x_{k,\text{BS-T}} + x_{mj}) / (R1 - \Delta x_{k,\text{BS-T}} + e_{k,\text{BS-T}}) \text{ if } (R1 + x_{mj}) > \Delta x_{k,\text{BS-T}}$
$M_{k,\text{BS-T},j}$	Bending moment contribution of the stripe middle for the calculation of the BS-T soil edge pressure / <i>Biegemomentbeitrag der Streifenmitte für die Berechnung der BS-T Kantenpressungen</i>	$= \sigma_{k,\text{BS-T},j} \cdot A_j \cdot x_{mj}$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design



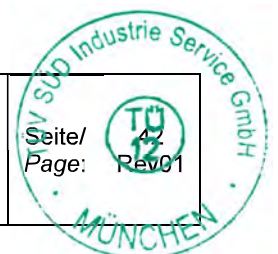
Verfasser / Author:			 Fortschritt baut man aus Ideen		Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW		NH / HH: 169 m		Hybridturm / Hybrid tower: T22	Datum / Date: 22.08.2022

Line i / Stripe j	X_i m	$X_{m,j}$ m	$Y_{aus,i}$ m	$Y_{inn,i}$ m	$Y_{Wsr,aus,i}$ m	$Y_{Wsr,aus,i}$ m	A_j mm ²	$\sigma_{BS-P,j}$ MPa	$M_{BS-P,j}$ MNm	$\sigma_{BS-A,j}$ MPa	$M_{BS-A,j}$ MNm
0	-12,750		0,000	0,000	0,000	0,000					
1	-12,750	-12,750	0,040	0,000	0,000	0,000	3	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-12,750	-12,750	0,080	0,000	0,000	0,000	23	0,000	0,000	0,000	0,000
3	-12,749	-12,750	0,120	0,000	0,000	0,000	63	0,000	0,000	0,000	0,000
4	-12,749	-12,749	0,160	0,000	0,000	0,000	123	0,000	0,000	0,000	0,000
5	-12,748	-12,749	0,200	0,000	0,000	0,000	204	0,000	0,000	0,000	0,000
6	-12,748	-12,748	0,240	0,000	0,000	0,000	305	0,000	0,000	0,000	0,000
7	-12,747	-12,747	0,280	0,000	0,000	0,000	426	0,000	0,000	0,000	0,000
8	-12,746	-12,746	0,320	0,000	0,000	0,000	567	0,000	0,000	0,000	0,000
9	-12,745	-12,745	0,360	0,000	0,000	0,000	728	0,000	0,000	0,000	0,000
10	-12,744	-12,744	0,400	0,000	0,000	0,000	910	0,000	0,000	0,000	0,000

495	-0,200	-0,220	12,748	2,191	7,937	5,937	685 499	0,548	-0,083	0,283	-0,043
496	-0,160	-0,180	12,749	2,194	7,938	5,938	685 318	0,552	-0,068	0,288	-0,036
497	-0,120	-0,140	12,749	2,197	7,939	5,939	685 172	0,556	-0,053	0,293	-0,028
498	-0,080	-0,100	12,750	2,199	7,940	5,939	685 064	0,559	-0,038	0,297	-0,020
499	-0,040	-0,060	12,750	2,200	7,940	5,940	684 991	0,563	-0,023	0,302	-0,012
500	0,000	-0,020	12,750	2,200	7,940	5,940	684 955	0,567	-0,008	0,307	-0,004
501	0,040	0,020	12,750	2,200	7,940	5,940	684 955	0,570	0,008	0,312	0,004
502	0,080	0,060	12,750	2,199	7,940	5,939	684 991	0,574	0,024	0,316	0,013
503	0,120	0,100	12,749	2,197	7,939	5,939	685 064	0,578	0,040	0,321	0,022
504	0,160	0,140	12,749	2,194	7,938	5,938	685 172	0,582	0,056	0,326	0,031
505	0,200	0,180	12,748	2,191	7,937	5,937	685 318	0,585	0,072	0,331	0,041

991	12,745	12,744	0,360	0,000	0,000	0,000	910	1,751	0,020	1,822	0,021
992	12,746	12,745	0,320	0,000	0,000	0,000	728	1,752	0,016	1,823	0,017
993	12,747	12,746	0,280	0,000	0,000	0,000	567	1,752	0,013	1,823	0,013
994	12,748	12,747	0,240	0,000	0,000	0,000	426	1,752	0,010	1,823	0,010
995	12,748	12,748	0,200	0,000	0,000	0,000	305	1,752	0,007	1,823	0,007
996	12,749	12,749	0,160	0,000	0,000	0,000	204	1,752	0,005	1,823	0,005
997	12,749	12,749	0,120	0,000	0,000	0,000	123	1,752	0,003	1,823	0,003
998	12,750	12,750	0,080	0,000	0,000	0,000	63	1,752	0,001	1,823	0,001
999	12,750	12,750	0,040	0,000	0,000	0,000	23	1,752	0,001	1,823	0,001
1000	12,750	12,750	0,000	0,000	0,000	0,000	3	1,752	0,000	1,823	0,000

Bauteil / Fundament /
 Component: Foundation
 Block / 4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design
 Chapter:



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

4.4 Baugrundanforderungen / Subsoil requirement

Die Anforderungen an dem Baugrund werden nachfolgend definiert. Diese müssen für jeden Standort durch einen Sachverständigen für Geotechnik nachgewiesen werden.

The requirements to be applied for the subsoil are defined next. These requirements must be confirmed by the geotechnical expert for the respective locations of the wind turbine.

Bodendrehfeder / Rotational spring stiffness

Mindestwert / Minimal value

Statische Bodendrehfeder / Static rotational spring $k_{\phi, \text{stat}}$ = 40 000 MNm/rad

Dynamische Bodendrehfeder / Dynamic rotational spring $k_{\phi, \text{dyn}}$ = 200 000 MNm/rad

Zulässige Schiefstellung / Allowed out-of-vertical deviation

Maximal zulässige Schiefstellung für 25 Jahre/

Maximal allowed out-of-vertical inclination for 25 years Δs_{max} = 3 mm/m

Bodenpressung / Soil bearing pressure

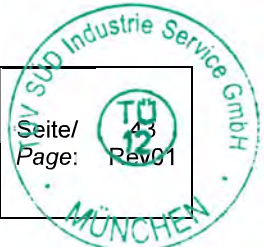
Erforderliche Tragfähigkeit / Required resistance

Maximal zulässige Bodenpressung in BS-P (charakt.) /

Maximal allowed soil pressure in BS-P (characteristic) $\sigma_{\text{max}, k, \text{BS-P}}$ = 278 kN/m²

Maximal zulässige Bodenpressung in BS-A (charakt.) /

Maximal allowed soil pressure in BS-A (characteristic) $\sigma_{\text{max}, k, \text{BS-A}}$ = 367 kN/m²

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design	

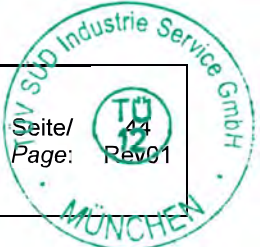
Seite/ 43
Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Zusätzlich müssen die folgenden Nachweise für die standortspezifischen Bodenkennwerte von einem Sachverständigen für Geotechnik geführt werden.

In addition the following verifications have to be performed by the geotechnical expert considering the sitespecific soil characteristics:

- Nachweis der erforderlichen Drehfedersteifigkeit der Flachgründung (statisch und dynamisch) / *Verification of the required rotational stiffness of the foundation (static and dynamic)*
- Nachweis gegen Grundbruch / *Verification against ground fracture*
- Nachweis gegen Gleiten / *Verification against slide*

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design	

Seite/ 44
Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

4.5 Nachweis der Bodendrehfedersteifigkeit / *Verification of the ground rotational stiffness*

Nachfolgend wird die Einhaltung der Mindestdrehfedersteifigkeit des Fundaments gemäß dem Fundamentanforderungen-Dokument [G-1] unter der Annahme eines homogen geschichteten Baugrunds mit dem u.a. Steifemodul nachgewiesen.

Hierzu wird ein Lastfall (LF8000) im FE-System definiert. Dieser Lastfall beinhaltet die folgenden Lasten:

The compliance of the minimum rotational stiffness of the foundation according to the Foundation Design Requirements document [G-1] assuming a homogeneous layered soil is verified with the below indicated constrained modulus in this chapter.

A load case (LF8000) is defined in the FE model containing the following loads:

- Turmlast / *Tower loads*:
 - $N = N_{D,3}$
 - $M_b = 100\,000\text{ kNm}$
 - $F_h = 0$
 - $M_t = 0$
- Eigengewicht / *Dead weight*
- Vorspannung / *Prestressing*
- Maximale Überschüttung / *Maximum soil cover*

Zur Ermittlung der Drehfedersteifigkeit der Gründung wird ein Steifemodul angesetzt:

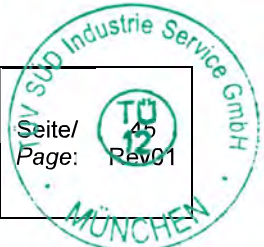
For the determination of the rotational stiffness a constrained modulus is applied:

$$E_{s,sta} = 20\text{ MN/m}^2$$

$$E_{s,dyn} = 5 \cdot E_{s,sta} = 100\text{ MN/m}^2$$

Aus den Knotenverschiebungen, Abbildung / Figure 8 und Abbildung / Figure 9, in vertikaler Richtung wird die Fundamentverdrehung berechnet.

The rotation of the foundation is calculated from the resulting vertical displacements in the FE model calculation, detailed in Abbildung / Figure 8 and Abbildung / Figure 9.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design	

Seite/
Page: 45
Rev01

Verfasser / Author:	 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22	
		Datum / Date: 22.08.2022	
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

4.5.1 Statische Drehfedersteifigkeit / Static rotational stiffness

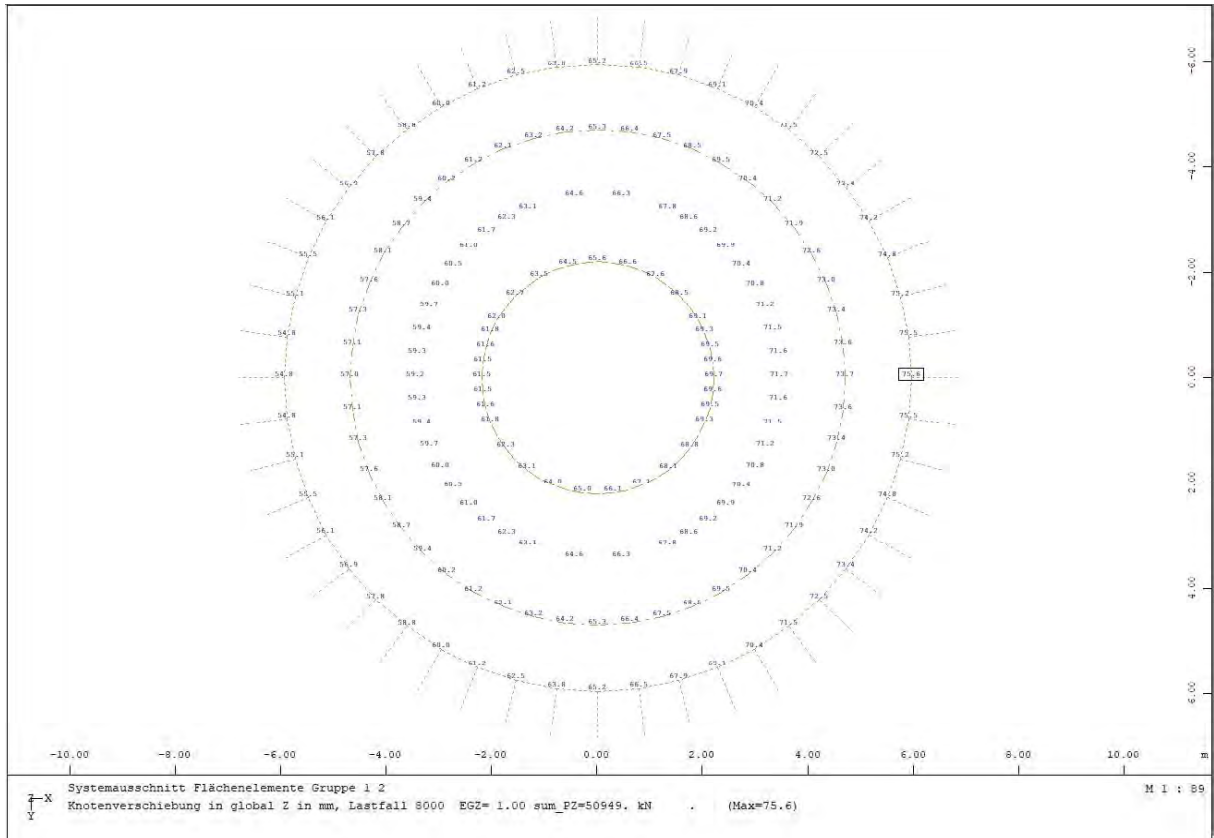
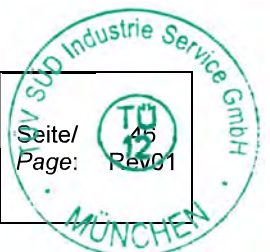


Abbildung / Figure 8: Vertikale Knotenverschiebung im Sockelbereich aus dem LF8000 des FE-Modells ermittelt mit $E_{s,sta}$ / Vertical node displacement on the base area from LF8000 of the FE model computed with $E_{s,sta}$

$$\begin{aligned}
 \varphi_{k,sta} &= M_b / \tan((V_{Z,Max} - V_{Z,Min}) / \varnothing) = \\
 &= 100 \text{ MNm} / \tan((75,60 \text{ mm} - 54,80 \text{ mm}) / 11,88 \text{ m}) = \\
 &= 57 \text{ 115 MNm/rad} \geq \\
 &\geq \varphi_{k,sta,MIN} = 40 \text{ 000 MNm/rad}
 \end{aligned}$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design



Verfasser / Author:	 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22	
		Datum / Date: 22.08.2022	
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

4.5.2 Dynamische Drehfedersteifigkeit / *Dynamic rotational stiffness*

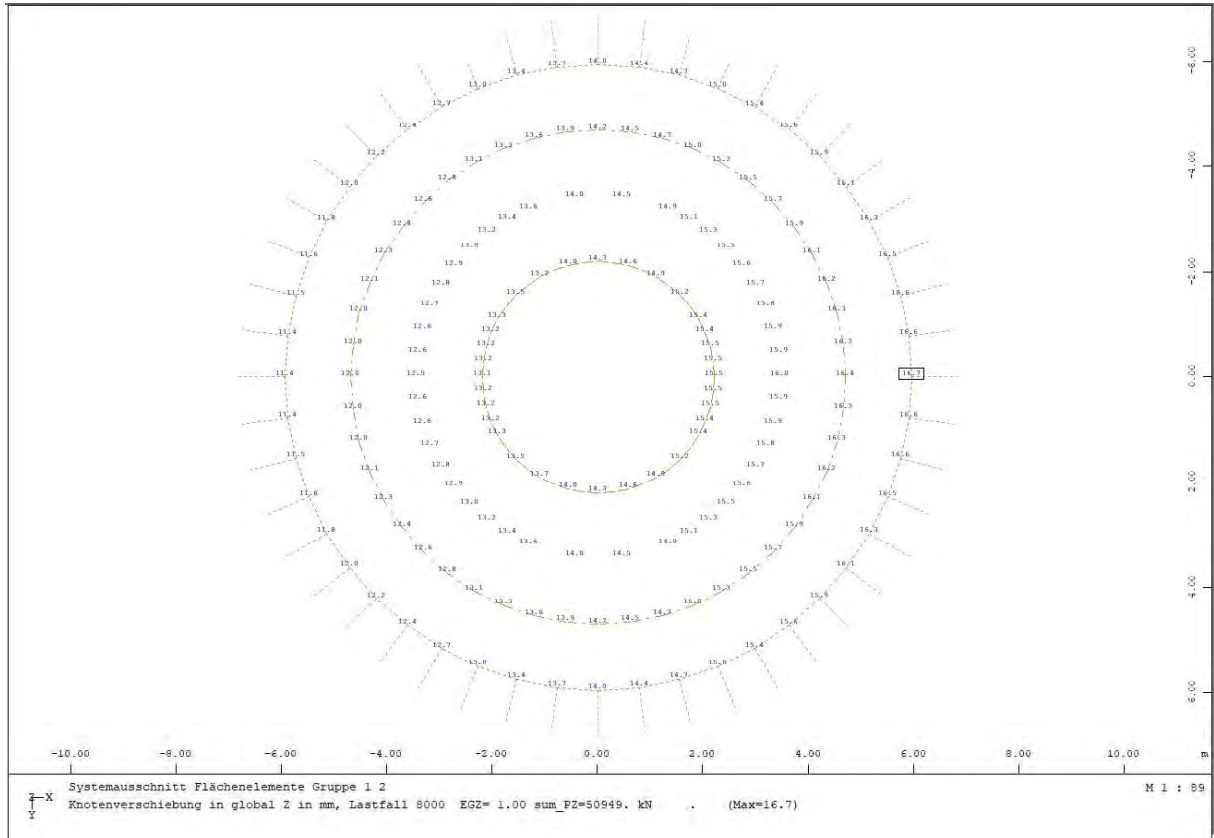
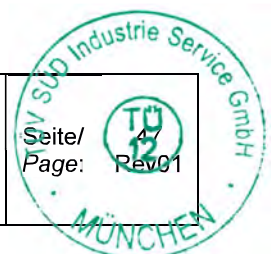


Abbildung / *Figure 9: Vertikale Knotenverschiebung im Sockelbereich aus dem LF8000 des FE-Modells ermittelt mit $E_{s,dyn}$ / Vertical node displacement on the base area from LF8000 of the FE model computed with $E_{s,dyn}$*

$$\begin{aligned}
 \varphi_{k,dyn} &= M_b / \operatorname{atan}((V_{Z,Max} - V_{Z,Min}) / \varnothing) = \\
 &= 100 \text{ MNm} / \operatorname{atan}((16,70 \text{ mm} - 11,40 \text{ mm}) / 11,88 \text{ m}) = \\
 &= 224 \, 151 \text{ MNm/rad} \geq \\
 &\geq \varphi_{k,dyn,MIN} = 200 \, 000 \text{ MNm/rad}
 \end{aligned}$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation
Block / Chapter:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

5 Bemessungsschnittgrößen / Design internal forces

5.1 Lastfallkombinationen / Load combination

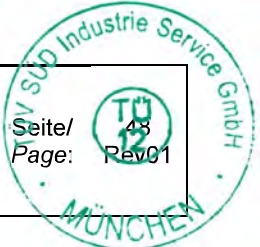
Zur Ermittlung der Bemessungsschnittgrößen werden die Einwirkungen aus Kapitel 3 kombiniert um die Grenzzustände der Bemessung abzudecken.

Die Teilsicherheitsbewerte werden gemäß DIBt-Richtlinie Kap. 10 [T-1] angesetzt. Diese decken die Anforderungen vom DIN EN 61400-1 [T-2] (Abs. 7.6.2.1) ab. Abweichend hiervon werden die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte gemäß der Spezifikation gewählt [G-2].

For the determination of the design internal forces the loads specified in Chapter 3 are combined in order to cover design limit states.

The combination coefficients are defined on the DIBt-Richtlinie Ch. 10 [T-1]. These cover the requirements of the DIN EN 61400-1 [T-2] (Ch. 7.6.2.1). Differing from it, the following partial safety factors are chosen according to the Specification [G-2].

- Günstige Fundamenteigengewicht / *Favorable dead weight of the foundation*
 $\gamma_{G,fav} = 0,95$.
- Vorspannung / *Prestressing*
 $\gamma_{P,unfav} = \gamma_{P,fav} = 1,00$.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	5 Bemessungsschnittgrößen / Design internal forces	

Seite/ 48
Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

In der nachfolgenden Tabelle sind die Lastfallkombinationen, Lastfall 1001-1008 für den GZT und Lastfall 3001-3002, dargestellt.

The following table shows the load combinations load case 1001-1008 for ULS and load case 3001-3002 for SLS.

LF-Bez. / LC Name →	EG	MaÜS	Au	P	TL	
LF-Nr. / LC No. →	10,11	42	52	70		
LF-Nr / LC No.	Fakt.	Fakt.	Fakt.	Fakt.	-	LC description
1001	1,35	1,35	-	1,00	101	GZT: Max. Biegemoment + zugehörige + Max. N / ULS: Max. bending moment + corresponding + Max. N
1002	0,95	1,00	1,35	1,00	102	GZT: Max. Biegemoment + zugehörige + Min. N / ULS: Max. Biegemoment + corresponding + Min. N
1003	1,35	1,35	-	1,00	103	GZT: 0,9x Max. Biegemoment + 0,6x Max. Torsionsmoment + Max. N / ULS: 0,9x Max. bending moment + 0,6x Max. torsional moment + Max. N
1004	0,95	1,00	1,35	1,00	104	GZT: 0,9x Max. Biegemoment + 0,6x Max. Torsionsmoment + Min. N / ULS: 0,9x Max. bending moment + 0,6x Max. torsional moment + Min. N
1005	1,35	1,35	-	1,00	105	GZT: 0,6x Max. Biegemoment + 0,9x Max. Torsionsmoment + Max. N / ULS: 0,6x Max. bending moment + 0,9x Max. torsional moment + Max. N
1006	0,95	1,00	1,35	1,00	106	GZT: 0,6x Max. Biegemoment + 0,9x Max. Torsionsmoment + Min. N / ULS: 0,6x Max. bending moment + 0,9x Max. torsional moment + Min. N
1007	1,35	1,35	-	1,00	107	GZT: Max. Torsionsmoment + zugehörige + Max. N / ULS: Max. torsional moment + corresponding + Max. N
1008	0,95	1,00	1,35	1,00	108	GZT: Max. Torsionsmoment + zugehörige + Min. N / ULS: Max. torsional moment + corresponding + Min. N
3001	1,00	1,00	-	1,00	301	D.3: Max. N (quasi-ständige Kombination) / D.3: Max. N (quasi-permanent combination)
3002	1,00	1,00	1,00	1,00	302	D.3: Min. N (quasi-ständige Kombination) / D.3: Min. N (quasi-permanent combination)

EG: Eigengewicht / Own weight

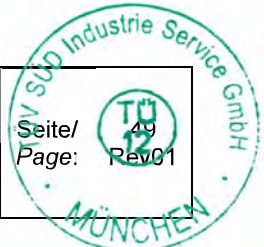
MaÜS: Maximale Erdüberschüttung / Maximal backfill cover

Au: Auftrieb / Buoyancy

P: Vorspannung / Prestressing

TL: Turmlasten / Tower loads

N: Normalkraft / Normal force

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	5 Bemessungsschnittgrößen / Design internal forces	
		Seite/ Page: 49 Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

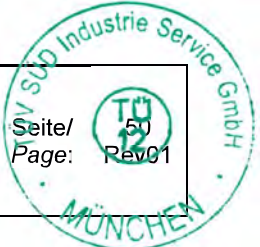
Die in der obigen Tabelle angegebenen Lastfallkombinationen 1001-1008 and 3001-3002 werden automatisch von Sofistik mit der Nutzlast (LF60) in den Lastfällen 10001 bis 10016 für den GZT und 30001-30016 für den GZG kombiniert. Für die Nutzlast wird bei ungünstiger Wirkung ein Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 und bei günstiger Wirkung von 0 angesetzt.

In den Lastfällen 10001-10016 und 30001-30016 werden aus den maßgebenden kombinierten Schalenelementschnittgrößen aller Lastfälle erzeugt, siehe nachfolgende Tabelle.

The above presented load combinations 1001-1008 and 3001-3002 are automatically combined in Sofistik with the live load (LC60) resulting in load cases 10001-10016 for ULS and 30001-30016 for SLS. The combination coefficient for the live load is 1,5 in case of a unfavorable effect, and 0 in case of favorable effect.

The load cases 10001-10016 and 30001-30006 result from combinations based on a decisive shell element internal force, see the following table.

LF / LC	Maßgebende Schnittgröße / Decisive internal force
-	-
-01	Max. MXX
-02	Min. MXX
-03	Max. MYY
-04	Min. MYY
-05	Max. MXY
-06	Min. MXY
-07	Max. VX
-08	Min. VX
-09	Max. VY
-10	Min. VY
-11	Max. NXX
-12	Min. NXX
-13	Max. NYY
-14	Min. NYY
-15	Max. NXY
-16	Min. NXY

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	5 Bemessungsschnittgrößen / Design internal forces	

Seite/ 50
Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybriddturm / Hybrid tower: T22	

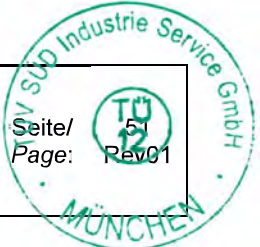
5.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit / *Ultimate limit state*

Die Schnittgrößen der Lastfallkombinationen 10001-10016 werden für die FE interne Bruchbemessung im GZT angesetzt.

Die Elementschnittgrößen im GZT sind im „Anhang C: Schnittgrößen“ exemplarisch für die Lastfälle 10, 1001 und 10009 angegeben.

The load case combinations 10001-10016 are used in Sofistik for the internal ULS dimensioning of the shell elements.

The shell element internal forces for the ULS load cases 10, 1001 and 10009 are included in “Annex C: Internal forces” as an example.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	5 Bemessungsschnittgrößen / Design internal forces	

Seite/
Page: 51
Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridenturm / Hybrid tower: T22	

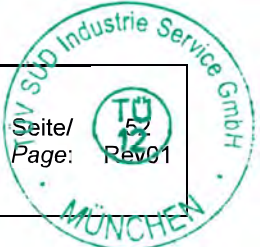
5.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit / *Serviceability limit state*

Die Lastfallkombinationen 30001-30016 werden für die FE interne Rissbreitenbegrenzungsnachweis (GZG) der Schalenelemente angesetzt.

Die Schalenelementschnittgrößen im GZG sind im „Anhang C: Schnittgrößen“ exemplarisch für die Lastfälle 3001 und 30009 angegeben.

The load case combinations 30001-30016 are used in Sofistik for the internal crack width control dimensioning (SLS) of the shell elements.

The shell element internal forces for the SLS load cases 3001 and 30009 are included in "Annex C: Internal forces" as an example.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	5 Bemessungsschnittgrößen / Design internal forces	

Seite/ 52
Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

6 Bemessung im GZT und GZG / *ULS and SLS reinforcement design*

6.1 Bemessungsverfahren / *Design procedure*

Die Bemessung des Fundaments erfolgt nach Eurocode 2 [T-4] und [T-5] wie in der DIBt-Richtlinie Abs. 12.1.3 [T-1] vorgeschrieben. Die Anforderungen vom IEC 61400-6 [T-3] (Benutzung eines „reference standard“) sind abgedeckt.

The foundation is dimensioned according to Eurocode 2 [T-4] and [T-5], as defined in the DIBt-Richtlinie Ch. 12.1.3 [T-1]. The requirements of the IEC 61400-6 [T-3] (use of a “reference standard“) are covered.

Die folgenden Nachweise im GZT und GZG werden durchgeführt:

The following verifications in ULS and SLS are carried out:

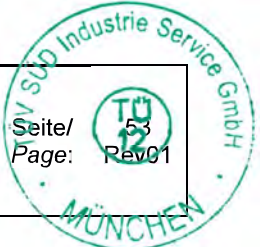
- Bemessung in Bruchzustand: Ermittlung der erforderlichen Biege- und Querkraftbewehrung / *Design in ULS state. Determination of the required bending and shear reinforcement*
- Begrenzung der Rissbreite / *Crack width control*
- Mindestbewehrung zur Robustheit / *Minimum reinforcement for robustness*
- Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite / *Minimum reinforcement for crack width control*
- Nachweise zur Lasteinleitung / *Verification of the load introduction*

Die Bemessung im Bruchzustand (GZT) und die Begrenzung der Rissbreite (GZG) werden im FE-Modell von Sofistik automatisch durchgeführt. Die Nachweise zur Lasteinleitung werden analytisch geführt.

The dimensioning based on ULS and crack width control (SLS) is automatically carried out in the FE model in Sofistik. The verifications of the load introduction are performed analytically.

Die Ermüdungsnachweise werden in Kapitel 7 geführt.

The fatigue verifications are performed in Chapter 7.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	

Seite/
Page: 53
Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

6.1.1 Bemessungsvorgaben für GZT / ULS design specifications

Die erforderliche Biegebewehrung (radial und tangential) sowie die Querkraftbewehrung in GZT (Bruchzustand) werden im FE-Modell von Sofistik schalelementweise ermittelt.

Die Bemessung erfolgt nach dem Baumann-Verfahren. Mehr Information hierzu ist dem Sofistik BEMESS-Handbuch zu entnehmen.

Für die Bemessung wurden die folgenden Abstände zwischen Rand und Bewehrungsachse $e_{\text{Rand-Achse}}$ gewählt:

The required bending (radial and tangential) and shear reinforcement in ULS are determined in Sofistik for each shell element.

The design is carried out using the Baumann method. More information can be found in the Sofistik BEMESS manual.

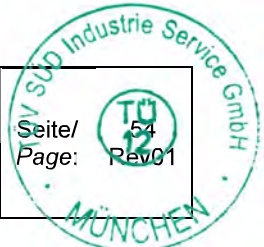
The following edge to reinforcement axis distances $e_{\text{Rand-Achse}}$ are considered in the dimensioning.

$e_{\text{Rand-Achse}}$ [mm]	Radial / <i>Radial</i>		Umlaufend / <i>Circumferential</i>	
	Sockel / <i>Base</i>	Platte / <i>Plate</i>	Sockel / <i>Base</i>	Platte / <i>Plate</i>
Obere / <i>Upper</i>	275	85	303	105
Untere / <i>Lower</i>	97		125	

Die Bemessung unter Querkraft wird mit dem folgenden Parameter durchgeführt.

The shear force design is performed with the following parameter.

$$\cot(\theta) = 1,75$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	

Seite/ 54
Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridenturm / Hybrid tower: T22	

6.1.2 Bemessungsvorgaben für GZG / SLS design specifications

Die erforderliche Biegebewehrung (radial und tangential) in GZG (Begrenzung der Rissbreite) wird im FE-Modell von Sofistik schalelementweise ermittelt.

Sofistik wendet Kapitel „7.3.4 Berechnung der Rissbreite“ des Eurocodes 2 [T-4] und [T-5] an.

Hierbei werden die folgenden Eisendurchmesser ϕ_{Rb} angesetzt:

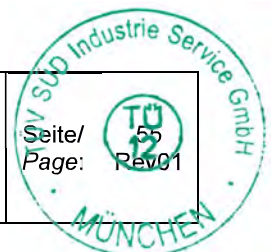
The required bending reinforcement (radial and tangential) in SLS (crack width control) are determined in Sofistik for each shell element.

Sofistik applies the chapter "7.3.4 Calculation of crack widths" of Eurocode 2 [T-4] and [T-5].

The following rebar diameters ϕ_{Rb} are considered in the calculation:

ϕ_{Rb} [mm]	Radial / <i>Radial</i>		Umlaufend / <i>Circumferential</i>	
	<i>Sockel / Base</i>	<i>Platte / Plate</i>	<i>Sockel / Base</i>	<i>Platte / Plate</i>
Obere / Upper	28	20	28	25
Untere / Lower	28		28	

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ 55 Page: Rev01
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Die zulässige rechnerische Rissbreite $w_{k,zul}$ wird gemäß DIBt-Richtlinie [T-1] wie folgt angesetzt. Die Anforderungen des IEC 61400-6 Abs. 7.9.3 [T-3] (Benutzung eines „reference standard“) bzw. des Eurocode 2 Abs. 7.3.1 [T-4] und [T-5] sind abgedeckt.

The allowed crack width $w_{k,zul}$ used in the calculations is set in accordance with the DIBt-Richtlinie [T-1] as follows. The requirements of the IEC 61400-6 Ch. 7.9.3 [T-3] (use of a „reference standard“) or Eurocode 2 Abs. 7.3.1 [T-4] and [T-5] are covered.

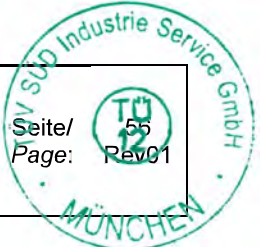
- Bauteile, die höchstens einen halben Meter in das Erdreich hineinreichen / *Components which extend maximum half meter into the ground:*

$$w_{k,zul} = 0,2 \text{ mm}$$

- Sonstige Bauteile / *Other components:*

$$w_{k,zul} = 0,3 \text{ mm}$$

	$w_{k,zul}$ [mm]	
	<i>Sockel / Base</i>	<i>Platte / Plate</i>
Obere / Upper	0,2	0,3
Untere / Lower	0,3	

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	
		Seite/ Page: 55 Rev01

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

6.2 GZT: erforderliche Bewehrung (FE-Modell) / ULS: required reinforcement (FE model)

Sofistik speichert die Ergebnisse der Bruchbemessung in GZT in dem Bemessungslastfall (BLF) 21.

Sofistik stores the results of the ULS design under the design load case (DLC) 21.

Die maximal erforderliche Bewehrung im GZT ist in der folgenden Tabelle angegeben.

The required reinforcement in ULS is detailed in the following table.

BLF-Nr. / DLC No.	Pos.-R	ASO	ASOQ	ASUQ	ASU	ASS
-	-	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m ²
21	1	18,9	53,6	58,1	37,8	31,5
21	2	32,6	52,3	61,5	66,4	13,9
21	3	29,3	50,6	54,2	67,0	9,0
21	4	25,2	20,2	55,2	83,5	15,1
21	5	18,2	17,9	51,6	65,4	14,7
21	6	12,6	13,2	48,0	52,1	14,0
21	7	8,3	9,1	42,9	39,5	13,2
21	8	5,3	5,8	37,9	27,8	12,7
21	9	2,7	4,8	32,3	17,0	11,6
21	10	1,7	9,2	25,0	6,2	8,5

BLF-Nr. / DLC No.: Bemessungslastfallnummer / Design load case number

Pos.-R: Schalenelementkreisposition in Radialrichtung / Shell element circle position in radial direction

ASO: Radialbewehrung Oben / Upper radial reinforcement

ASOQ: Umfangsbewehrung Oben / Upper circumferential reinforcement

ASUQ: Umfangsbewehrung Unten / Lower circumferential reinforcement

ASU: Radialbewehrung Unten / Lower radial reinforcement

ASS: Schubbewehrung / Shear force reinforcement

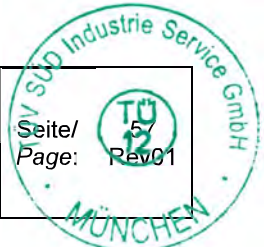
Die Ergebnisse der Sofistik-Bemessung sind als graphische Auszüge im „Anhang D: Bewehrung“ dokumentiert.

The detailed results of the design of Sofistik are documented graphically in “Annex D: Reinforcement”.

Die Querbewehrung in der Platte darf nach Eurocode 2 9.3.2 (3) [T-4] und [T-5] vollständig aus Schubzulagen bestehen, da die folgende Bedingung erfüllt ist (siehe „Anhang D: Bewehrung“)

According to Eurocode 2 9.3.2 (3) [T-4] and [T-5], the shear reinforcement in the plate can consist entirely of bent-up bars as the following condition is fulfilled (see “Annex D: Reinforcement”).

$$V_{Ed} \leq 1/3 V_{Rd, max}$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: Rev01
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

6.3 GZG: erforderliche Bewehrung zur Beschränkung der Rissbreite (FE-Modell) / SLS: required reinforcement for crack width control (FE model)

Sofistik ermittelt die Rissbreite auf den Bewehrungsmengen des Bemessungslastfalls 21 (GZT-Bruchbemessung) gemäß dem Absatz 6.1.2 und erhöht diese, falls der Nachweis nicht eingehalten ist. Der Bemessungslastfall 22 beinhaltet dementsprechend das Maximum aus der Bruch- und Rissbreitebemessungen.

Die maximal erforderliche Bewehrung aus den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit ist in der folgenden Tabelle (BLF 22) angegeben.

Sofistik determines the crack width on the required reinforcement of the design load case (DLC) 21 (ULS design) as specified in paragraph 6.1.2. In case the verification is not fulfilled, the reinforcement will be increased. The resulting reinforcement is stored in the DLC 22, which consequently includes the maximum required reinforcement from ULS design and crack width control.

The maximum required reinforcement in ultimate and serviceability limit state is detailed in the following table (DLC 22).

BLF-Nr. / DLC No.	Pos.-R	ASO	ASOQ	ASUQ	ASU	ASS
-	-	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m ²
22	1	29,6	53,6	62,0	40,5	31,5
22	2	46,0	52,3	61,5	66,4	13,9
22	3	34,4	50,6	54,2	67,0	9,0
22	4	25,2	20,2	64,6	83,5	15,1
22	5	18,2	17,9	62,3	66,1	14,7
22	6	12,6	13,2	60,2	56,9	14,0
22	7	8,3	9,1	57,3	47,2	13,2
22	8	5,3	5,8	54,1	39,6	12,7
22	9	2,7	5,1	50,2	26,0	11,6
22	10	1,7	11,8	41,4	9,2	8,5

BLF-Nr. / DLC No.: Bemessungslastfallnummer / Design load case number

Pos.-R: Schalenelementkreisposition in Radialrichtung / Shell element circle position in radial direction

ASO: Radialbewehrung Oben / Upper radial reinforcement

ASOQ: Umfangsbewehrung Oben / Upper circumferential reinforcement

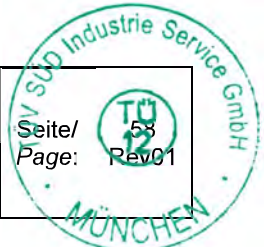
ASUQ: Umfangsbewehrung Unten / Lower circumferential reinforcement

ASU: Radialbewehrung Unten / Lower radial reinforcement

ASS: Schubbewehrung / Shear force reinforcement

Die Ergebnisse der Sofistik-Bemessung sind als graphische Auszüge in „Anhang D: Bewehrung“ dokumentiert.

The detailed results of the design of Sofistik are documented graphically in “Annex D: Reinforcement”.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 53 Rev01
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridenturm / Hybrid tower: T22	

6.4 Mindestbewehrung / *Minimum reinforcement*

6.4.1 Mindestbewehrung für duktiles Bauteilverhalten / *Minimum reinforcement for ductile behavior*

Die erforderliche Mindestbewehrung für ein duktiles Bauteilverhalten in Umfangsrichtung nach Eurocode 2 Abs. 9.2.1.1 [T-4] and [T-5] wird festgelegt.

Beispielhaft wird die Mindestbewehrung für den Sockel ermittelt. Die Ergebnisse für alle Elemente werden tabellarisch angegeben (BLF "MiBe-Dukt").

The minimum reinforcement in circumferential direction to ensure a ductile behavior is determined according to Eurocode 2 Par. 9.2.1.1 [T-4] and [T-5].

Exemplary, a detailed calculation of the minimum reinforcement for the base area is included. The results for all elements are subsequently detailed in tabular form (DLC "MiBe-Dukt").

Legende / *Legend*

XXX	→	Eingabe / <i>Input</i>
DE	→	Eingabe / <i>Input</i>

Eingabe / *Input*

Material / *Material*

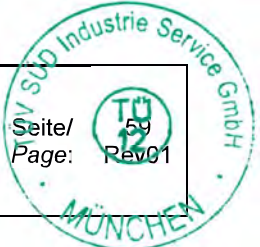
f_{ck}	=	40	MPa	
f_{ctm}	=	3,5	MPa	$= 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \leq C50/60$
f_{yk}	=	500	MPa	

Geometrie / *Geometry*

h	=	2,900	m	Element-Mittelhöhe / <i>Element middel height</i>
b_t	=	1,000	m	Einheitliche Breite / <i>Unit width</i>
d_1	=	0,303	m	Randachsabstand der Bewehrung / <i>Reinforcement edge-axis separation</i>
d	=	2,597	m	$= h - d_1$
W_c	=	1,402	m ³	$= b_t \cdot h^2 / 6$

Berechnung / *Calculation*

$$a_{s,min,Duk} = 42,0 \text{ cm}^2/\text{m} = W_c \cdot f_{ctm} / (0,9 \cdot d \cdot f_{yk}) \cdot 10^4$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ 59 Page: Rev01
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW			Datum / Date: 22.08.2022
NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22		

Erforderliche Bewehrung / Required reinforcement

Pos.-R	f_{ck}	f_{ctm}	f_{yk}	h	b_t	d_1	d	W_c	$a_{s,min,Duk}$
Numm.	MPa	MPa	MPa	m	m	m	m	m ³	cm ² /m
1	40	3,5	500	2,900	1,000	0,303	2,597	1,402	42,0
2	40	3,5	500	2,900	1,000	0,303	2,597	1,402	42,0
3	40	3,5	500	2,875	1,000	0,303	2,572	1,378	41,7
4	30	2,9	500	2,090	1,000	0,105	1,985	0,728	23,6
5	30	2,9	500	1,870	1,000	0,105	1,765	0,583	21,3
6	30	2,9	500	1,654	1,000	0,105	1,549	0,456	19,0
7	30	2,9	500	1,442	1,000	0,105	1,337	0,346	16,7
8	30	2,9	500	1,230	1,000	0,105	1,125	0,252	14,4
9	30	2,9	500	1,018	1,000	0,105	0,913	0,173	12,2
10	30	2,9	500	0,806	1,000	0,105	0,701	0,108	10,0

Pos.-R: Schalelementkreisposition in Radialrichtung / Shell element circle position in radial direction

Zusammenfassung / Summary

BLF-Nr. / DLC No.	Pos.-R	ASO	ASOQ	ASUQ	ASU	ASS
Numm.	Numm.	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m ²
MiBe-Dukt	1	0,0	42,0	42,0	0,0	0,0
MiBe-Dukt	2	0,0	42,0	42,0	0,0	0,0
MiBe-Dukt	3	0,0	41,7	41,7	0,0	0,0
MiBe-Dukt	4	0,0	23,6	23,6	0,0	0,0
MiBe-Dukt	5	0,0	21,3	21,3	0,0	0,0
MiBe-Dukt	6	0,0	19,0	19,0	0,0	0,0
MiBe-Dukt	7	0,0	16,7	16,7	0,0	0,0
MiBe-Dukt	8	0,0	14,4	14,4	0,0	0,0
MiBe-Dukt	9	0,0	12,2	12,2	0,0	0,0
MiBe-Dukt	10	0,0	10,0	10,0	0,0	0,0

BLF-Nr. / DLC No.: Bemessungslastfallnummer / Design load case number

Pos.-R: Schalelementkreisposition in Radialrichtung / Shell element circle position in radial direction

ASO: Radialbewehrung Oben / Upper radial reinforcement

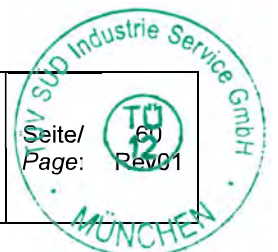
ASOQ: Umfangsbewehrung Oben / Upper circumferential reinforcement

ASUQ: Umfangsbewehrung Unten / Lower circumferential reinforcement

ASU: Radialbewehrung Unten / Lower radial reinforcement

ASS: Schubbewehrung / Shear force reinforcement

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ 60 Page: Rev01
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

6.4.2 Mindestbewehrung zur Beschränkung der Rissbreite / *Minimum reinforcement for crack width control*

Nachfolgend wird die erforderliche Mindestbewehrung zur Beschränkung der Rissbreite in Umfangsrichtung gemäß Eurocode 2 Abs. 7.3.2 [T-4] und [T-5] ermittelt.

Beispielhaft wird die Mindestbewehrung für den Sockel ermittelt. Die Ergebnisse für alle Elemente werden tabellarisch angegeben (BLF "MiBe-Riss").

The minimum reinforcement in circumferential direction to control the crack width is determined according to Eurocode 2 Par. 7.3.2 [T-4] and [T-5].

Exemplary, a detailed calculation of the minimum reinforcement for the base area is included. The results for all elements are subsequently detailed in tabular form (DLC "MiBe-Riss").

Legende / Legend

XXX	→	Eingabe / Input
DE	→	Region / Region

Eingabe / Input

Material / Material

f_{ck}	=	40	MPa	
f_{ctm}	=	3,5	MPa	= $0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \leq C50/60$
$f_{ct,0}$	=	3,5	MPa	= f_{ctm}
$f_{ct,eff}$	=	1,8	MPa	= $0,50 \cdot f_{ctm}$

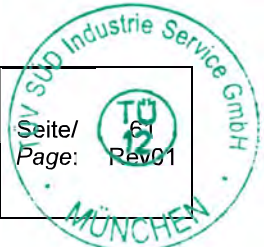
Geometrie / Geometry

h	=	2,900	m	Element-Mittelhöhe / <i>Element mean height</i>
b	=	1,000	m	Einheitliche Breite / <i>Unit width</i>
d	=	2,803	m	= $h - e_{Rand-Achse}$
A_{ct}	=	1,450	m ²	= $h / 2 \cdot b$
$A_{c,eff}$	=	0,484	m ²	= $b \cdot h_{c,eff}$
d_s	=	28	mm	Eisendurchmesser / <i>Stab diameter</i>
$e_{Rand-Achse,O}$	=	8,50	cm	Abstand zwischen Rand und Bewehrungsachse oben / <i>Edge to upper reinforcement axis distance</i>
$e_{Rand-Achse,U}$	=	9,70	cm	Abstand zwischen Rand und Bewehrungsachse unten / <i>Edge to lower reinforcement axis distance</i>

Berechnung / Calculation

$w_{k,zul}$	=	0,2	mm	Zulässige Rissbreite / <i>Permitted crack width</i>
k_c	=	0,40	-	mit $\sigma_c = 0$ / <i>with $\sigma_c = 0$</i>
k	=	0,50	-	selbst hervorgerufene Zwang, $h \geq 800$ mm / <i>non-uniform self-equilibrating stresses, $h \geq 800$ mm</i>
$d_{s,St}$	=	56	mm	= $d_s \cdot f_{ct0} / f_{ct,eff}$
σ_s	=	111,5	MPa	= $(w_{k,zul} \cdot 3,48 \cdot 10^6 / d_{s,St})^{1/2}$
$a_{s,min,Ris}$	=	45,5	cm ² /m	= $k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot 10^4 \cdot f_{ct,eff} / \sigma_s$

Erforderliche Bewehrung oben / *Required upper reinforcement*

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 6 Rev01
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	

Verfasser / Author:			 Fortschritt baut man aus Ideen		Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW		NH / HH: 169 m		Hybridturm / Hybrid tower: T22	Datum / Date: 22.08.2022

Pos.- R	f _{ck}	h	b	A _{ct}	d _s	w _{k,zul}	k _c	k	σ _s	a _{s,min,Ris,O}
Numm.	MPa	m	m	m	mm	mm	-	-	MPa	cm ² /m
1	40	2,900	1,000	1,5	28	0,2	0,4	0,50	111,5	45,5
2	40	2,900	1,000	1,5	28	0,2	0,4	0,50	111,5	45,5
3	40	2,875	1,000	1,4	28	0,2	0,4	0,50	111,5	45,1
4	30	2,090	1,000	1,0	25	0,3	0,4	0,50	144,5	21,0
5	30	1,870	1,000	0,9	25	0,3	0,4	0,50	144,5	18,8
6	30	1,654	1,000	0,8	25	0,3	0,4	0,50	144,5	16,6
7	30	1,442	1,000	0,7	25	0,3	0,4	0,50	144,5	14,5
8	30	1,230	1,000	0,6	25	0,3	0,4	0,50	144,5	12,3
9	30	1,018	1,000	0,5	25	0,3	0,4	0,50	144,5	10,2
10	30	0,806	1,000	0,4	25	0,3	0,4	0,50	144,5	8,1

Pos.-R: Schalenelementkreisposition in Radialrichtung / Shell element circle position in radial direction

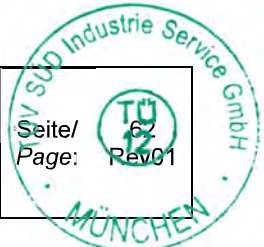
Erforderliche Bewehrung unten / Required lower reinforcement

Pos.- R	f _{ck}	h	b	A _{ct}	d _s	w _{k,zul}	k _c	k	σ _s	a _{s,min,Ris,U}
Numm.	MPa	m	m	m	mm	mm	-	-	MPa	cm ² /m
1	30	2,900	1,000	1,5	28	0,3	0,4	0,50	136,5	30,8
2	30	2,900	1,000	1,5	28	0,3	0,4	0,50	136,5	30,8
3	30	2,875	1,000	1,4	28	0,3	0,4	0,50	136,5	30,5
4	30	2,090	1,000	1,0	28	0,3	0,4	0,50	136,5	22,2
5	30	1,870	1,000	0,9	28	0,3	0,4	0,50	136,5	19,9
6	30	1,654	1,000	0,8	28	0,3	0,4	0,50	136,5	17,6
7	30	1,442	1,000	0,7	28	0,3	0,4	0,50	136,5	15,3
8	30	1,230	1,000	0,6	28	0,3	0,4	0,50	136,5	13,1
9	30	1,018	1,000	0,5	28	0,3	0,4	0,50	136,5	10,8
10	30	0,806	1,000	0,4	28	0,3	0,4	0,50	136,5	8,6

Pos.-R: Schalenelementkreisposition in Radialrichtung / Shell element circle position in radial direction

Zusammenfassung / Summary

BLF-Nr. / DLC No.	Pos.-R	ASO	ASOQ	ASUQ	ASU	ASS
Numm.	Numm.	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m ²
MiBe-Riss	1	0,0	45,5	30,8	0,0	0,0
MiBe-Riss	2	0,0	45,5	30,8	0,0	0,0
MiBe-Riss	3	0,0	45,1	30,5	0,0	0,0

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page:
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybriddturm / Hybrid tower: T22	

MiBe-Riss	4	0,0	21,0	22,2	0,0	0,0
MiBe-Riss	5	0,0	18,8	19,9	0,0	0,0
MiBe-Riss	6	0,0	16,6	17,6	0,0	0,0
MiBe-Riss	7	0,0	14,5	15,3	0,0	0,0
MiBe-Riss	8	0,0	12,3	13,1	0,0	0,0
MiBe-Riss	9	0,0	10,2	10,8	0,0	0,0
MiBe-Riss	10	0,0	8,1	8,6	0,0	0,0

BLF-Nr. / *DLC No.*: Bemessungslastfallnummer / *Design load case number*

Pos.-R: Schalenelementkreisposition in Radialrichtung / *Shell element circle position in radial direction*

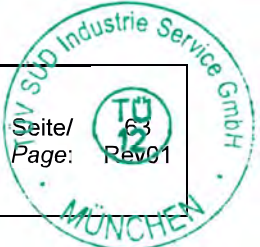
ASO: Radialbewehrung Oben / *Upper radial reinforcement*

ASOQ: Umfangsbewehrung Oben / *Upper circumferential reinforcement*

ASUQ: Umfangsbewehrung Unten / *Lower circumferential reinforcement*

ASU: Radialbewehrung Unten / *Lower radial reinforcement*

ASS: Schubbewehrung / *Shear force reinforcement*

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	

Seite/ 63
Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

6.5 Erforderliche Bewehrung / Required reinforcement

Die erforderliche Biege- und Schubbewehrung aus dem FE-Modell (GZT und GZG) und aus der Mindestbewehrung wird unter der Bemessungslastfall „ERF“ gespeichert und ist in nachfolgender Tabelle angegeben.

The required reinforcement resulting from the bending and shear reinforcement computed in the FE model for ULS and SLS, and from the minimum reinforcement, is stored in the design load case "ERF" which is summarized in the following table.

BLF-Nr. / DLC No.	Pos.-R	ASO	ASOQ	ASUQ	ASU	ASS
-	-	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m ²
ERF	1	53,7	61,7	62,0	55,8	31,5
ERF	2	66,2	75,5	61,5	73,7	13,9
ERF	3	74,2	75,0	54,2	70,6	9,0
ERF	4	45,5	34,6	64,6	83,5	24,1
ERF	5	33,3	23,6	62,3	66,1	22,3
ERF	6	24,1	19,0	60,2	56,9	14,0
ERF	7	16,5	16,7	57,3	47,2	13,2
ERF	8	10,3	14,4	54,1	39,6	12,7
ERF	9	5,4	12,2	50,2	26,0	11,6
ERF	10	1,7	11,8	41,4	9,2	8,5

BLF-Nr. / DLC No.: Bemessungslastfallnummer / Design load case number

Pos.-R: Schalelementkreisposition in Radialrichtung / Shell element circle position in radial direction

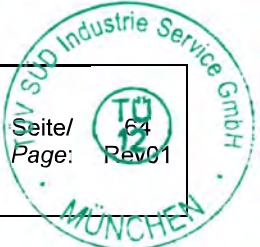
ASO: Radialbewehrung Oben / Upper radial reinforcement

ASOQ: Umfangsbewehrung Oben / Upper circumferential reinforcement

ASUQ: Umfangsbewehrung Unten / Lower circumferential reinforcement

ASU: Radialbewehrung Unten / Lower radial reinforcement

ASS: Schubbewehrung / Shear force reinforcement

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	
		Seite/ Page: 64 Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybriddturm / Hybrid tower: T22	

6.6 Lasteinleitung / Load introduction

6.6.1 Windzugseite / Wind tension side

Auf der dem Wind zugewandten Seite wird auf der sicheren Seite angenommen, dass die Fuge zwischen Turmfuß und Fundament klappt. Es tritt nur die Zugkraft in den Spanngliedern auf, die in die Platte weitergeleitet wird.

Das in Abbildung / Figure 10 dargestellte Stabwerksmodell wird gewählt um die Tragfähigkeit des Fundaments gegen diese Last nachzuweisen.

On the windward side gapping is conservatively assumed between tower bottom and foundation in ULS. The tension force of the tendons is the only load being transferred to the plate.

The strut-and-tie model in Abbildung / Figure 10 is considered to design the foundation against this load.

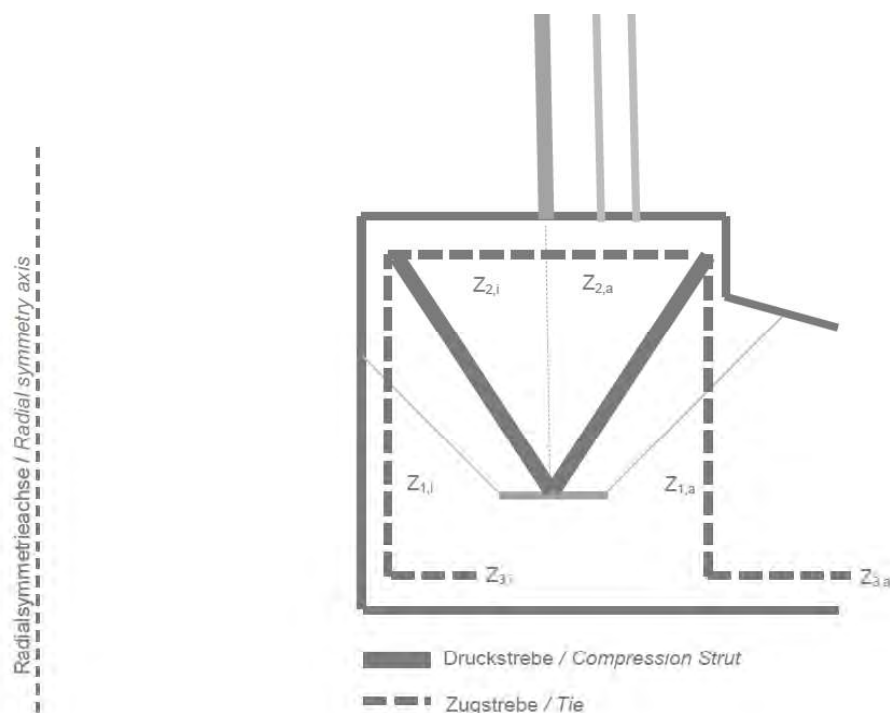
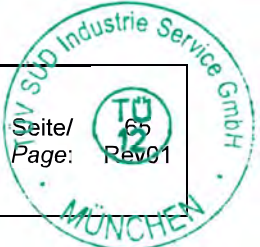


Abbildung / Figure 10: Stabwerksmodell für die Lasteinleitung auf der Windzugseite / Strut-and-tie model for the load introduction on the wind tension side

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	

Seite/ Page: 65
Rev01

Verfasser / Author:	 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Datum / Date: 22.08.2022
Hybridturm / Hybrid tower: T22		

Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{P,unfav}$ wird nach dem IEC 61400-6 Abs. 5.4.4.1 [T-3] („local effects“) gewählt. Der deckt die Anforderungen vom Eurocode 2 [T-4] und [T-5] (Abs. 2.4.2.2), DIBt-Richtlinie [T-1] (Abs. 10.2) und Spezifikation [G-2] (Abs. 4.2) ab.

The partial safety factor $\gamma_{P,unfav}$ is chosen according to the IEC 61400-6 Ch. 5.4.4.1 [T-3] („local effects“). It covers the requirements from the Eurocode 2 [T-4] and [T-5] (Ch. 2.4.2.2), DIBt-Richtlinie [T-1] (Ch. 10.2) and Specification [G-2] (Ch. 4.2).

Legende / Legend

XXX



Eingabe / Input

Eingabe / Input

Lasten / Loads

$$P_{Ges} = 98\,960 \text{ kN}$$

$$\gamma_{P,unfav} = 1,10$$

Material / Material

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$Y_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,8 \text{ MPa} = f_{yk} / Y_s$$

Geometrie / Geometry

$$D_P = 7,627 \text{ m} \quad \text{Spanngliederdurchmesser / Prestressing tendon diameter}$$

$$R_P = 3,813 \text{ m} = D_P / 2$$

$$U_P = 23,959 \text{ m} = \pi \cdot D_P$$

Lastenleitungsvorgaben / Load application specifications

$$\alpha = 45^\circ \quad \text{Lastausbreitungswinkel / Load distribution angle}$$

$$h_{eff} = 1,745 \text{ m} \quad \text{Lastausbreitungshöhe / Load distribution height}$$

$$R_{Z,i} = 2,068 \text{ m} = R_P - h_{eff} \cdot \tan(\alpha)$$

$$R_{Z,a} = 5,558 \text{ m} = R_P + h_{eff} \cdot \tan(\alpha)$$

Berechnung / Calculation

Zugkraft Z_1 / Tensile force Z_1

$$Z_{1,a,d} = 54\,428 \text{ kN} = P_{ges} \cdot \gamma_{P,unfav} / 2$$

$$A_{s1,erf,a} = 1251,8 \text{ cm}^2 = Z_{1,a,d} / (f_{yd} / 10)$$

$$A_{s1,vor,a} = 2881,7 \text{ cm}^2 \quad 88\Phi 28 \quad 88\Phi 28 \quad 88\Phi 28 \quad 104\Phi 28 \quad 100\Phi 28$$

$$\eta_{1,a} = 0,43 = A_{s1,erf,a} / A_{s1,vorh,a} \leq 1,00$$

$$Z_{1,i,d} = 54\,428 \text{ kN} = P_{ges} \cdot \gamma_{P,unfav} / 2$$

$$A_{s1,erf,i} = 1251,8 \text{ cm}^2 = Z_{1,i,d} / (f_{yd} / 10)$$

$$A_{s1,vor,i} = 2881,7 \text{ cm}^2 \quad 88\Phi 28 \quad 88\Phi 28 \quad 88\Phi 28 \quad 104\Phi 28 \quad 100\Phi 28$$

$$\eta_{1,i} = 0,43 = A_{s1,erf,i} / A_{s1,vorh,i} \leq 1,00$$

Zugkraft Z_2 / Tensile force Z_2

$$Z_{2,a,d} = 54\,428 \text{ kN} = Z_{1,a,d} \cdot (R_{Z,a} - R_P) / h_{eff}$$

$$A_{s2,erf,a} = 1251,8 \text{ cm}^2 = Z_{2,a,d} / (f_{yd} / 10)$$

$$A_{s2,vor,a} = 2561,5 \text{ cm}^2 \quad 120\Phi 28 \quad 120\Phi 28 \quad 88\Phi 28 \quad 88\Phi 28$$

$$\eta_{2,a} = 0,49 = A_{s2,erf,a} / A_{s2,vorh,a} \leq 1,00$$

$$Z_{2,i,d} = 54\,428 \text{ kN} = Z_{1,i,d} \cdot (R_P - R_{Z,i}) / h_{eff}$$

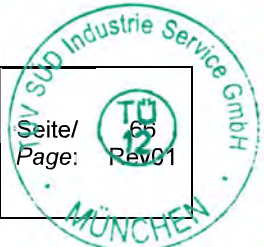
$$A_{s2,erf,i} = 1251,8 \text{ cm}^2 = Z_{2,i,d} / (f_{yd} / 10)$$

$$A_{s2,vor,i} = 2561,5 \text{ cm}^2 \quad 120\Phi 28 \quad 120\Phi 28 \quad 88\Phi 28 \quad 88\Phi 28$$

$$\eta_{2,i} = 0,49 = A_{s2,erf,i} / A_{s2,vorh,i} \leq 1,00$$

Zugkraft Z_3 / Tensile force Z_3

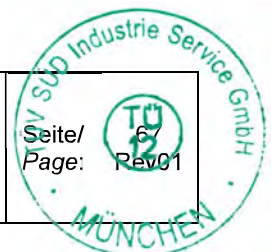
$$Z_{3,a,d} = 54\,428 \text{ kN} = Z_{2,a,d}$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	
		Seite/ Page: 65 Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW			NH / HH: 169 m
			Datum / Date: 22.08.2022

$A_{s3,erf,a}$	=	1251,8	cm ²	=	$Z_{3,a,d} / (f_{yd} / 10)$
$A_{s3,vor,a}$	=	1477,8	cm ²		120Φ28 120Φ28
$\eta_{3,a}$	=	0,85		=	$A_{s3,erf,a} / A_{s3,vorh,a} \leq 1,00$
$Z_{3,i,d}$	=	54 428	kN	=	$Z_{2,i,d}$
$A_{s3,erf,i}$	=	1251,8	cm ²	=	$Z_{3,i,d} / (f_{yd} / 10)$
$A_{s3,vor,i}$	=	2805,8	cm ²		120Φ28 120Φ28 120Φ28 120Φ25
$\eta_{3,i}$	=	0,45		=	$A_{s3,erf,i} / A_{s3,vorh,i} \leq 1,00$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 6 Rev01
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	



Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022

6.6.2 Winddruckseite / *Wind compression side*

Auf der windabgewandten Seite wird die Druckkraft aus dem Turm über eine Druckstrebe vom Sockel in die Platte eingeleitet.

Das Stabwerksmodell in Abbildung / Figure 11 wird benutzt um das Fundament gegen dieser Last zu bemessen.

Die horizontale Lastkomponente unter dem Turmfuß wird durch eine Ringdruckkraft aufgenommen. Die erforderliche lokale Spaltzugbewehrung aus der Lasteinleitung wird ebenfalls nachgewiesen.

At the leeward side the compression force from the tower is transferred from the base into the plate via a compression strut.

The strut-and-tie modell in Abbildung / Figure 11 is used to design the foundation against this load.

The circumferential component of the load is absorbed through a compression ring under the tower bottom. A resulting required local splitting tensile reinforcement is considered and designed below.

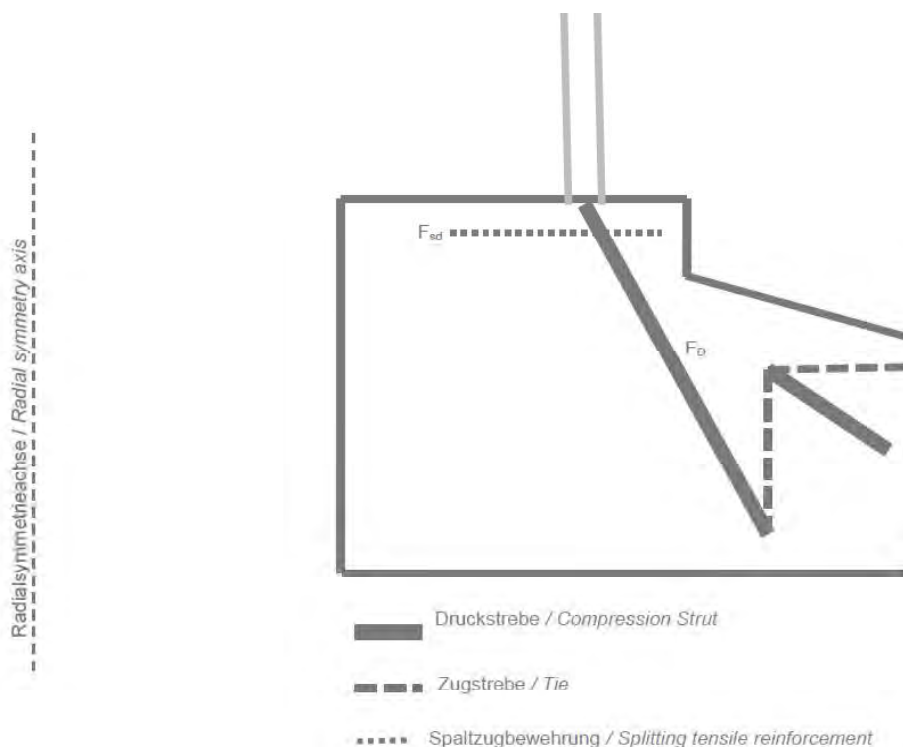
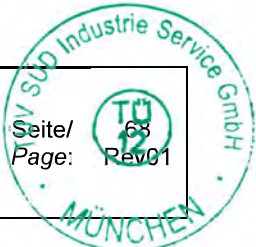


Abbildung / Figure 11: Stabwerksmodell für die Lasteinleitung auf der Winddruckseite / *Strut-and-tie model for the load introduction on the wind compression side*

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	

Seite/ 63
Page: Rev01

Verfasser / Author:	 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Datum / Date: 22.08.2022
Hybridturm / Hybrid tower: T22		

Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{P,unfav}$ wird nach Spezifikation Abs. 4.2 [G-2] gewählt. Der deckt die Anforderungen vom Eurocode 2 [T-4] und [T-5] (Abs. 2.4.2.2), IEC 61400-6 [T-3] (Abs. 5.4.4.1) und DIBt-Richtlinie [T-1] (Abs. 10.2) ab.

The partial safety factor $\gamma_{P,unfav}$ is chosen accordingly to the Specification Ch. 4.2 [G-2]. It covers the requirements of the Eurocode 2 [T-4] and [T-5] (Ch. 2.4.2.2), IEC 61400-6 [T-3] (Ch. 5.4.4.1) and DIBt-Richtlinie [T-1] (Abs. 10.2).

Legende / Legend

XXX	→	Eingabe / Input
FOK	→	Fundamentoberkante / Upper edge of the foundation

Eingabe / Input

Lasten / Loads

P_{ges}	=	98 960	kN	
$\gamma_{P,unfav}$	=	1,35		
N_d^{FOK}	=	21 642	kN	Turmnormalkraft / Tower normal force
F_{hd}^{FOK}	=	2 212	kN	Turmhorizontalkraft / Tower horizontal force
M_{bd}^{FOK}	=	312 521	kNm	Turmbiegemoment / Tower bending moment

Material / Material

f_{yk}	=	500	MPa	
Y_s	=	1,15		
f_{yd}	=	434,8	MPa	= f_{yk} / Y_s
f_{ck}	=	40	MPa	
α_{cc}	=	0,85		
Y_c	=	1,50		
f_{cd}	=	22,7	MPa	= $\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / Y_c$

Geometrie / Geometry

h	=	2,900	m	Fundamenthöhe an der Lasteinleitung / Foundation height at the load application
$D_{TUK,a}$	=	9,148	m	Turmunterkanteaußendurchmesser / Tower bottom outer diameter
b_{TUK}	=	0,300	m	Turmunterkantedicke / Tower bottom thickness
$D_{TUK,m}$	=	8,848	m	= $D_{TUK,a} - b_{TUK}$
$R_{TUK,m}$	=	4,424	m	= $D_{TUK,m} / 2$
$U_{TUK,m}$	=	27,795	m	= $\pi \cdot D_{TUK}$

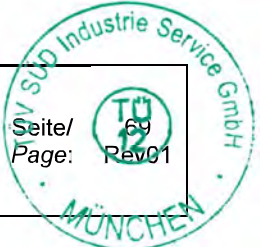
Berechnung / Calculation

Radiale Spaltzugbewehrung / Radial splitting tensile reinforcement

F_D	=	10 773	kN/m	= $(P_{ges} \cdot \gamma_{P,unfav} + N_d^{FOK}) / (2 \cdot \pi \cdot R_{TUK,m}) + (M_{bd}^{FOK} + F_{hd}^{FOK} \cdot h) / (\pi \cdot R_{TUK,m}^2)$
F_{sd}	=	2 498	kN/m	= $(F_D / 4) \cdot (1 - 0,7 \cdot (b_{TUK} / h))$
$a_{s,erf}$	=	57,5	cm ² /m	= $F_{sd} / (f_{yd} / 10)$
$A_{s,erf}$	=	1597,0	cm ²	= $a_{s,erf} \cdot U_{TUK,m}$
$A_{s,vor}$	=	2561,5	cm ²	120Φ28 120Φ28 88Φ28 88Φ28
$\eta_{1,a}$	=	0,62		= $A_{s1,erf,a} / A_{s1,vorh,a} \leq 1,00$

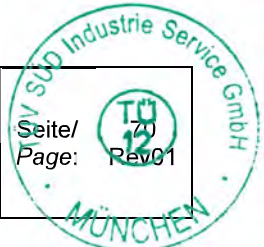
Ringdruckkraft-Nachweis / Verification of the ring compression force

D_{Fd}	=	5 966	kN/m	= $(N_d^{FOK}) / (2 \cdot \pi \cdot R_{TUK,m}) + (M_{bd}^{FOK} + F_{hd}^{FOK} \cdot h) / (\pi \cdot R_{TUK,m}^2)$
----------	---	-------	------	---

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	
Seite/ Page:	69 Rev01	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

$$\begin{aligned}
 D_{\text{ring}} &= 26\,393 \text{ kN/m} = D_{\text{Fd}} \cdot R_{\text{TUK,m}} \\
 h_{\text{wir}} &= 0,600 \text{ m} && \text{Wirkhöhe / Active height} \\
 b_{\text{wir}} &= 2,000 \text{ m} && \text{Wirkbreite / Active width} \\
 A_{\text{wir}} &= 1,200 \text{ m}^2 = h_{\text{wir}} \cdot b_{\text{wir}} \\
 \sigma_{\text{ring}} &= 22,0 \text{ MPa} = D_{\text{ring}} / (A_{\text{wir}} \cdot 1000) \\
 \eta &= 0,97 = \sigma_{\text{ring}} / f_{\text{cd}} \leq 1,00
 \end{aligned}$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	

Seite/ 79
 Page: Rev01

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

6.6.3 Betonpressung am Turmfuß / Concrete compression at tower base

Die maximale Betonpressung am Turmfuß wird nachgewiesen. Diese entsteht aus dem maximalen Biegemoment.

The resistance against the maximum concrete pressure at the base of the tower, which results from the maximum bending moment, is verified.

Es wird eine Teilflächenpressung gemäß Eurocode 2 [T-4] und [T-5] angesetzt.

Partially loaded areas are considered according to Eurocode 2 [T-4] and [T-5]

Legende / Legend

XXX

→

Eingabe / Input

FOK

→

Fundamentoberkante / Upper edge of the foundation

Eingabe / Input

Lasten / Loads

$$P_{ges} = 98\,960 \text{ kN}$$

$$N_d^{FOK} = 21\,642 \text{ kN}$$

$$F_{hd}^{FOK} = 2\,212 \text{ kN}$$

$$M_{bd}^{FOK} = 312\,546 \text{ kNm}$$

Turmnormalkraft / Tower normal force

Turmhorizontalkraft / Tower horizontal force

Turmbiegemoment / Tower bending moment

Material / Material

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

$$Y_c = 1,50$$

$$f_{cd} = 22,7 \text{ MPa} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / Y_c$$

Geometrie / Geometry

$$h = 2,650 \text{ m}$$

Fundamenthöhe an der Lasteinleitung / Foundation height at the load application

$$b_{TUK} = 0,300 \text{ m}$$

Turmunterkantedicke / Tower bottom thickness

$$A_c = 7,934 \text{ m}^2$$

Turmunterkantefläche (Tür abgezogen) /

Tower bottom area (door subtracted)

$$W_c = 16,127 \text{ m}^3$$

Turmunterkantewiderstandsmoment (Tür abgezogen) / Tower bottom section modulus (door subtracted)

Berechnung / Calculation

Teilflächenpressung / Partially loaded areas

$$\sigma_{cd} = 34,9 \text{ MPa} = (P_{ges} + N_d^{FOK}) / (A_c) + (M_{bd}^{FOK} + F_{hd}^{FOK} \cdot h) / (W_c)$$

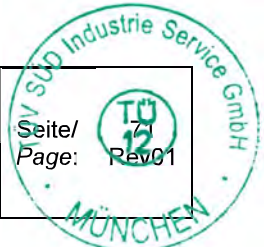
$$b_1 = 0,300 \text{ m} = b_{TUK}$$

$$b_2 = 0,900 \text{ m} = \text{MIN} (b_1 + h ; 3 \cdot b_1)$$

$$\beta = 1,73 = \text{MIN} ((b_2 / b_1)^{1/2} ; 3,0)$$

$$\sigma_{Rd} = 39,3 \text{ MPa} = \beta \cdot f_{cd}$$

$$\eta = 0,89 = \sigma_{cd} / \sigma_{Rd} \leq 1,00$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	
		Seite/ Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

6.6.4 Spaltzugbewehrung oberhalb der Ankerplatte / *Splitting tensile reinforcement above the anchor plate*

Die Spaltzugbewehrung oberhalb der Ankerplatte wird nachgewiesen.

The splitting tensile reinforcement above the anchor plate is verified.

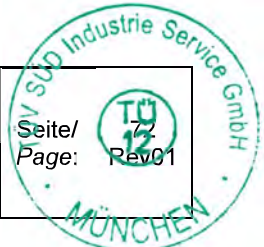
Es wird nach Eurocode 2 [T-4] und [T-5] Kap. 6.5.3 (3) berechnet.

The calculation is done according to Eurocode 2 [T-4] and [T-5] ch. 6.5.3 (3).

$$\begin{aligned}
 P_{m0} &= & &= 4123 \text{ [kN]} \\
 N_{Ed} &= 1,35 \cdot P_{m0} & &= 5567 \text{ [kN]} \\
 l_{AP} &= (\text{anchor plate length}) & &= 780 \text{ [mm]} \\
 a &= l_{AP} & &= 780 \text{ [mm]} \\
 H &= 2,55 \cdot l_{AP} & &= 1989 \text{ [mm]} \\
 T &= N_{Ed} / 4 \cdot (1 - 0,7 \cdot a / H) & &= 1010 \text{ [kN]} \\
 A_{s,erf} &= T / f_{ctd} & &= 23,2 \text{ [cm}^2\text{]} \\
 \text{Chosen:} & & &4 \times \phi 28 \\
 A_{s,vorh} & & &= 24,63 \text{ [cm}^2\text{]} \\
 \eta & & &0,94 \leq 1,00
 \end{aligned}$$

In den Bereichen mit einem im Umfangsrichtung vergrößerten Abstand zwischen Ankerplatten (Tür- und Tür gegenüberliegende Bereich) werden 4 ϕ 28 in Umfangsrichtung konstruktiv zugelegt.

At the areas in which a larger separation in circumferential direction between anchor plates is present (door area and its opposite side) 4 ϕ 28 are added in circumferential direction as constructive reinforcement.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	
		Seite/ Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridenturm / Hybrid tower: T22	

6.7 Gewählte Bewehrung, Übersicht und Skizze / Chosen reinforcement summary and sketch

Die gewählte Bewehrung wird in den folgenden Tabellen zusammengefasst (BLF-Nr.: „GEW“).

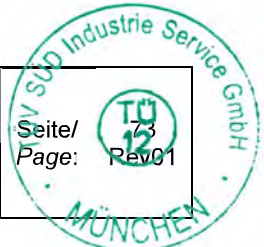
Die gewählte Bewehrung deckt die Nachweise im GZT und GZG inkl. die zu berücksichtigende Mindestbewehrung und die erforderliche Bewehrung aus den Lasteinleitungsnachweisen ab. Außerdem werden die Ermüdungsnachweise aus Kapitel 7 berücksichtigt.

Der Einfluss der Bodensteifigkeiten wird durch der gewählte Bewehrung abgedeckt.

The chosen reinforcement is summarized in the following tables (DLC No.: „GEW“).

The chosen reinforcement covers the required reinforcement in ULS and SLS, including the minimum reinforcement, as well as the reinforcement required for the load introduction. Furthermore it considers the fatigue verifications in Chapter 7.

The influence of the soil stiffness is covered by the chosen reinforcement.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	
		Seite/ Page: 73 Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Pos.-R Numm.	ASO	ASOQ	ASUQ	ASU	ASS
1	L1:88Φ28 L2:88Φ28 L3: 88Φ28 L4: 88Φ28 L5: 88Φ25	53Φ28	Φ28/7,5	L1:120Φ28 L2: 120Φ28	52sΦ28+ +50sΦ28
2	L1:88Φ28 L2:88Φ28 L3: 88Φ28 L4: 88Φ28 L5: 88Φ25		Φ28/10	L1: 120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28	-
3	L1:88Φ28 L2:88Φ28 L3: 88Φ28 L4: 88Φ28 L5: 88Φ25		Φ28/10	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28 + 120Φ25	50sΦ28+ +50sΦ28
4	L1:120Φ28+120Φ25 L2:120Φ25	Φ25/10	Φ28/7,5	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28 + 120Φ25 L3: 120Φ25	88sΦ28
5	L1:120Φ28+120Φ25 L2:120Φ25	Φ25/15	Φ28/10	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28 + 120Φ25 L3: 120Φ25	88sΦ28
6	L1:120Φ28 L2:120Φ25	Φ25/20	Φ28/10	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28 + 120Φ25 L3: 120Φ25	88sΦ25
7	L1:120Φ28 L2:120Φ25	Φ25/25	Φ28/10	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28 + 120Φ25	88sΦ25
8	L1:120Φ28 L2:120Φ25	Φ20/20	Φ28/10	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28 + 120Φ25	88sΦ25
9	L1:120Φ28 L2:120Φ25	Φ20/25	Φ28/10	L1: 120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28	88sΦ25
10	L1:120Φ28 L2:120Φ25	Φ20/25	Φ25/10	L1:240Φ20	88sΦ25

Pos.-R: Schalenelementkreisposition in Radialrichtung / Shell element circle position in radial direction

ASO: Radialbewehrung Oben / Upper radial reinforcement

ASOQ: Umfangsbewehrung Oben / Upper circumferential reinforcement

ASUQ: Umfangsbewehrung Unten / Lower circumferential reinforcement

ASU: Radialbewehrung Unten / Lower radial reinforcement

ASS: Schubbewehrung / Shear force reinforcement

L: Lage (z.B. L1 = 1. Lage) / Layer (e.g. L1 = 1st layer)

S: Steher. Ein Steher beinhaltet 2 vertikale Eisen. / "Steher". A "Steher" includes 2 vertical rebars.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: Rev01
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	

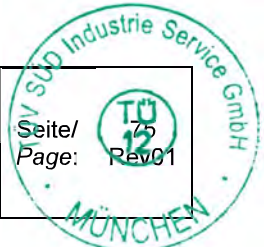
Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

BLF-Nr. / DLC No.	Pos.-R	ASO	ASOQ	ASUQ	ASU	ASS
Numm.	Numm.	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m	cm ² /m ²
GEW	1	146,5	87,3	82,1	83,3	86,9
GEW	2	101,6	87,3	61,6	86,7	60,3
GEW	3	77,8	87,3	61,6	84,0	46,2
GEW	4	47,4	49,1	82,1	83,9	26,8
GEW	5	41,0	32,7	61,6	72,6	23,2
GEW	6	25,1	24,5	61,6	64,2	17,0
GEW	7	22,5	19,6	61,6	47,6	15,2
GEW	8	20,4	15,7	61,6	43,2	13,8
GEW	9	18,7	12,6	61,6	31,2	12,6
GEW	10	17,2	12,6	49,1	9,8	11,7

BLF-Nr. / DLC No.: Bemessungslastfallnummer / Design load case number
 Pos.-R: Schalelementkreisposition in Radialrichtung / Shell element circle position in radial direction
 ASO: Radialbewehrung Oben / Upper radial reinforcement
 ASOQ: Umfangsbewehrung Oben / Upper circumferential reinforcement
 ASUQ: Umfangsbewehrung Unten / Lower circumferential reinforcement
 ASU: Radialbewehrung Unten / Lower radial reinforcement
 ASS: Schubbewehrung / Shear force reinforcement

Die in der Bewehrungsskizze definierte vertikale Bewehrung im Sockel (Abbildung / Figure 12) deckt die erforderliche Bewehrung aus dem FE-Modell (siehe 6.5) und die erforderliche Rückhängebewehrung aus der Lasteinleitung (siehe 6.6.1)

The defined vertical reinforcement on the reinforcement sketch (Abbildung / Figure 12) covers the required shear reinforcement from the FE model (see 6.5) and the required suspended reinforcement for the load introduction (see 6.6.1).

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	
		Seite/ Page: Rev01

Verfasser / Author:	 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.:	
		21683-T22	
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	Datum / Date:
			22.08.2022

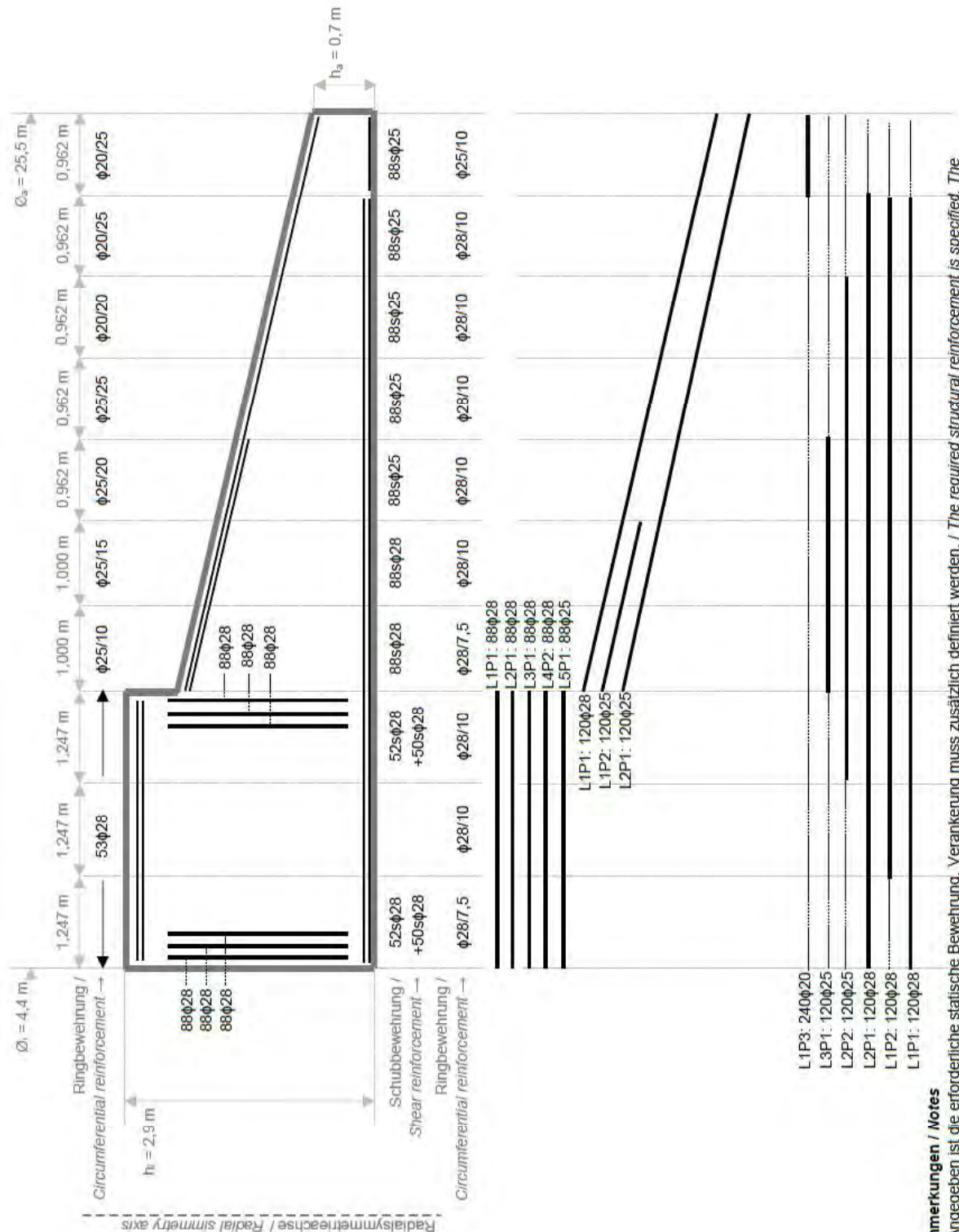
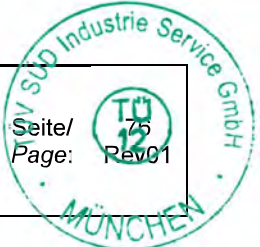


Abbildung / Figure 12: Bewehrungsskizze / Reinforcement sketch

Anmerkungen / Notes

- Angegeben ist die erforderliche statische Bewehrung. Verankerung muss zusätzlich definiert werden. / The required structural reinforcement is specified. The anchoring length has to be defined additionally.
- „sφ“ steht für „Steher“. Ein Steher beinhaltet 2 vertikale Eisen. / „sφ“ means „Steher“. A „Steher“ includes 2 vertical rebars.
- Spaltzugbewehrung an der Ankerplatte: $4 \times \phi28$
- Betonstahlgüte = 500B

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS reinforcement design	
Seite / Page:		Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybriddurm / Hybrid tower: T22	

7 Ermüdungsnachweise / *Fatigue design*

7.1 Allgemeines / *General*

Der Betonstahl wird in diesem Kapitel unter Ermüdung nachgewiesen.

Die Betonstahlspannungen werden anhand das FE-Modell von Sofistik ermittelt. Die Schädigungen werden dann händisch mit einem Tabellenkalkulationsprogramm berechnet.

Die Belastung während der Lebensdauer wird vom Anlagehersteller in Form von Markov-Matrixen zur Verfügung gestellt (siehe [G-1]).

Der Nachweise erfolgen nach DIBt-Richlinie [T-1] und nach Eurocode 2 Abs. 6.8.4. [T-4] und [T-5]. Die Anforderungen vom IEC 61400-6 [T-3] (Benutzung eines „reference standard“) sind abgedeckt. Die Schädigungen werden nach der Palmgren-Miner-Regel addiert.

Folgende Ermüdungsnachweise werden auf der Bewehrung durchgeführt:

- Biegebewehrung (Radial- und Umfangsrichtung) / *Bending reinforcement (radial and circumferential direction)*
- Querkraftbewehrung/ *Shear reinforcement*
- Vertikale Zugbewehrung (Lasteinleitung) / *Vertical tensile reinforcement (load introduction)*

Folgenden Markov-Matrixen werden mit einen Faktor von 1,02 auf den „Range“ und „Mean“ nachgewiesen:

The chosen reinforcement bars are verified under fatigue in this chapter.

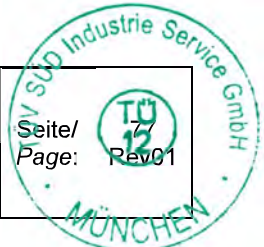
The stresses in the reinforcement are determined in the FE model. The resulting damages are then calculated with a spreadsheet application.

The loading during the design lifetime is defined in form of Markov matrixes provided by the turbine manufacturer (see [G-1]).

The verifications are performed according to the DIBt-Richlinie [T-1] and the Eurocode 2 Ch. 6.8.4 [T-4] and [T-5]. The requirements of the IEC 61400-6 [T-3] (use of a “reference standard“) are covered. The damages are superimposed according to the Palmgren-Miner rule.

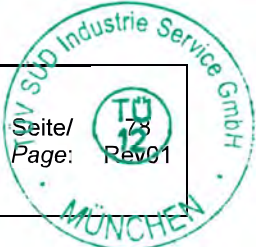
The following fatigue verifications are carried out for the reinforcement.

The following Markov matrixes are verified with a 1,02 factor for the “mean” and “range” column:

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	
		Seite/ Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybriddturm / Hybrid tower: T22	

Nr. / No.	Bezeichnung / designation
1	_combineloads.zip\MAR-KOV\1_MK1B_EV162_6800kW_HH169_dibt_STD_20y_HA2A90A_soft\0448_Mxt3.mko
2	_combineloads.zip\MAR-KOV\2_MK1B_EV162_6800kW_HH169_dibt_STD_20y_HA2A90A_stiff\0448_Mxt3.mko
3	_combineloads.zip\MAR-KOV\3_MK1B_EV162_6800kW_HH169_dibt_STD_25y_HA2A90A_soft\0448_Mxt3.mko
4	_combineloads.zip\MAR-KOV\4_MK1B_EV162_6800kW_HH169_dibt_STD_25y_HA2A90A_stiff\0448_Mxt3.mko
5	_combineloads.zip\MAR-KOV\5_MK1B_EV162_7200kW_HH169_dibt_STD_20y_HA2A90A_soft\0448_Mxt3.mko
6	_combineloads.zip\MAR-KOV\6_MK1B_EV162_7200kW_HH169_dibt_STD_20y_HA2A90A_stiff\0448_Mxt3.mko
7	_combineloads.zip\MAR-KOV\7_MK1B_EV162_7200kW_HH169_dibt_STD_25y_HA2A90A_soft\0448_Mxt3.mko
8	_combineloads.zip\MAR-KOV\8_MK1B_EV162_7200kW_HH169_dibt_STD_25y_HA2A90A_stiff\0448_Mxt3.mko

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridenturm / Hybrid tower: T22	

7.2 Biege- und Schubbewehrung / *Bending and shear reinforcement*

Die Betonstahlspannungen werden anhand das FE-Modell in Sofistik ermittelt. Eine repräsentative Anzahl von Belastungsstufen (Biegemoment) werden dabei berechnet, woraus sich ein Multilinear-Verlauf der Betonstahlspannungen auf dem Biegemoment für jedes Schalelement und Bewehrungsrichtung/-Position ergibt. Durch Interpolation der in der Markov-Matrixen definierten Biegemomente werden die Spannungsschwingungsweiten realitätsnah berechnet.

Folgendes Spektrum der Biegemomentbelastung wird berücksichtigt:

The stresses in the reinforcement bars are computed for a representative number of bending moment load levels using the FE model in Sofistik. This results in a multi-linear distribution of the reinforcement stresses on the bending moment for each shell element and reinforcement direction/position. The reinforcement stress variations is calculated realistically by interpolating the bending moments defined in the Markov matrix.

The following spectrum of bending moment load levels is considered:

$$M_{b,Min}^{FOK} = -250 \text{ MNm}$$

$$M_{b,Max}^{FOK} = +250 \text{ MNm}$$

$$\Delta M_b^{FOK} = 25 \text{ MNm}$$

Die Biegemomente M_b^{FOK} beziehen sich auf der Fundamentoberkante.

Die zugehörige Belastung aus dem Turm zu berechnen mit jedem Biegemoment wird wie folgt definiert:

The bending moments M_b^{FOK} refer to the foundation upper edge.

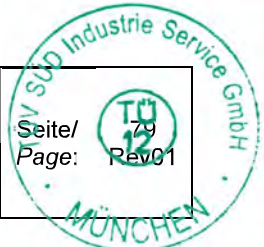
The contemporaneous loads from the tower to be computed with each bending moment load level are defined as follows:

$$N = N_{D,3}$$

$$M_{b,i} = \text{Variable}$$

$$F_{h,i} = F_{h,D,3} \cdot (M_{b,i} / M_{b,Max})$$

$$M_t = M_{t,D,3}$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	
		Seite/ Page: 29 Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Die Lastfälle werden zusätzlich in Kombination mit folgenden Einwirkungen berücksichtigt:

Additionally, each bending moment load level is combined with the rest of loads as follows:

- 1.: + 1,00xEG + 1,00xP + 1,00xMaxÜS
- 2.: + 1,00xEG + 1,00xP + 1,00xMaxÜS + 1,00xAu

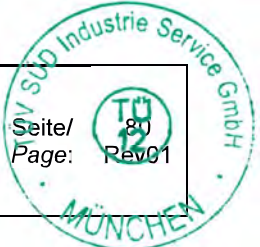
Die Bewehrung wird für die Spannungen aus alle Kombinationen nachgewiesen.

The reinforcement is verified for the stresses resulting from all combinations.

Die Betonstahlspannungen in der Schubbewehrung werden im FE-Modell mit folgender Druckstrebeneigung nach Eurocode 2 Abs. 6.8.2 (3) [T-4] and [T-5] ermittelt.

The stresses in the shear reinforcement are determined as well in the FE model, for which the following concrete inclined strut according to Eurocode 2 Par. 6.8.2 (3) [T-4] and [T-5] is considered.

$$\cot(\theta_{\text{fat}}) = \cot^{1/2}(\theta)$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	
		Seite/ 89 Page: Rev01

Verfasser / Author:			Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Die Ermittlung der Schädigung erfolgt mittels der im Eurocode 2 Abs. 6.8.4. [T-4] and [T-5] definierten Wöhler-Kurven.

In den folgenden Tabelle sind die anzusetzenden Kurvenparameter und die Bewehrungspositionen wo die angesetzt werden definiert.

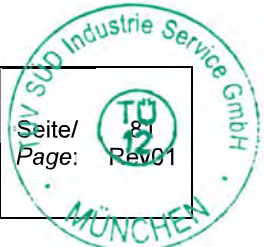
The damage is determined applying the S-N-curves defined in Eurocode 2 Ch. 6.8.4. [T-4] and [T-5].

The parameters of the considered S-N-curves and the reinforcement positions where each of them is considered are defined next.

Nr.	N*	k ₁	k ₂	ξ	Δσ _{Rsk} (N*)	Y _{s,Fat}	Δσ _{Rsd} (N*)
Numm.	Numm.	-	-	-	MPa	-	MPa
1	1E+6	5	6	1,00	175,0	1,15	152,2
2	1E+6	5	6	0,74	175,0	1,15	112,6
3	1E+6	5	9	0,74	175,0	1,15	112,6

Pos.-R	S-N-ASO	S-N-ASOQ	S-N-ASUQ	S-N-ASU	S-N-ASS
-	S-N-curve-No.	S-N-curve-No.	S-N-curve-No.	S-N-curve-No.	S-N-curve-No.
1	2	1	1	2	3
2	1	1	1	1	3
3	2	1	1	1	3
4	1	1	1	1	3
5	1	1	1	1	3
6	1	1	1	1	3
7	1	1	1	1	3
8	1	1	1	1	3
9	1	1	1	1	3
10	1	1	1	1	3

Pos.-R: Schalenelementkreisposition in Radialrichtung /
Shell element circle position in radial direction
 S-N-ASO: S-N-Kurvennummer für die Radialbewehrung Oben /
Number of the S-N-Curve for the upper radial reinforcement
 S-N-ASOQ: S-N-Kurvennummer für die Umfangsbewehrung Oben /
Number of the S-N-Curve for the upper circumferential reinforcement
 S-N-ASUQ: S-N-Kurvennummer für die Umfangsbewehrung Unten /
Number of the S-N-Curve for the lower circumferential reinforcement
 S-N-ASU: S-N-Kurvennummer für die Radialbewehrung Unten /
Number of the S-N-Curve for the lower radial reinforcement
 S-N-ASS: S-N-Kurvennummer für die Schubbewehrung /
Number of the S-N-Curve for the shear force reinforcement

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	

Seite/ 81
Page: Rev01

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

Mit diesem Verfahren ergeben sich auf der gewählten Bewehrung (Abs. 0) die maximalen Schädigungen der nachfolgenden Tabelle.

In the next table the resulting maximum damages computed on the chosen reinforcement (see Ch. 0) are presented.

BLF-Nr. / DLC No.	Pos.-R	D-ASO	D-ASOQ	D-ASUQ	D-ASU	D-ASS
-	-	-	-	-	-	-
GEW	1	0,00	0,02	0,14	0,09	0,00
GEW	2	0,03	0,32	0,71	0,37	0,00
GEW	3	0,23	0,34	0,24	0,35	0,00
GEW	4	0,15	0,08	0,04	0,85	0,42
GEW	5	0,05	0,07	0,12	0,49	0,72
GEW	6	0,11	0,09	0,07	0,26	0,00
GEW	7	0,03	0,07	0,03	0,31	0,00
GEW	8	0,11	0,02	0,01	0,06	0,00
GEW	9	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
GEW	10	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00

BLF-Nr. / DLC No.: Bemessungslastfallnummer / Design load case number

Pos.-R: Schalenelementkreisposition in Radialrichtung / Shell element circle position in radial direction

D-ASO: Schädigungssumme in der Radialbewehrung Oben /

Maximal accumulated damage for the upper radial reinforcement

D-ASOQ: Schädigungssumme in der Umfangsbewehrung Oben /

Maximal accumulated damage for the upper circumferential reinforcement

D-ASUQ: Schädigungssumme in der Umfangsbewehrung Unten /

Maximal accumulated damage for the lower circumferential reinforcement

D-ASU: Schädigungssumme in der Radialbewehrung Unten /

Maximal accumulated damage for the lower radial reinforcement

D-ASS: Schädigungssumme in der Schubbewehrung /

Maximal accumulated damage for the shear force reinforcement

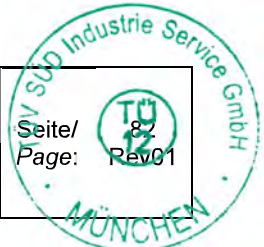
Der Nachweis ist erfüllt, da die folgende Bedingung erfüllt wird.

The verification is fulfilled as the results comply with the following condition.

$$D_{\text{MAX}} \leq D_{\text{zul}} = 1,00$$

Beispielhaft wird in der folgenden Tabelle ein Auszug der detaillierten Berechnung der Schädigung für einige Zeilen einer Markov-Matrix angegeben. Die Ergebnisse gehören

Exemplarily an abstract of the detailed damage calculation for some Markov matrix rows is included next. Results are included for the upper radial reinforcement (label "-O"). The

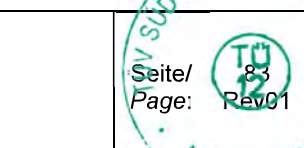
Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 82 Rev01
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	

Verfasser / Author:			 Fortschritt baut man aus Ideen		Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW		NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22		Datum / Date: 22.08.2022

zu der oberen Bewehrung in Radialrichtung (Kennzeichnung „-O“). Die Schädigung jeder Zeile wird für ein Schalenelement, eine Elementkreisposition, eine Wöhler-Kurve und eine Lastenkombination wie angegeben berechnet.

damage computed on each row corresponds to a specific shell element, position in radial direction, S N-curve and load combination as given.

Mean	Range	ni	M-Unt.	M-Obe.	Quad	Pos.-R	WK-Nr.-O	LFK-O	$\Delta\sigma$ -O	Ni-O	Di-O
kNm	kNm	Anz.	kNm	kNm	Numm.	Numm.	Numm.	Numm.	MPa	Anz.	-
164 261	6 948	8,1	160 787	167 735	301001	4	1	2	1,0	1,431E+19	5,637E-19
164 261	0	2,7	164 261	164 261	301001	4	1	2			
156 233	13 896	2,7	149 285	163 182	301001	4	1	2	2,0	2,255E+17	1,192E-17
156 233	6 948	2,7	152 759	159 708	301001	4	1	2	1,0	1,431E+19	1,879E-19
156 233	0	5,4	156 233	156 233	301001	4	1	2			
148 206	0	2,7	148 206	148 206	301001	4	1	2			
140 179	6 948	5,4	136 704	143 653	301001	4	1	2	1,0	1,689E+19	3,184E-19
140 179	0	2,7	140 179	140 179	301001	4	1	2			
132 141	6 948	5,4	128 667	135 615	301001	4	1	2	1,0	1,689E+19	3,184E-19
132 141	0	5,4	132 141	132 141	301001	4	1	2			
124 114	13 896	2,7	117 165	131 062	301001	4	1	2	1,9	2,551E+17	1,054E-17
124 114	6 948	10,8	120 639	127 588	301001	4	1	2	1,0	1,626E+19	6,613E-19
124 114	0	16,1	124 114	124 114	301001	4	1	2			

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 83 Rev01
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

7.3 Lasteinleitung / Load introduction

7.3.1 Bewehrung an der Windzugseite / Reinforcement at wind tension side

Nachfolgend wird der Ermüdungsnachweis für die Bewehrung zur Lasteinleitung auf der Windzugseite (siehe 6.6.1) geführt.

In Betriebszustand klappt die Fuge zwischen Betonturm und Fundament nicht. Die Kraft aus den Spanngliedern schließt sich mit der Kraft aus der Turmwand kurz. Die Kraft in der Spanngliedern wird dann über das Stabwerksmodell aus Kapitel 6.6.1 von der vertikalen Rückhängebewehrung aufgenommen.

Die Wöhlerkurve-Nummer 3 (definiert in 7.2) wird angewendet.

In den folgenden Berechnungen sind die angesetzte Parameter und beispielhaft die Ermittlung der Einzelschädigung für eine Zeile der Markov-Matrix dargestellt.

The fatigue verification on the reinforcement for the load application on the windward side (see 6.6.1) is performed.

While on service the joint between concrete tower bottom and foundation does not open. The force introduced by the tendons shorts with the force introduced by the tower wall. The difference between the force of the tower wall and the force of the tendons will be absorbed by the vertical reinforcement after the strut tie model in chapter 6.6.1.

The S-N-curve number 3 (defined in 7.2) is applied.

The considered parameters and an example on the damage computation for a Markov matrix row can be found in the following calculations.

Legende / Legend

XXX →
SPGL →
FOK →

Eingabe / Input
Spannglied / Tendons
Fundamentoberkante / Upper edge of the foundation

Eingabe / Input

Geometrie / Geometry

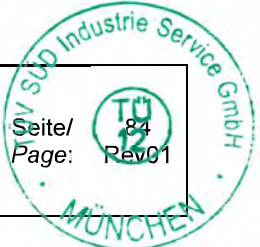
$D_{TUK,a}$ = 9,148 m
 b_{TUK} = 0,300 m
 $D_{TUK,m}$ = 8,848 m
 R_T = 4,424 m
 U_T = 27,795 m
 n_{SPGL} = 24
 D_P = 7,627 m
 R_P = 3,813 m
 U_P = 23,959 m
 R_M = 4,119 m
 U_M = 25,877 m

Turmunterkanteaußendurchmesser / Tower bottom outer diameter
 Turmunterkantedicke / Tower bottom thickness
 $= D_{TUK,a} - b_{TUK}$
 $= D_{TUK,m} / 2$
 $= \pi \cdot D_{TUK}$
 Spanngliedanzahl im Modell / Prestressing tendon number in model
 Spanngliederdurchmesser / Prestressing tendon diameter
 $= D_P / 2$
 $= \pi \cdot D_P$
 $= (R_T + R_P) / 2$
 $= 2 \cdot \pi \cdot R_M$

Lasten / Loads

$N_{FOK,D,3}$ = 19 797 kN

Normalkraft in D.3 / Normal force in D.3

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ 84 Page: Rev01
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	

Verfasser / Author:	 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Datum / Date: 22.08.2022
	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

$$\begin{aligned}
N_{\text{Fund}} &= 1\,970 \text{ kN} &= h_{\text{eff}} \cdot \gamma_{\text{Fund}} \cdot (R_{z,a} - R_{z,i}) \cdot U_M / 2 \\
N &= 841 \text{ kN/m} &= (N_{\text{FOK,D,3}} + N_{\text{Fund}}) / U_M \\
P &= 3\,824 \text{ kN/m} &= P_{\text{Ges}} / U_M \\
M_{b,D,1}^{\text{FOK}} &= 226\,228 \text{ kNm} & \text{LF2103} \\
P_{D,1} &= 4\,298 \text{ kN / Spgl.} & \text{LF2103} \\
P_0 &= 4\,123 \text{ kN / Spgl.} \\
\Delta P_{\text{Ein,P}} &= 7,734\text{E-04} \text{ 1 / m}^2 &= (P_{D,1} - P_0) / M_{b,D,1}^{\text{FOK}} / (U_P / n_{\text{SPGL}}) \\
\Delta P_{\text{Ein,M}} &= 7,161\text{E-04} \text{ 1 / m}^2 &= (P_{D,1} - P_0) / M_{b,D,1}^{\text{FOK}} / (U_M / n_{\text{SPGL}})
\end{aligned}$$

Bewehrung / Reinforcement

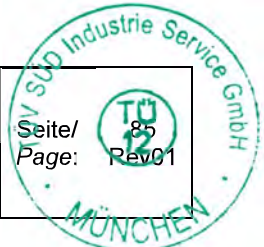
$$\begin{aligned}
A_{s1,\text{vor,a}} &= 2881,7 \text{ cm}^2 & 88\Phi 28 & 88\Phi 28 & 88\Phi 28 & 104\Phi 28 & 100\Phi 28 \\
A_{s1,\text{vor,i}} &= 2881,7 \text{ cm}^2 & 88\Phi 28 & 88\Phi 28 & 88\Phi 28 & 104\Phi 28 & 100\Phi 28 \\
A_{s1,\text{vor}} &= 5763,4 \text{ cm}^2 &= A_{s1,\text{vor,a}} + A_{s1,\text{vor,i}} \\
a_{s1,\text{vor}} &= 222,7 \text{ cm}^2/\text{m} &= A_{s1,\text{vor}} / U_M
\end{aligned}$$

Ermüdungsvorgaben / Fatigue specifications

$$\begin{aligned}
N^* &= 1\text{E}+06 \\
k_1 &= 5 \\
k_2 &= 9 \\
\xi &= 0,74 \\
\Delta \sigma_{\text{Rsk}}(N^*) &= 175,00 \text{ MPa} \\
Y_{s,\text{Fat}} &= 1,15 \\
\Delta \sigma_{\text{Rsd}}(N^*) &= 112,6 \text{ MPa} &= \Delta \sigma_{\text{Rsk}}(N^*) \cdot \xi / Y_{s,\text{Fat}}
\end{aligned}$$

Beispielsberechnung / Calculation example

$$\begin{aligned}
M_i &= 164\,261 \text{ kNm} & \text{Schwingungsmittelwert / Cycle mean} \\
R_i &= 6\,948 \text{ kNm} & \text{Schwingweite / Cycle width} \\
n_i &= 8 & \text{Spielanzahl / Number of cycles} \\
M_{\text{Unt},i} &= 160\,787 \text{ kNm} &= M_i - R_i / 2 \\
M_{\text{Obe},i} &= 167\,735 \text{ kNm} &= M_i + R_i / 2 \\
\Delta P_{\text{Unt},i}^{x+} &= -115 \text{ kN/m} &= - (M_{\text{Unt},i} \cdot \Delta P_{\text{Ein,M}}) \\
\Delta P_{\text{Obe},i}^{x+} &= -120 \text{ kN/m} &= - (M_{\text{Obe},i} \cdot \Delta P_{\text{Ein,M}}) \\
F_{\text{Unt},i}^{x+} &= 3\,858 \text{ kN/m} &= M_{\text{Unt},i} / (\pi \cdot R_M^2) + N + P + \Delta P_{\text{Unt},i}^{x+} - (P + \Delta P_{\text{Unt},i}^{x+}) \\
F_{\text{Obe},i}^{x+} &= 3\,989 \text{ kN/m} &= M_{\text{Obe},i} / (\pi \cdot R_M^2) + N + P + \Delta P_{\text{Obe},i}^{x+} - (P + \Delta P_{\text{Obe},i}^{x+}) \\
\Delta Z_i^{x+} &= 0 \text{ kN/m} &= 0; \text{ wenn } F_{\text{Obe},i}^{x+} > 0 \text{ und } F_{\text{Unt},i}^{x+} > 0 \\
& & - F_{\text{Unt},i}^{x+}; \text{ wenn } F_{\text{Obe},i}^{x+} > 0 \text{ und } F_{\text{Unt},i}^{x+} < 0 \\
& & - F_{\text{Obe},i}^{x+}; \text{ wenn } F_{\text{Obe},i}^{x+} < 0 \text{ und } F_{\text{Unt},i}^{x+} > 0 \\
& & \text{Abs}(F_{\text{Obe},i}^{x+} - F_{\text{Unt},i}^{x+}); \text{ wenn } F_{\text{Obe},i}^{x+} < 0 \text{ und } F_{\text{Unt},i}^{x+} < 0 \\
\Delta \sigma_i^{x+} &= 0,0 \text{ MPa} &= \Delta Z_i^{x+} / a_{s1,\text{vor}} \\
N_i^{x+} &= - &= \text{wenn } \Delta \sigma_i^{x+} > 0: \\
& & 10^{\wedge} (\log_{10}(N^*) - (-\log_{10}(\Delta \sigma_{\text{Rsd}}(N^*)) + \log_{10}(\Delta \sigma_i^{x+})) \cdot k_1); \text{ wenn } \Delta \sigma_i^{x+} > \Delta \sigma_{\text{Rsd}}(N^*) \\
& & 10^{\wedge} (\log_{10}(N^*) + (\log_{10}(\Delta \sigma_{\text{Rsd}}(N^*)) - \log_{10}(\Delta \sigma_i^{x+})) \cdot k_2); \text{ wenn } \Delta \sigma_i^{x+} \leq \Delta \sigma_{\text{Rsd}}(N^*) \\
D_i^{x+} &= 0 &= \text{wenn } \Delta \sigma_i^{x+} > 0; n_i / N_i^{x+} \\
\Delta P_{\text{Unt},i}^{x-} &= 115 \text{ kN/m} &= + (M_{\text{Unt},i} \cdot \Delta P_{\text{Ein,M}}) \\
\Delta P_{\text{Obe},i}^{x-} &= 120 \text{ kN/m} &= + (M_{\text{Obe},i} \cdot \Delta P_{\text{Ein,M}}) \\
F_{\text{Unt},i}^{x-} &= -2\,176 \text{ kN/m} &= - M_{\text{Unt},i} / (\pi \cdot R_M^2) + N + P + \Delta P_{\text{Unt},i}^{x-} -
\end{aligned}$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ 85 Page: Rev01 MÜNCHEN
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

$$\begin{aligned}
 F_{Obe,i}^{x-} &= -2\,307 \text{ kN/m} &= - (P + \Delta P_{Unt,i}^{x-}) \\
 \Delta Z_i^{x+} &= 130 \text{ kN/m} &= - M_{Obe,i} / (\pi \cdot R_M^2) + N + P + \Delta P_{Obe,i}^{x-} - (P + \Delta P_{Obe,i}^{x-}) \\
 &&= 0 ; \text{ wenn } F_{Obe,i}^{x+} > 0 \text{ und } F_{Unt,i}^{x+} > 0 \\
 &&\quad - F_{Unt,i}^{x+} ; \text{ wenn } F_{Obe,i}^{x+} > 0 \text{ und } F_{Unt,i}^{x+} < 0 \\
 &&\quad - F_{Obe,i}^{x+} ; \text{ wenn } F_{Obe,i}^{x+} < 0 \text{ und } F_{Unt,i}^{x+} > 0 \\
 &&\quad Abs(F_{Obe,i}^{x+} - F_{Unt,i}^{x+}) ; \text{ wenn } F_{Obe,i}^{x+} < 0 \text{ und } F_{Unt,i}^{x+} < 0 \\
 \Delta \sigma_i^{x+} &= 5,85 \text{ MPa} &= \Delta Z_i^{x+} / a_{s1,vor} \\
 N_i^{x+} &= 3,60E+17 &= \text{wenn } \Delta \sigma_i^{x+} > 0 : \\
 &&\quad 10^{\wedge} (\log_{10}(N^*) - (-\log_{10}(\Delta \sigma_{Rsd}(N^*)) + \log_{10}(\Delta \sigma_i^{x+})) \cdot k_1) ; \text{ wenn } \Delta \sigma_i^{x+} > \Delta \sigma_{Rsd}(N^*) \\
 &&\quad 10^{\wedge} (\log_{10}(N^*) + (\log_{10}(\Delta \sigma_{Rsd}(N^*)) - \log_{10}(\Delta \sigma_i^{x+})) \cdot k_2) ; \text{ wenn } \Delta \sigma_i^{x+} \leq \Delta \sigma_{Rsd}(N^*) \\
 D_i^{x+} &= 2,2E-17 &= \text{wenn } \Delta \sigma_i^{x+} > 0 ; n_i / N_i^{x+}
 \end{aligned}$$

Die nachfolgend angegebene Markov-Matrix (aus der Liste in 7.1) ist maßgebend.

The next specified Markov matrix (defined in the list in 7.1) is authoritative.

Maßgebende / Authoritative Markov-Matrix: Nr. 2

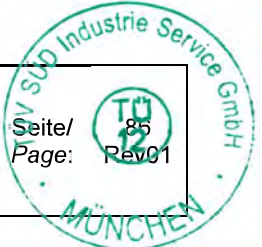
Die Schädigungssumme D_{ges} ergibt sich zu:

The resulting total damage D_{ges} is given next.

$$D_{ges} = 8,69E-01 \leq D_{zul} = 1,00$$

Der Nachweis ist erfüllt.

The verification is fulfilled.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	
		Seite/ Page: 85 Rev01

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

7.3.2 Beton am Turmfuß / Concrete at tower base

Der Beton am Turmfuß wird unter Ermüdung nachgewiesen.

Teilflächenpressung gemäß Eurocode 2 [T-4] and [T-5] wird angesetzt.

Die Wöhlerkurve aus dem Model Code 1990 [T-8] wird angesetzt.

Die nachfolgend angegebene Markov-Matrix (aus der Liste in 7.1) ist maßgebend.

The concrete at the tower base is verified under fatigue.

Partially loaded areas according to Eurocode 2 [T-4] and [T-5] are considered.

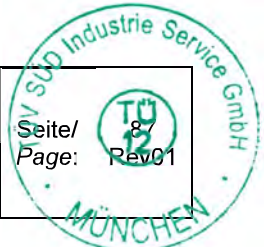
The S-N-curve of the Model Code 1990 [T-8] is considered.

The next specified Markov matrix (defined in the list in 7.1) is authoritative.

Maßgebende / Authoritative Markov-Matrix: Nr. 2

Grenzzustand der Ermüdung

Nachweis am Element	C33 unten	
Durchmesser außen	D_a	= 9287,5 [mm]
Durchmesser innen	D_u	= 8447,5 [mm]
Fläche	A_c	= 1,11E+07 [mm ²]
Flächenträgheitsmoment	I_c	= 1,04E+14 [mm ⁴]
Widerstandsmoment	W_c	= 2,24E+10 [mm ³]
Türbreite		= 1350 [mm]
Eigengewicht am Nachweisschnitt	G	= -19797 [kN]
$\sigma_{c,G} = G/A_c$		= -1,778 [N/mm ²]
Vorspannkraft je Spgl.	P_{m0}	= 4123,33 [kN]
Anzahl Spannglieder	N_{SPGL}	= 24 [-]
Streuungsbeiwert	r_{sup}	= 1,05 [-]
Spannkraftverluste	r_{skr}	= 0,10 [-]
$P_{m,Erm} = r_{sup} * P_{m0} * N_{spang} * (1 - r_{skr}/2)$		= 98713 [kN]
$\sigma_{c,P} = -P_{m,Erm}/A_c$		= -8,866 [N/mm ²]
Material		
Festigkeit	f_{ck}	= 40 [N/mm ²]
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_{M,c}$	= 1,50 [-]
Abminderungsbeiwert	α_{cc}	= 0,85 [-]
Betonalter zu Belastungsbeginn	t	= 28 [Tage]
Zementbeiwert	s	= 0,38 [-] Klasse R
Ermüdungsfestigkeit Beton		
$\beta_{cc,t} = EXP(s * (1 - \sqrt{(28/t)}))$		= 1,000 [-]
$f_{cd,fat} = \alpha_{cc} * \beta_{cc,t} * f_{ck} * (1 - f_{ck}/250) / \gamma_{M,c} * \beta$		= 32,939
	β	= 1,73
Teilsicherheitsbeiwert für Modellungenauigkeiten		
	γ_{SD}	= 1,10 [-]
Schädigungssumme		
ΣD_i		= 2,12E-03 < 1,00

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ Page: 87 Rev01
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	

Verfasser / Author:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

7.3.3 Beton oberhalb der Ankerplatte / Concrete above the anchor plate

Der Beton oberhalb der Ankerplatte wird unter Ermüdung nachgewiesen.

Die Kraftschwingung ergibt sich aus den Änderungen der Kraft im Spannglied. Die ist im Fundamentanforderungen-Dokument [G-1] als ein linear Verhältnis zwischen Biegemoment und Spanngliedkraft definiert.

Teilflächenpressung wird gemäß Eurocode 2 [T-4] and [T-5] angesetzt.

Die Wöhlerkurve aus dem Model Code 1990 [T-8] wird angesetzt.

Die Schädigung wird einzeln für die Moment-positiv- und -negativ-Seiten ermittelt.

In den folgenden Berechnungen sind die angesetzte Parameter und beispielhaft die Ermittlung der Einzelschädigung für eine Zeile der Markov-Matrix auf der Moment-Positiv-Seite dargestellt.

The concrete above the anchor plate is verified under fatigue.

The load oscillation corresponds to the variation of the tendon force, which is defined in the Foundation Design Requirements document [G-1] by means of a linear relation between the tower bottom bending moment and the tendon force

Partially loaded areas according to Eurocode 2 [T-4] and [T-5] are considered.

The S-N-curve of the Model Code 1990 [T-8] is considered.

The damage will be calculated for both positive and negative moment sides.

The considered parameters and an example on the damage computation for a row of the markov matrix on the positive moment side are provided next.

Legende / Legend

XXX →
 SPGL →
 AP →
 HR →

Eingabe / Input
 Spannglied / Tendon
 Ankerplatte / Anchorplate
 Hüllrohr / Cladding tube

Eingabe / Input

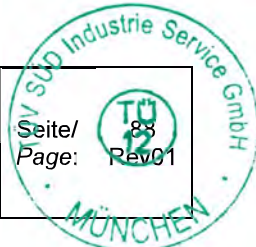
Geometrie / Geometry

$n_{SPGL} = 24$
 $D_{AP^m} = 7\,486 \text{ mm}$
 $U_{AP} = 23\,518 \text{ mm}$
 $s_{SPGL} = 980 \text{ mm}$
 $b_{AP} = 400 \text{ mm}$
 $l_{AP} = 780 \text{ mm}$
 $d_{HR} = 160 \text{ mm}$

Spanngliedanzahl / Number of tendons
 Mittige Ankerplattendurchmesser / Middle anchor plate diameter
 $= \pi \cdot D_{AP^m}$
 $= U_{AP} / n_{SPGL}$
 Breite / Width
 Länge / Length
 Durchmesser / Diameter

Material / Material

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
 $\alpha_{cc} = 0,85$
 $\gamma_c = 1,50$

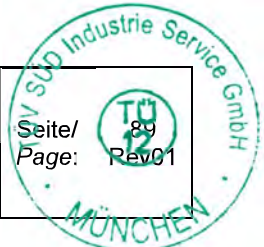
Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ 83 Page: Rev01
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

s	=	0,38		Zementtyp-Beiwert / Cement type coefficient
t	=	28	Tage	Betonalter zu Belastungsbeginn / Concrete age at first load
$\beta_{cc,t}$	=	1,000		$= \exp (s \cdot (1 - (28 / t)^{1/2}))$
$f_{cd,fat}$	=	15,0	MPa	$= \alpha_{cc} \cdot \beta_{cc,t} \cdot f_{ck} \cdot (1 - f_{ck} / 250) / \gamma_c$
Einwirkung / Action				
$M_{b,D,1}^{FOK}$	=	225 979	kNm	LF2103
$P_{D,1}$	=	4 310	kN / Spgl.	LF2103
P_0	=	4 123	kN / Spgl.	
$\Delta P / \Delta M$	=	8,275E-04	kN / kNm	$= (P_{D,1} - P_0) / M_{b,D,1}^{FOK}$
Lastausbreitungsvorgaben / Load introduction specifications				
b_1	=	400	mm	$= b_{AP}$
d_1	=	780	mm	$= l_{AP}$
h	=	620	mm	Ausbreitungshöhe / Height of the load distribution
$\tan \alpha_c$	=	0,5		Lastausbreitungswinkel im Beton / Concrete load distribution angle
b_2	=	980	mm	$= \text{MIN} (b_1 + 2 \cdot h \cdot \tan \alpha_c ; s_{SPGL} ; 3 \cdot b_1)$
d_2	=	1 400	mm	$= \text{MIN} (d_1 + 2 \cdot h \cdot \tan \alpha_c ; 3 \cdot d_1)$
β	=	1,730		$= \text{MIN} (((b_2 \cdot d_2) / (b_1 \cdot d_1))^{1/2} ; 1,73)$
A_{c1}^{SPGL}	=	499 548	mm ²	$= \beta \cdot b_{AP} \cdot l_{AP} - 2 \cdot (\pi \cdot (d_{HR} / 2)^2)$

Beispielsberechnung / Calculation example

M_i	=	164 261	kNm	Schwingungsmittelwert / Cycle mean
R_i	=	6 948	kNm	Schwingweite / Cycle width
n_i	=	8		Spiellanzahl / Number of cycles
M_{unt}	=	160 787	kNm	$= M_i - R_i / 2$
M_{obe}	=	167 735	kNm	$= M_i + R_i / 2$
F_{unt}^{x+}	=	4 247	kN	$= P_0 + (\Delta P / \Delta M) \cdot M_{unt}$
F_{obe}^{x+}	=	4 253	kN	$= P_0 + (\Delta P / \Delta M) \cdot M_{obe}$
$\sigma_{c,min}^{x+}$	=	8,50	MPa	$= F_{unt} / A_{c1}^{SPGL}$
$\sigma_{c,max}^{x+}$	=	8,51	MPa	$= F_{obe} / A_{c1}^{SPGL}$
γ_{Sd}	=	1,10		
η_c	=	1,000		(Auf der sicheren Seite / On the safe side)
$S_{cd,min}^{x+}$	=	0,625		$= \gamma_{Sd} \cdot \sigma_{c,min} \cdot \eta_c / f_{cd,fat}$
$S_{cd,max}^{x+}$	=	0,626		$= \gamma_{Sd} \cdot \sigma_{c,max} \cdot \eta_c / f_{cd,fat}$
ΔS_{cd}^{x+}	=	0,001		$= S_{cd,max} - S_{cd,min}$
$\log N_1^{x+}$	=	9,399		$= (12 + 16 \cdot S_{cd,min} + 8 \cdot S_{cd,min}^2) \cdot (1 - S_{cd,max}) ; \text{ wenn } 0 < S_{cd,min} < 0,8$
$\log N_2^{x+}$	=	15,789		$= 0,2 \cdot \log N_1 \cdot (\log N_1 - 1) ; \text{ wenn } 0 < S_{cd,min} < 0,8$
$\log N_3^{x+}$	=	1310,676		$= \log N_2 \cdot (0,3 - (3 \cdot S_{cd,min} / 8)) / \Delta S_{cd} ; \text{ wenn } 0 < S_{cd,min} < 0,8$
$\log N^{x+}$	=	1310,676		$= \log N_1 ; \text{ wenn } 0 < S_{cd,min} < 0,8 ; \text{ und } \log N_1 \leq 6$ $\log N_2 ; \text{ wenn } 0 < S_{cd,min} < 0,8 ; \text{ und } \log N_1 > 6 ; \text{ und } \Delta S_{cd} \geq 0,3 - (3 \cdot S_{cd,min} / 8)$ $\log N_3 ; \text{ wenn } 0 < S_{cd,min} < 0,8 ; \text{ und } \log N_1 > 6 ; \text{ und } \Delta S_{cd} < 0,3 - (3 \cdot S_{cd,min} / 8)$ $6 - \Delta S_{cd} \cdot 30 ; \text{ wenn } S_{cd,min} \geq 0,8$
N^{x+}	=	1,00E+308		$= 10^{\log N} (\text{ wenn } \log N > 308 ; N = 308)$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	
		Seite/ Page: 89 Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybriddturm / Hybrid tower: T22	

$$D_i^{x+} = 8,07E-308 = n_i / N$$

Die nachfolgend angegebene Markov-Matrix (aus der Liste in 7.1) und Momentseite sind maßgebend.

The next specified Markov matrix (defined in the list in 7.1) and moment side is authoritative.

Maßgebende / Authoritative: Markov-Matrix Nr. / No. 1

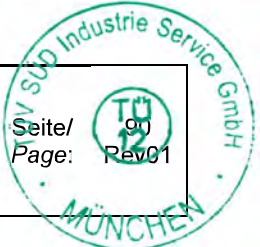
Die Schädigungssumme D_{ges} ergibt sich zu:

The resulting total damage D_{ges} is given next.

$$D_{ges} = 2,01E-26 \leq D_{zul} = 1,00$$

Der Nachweis ist erfüllt.

The verification is fulfilled.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	
		Seite/ 99 Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridenturm / Hybrid tower: T22	

8 Betonierfuge / Construction joint

8.1 Allgemeines / General

Am unteren rand sowie am Sockelhöhe des Fundaments kann eine Arbeitsfuge vorgesehen werden. Die mittige Sektion zwischen 0,54 m und 2,30 m vom FUK können dann in einem zweiten Schritt betoniert werden. Den oberen Bereich vom Sockel (letzte 0,60 m) können in einem dritten Schritt betoniert werden.

Nachfolgend werden die Nachweise der Arbeitsfuge im Grenzzustand der Tragfähigkeit und unter Ermüdung geführt.

Der Nachweis wird nach Eurocode 2 Ch. 6.2.5. [T-4] and [T-5] geführt.

Die Fuge wird als „glatt“ gemäß Eurocode 2 Abs. 6.2.5. [T-4] and [T-5] nachgewiesen. Eine Behandlung der Fugenoberfläche ist nicht erforderlich.

Aufgrund der dynamischen Beanspruchung wird der Adhäsionstraganteil des Betonverbundes nicht berücksichtigt werden ($c = 0$).

Für die Normalspannung senkrecht zu der Fuge wird auf der sicheren Seite liegend nur das Betoneigengewicht berücksichtigt.

Der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft wird anhand des FE-Modells ermittelt (siehe „Anhang C: Schnittgrößen“).

A construction joint can be executed at the bottom so as at the base of the foundation. The middle section between 0,54 m and 2,30 m are then poured in a second step meanwhile the upper 0,6 m are poured in a third step.

The verifications for the construction joint in ultimate limit state and under fatigue are performed in this chapter.

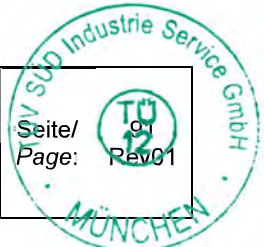
The verification is performed according to the Eurocode 2 Ch. 6.2.5. [T-4] and [T-5].

The joint is verified as “smooth” according to the Eurocode 2 Ch. 6.2.5 [T-4] and [T-5]. No treatment of its surface is therefore required.

Due to the dynamic loads the adhesion factor is not considered ($c = 0$).

Conservatively only the weight of the concrete is considered as a normal stress vertical to the interface.

The design value of the shear force is determined in the FE model (see “Annex C: Internal forces”).

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	8 Betonierfuge / Construction joint	

Seite/ 91
Page: Rev01

Verfasser / Author:		Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Datum / Date: 22.08.2022
Hybridturm / Hybrid tower: T22		

8.2 Fugentragfähigkeit in GZT erste Fuge/ First joint resistance in ULS

Folgende wird die Tabelle der erste Fuge auf die höhe von 0,54 cm von der Fundamentbasis gezeigt.

The following Table shows the first joint at a height of 0,54 cm from the foundation bottom.

Legende / Legend

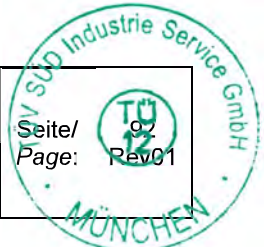
XXX → Eingabe / Input

Eingabe / Input

Geometrie / Geometry

h_{Fuge}	=	2,360	m	
$R_{\text{Pos.-R-1}}$	=	2,200	m	
$R_{\text{aPos.-R-1}}$	=	3,447	m	
$R_{\text{aPos.-R-2}}$	=	4,693	m	
$R_{\text{aPos.-R-3}}$	=	5,940	m	
$R_{\text{aPos.-R-4}}$	=	6,940	m	
$R_{\text{aPos.-R-5}}$	=	7,940	m	
$R_{\text{aPos.-R-6}}$	=	8,902	m	
$R_{\text{aPos.-R-7}}$	=	9,864	m	
$R_{\text{aPos.-R-8}}$	=	10,826	m	
$R_{\text{aPos.-R-9}}$	=	11,788	m	
$R_{\text{aPos.-R-10}}$	=	12,750	m	
$A^{\text{Pos.-R-1}}$	=	22,12	m ²	$= \pi \cdot ((R_{\text{aPos.-R-1}})^2 - (R_{\text{Pos.-R-1}})^2)$
$A^{\text{Pos.-R-2}}$	=	31,88	m ²	$= \pi \cdot ((R_{\text{aPos.-R-2}})^2 - (R_{\text{aPos.-R-1}})^2)$
$A^{\text{Pos.-R-3}}$	=	41,65	m ²	$= \pi \cdot ((R_{\text{aPos.-R-3}})^2 - (R_{\text{aPos.-R-2}})^2)$
$A^{\text{Pos.-R-4}}$	=	40,46	m ²	$= \pi \cdot ((R_{\text{aPos.-R-4}})^2 - (R_{\text{aPos.-R-3}})^2)$
$A^{\text{Pos.-R-5}}$	=	46,75	m ²	$= \pi \cdot ((R_{\text{aPos.-R-5}})^2 - (R_{\text{aPos.-R-4}})^2)$
$A^{\text{Pos.-R-6}}$	=	50,90	m ²	$= \pi \cdot ((R_{\text{aPos.-R-6}})^2 - (R_{\text{aPos.-R-5}})^2)$
$A^{\text{Pos.-R-7}}$	=	56,71	m ²	$= \pi \cdot ((R_{\text{aPos.-R-7}})^2 - (R_{\text{aPos.-R-6}})^2)$
$A^{\text{Pos.-R-8}}$	=	62,53	m ²	$= \pi \cdot ((R_{\text{aPos.-R-8}})^2 - (R_{\text{aPos.-R-7}})^2)$
$A^{\text{Pos.-R-9}}$	=	68,34	m ²	$= \pi \cdot ((R_{\text{aPos.-R-9}})^2 - (R_{\text{aPos.-R-8}})^2)$
$A^{\text{Pos.-R-10}}$	=	74,16	m ²	$= \pi \cdot ((R_{\text{aPos.-R-10}})^2 - (R_{\text{aPos.-R-9}})^2)$
A^{TOT}	=	495,50	m ²	$= A^{\text{Pos.-R-1}} + A^{\text{Pos.-R-2}} + A^{\text{Pos.-R-3}}$
$k^{\text{Pos.-R-1}}$	=	0,04		$= A^{\text{Pos.-R-1}} / A^{\text{TOT}}$
$k^{\text{Pos.-R-2}}$	=	0,06		$= A^{\text{Pos.-R-2}} / A^{\text{TOT}}$
$k^{\text{Pos.-R-3}}$	=	0,08		$= A^{\text{Pos.-R-3}} / A^{\text{TOT}}$
$k^{\text{Pos.-R-4}}$	=	0,08		$= A^{\text{Pos.-R-4}} / A^{\text{TOT}}$
$k^{\text{Pos.-R-5}}$	=	0,09		$= A^{\text{Pos.-R-5}} / A^{\text{TOT}}$
$k^{\text{Pos.-R-6}}$	=	0,10		$= A^{\text{Pos.-R-6}} / A^{\text{TOT}}$
$k^{\text{Pos.-R-7}}$	=	0,11		$= A^{\text{Pos.-R-7}} / A^{\text{TOT}}$
$k^{\text{Pos.-R-8}}$	=	0,13		$= A^{\text{Pos.-R-8}} / A^{\text{TOT}}$
$k^{\text{Pos.-R-9}}$	=	0,14		$= A^{\text{Pos.-R-9}} / A^{\text{TOT}}$
$k^{\text{Pos.-R-10}}$	=	0,15		$= A^{\text{Pos.-R-10}} / A^{\text{TOT}}$
h	=	2,900	m	
d_1	=	0,125	m	
d	=	2,775	m	$= h - d_1$
z	=	2,498	m	$= 0,9 \cdot d$

Lasten /
Loads

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	8 Betonierfuge / Construction joint	
Seite/	92	
Page:	Rev01	

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW			Datum / Date: 22.08.2022
NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22		

$$\begin{aligned}
 V_{Ed}^{Pos.-R-1} &= 4\,301 \text{ kN/m} \\
 V_{Ed}^{Pos.-R-2} &= 1\,994 \text{ kN/m} \\
 V_{Ed}^{Pos.-R-3} &= 925 \text{ kN/m} \\
 V_{Ed}^{Pos.-R-4} &= 1\,564 \text{ kN/m} \\
 V_{Ed}^{Pos.-R-5} &= 1\,357 \text{ kN/m} \\
 V_{Ed}^{Pos.-R-6} &= 1\,134 \text{ kN/m} \\
 V_{Ed}^{Pos.-R-7} &= 913 \text{ kN/m} \\
 V_{Ed}^{Pos.-R-8} &= 723 \text{ kN/m} \\
 V_{Ed}^{Pos.-R-9} &= 526 \text{ kN/m} \\
 V_{Ed}^{Pos.-R-10} &= 284 \text{ kN/m} \\
 V_{Ed} &= 1\,081 \text{ kN/m} \\
 &= k^{Pos.-R-1} \cdot V_{Ed}^{Pos.-R-1} + k^{Pos.-R-2} \cdot V_{Ed}^{Pos.-R-2} + k^{Pos.-R-3} \cdot V_{Ed}^{Pos.-R-3} \\
 &\quad + k^{Pos.-R-4} \cdot V_{Ed}^{Pos.-R-4} + k^{Pos.-R-5} \cdot V_{Ed}^{Pos.-R-5} + k^{Pos.-R-6} \cdot V_{Ed}^{Pos.-R-6} \\
 &\quad + k^{Pos.-R-7} \cdot V_{Ed}^{Pos.-R-7} + k^{Pos.-R-8} \cdot V_{Ed}^{Pos.-R-8} + k^{Pos.-R-9} \cdot V_{Ed}^{Pos.-R-9} \\
 &\quad + k^{Pos.-R-10} \cdot V_{Ed}^{Pos.-R-10}
 \end{aligned}$$

Material / Material

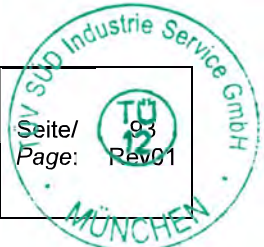
$$\begin{aligned}
 f_{yk} &= 500 \text{ MPa} \\
 \gamma_s &= 1 \\
 f_{yd} &= 434,8 \text{ MPa} = f_{yk} / \gamma_s \\
 f_{ck} &= 30 \text{ MPa} \\
 \alpha_{cc} &= 0,85 \\
 Y_c &= 1,50 \\
 f_{cd} &= 17,0 \text{ MPa} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / Y_c
 \end{aligned}$$

Vorhandende Bewehrung / Existing reinforcement

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 90^\circ \\
 A_{s,vor} &= 12250,6 \text{ cm}^2 \\
 a_{s,vor} &= 24,7 \text{ cm}^2/m = A_{s,vor} / A^{TOT} \\
 \rho &= 0,0025 = a_{s,vor}
 \end{aligned}$$

Berechnung / Calculation

$$\begin{aligned}
 \beta &= 1,00 \quad (\text{Sichere Seite}) \\
 c &= 0,00 \quad \text{dynamische Beanspruchung} \\
 \mu &= 0,60 \quad \text{Glatte Fuge} \\
 v &= 0,20 \quad \text{Glatte Fuge} \\
 \sigma_n &= 59 \text{ kN/m}^2 = h_{\text{Sockel}} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \quad (\text{Sichere Seite}) \\
 V_{Ed} &= 433 \text{ kN/m}^2 = \beta \cdot V_{Ed} / z \\
 V_{Rd,Fuge} &= 809 \text{ kN/m}^2 = \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (1,2 \mu \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)) \leq \\
 &\leq 1\,700 \text{ kN/m}^2 = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \\
 \eta &= 0,53 = V_{Ed} / V_{Rd,Fuge} \leq 1,00
 \end{aligned}$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	 Seite/ 93 Page: Rev01
Block / Chapter:	8 Betonierfuge / Construction joint	

Verfasser / Author:	 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Datum / Date: 22.08.2022
	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

8.3 Fugentragfähigkeit in GZT zweite Fuge/ Second joint resistance in ULS

Folgende wird die Tabelle der zweite Fuge auf die höhe von Fundamentsockel gezeigt.

The following Table shows the second joint at the height of foundation base.

Dritten Schritt / Third step

Legende / Legend

XXX →

Eingabe / Input

Eingabe / Input

Geometrie / Geometry

h_{Sockel}	=	0,600	m	
$R_{i\text{Pos.-R-1}}$	=	2,200	m	
$R_{a\text{Pos.-R-1}}$	=	3,447	m	
$R_{a\text{Pos.-R-2}}$	=	4,693	m	
$R_{a\text{Pos.-R-3}}$	=	5,940	m	
$A^{\text{Pos.-R-1}}$	=	22,12	m ²	$= \pi \cdot ((R_{a\text{Pos.-R-1}})^2 - (R_{i\text{Pos.-R-1}})^2)$
$A^{\text{Pos.-R-2}}$	=	31,88	m ²	$= \pi \cdot ((R_{a\text{Pos.-R-2}})^2 - (R_{a\text{Pos.-R-1}})^2)$
$A^{\text{Pos.-R-3}}$	=	41,65	m ²	$= \pi \cdot ((R_{a\text{Pos.-R-3}})^2 - (R_{a\text{Pos.-R-2}})^2)$
A^{TOT}	=	95,64	m ²	$= A^{\text{Pos.-R-1}} + A^{\text{Pos.-R-2}} + A^{\text{Pos.-R-3}}$
$k^{\text{Pos.-R-1}}$	=	0,23		$= A^{\text{Pos.-R-1}} / A^{\text{TOT}}$
$k^{\text{Pos.-R-2}}$	=	0,33		$= A^{\text{Pos.-R-2}} / A^{\text{TOT}}$
$k^{\text{Pos.-R-3}}$	=	0,44		$= A^{\text{Pos.-R-3}} / A^{\text{TOT}}$
h	=	2,900	m	
d_1	=	0,125	m	
d	=	2,775	m	$= h - d_1$
z	=	2,498	m	$= 0,9 \cdot d$

Lasten / Loads

$V_{\text{Ed}}^{\text{Pos.-R-1}}$	=	4 301	kN/m	
$V_{\text{Ed}}^{\text{Pos.-R-2}}$	=	1 994	kN/m	
$V_{\text{Ed}}^{\text{Pos.-R-3}}$	=	925	kN/m	
V_{Ed}	=	2 062	kN/m	$= k^{\text{Pos.-R-1}} \cdot V_{\text{Ed}}^{\text{Pos.-R-1}} + k^{\text{Pos.-R-2}} \cdot V_{\text{Ed}}^{\text{Pos.-R-2}} + k^{\text{Pos.-R-3}} \cdot V_{\text{Ed}}^{\text{Pos.-R-3}}$

Material / Material

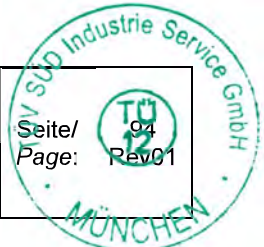
f_{yk}	=	500	MPa	
γ_s	=	1		
f_{yd}	=	434,8	MPa	$= f_{yk} / \gamma_s$
f_{ck}	=	30	MPa	
α_{cc}	=	0,85		
γ_c	=	1,50		
f_{cd}	=	17,0	MPa	$= \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$

Vorhandende Bewehrung / Existing reinforcement

α	=	90	°	
$A_{s,\text{vor}}$	=	5763,4	cm ²	936Φ28
$a_{s,\text{vor}}$	=	60,3	cm ² /m ²	$= A_{s,\text{vor}} / A^{\text{TOT}}$
ρ	=	0,0060		$= a_{s,\text{vor}}$

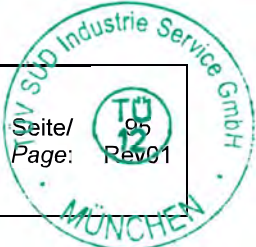
Berechnung / Calculation

β	=	1,00	(Sichere Seite)
c	=	0,00	dynamische Beanspruchung
μ	=	0,60	Glatte Fuge

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	8 Betonierfuge / Construction joint	
		Seite/ 94 Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
			Datum / Date: 22.08.2022
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridturm / Hybrid tower: T22	

$$\begin{aligned}
 v &= 0,20 && \text{Glatte Fuge} \\
 \sigma_n &= 15 \text{ kN/m}^2 &= h_{\text{Sockel}} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \text{ (Sichere Seite)} \\
 V_{Ed} &= 826 \text{ kN/m}^2 &= \beta \cdot V_{Ed} / z \\
 V_{Rd, \text{Fuge}} &= 1\,895 \text{ kN/m}^2 &= \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (1,2 \mu \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)) \leq \\
 &\leq 1\,700 \text{ kN/m}^2 &= 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \\
 \eta &= 0,49 &= V_{Ed} / V_{Rd, \text{Fuge}} \leq 1,00
 \end{aligned}$$

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	8 Betonierfuge / Construction joint	

Seite/ 95
Page: Rev01

Verfasser / Author:		 MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
		Hybridturm / Hybrid tower: T22	

8.4 Fugentragfähigkeit unter Ermüdung / *Joint resistance under fatigue*

Das gewählte Nachweisverfahren ist analog zu den Ermüdungsnachweisen der Biegebewehrung in Kapitel 7.2. Es werden mehrere Biegemoment-Niveaus und mehrere Lastfallkombinationen berücksichtigt.

Die Querkraft wird analog zu dem Nachweis in GZT nach Flächenanteil gemittelt.

Die Bewehrungsspannung wird nach der folgenden Formel berechnet. Die Abkürzungen entsprechen die aus dem GZT-Nachweis (siehe Abs. 8.2).

The verification is analogically performed to the fatigue verifications of the bending reinforcement. The bending moment load levels and load combinations defined in chapter 7.2 are considered.

The shear force is determined with average areas analogically to the ULS verification.

The reinforcement stresses are calculated with the following formula. The abbreviations correspond to the ones used in the ULS verifications (see Ch. 8.2).

$$\sigma_s = q \text{ [kN/m]} / (z \cdot \rho \cdot 1,2 \cdot \mu)$$

Die Wöhler-Kurve Nummer 3 (definiert in 7.2) wird angesetzt.

Die nachfolgend angegebene Markov-Matrix (aus der Liste in 7.1) ist maßgebend.

The S-N-curve number 3 (defined in 7.2) is applied.

The next specified Markov matrix (defined in the list in 7.1) is authoritative.

Maßgebende / *Authoritative* Markov-Matrix: Nr. 2

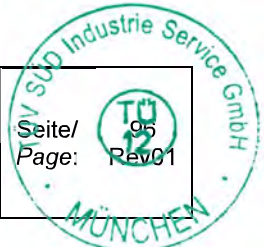
Die Schädigungssumme der zweite Schritt $D_{ges,2}$ ergibt sich zu:

The resulting total damage of the 2nd phase $D_{ges,2}$ is given next.

$$D_{ges,2} = 5,61E-01 \leq D_{zul} = 1,00$$

Die Schädigungssumme der dritte Schritt $D_{ges,3}$ ergibt sich zu:

The resulting total damage 3rd phase $D_{ges,3}$ is given next.

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	8 Betonierfuge / Construction joint	
		Seite/ Page: 95 Rev01

Verfasser / Author:					Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW			NH / HH: 169 m		Datum / Date: 22.08.2022
			Hybridturm / Hybrid tower: T22		

$$D_{ges,3} = 2,48E-01 \leq D_{zul} = 1,00$$

Der Nachweis ist erfüllt.

The verification is fulfilled.

In der folgenden Tabelle sind die Einzelschädigungen für einige Zeilen der Markov-Matrixen beispielhaft dargestellt.

Exemplarily the damage for some Markov matrix row are included next.

Mkv.Nr.	Mean	Range	ni	M _{Unt}	M _{Obe}	ΔσTOT	N	D
-	kNm	kNm	Anz.	kNm	kNm	MPa	-	-
1	104 770	5 409	0	102 066	107 474	5,7	4,523E+17	2,950E-19
1	104 770	0	0	104 770	104 770	0,0		0,000E+00
1	98 716	0	0	98 716	98 716	0,0		0,000E+00
1	92 665	10 818	0	87 256	98 074	11,2	1,014E+15	1,316E-16
1	92 665	5 409	0	89 961	95 369	5,6	5,193E+17	2,570E-19
1	92 665	0	0	92 665	92 665	0,0		0,000E+00
1	86 615	5 409	0	83 911	89 319	5,6	5,193E+17	2,570E-19
1	86 615	0	0	86 615	86 615	0,0		0,000E+00
1	80 564	10 818	0	75 155	85 973	11,2	1,014E+15	1,316E-16
1	80 564	5 409	4	77 860	83 268	5,6	5,193E+17	6,996E-18
1	80 564	0	1	80 564	80 564	0,0		0,000E+00
1	74 514	5 409	0	71 810	77 218	5,5	5,912E+17	6,771E-19
1	74 514	0	11	74 514	74 514	0,0		0,000E+00
1	68 463	16 227	0	60 350	76 577	16,5	3,219E+13	4,145E-15
1	68 463	10 818	0	63 054	73 872	11,0	1,265E+15	3,165E-16
1	68 463	5 409	4	65 759	71 167	5,5	6,477E+17	5,404E-18

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	8 Betonierfuge / Construction joint	

Seite/ 97
Page: Rev01

Verfasser / Author: 			Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybridurm / Hybrid tower: T22	Datum / Date: 15.07.2022

Anahng A: FE-System / Annex A: FE system

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	Anahng A: FE-System / Annex A: FE system	

Seite/
Page1

TÜ
12

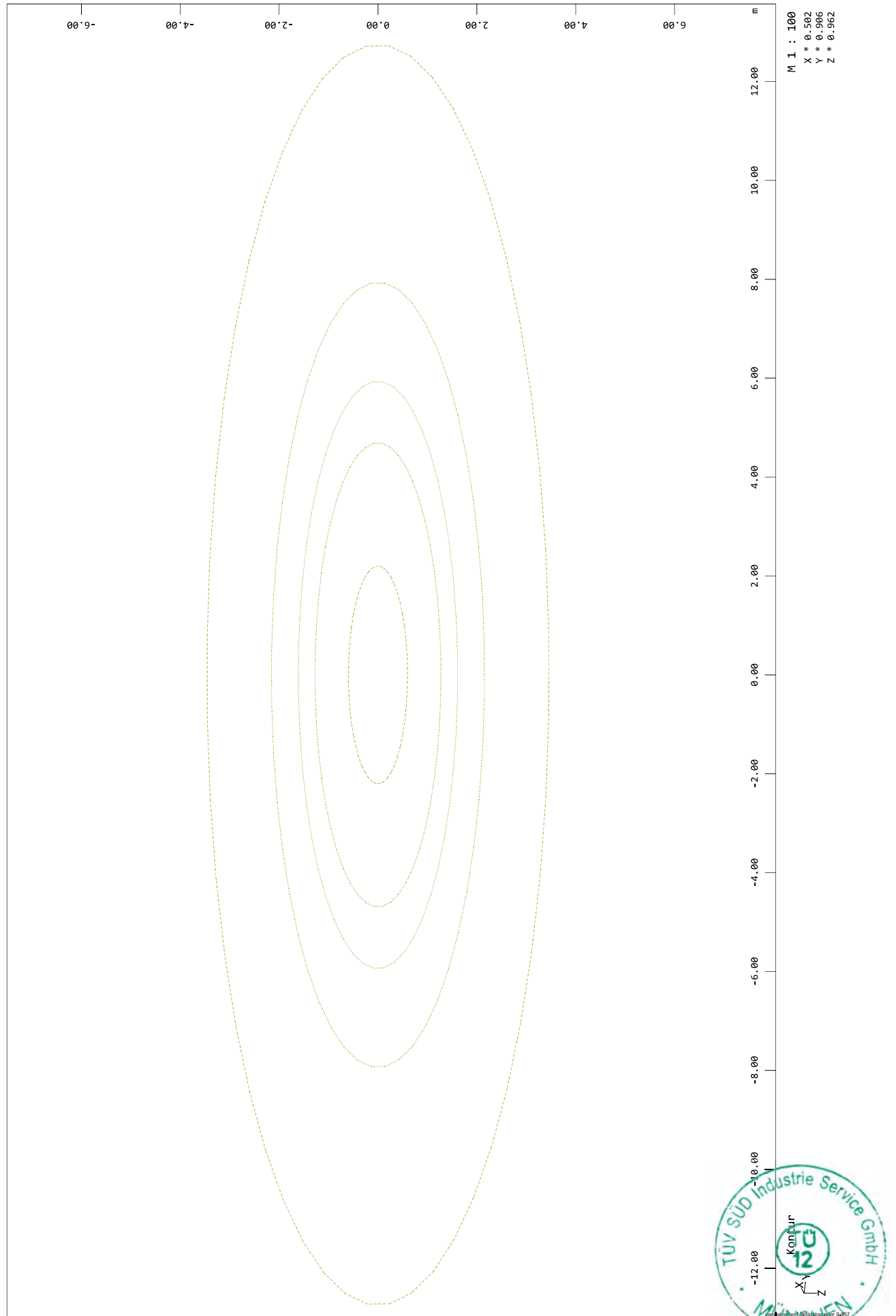
System

Inhaltsverzeichnis

WINGRAF - GRAFIK FUER FINITE ELEMENTE

Kontur	2
Kontur	3
Struktur	4
Struktur	5
Knotennummern	6
Struktur ; X-Koordinate	7
Struktur ; Y-Koordinate	8
Struktur ; Z-Koordinate	9
Flächenelemente , Elementnummern	10
Flächenelemente , Gruppennummern	11
Struktur ; Mittlere QUAD-Elementdicke	12
Struktur ; Flächenelemente , Lokale Richtung X	13
Struktur ; Flächenelemente , Lokale Richtung Y	14
Struktur ; Flächenelemente , Lokale Richtung Z	15
Struktur ; QUAD-Elementfläche	16
Struktur ; Flächenelemente , Richtung der vorgegebenen Hauptbewehrung (1.Lage) oben	17
Struktur ; Flächenelemente , Richtung der vorgegebenen Querbewehrung (2.Lage) oben	18
Struktur ; Flächenelemente , Richtung der vorgegebenen Hauptbewehrung (1.Lage) unten	19
Struktur ; Flächenelemente , Richtung der vorgegebenen Querbewehrung (2.Lage) unten	20

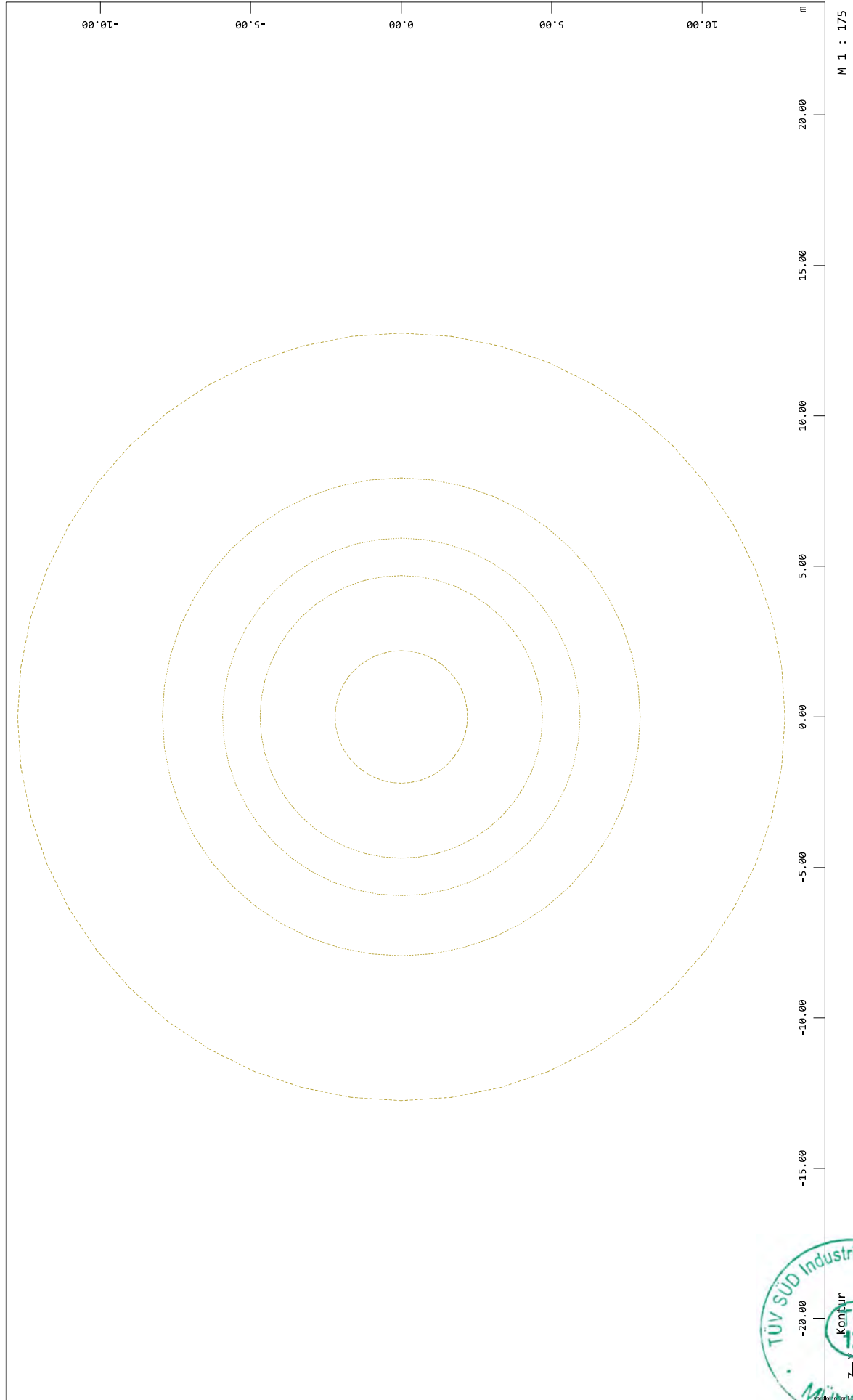
System



SOFISTIK AG - www.sofistik.de

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



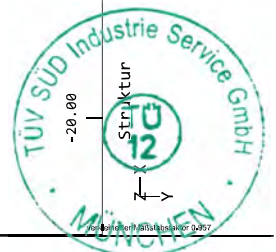
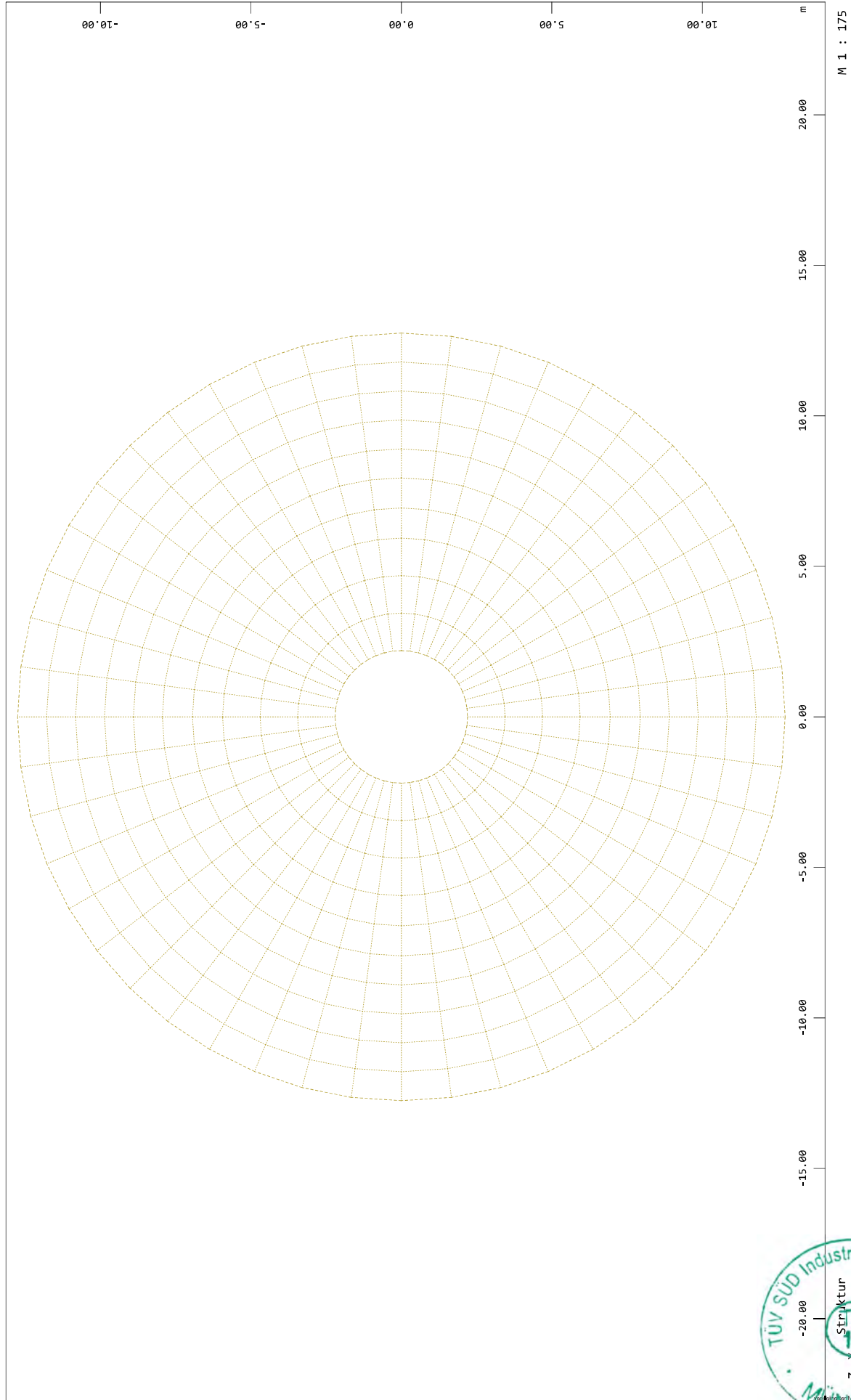
Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH = 169 m

System



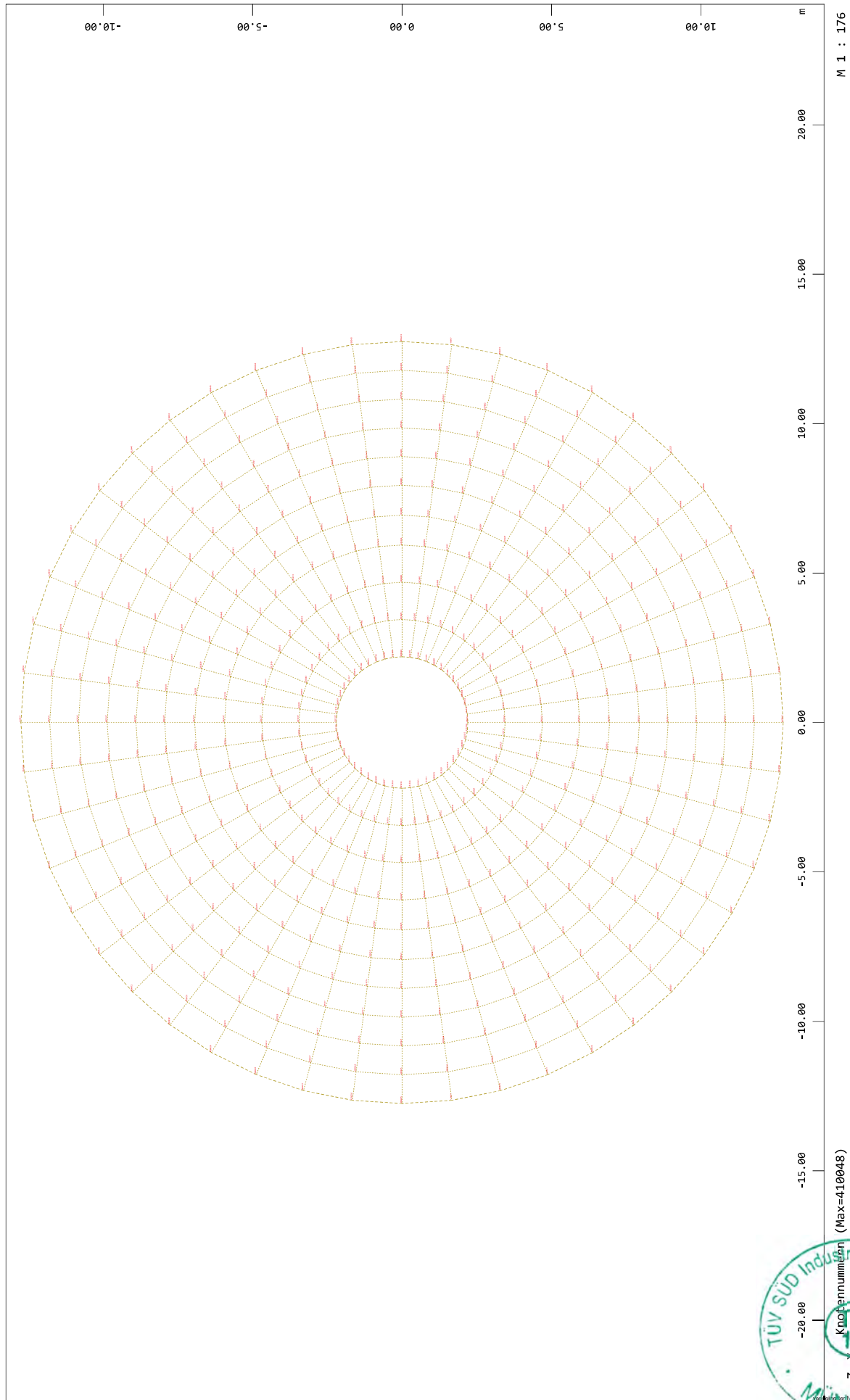
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

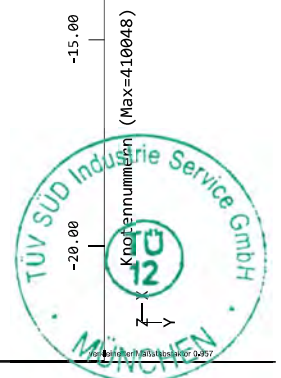


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



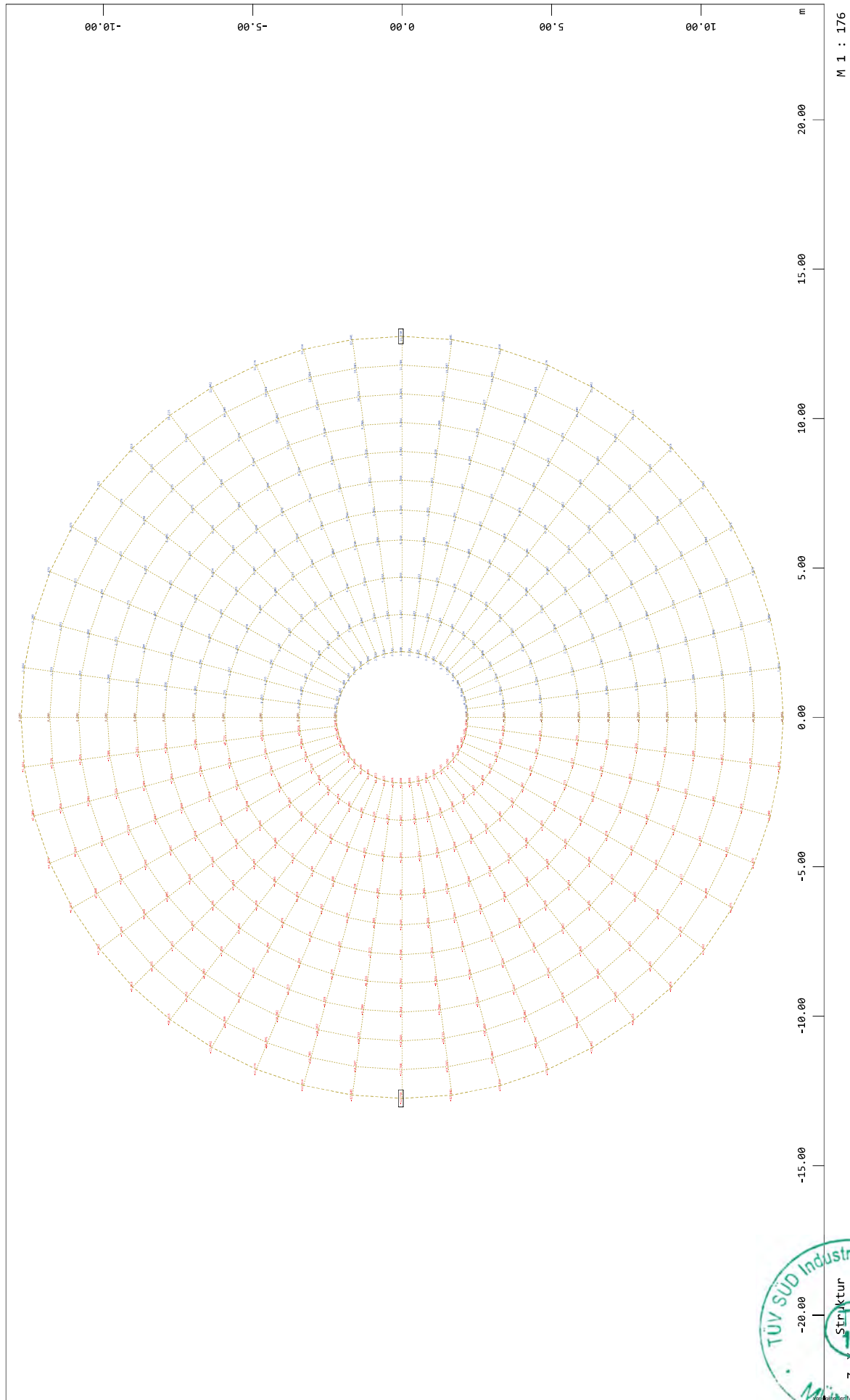
M 1 : 176



Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH = 169 m

System

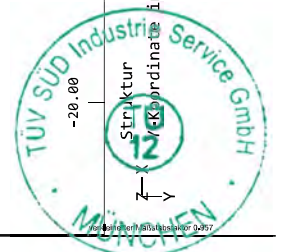
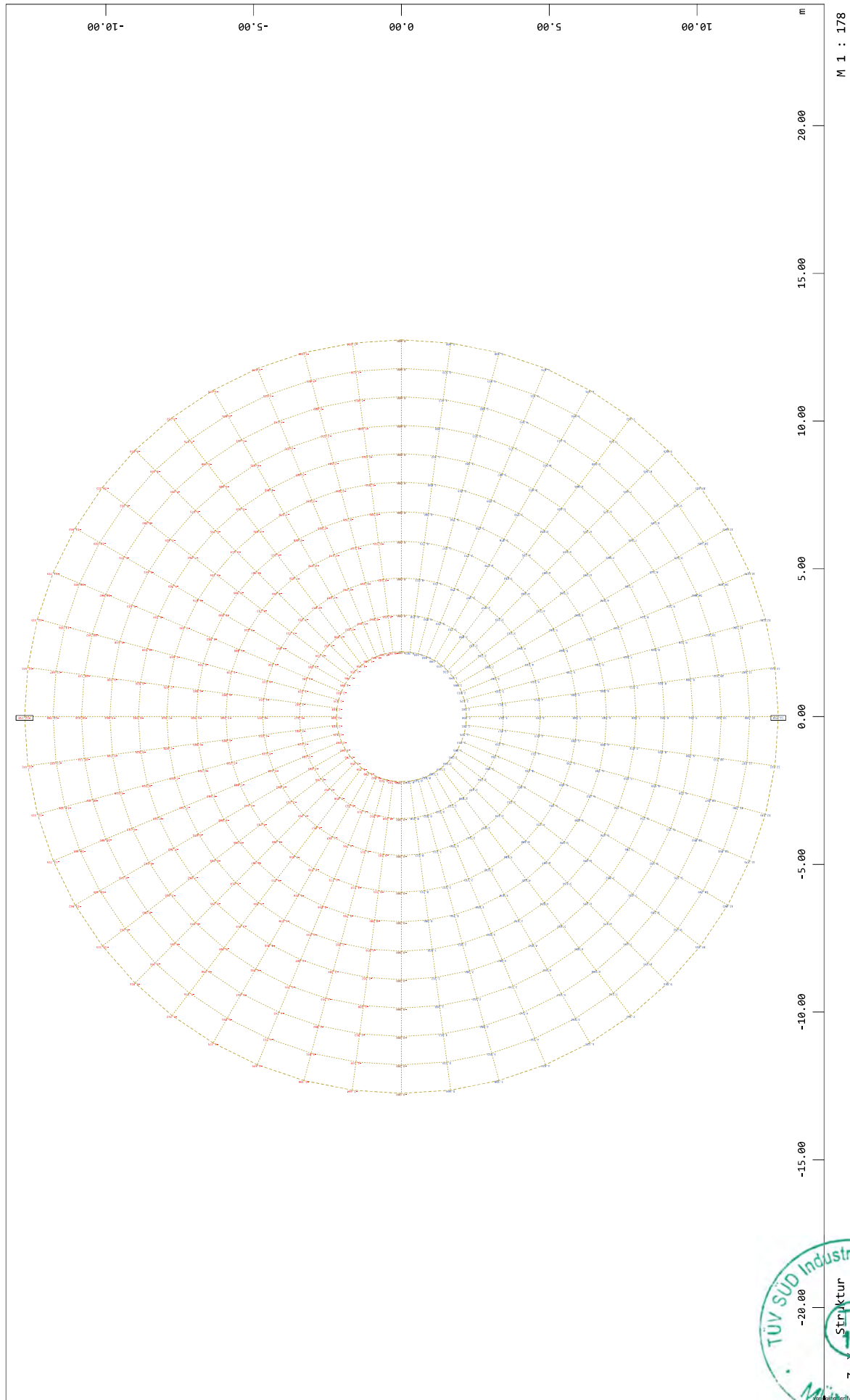
SOFiSTiK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

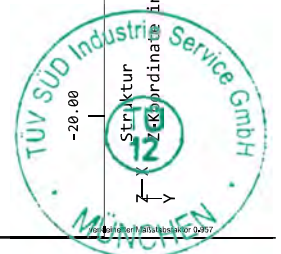
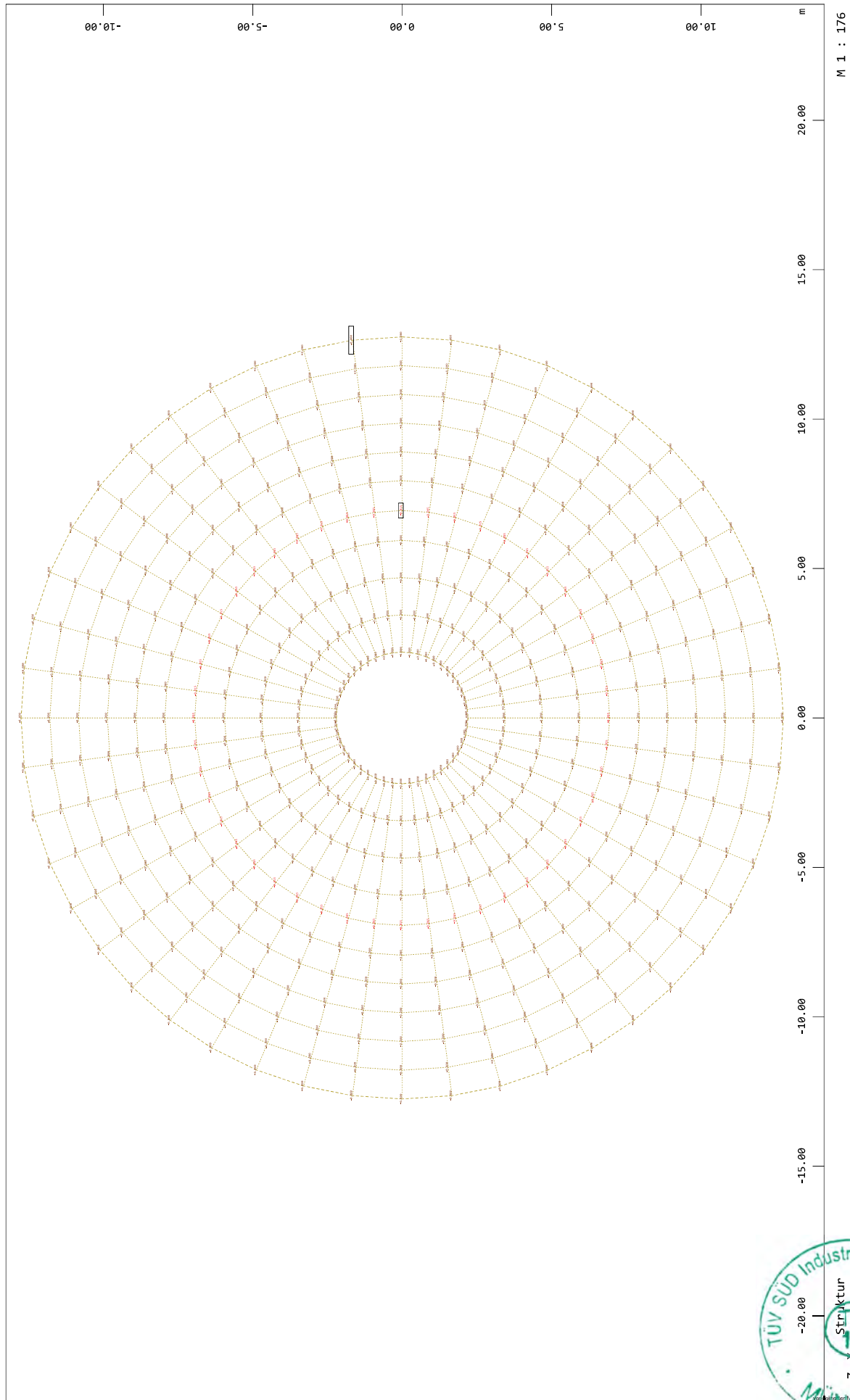
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



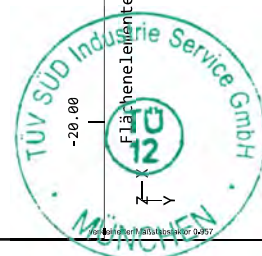
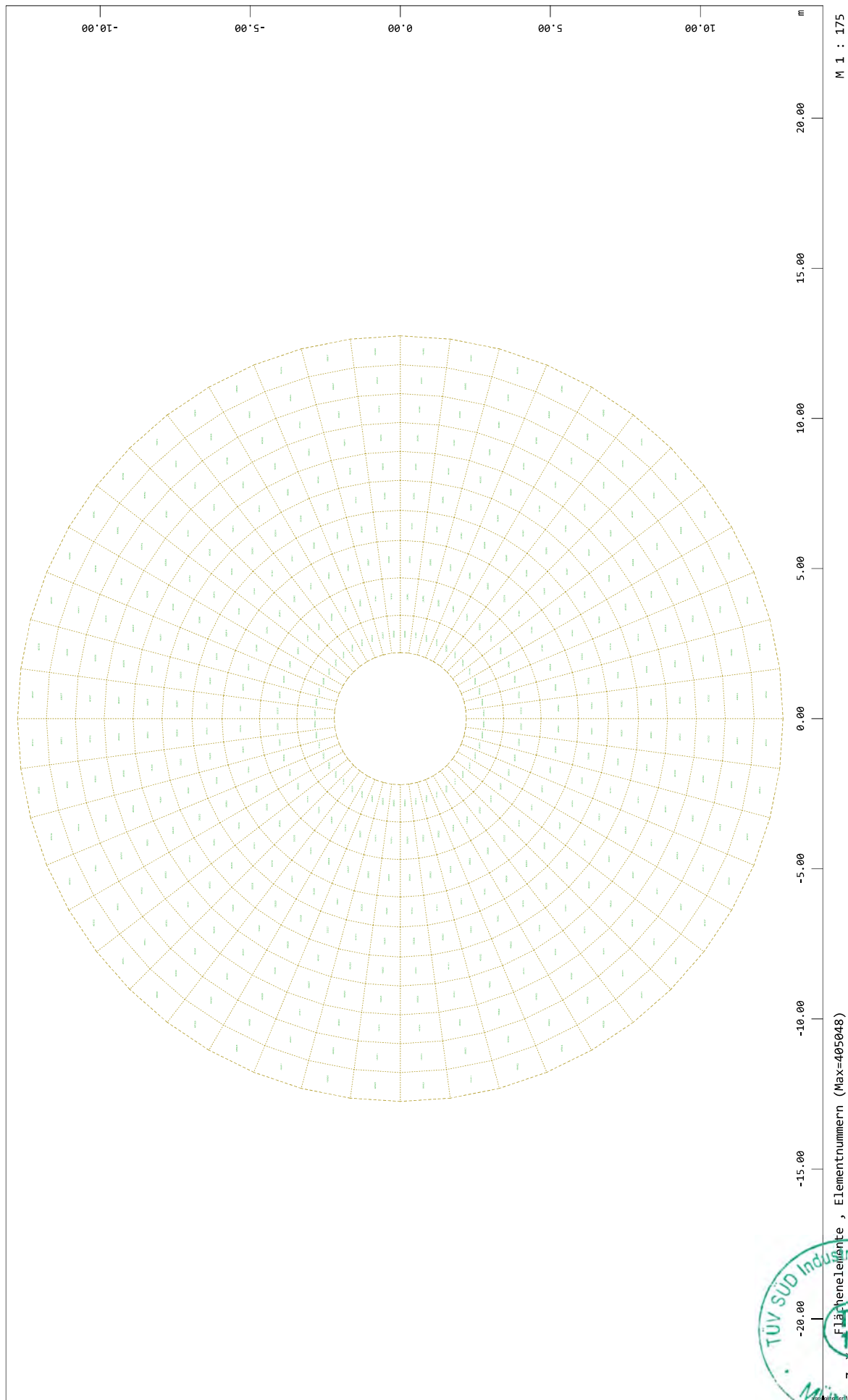
System

SOFiSTiK AG - www.sofistik.de



System

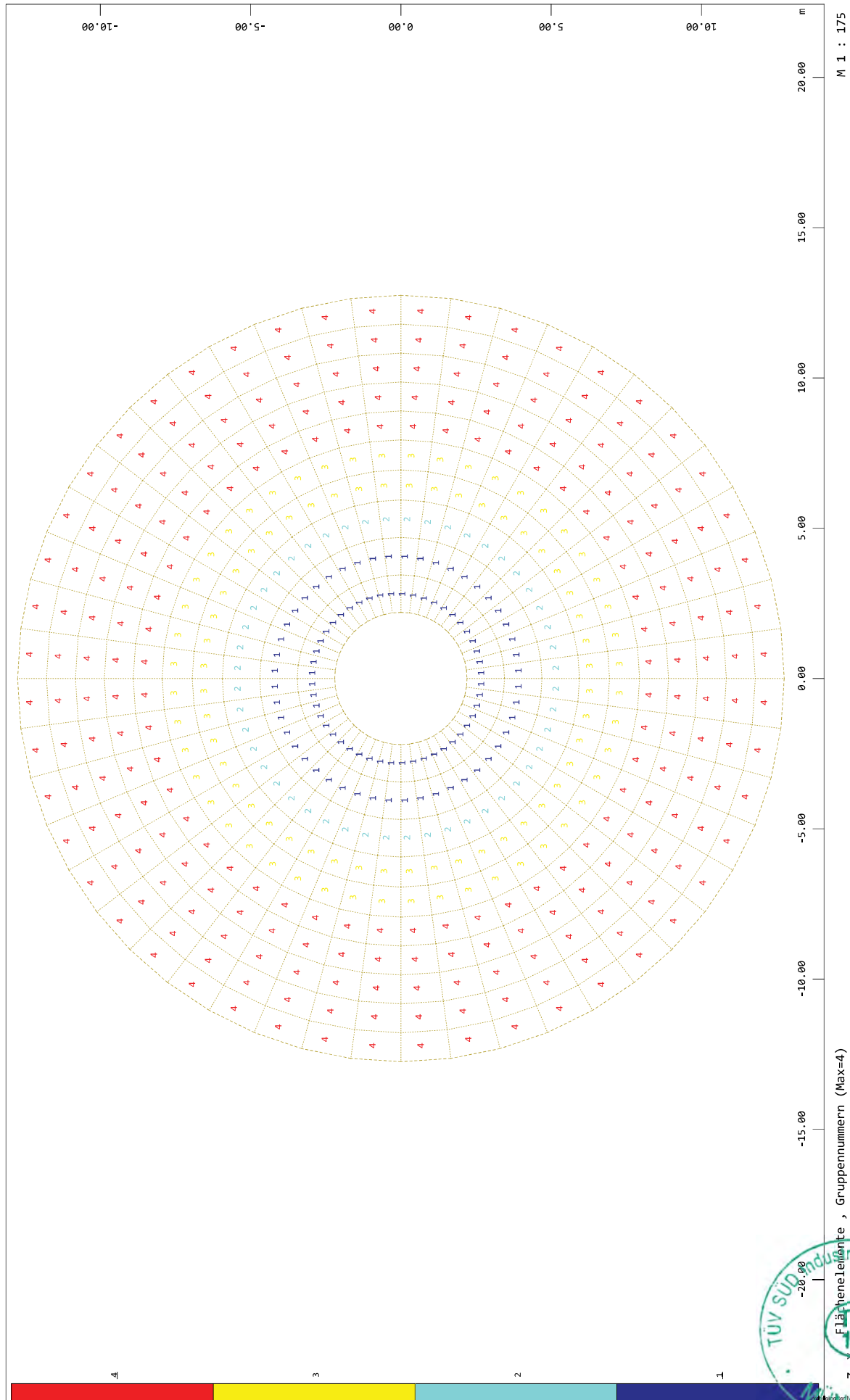
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



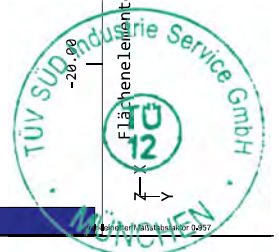
Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

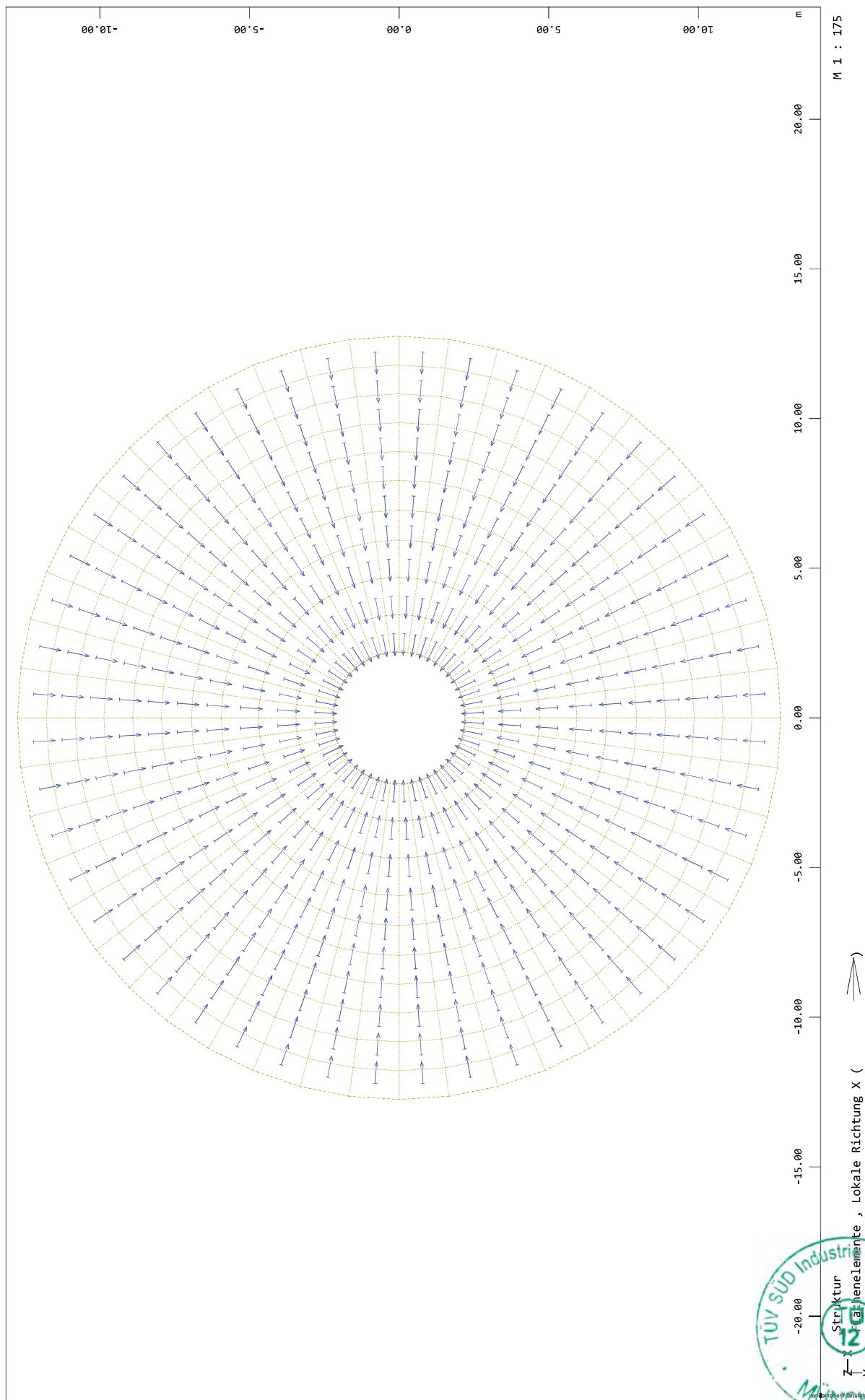


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH = 169 m



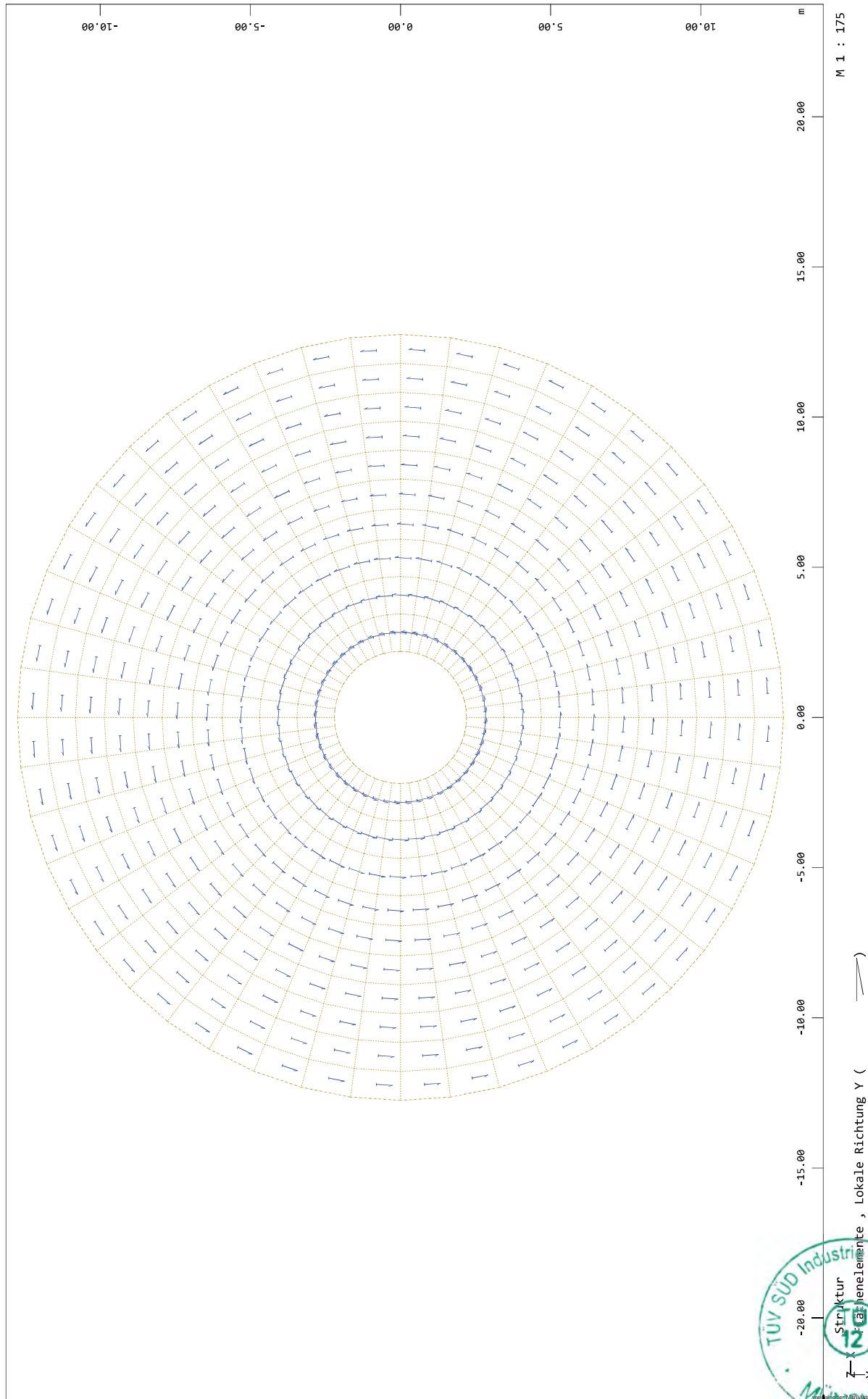
SOFiSTiK AG - www.sofistik.de

SOFISTiK AG - www.sofistik.de



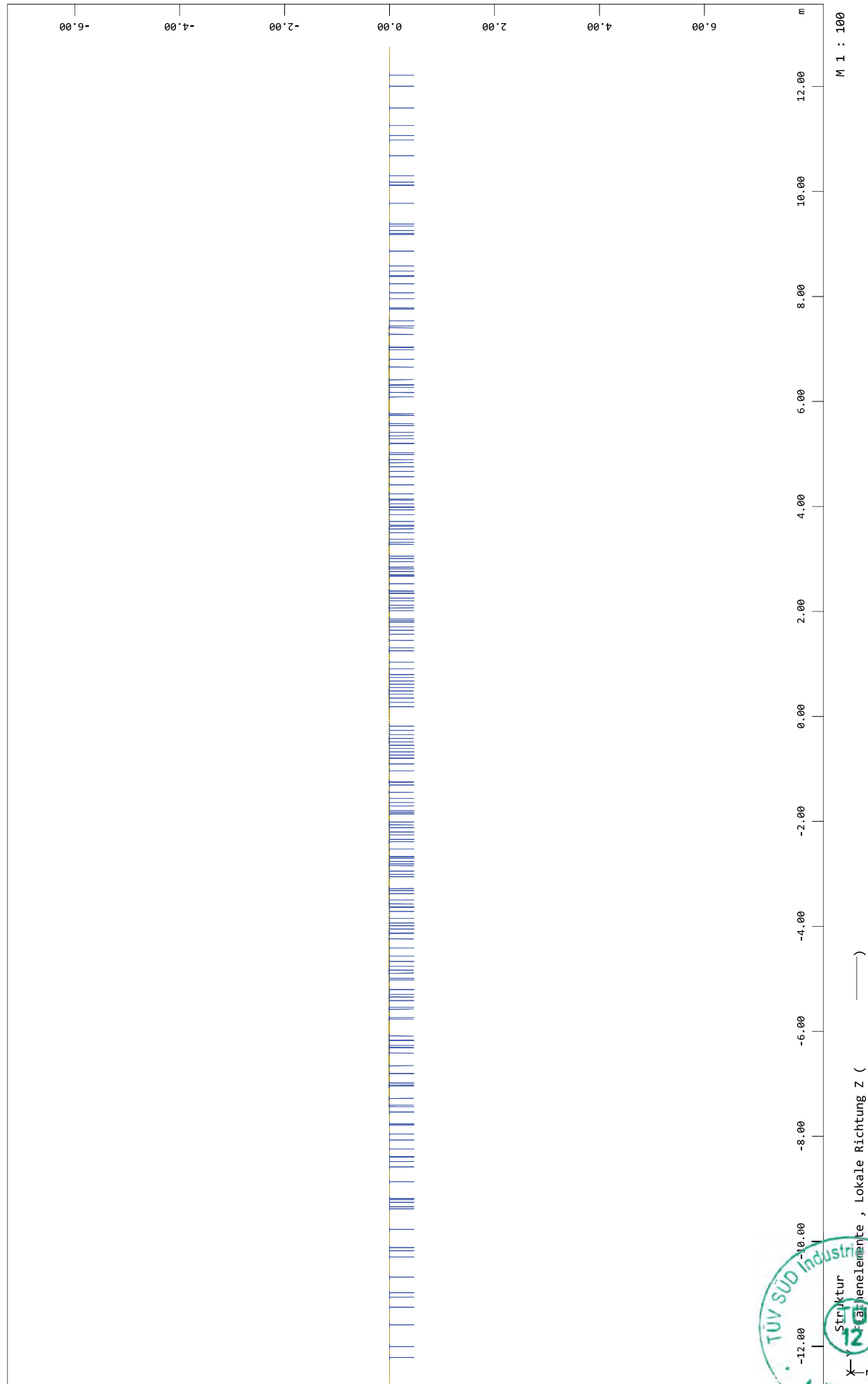
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

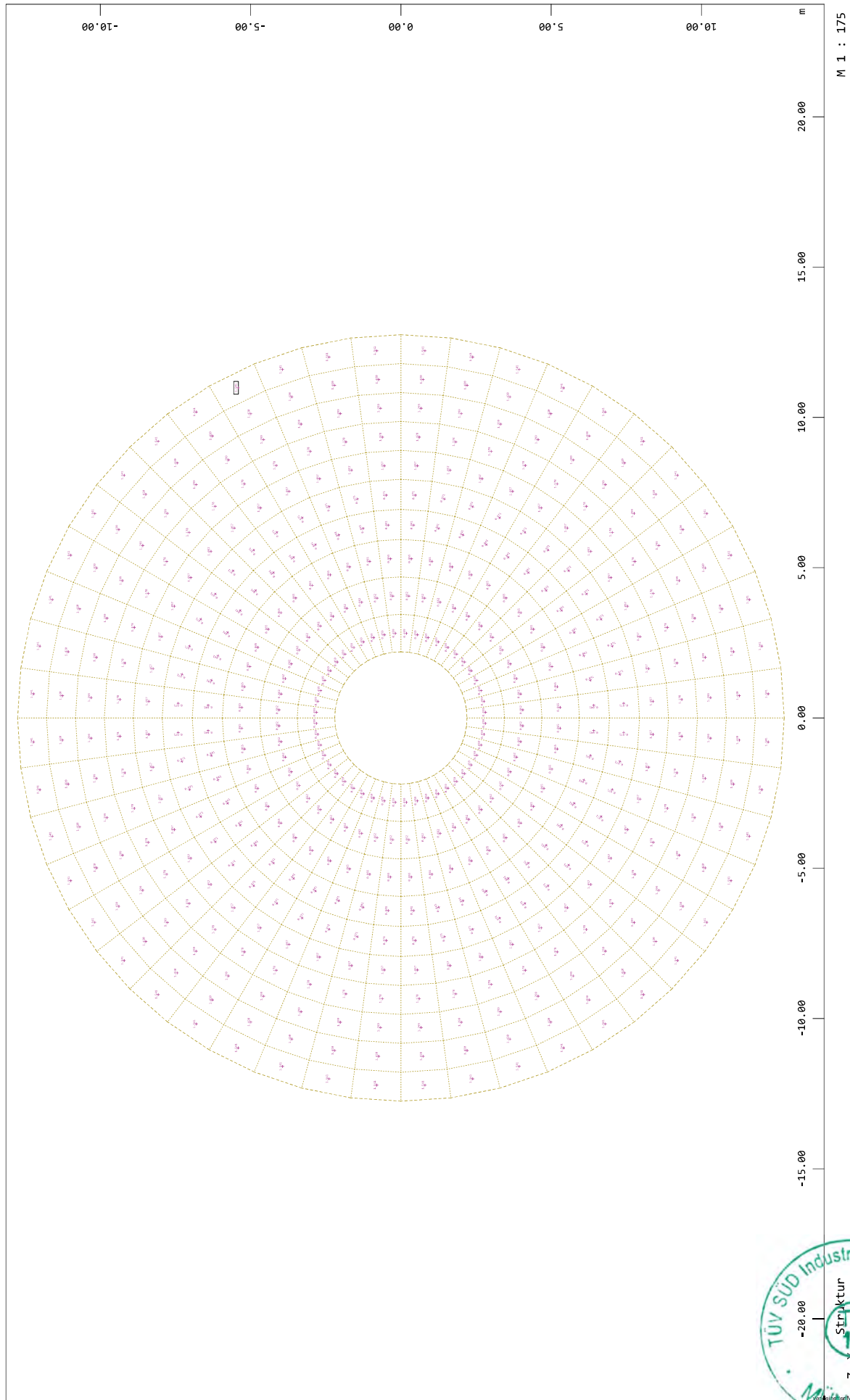
System



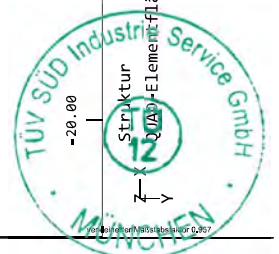
SOFISTIK AG - www.sofistik.de

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

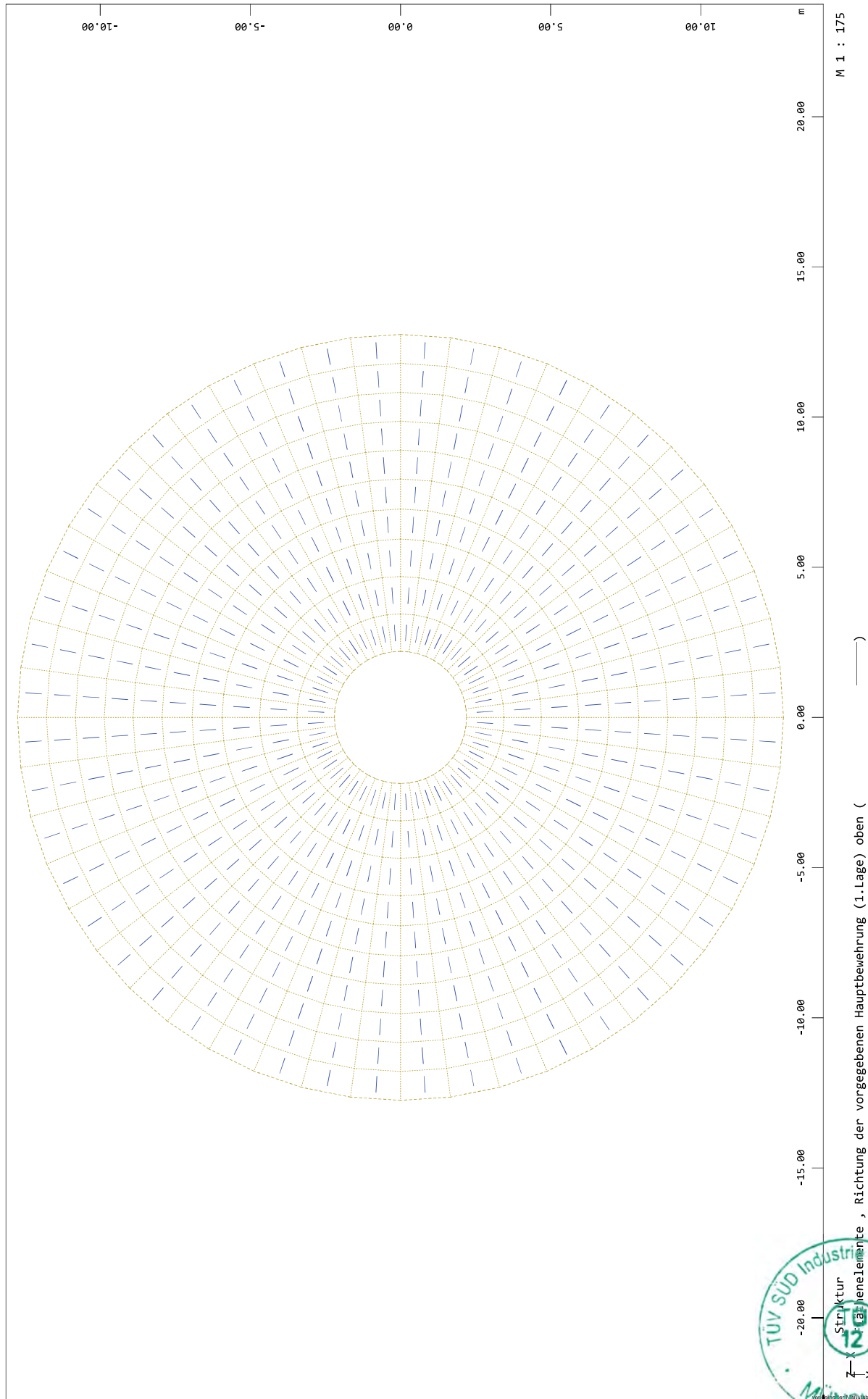


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m



System

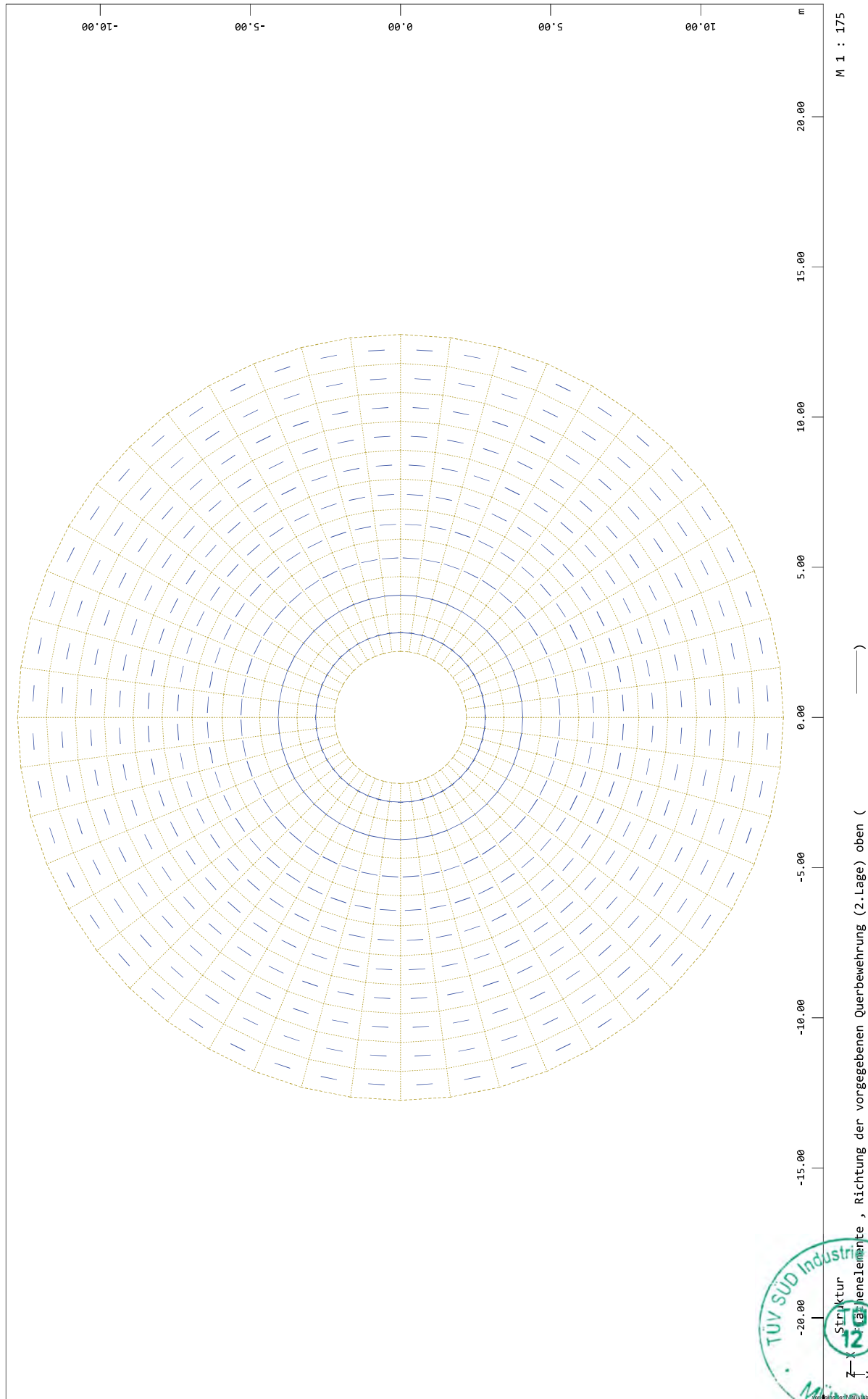
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



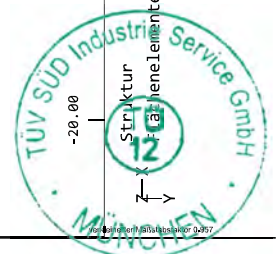
Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH = 169 m

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



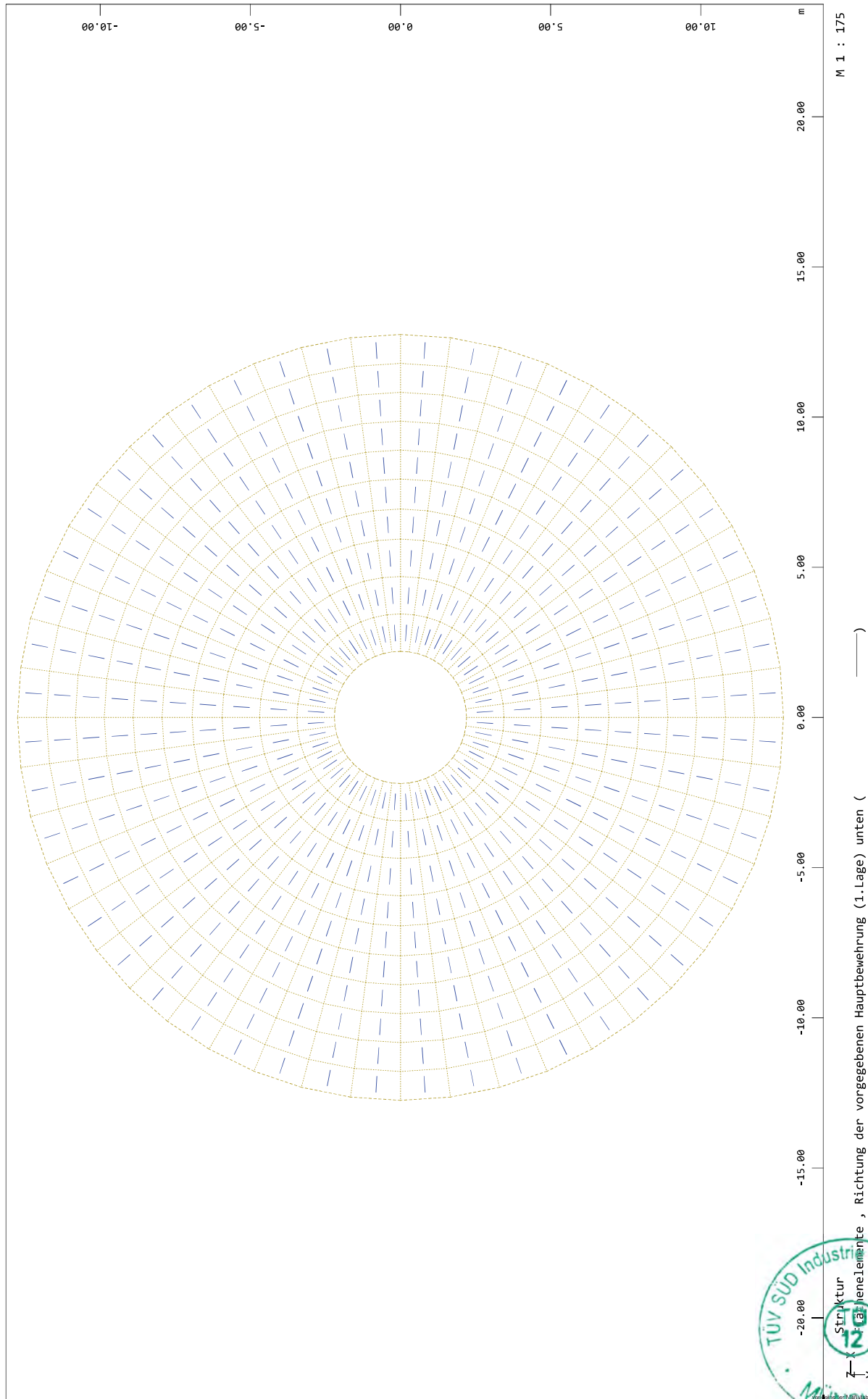
M 1 : 175



Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

System

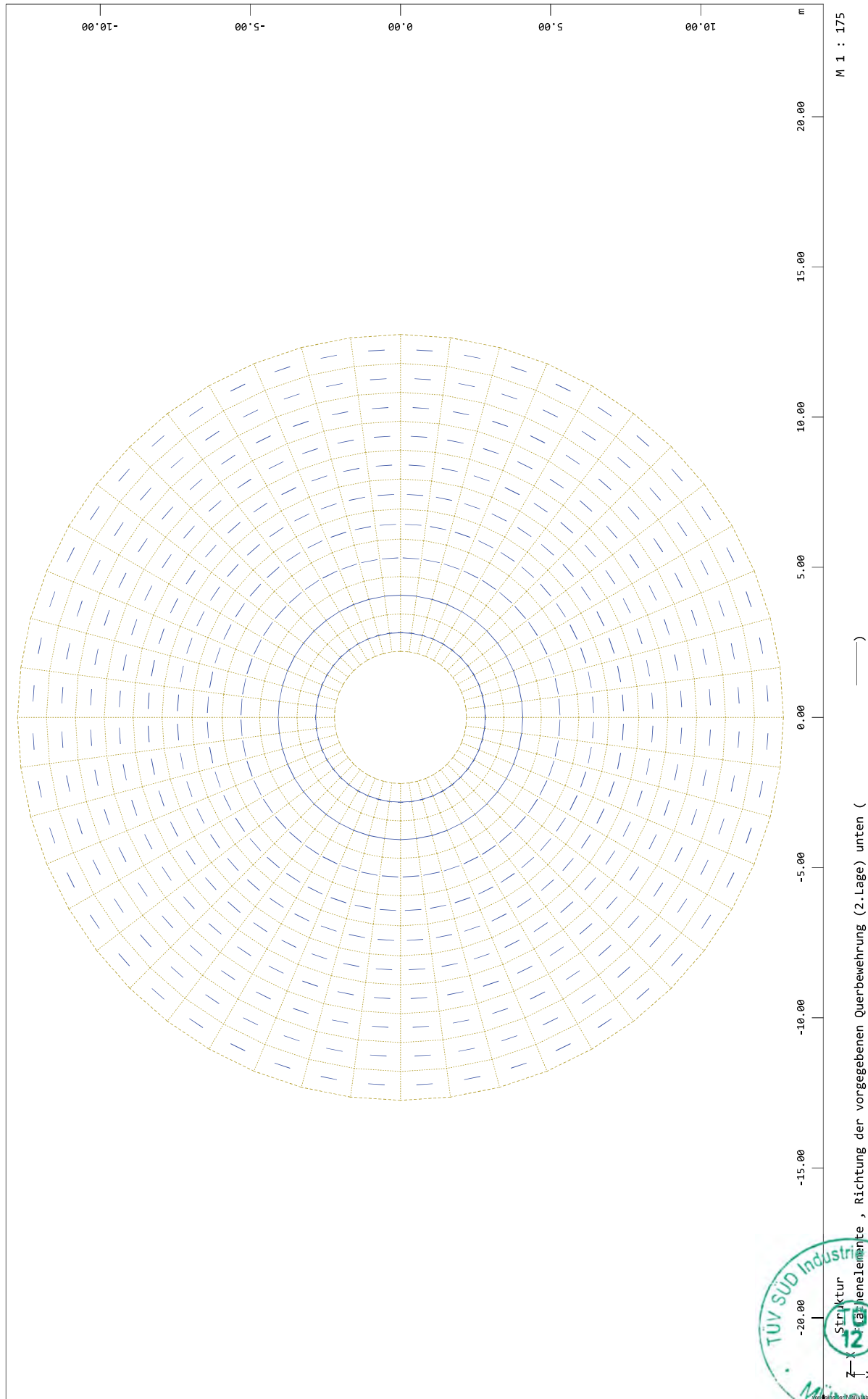
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

Verfasser / Author: 			Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybriddturm / Hybrid tower: T22	Datum / Date: 15.07.2022

Anhang B: Lasten / Annex B: Loads

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	Anhang B: Lasten / Annex B: Loads	

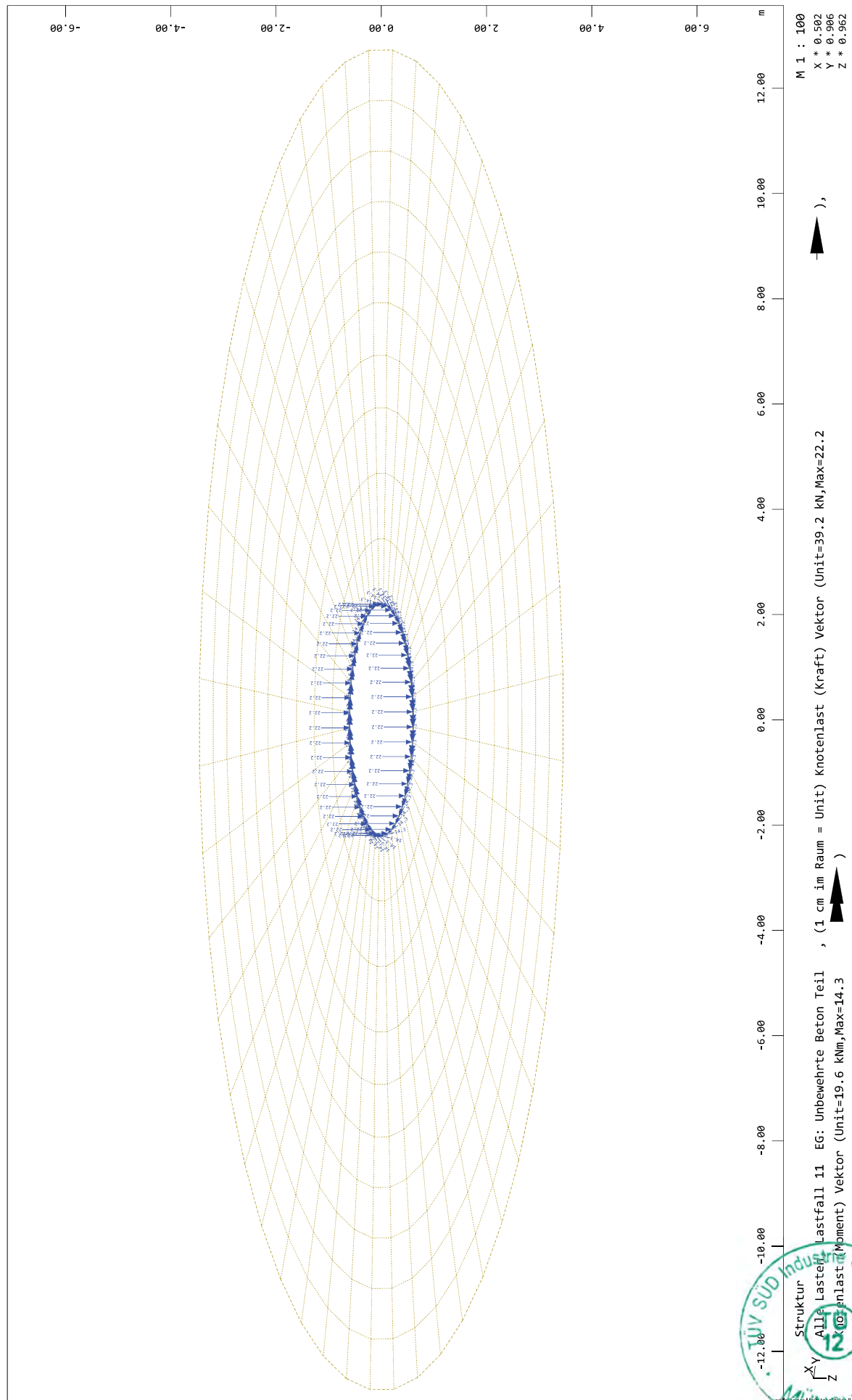
System

Inhaltsverzeichnis**WINGRAF - GRAFIK FUER FINITE ELEMENTE**

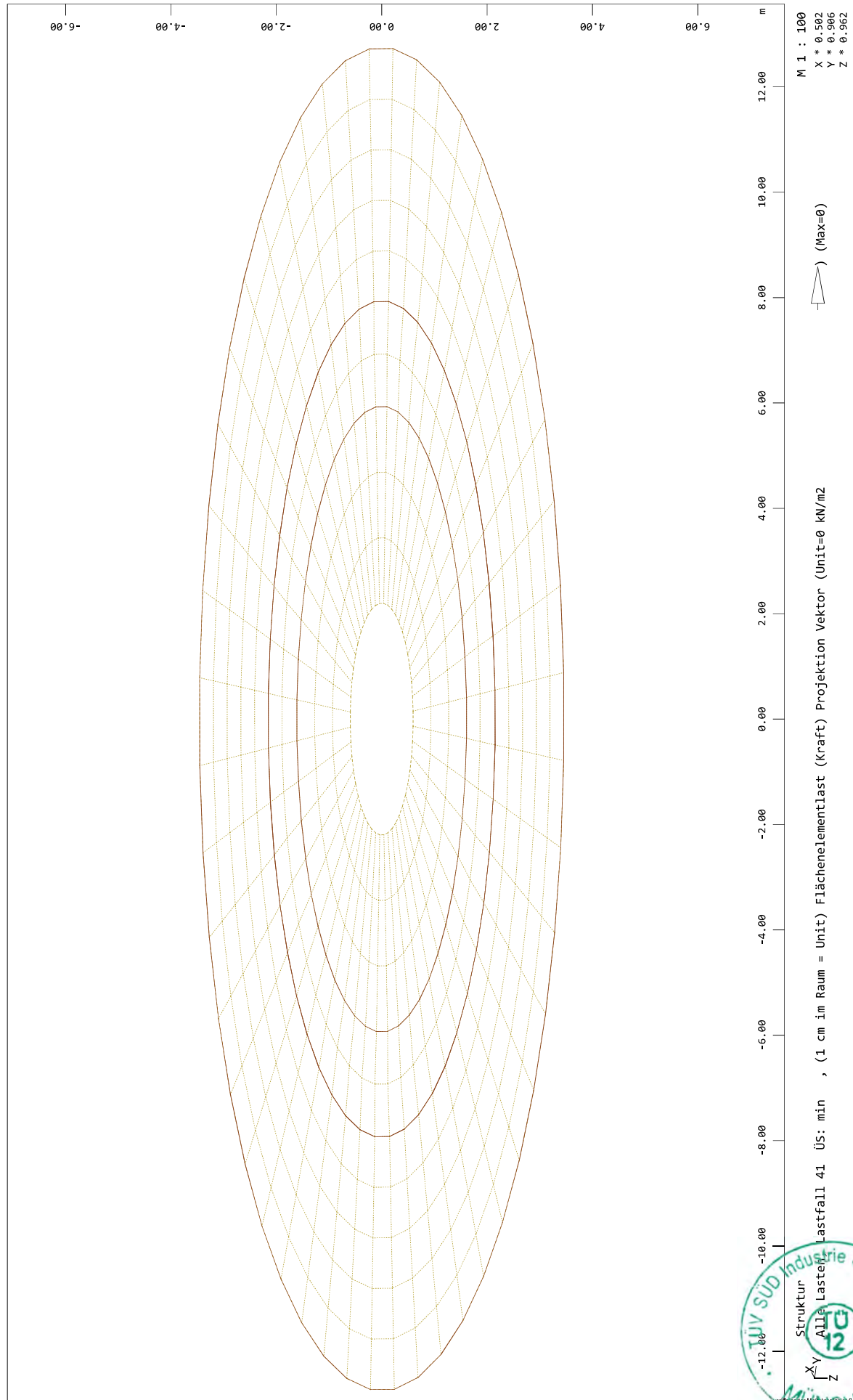
Struktur ; Alle Lasten LF: 11	2
Struktur ; Alle Lasten LF: 41	3
Struktur ; Alle Lasten LF: 42	4
Struktur ; Alle Lasten LF: 51	5
Struktur ; Alle Lasten LF: 52	6
Struktur ; Alle Lasten LF: 60	7
Struktur ; Alle Lasten LF: 70	8
Struktur ; Alle Lasten LF: 101	9
Struktur ; Alle Lasten LF: 102	10
Struktur ; Alle Lasten LF: 103	11
Struktur ; Alle Lasten LF: 104	12
Struktur ; Alle Lasten LF: 105	13
Struktur ; Alle Lasten LF: 106	14
Struktur ; Alle Lasten LF: 107	15
Struktur ; Alle Lasten LF: 108	16
Struktur ; Alle Lasten LF: 301	17
Struktur ; Alle Lasten LF: 302	18

System

SOFiSTiK AG - www.sofistik.de



System

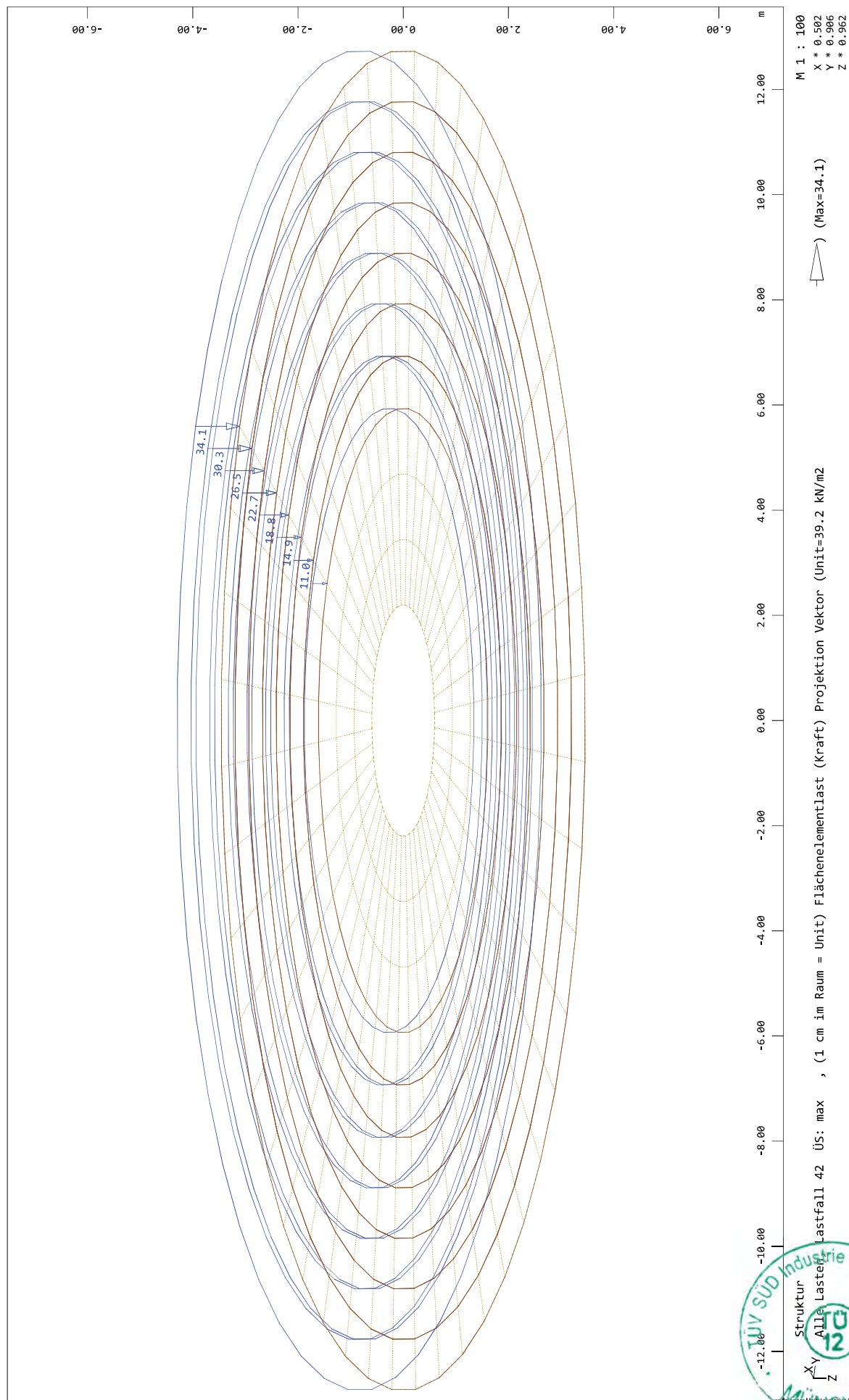


SOFTISTIK AG - www.softistik.de



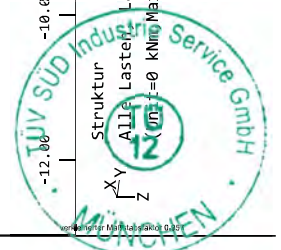
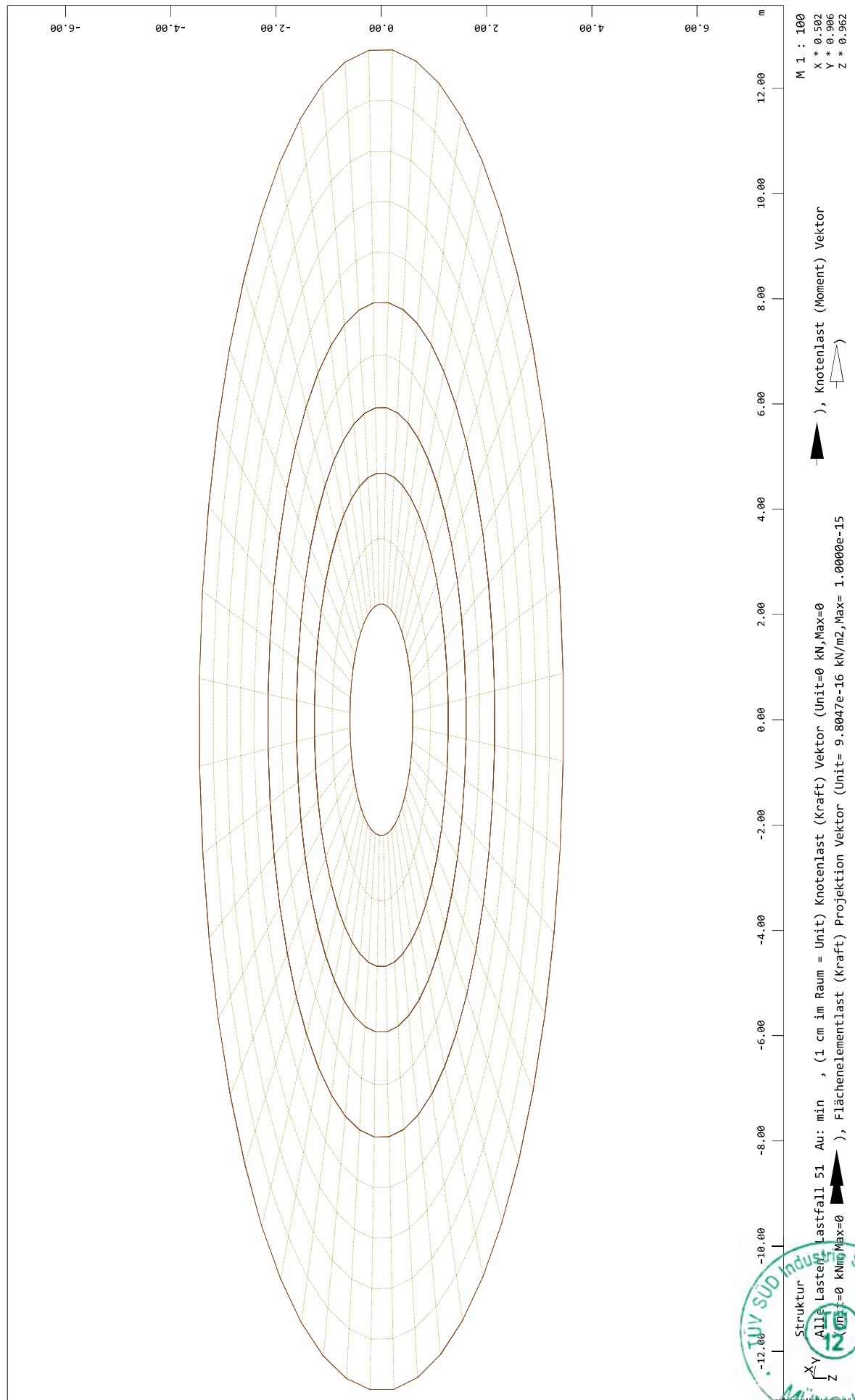
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



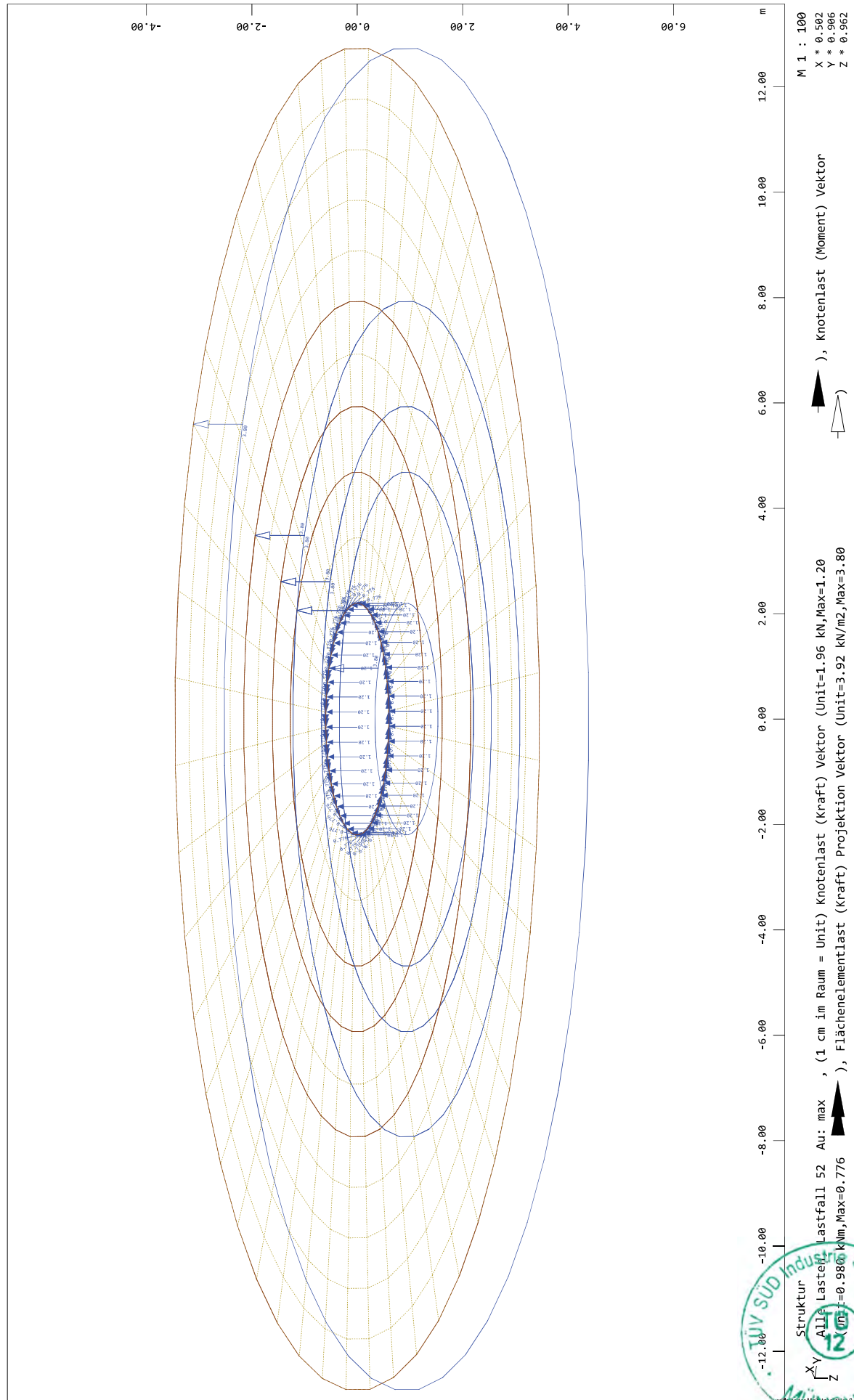
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



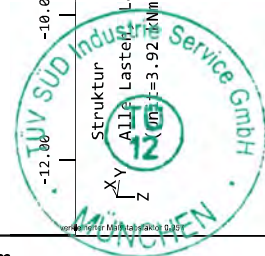
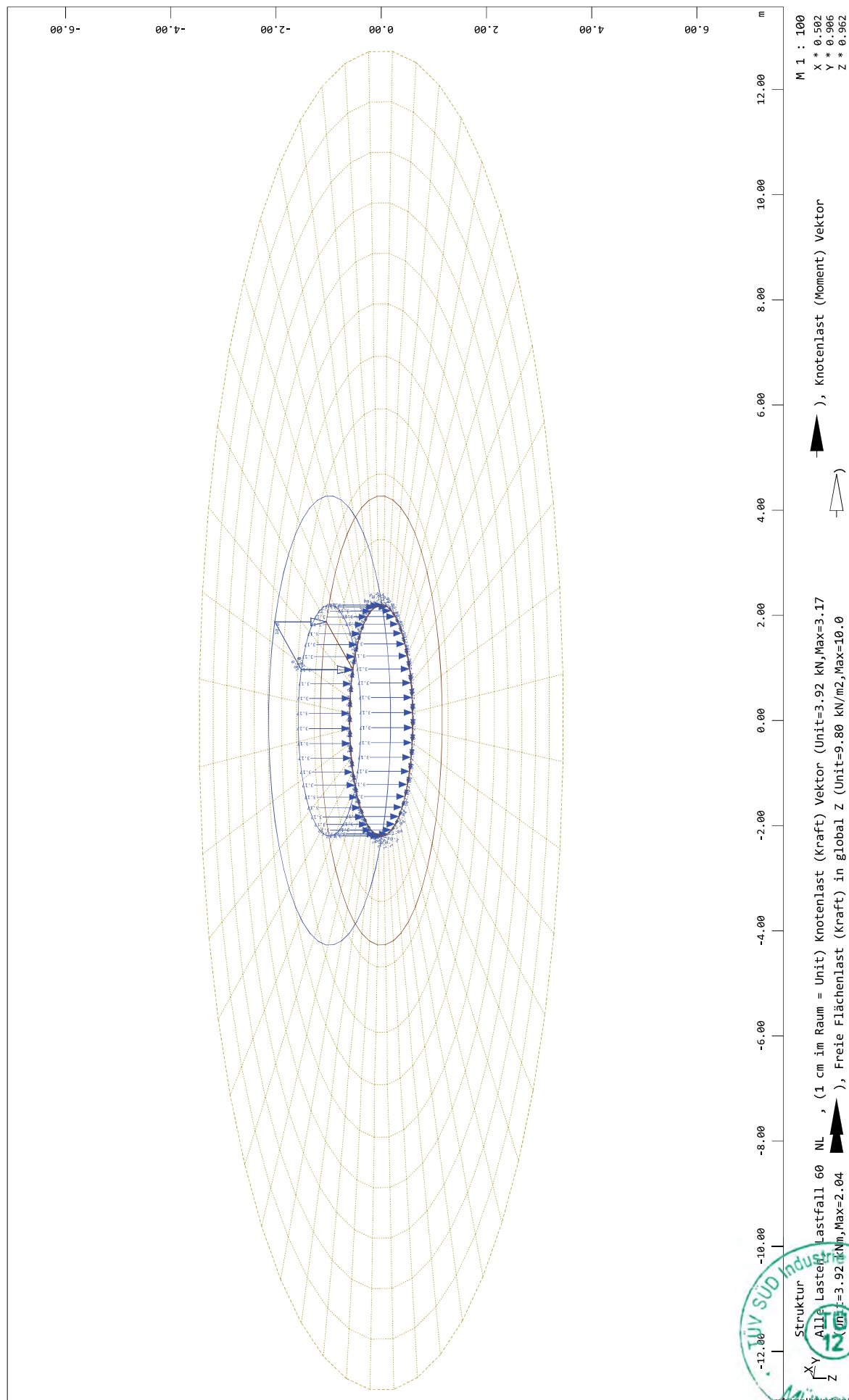
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

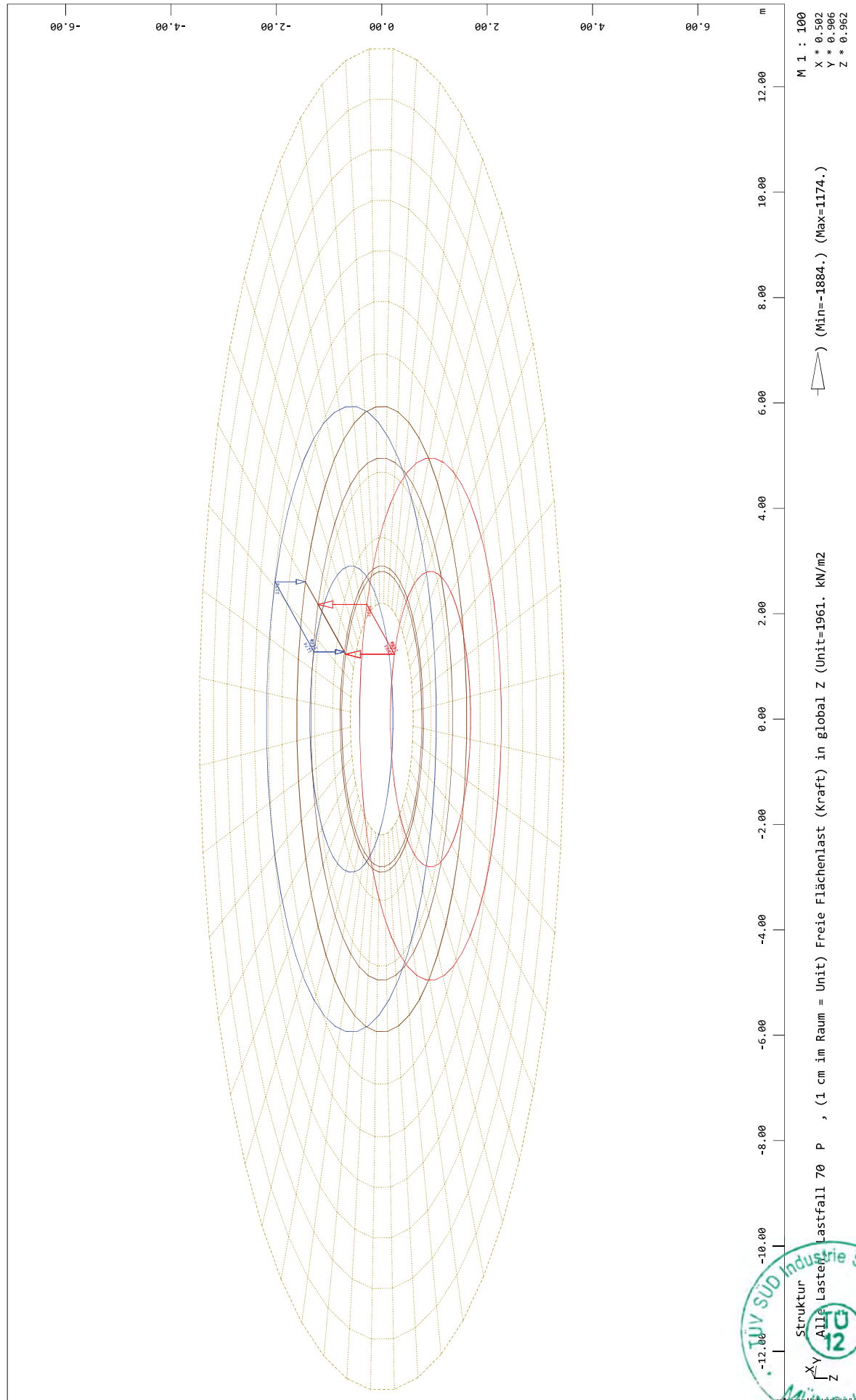


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



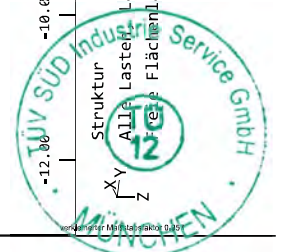
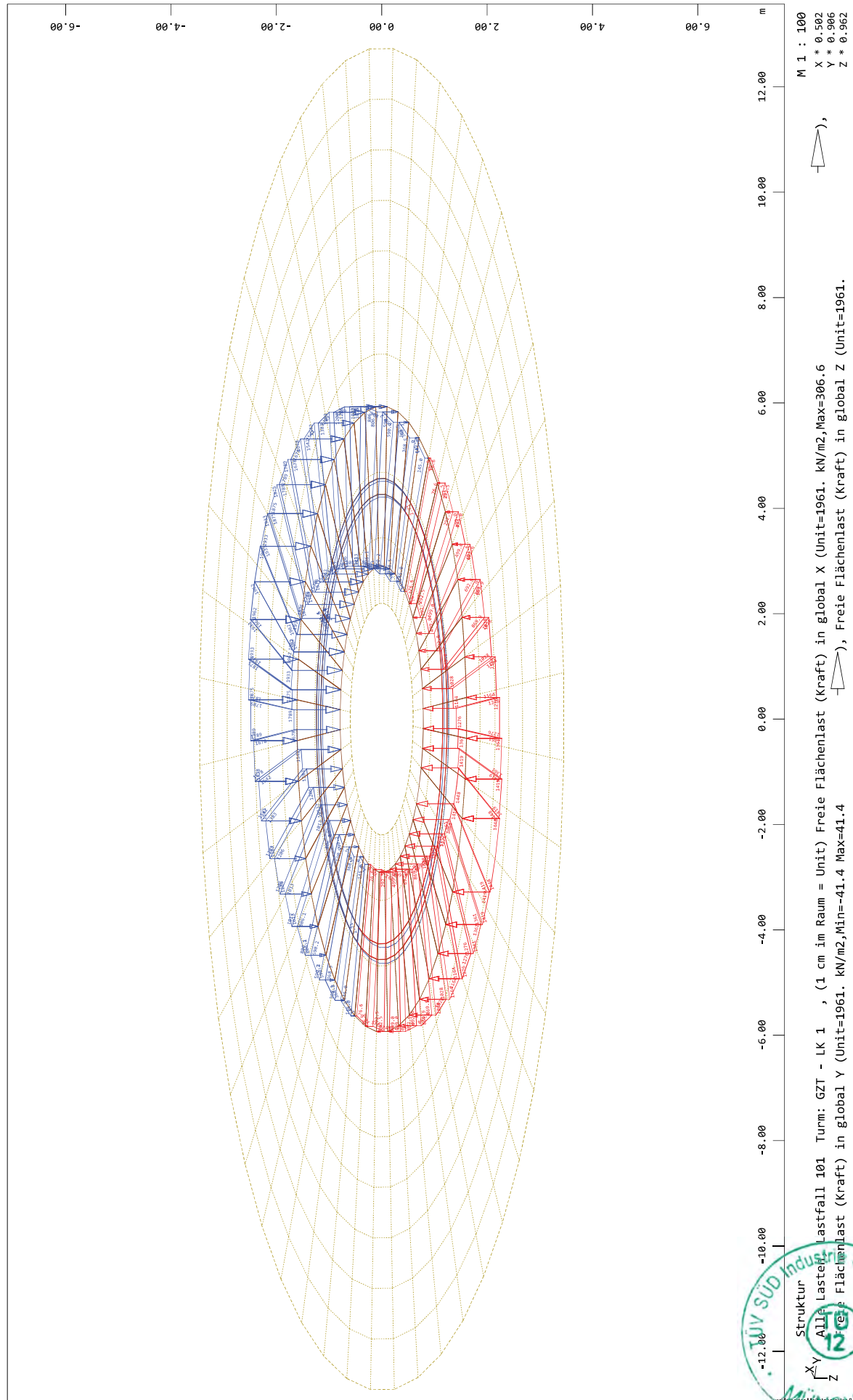
System



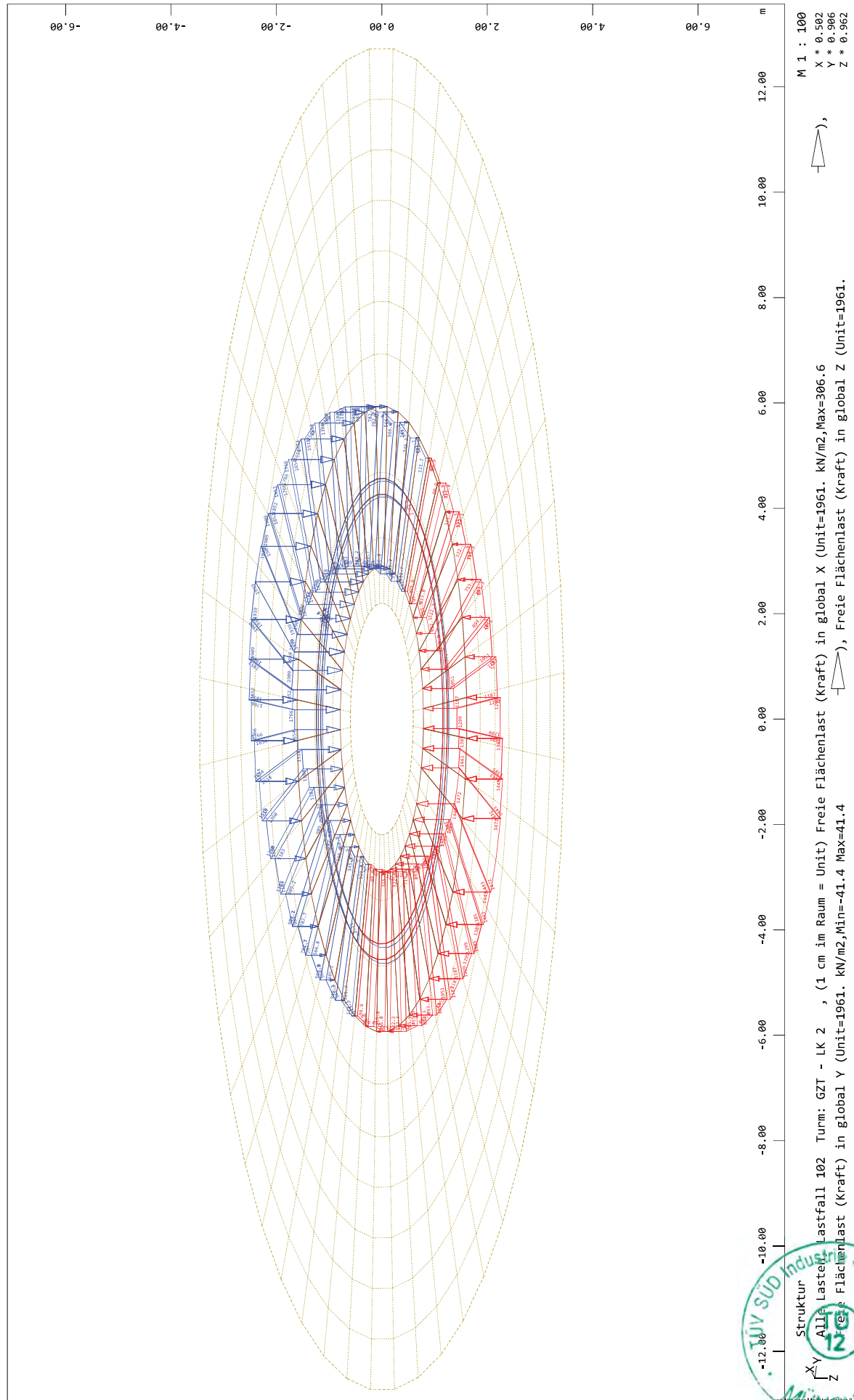
SOFTISTIK AG - www.softistik.de



System

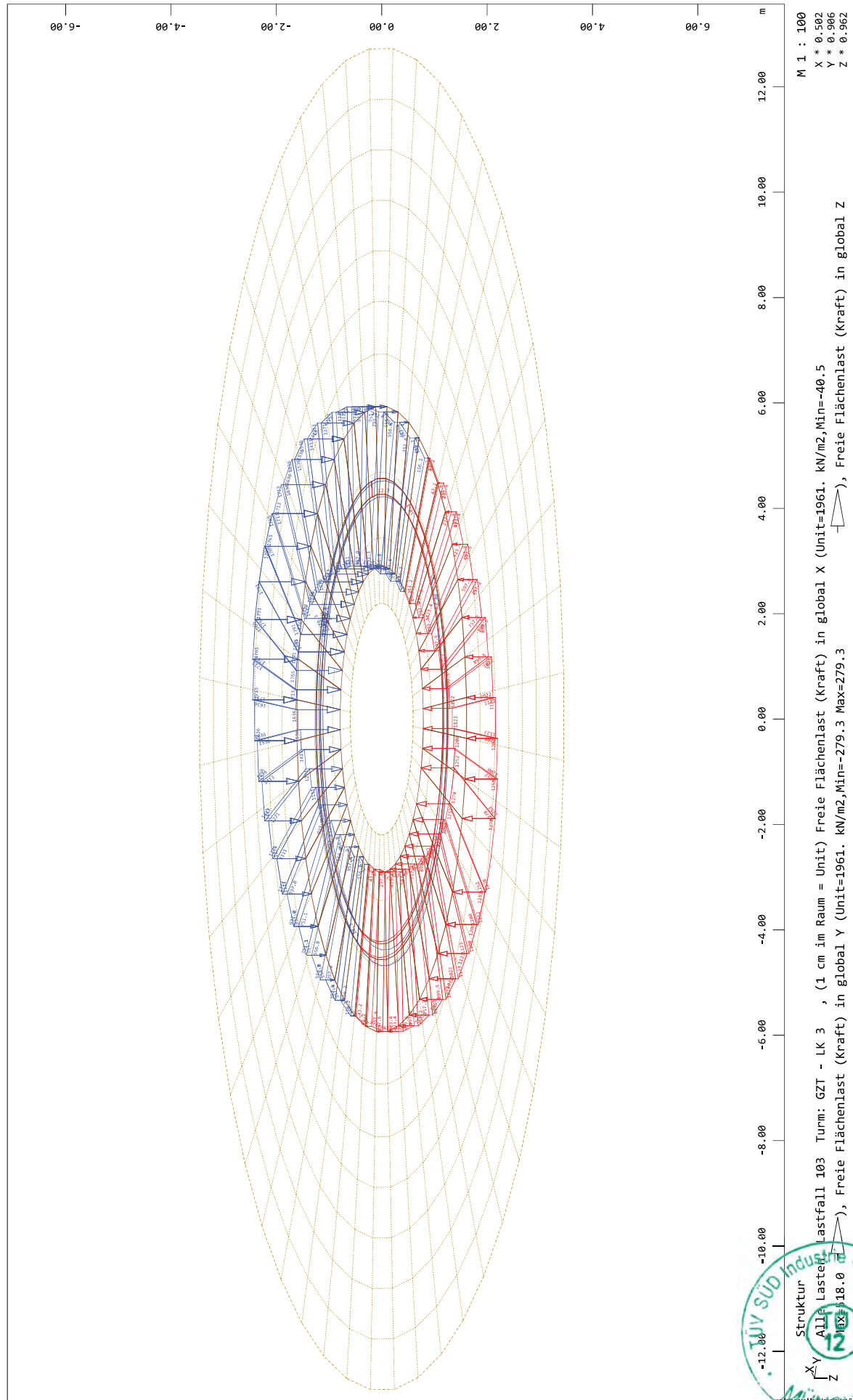


System

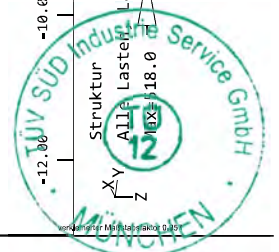


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

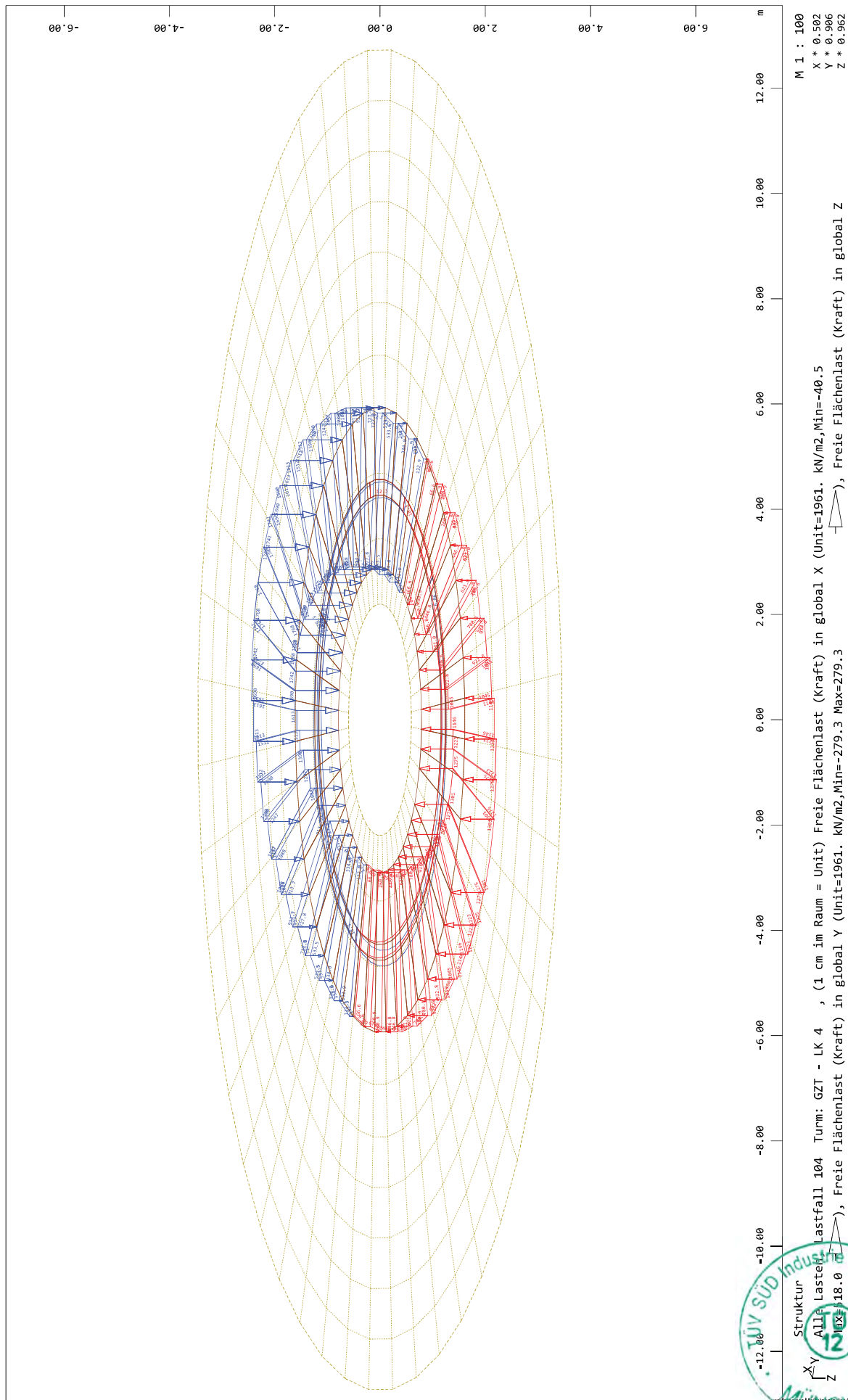
System



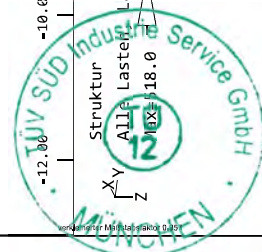
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



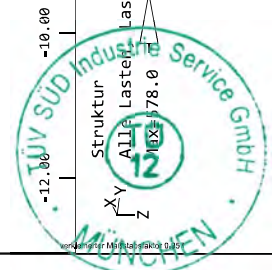
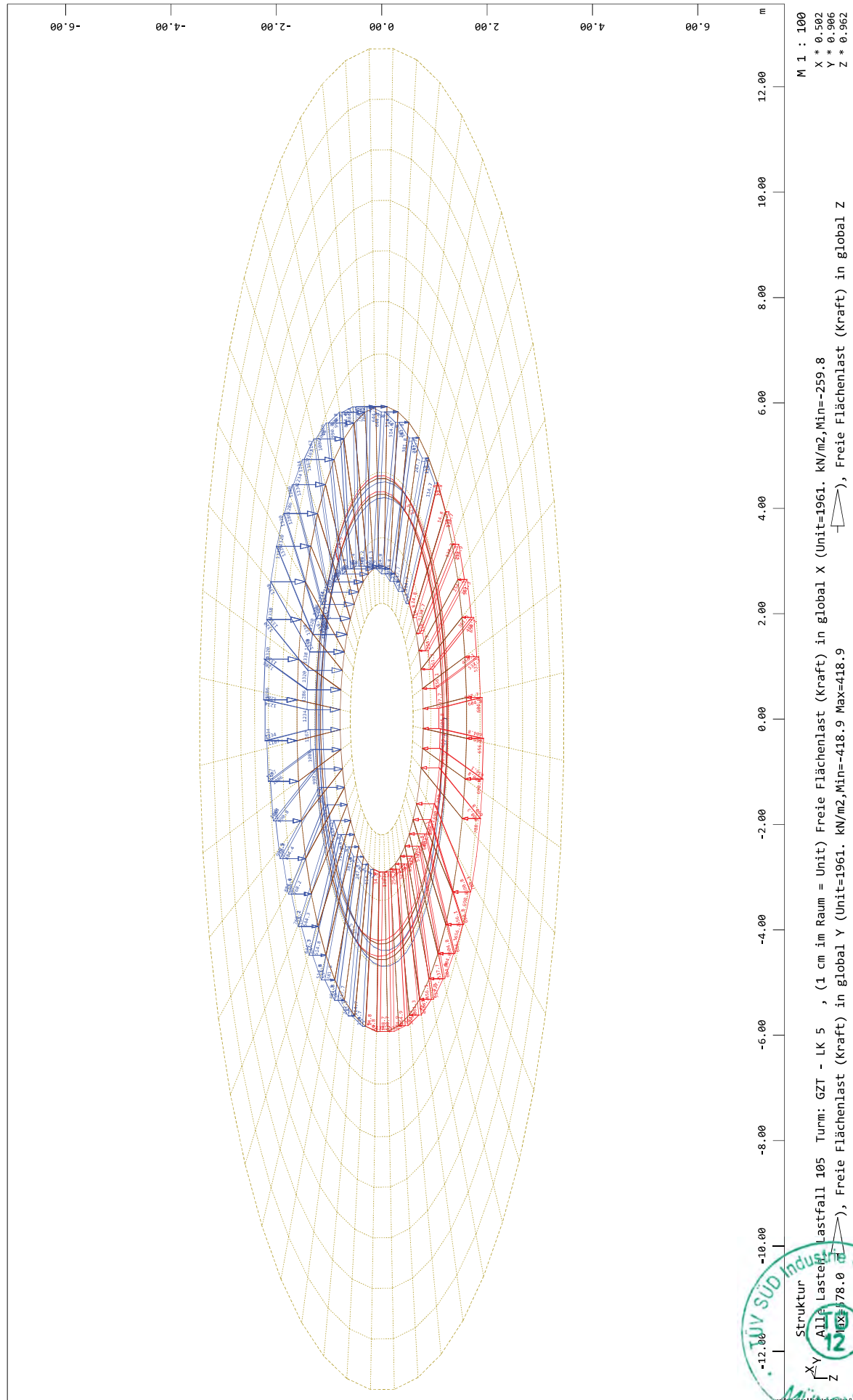
System



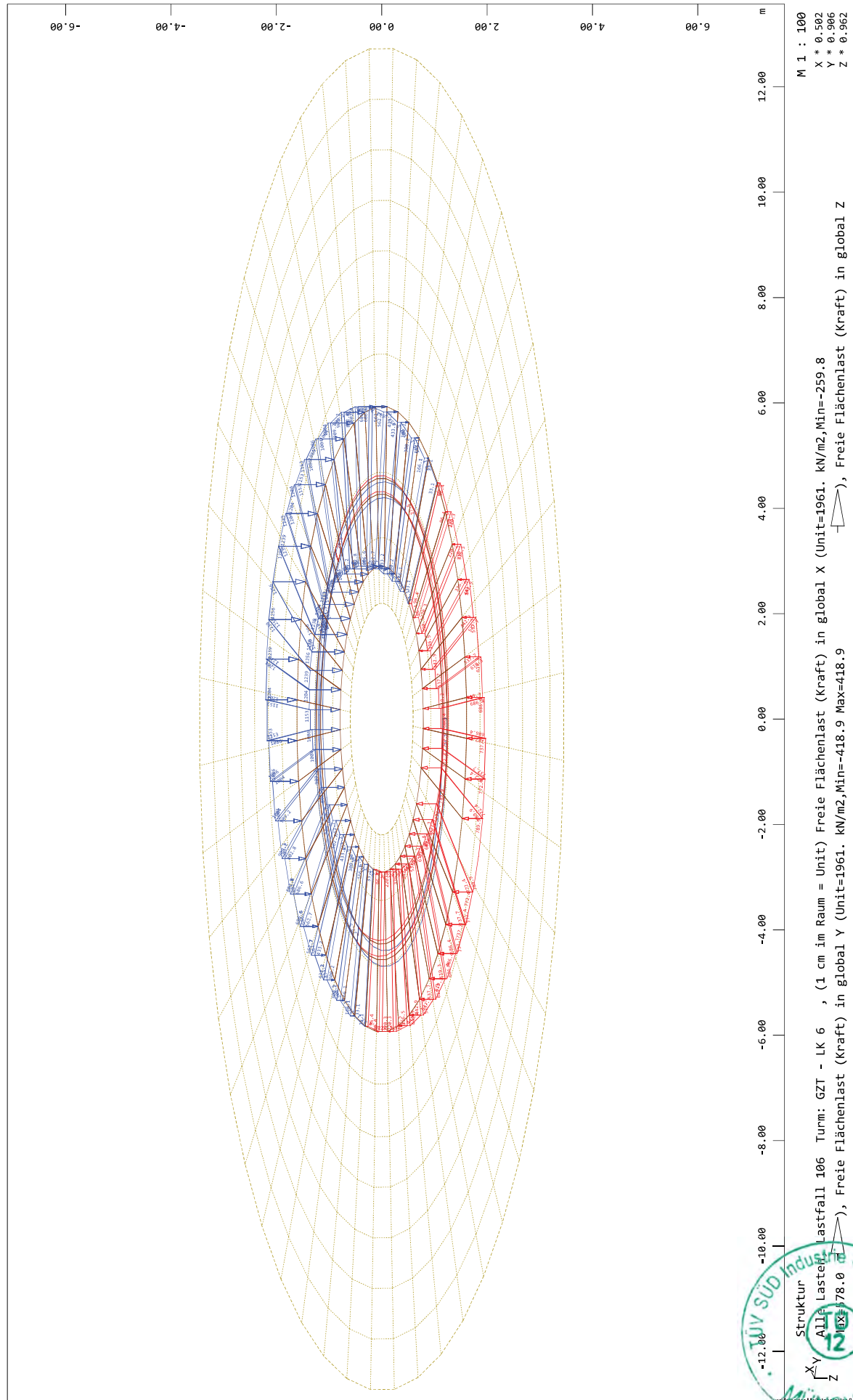
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



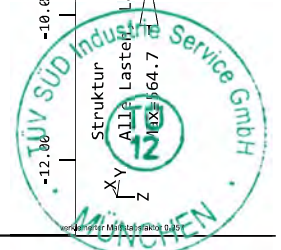
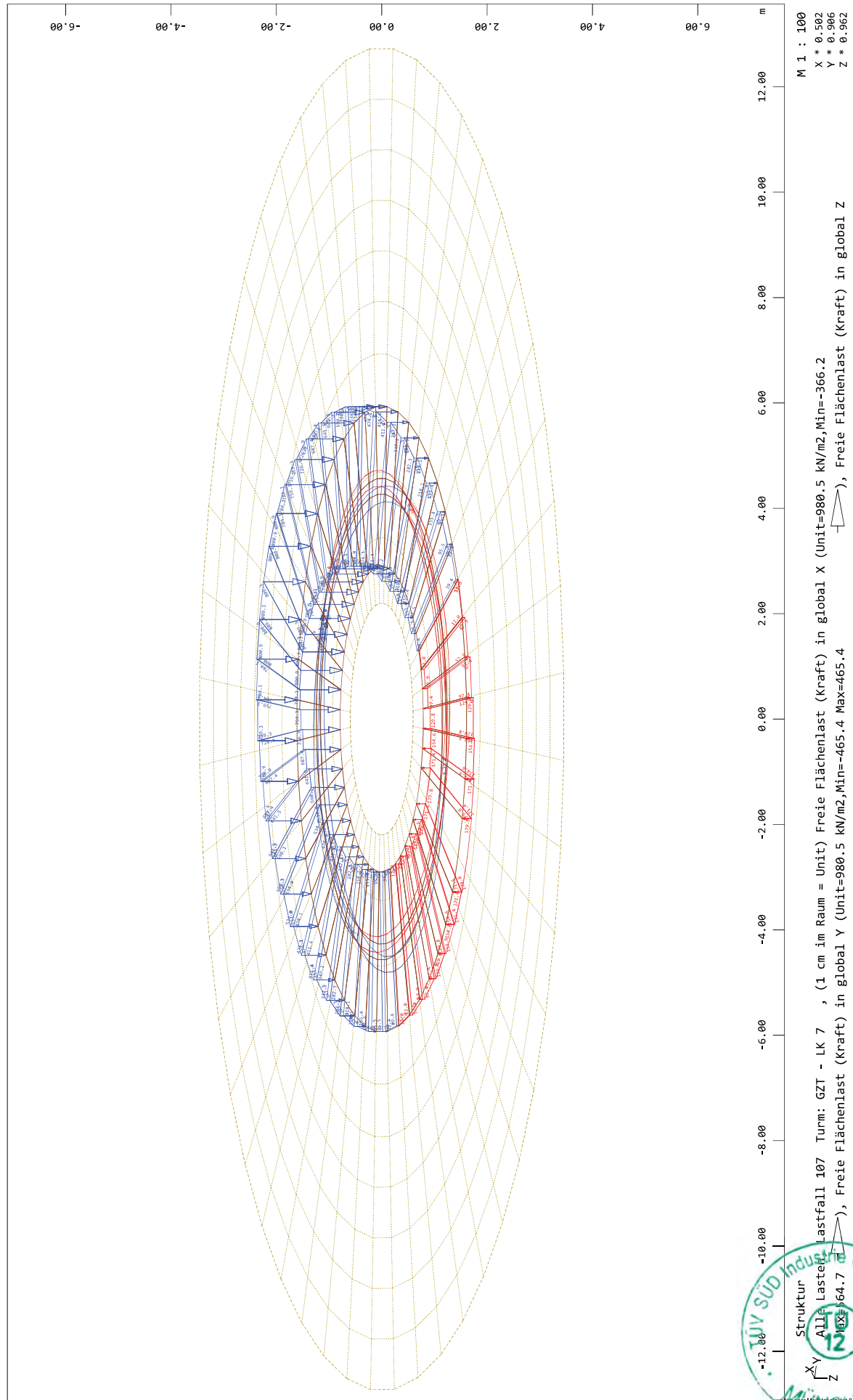
System



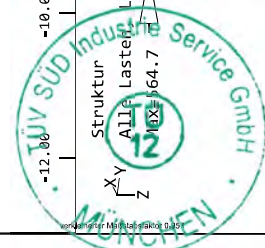
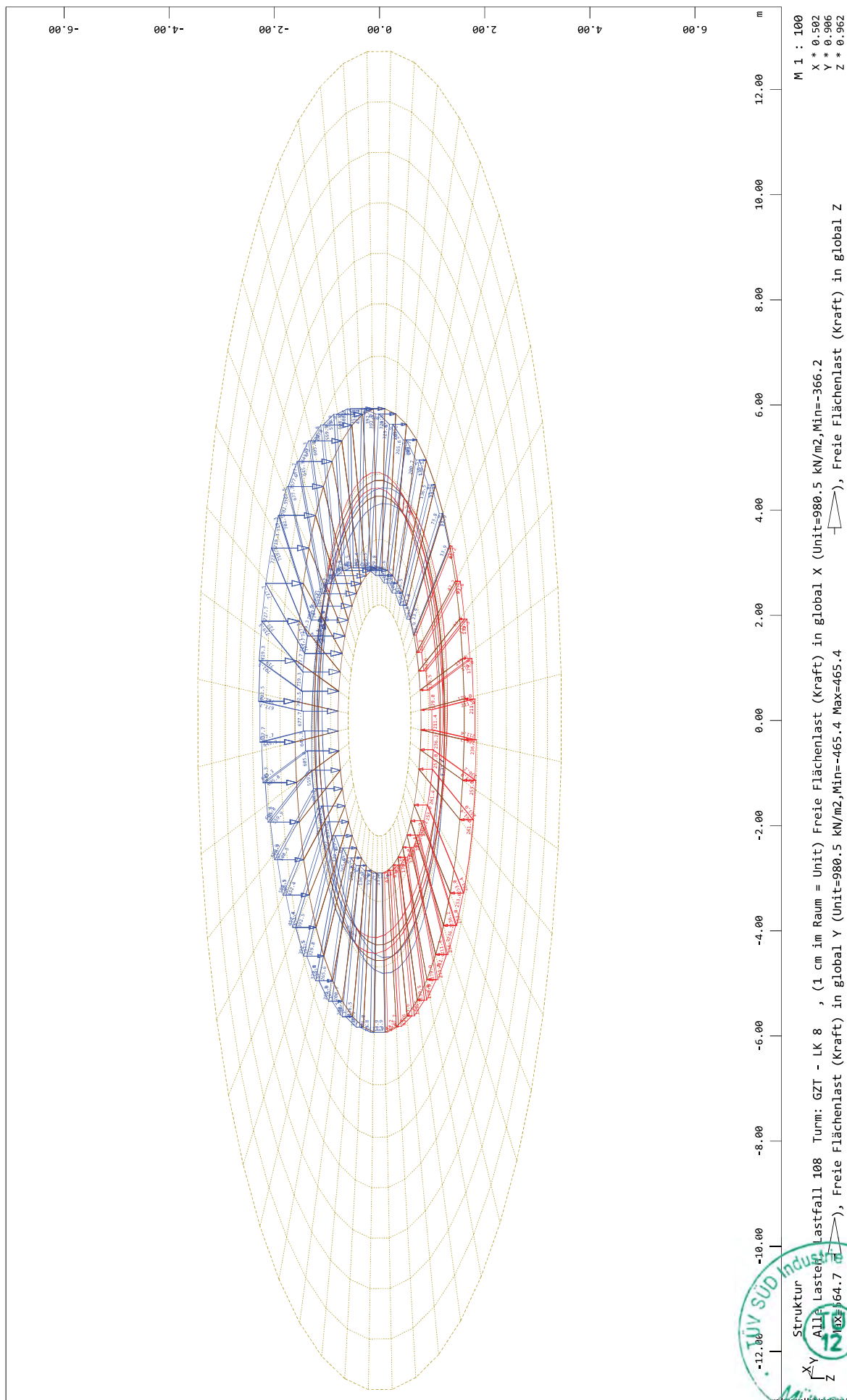
System



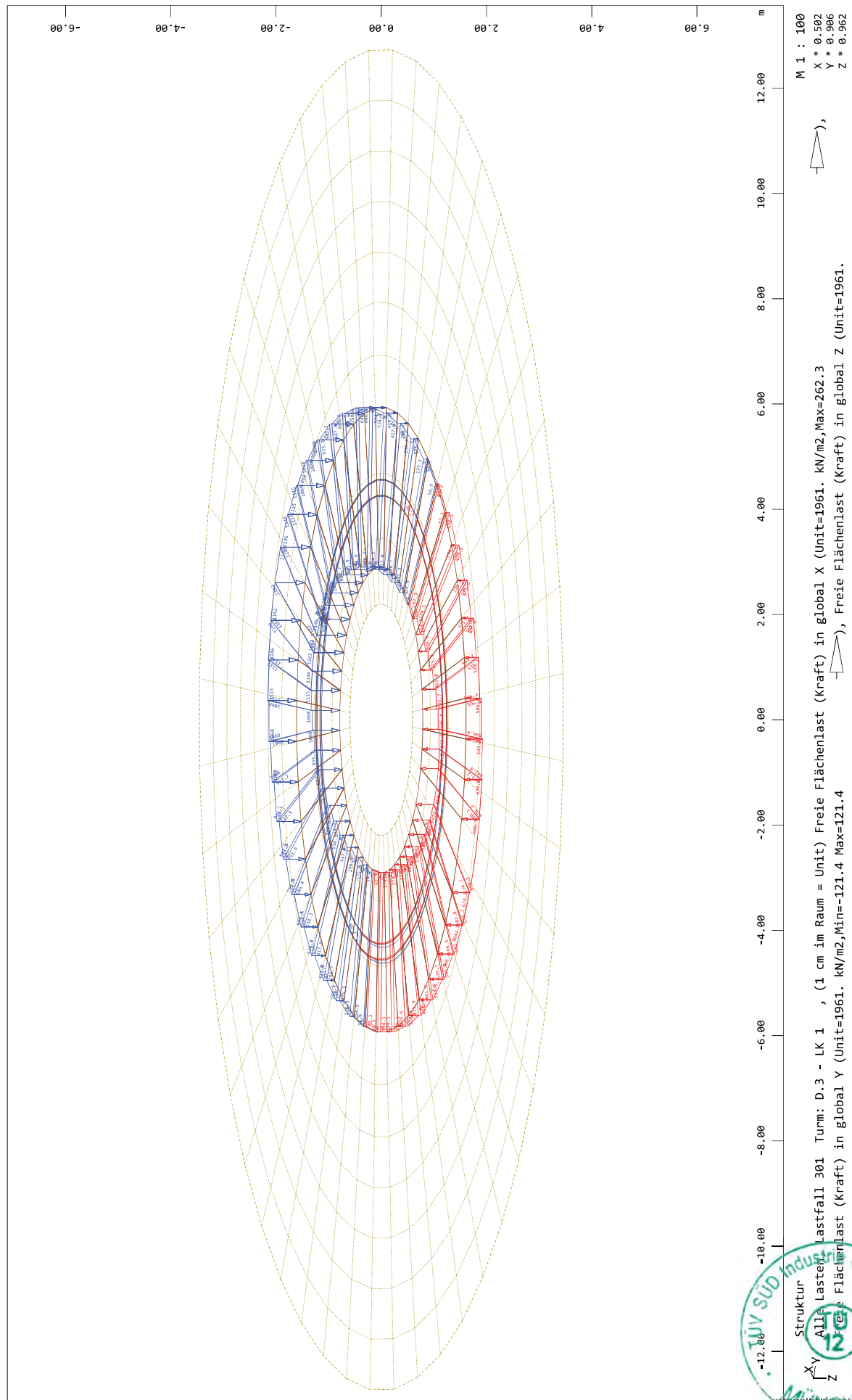
System



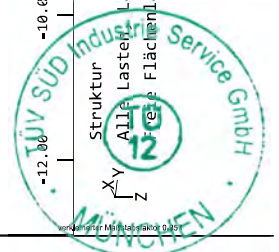
System



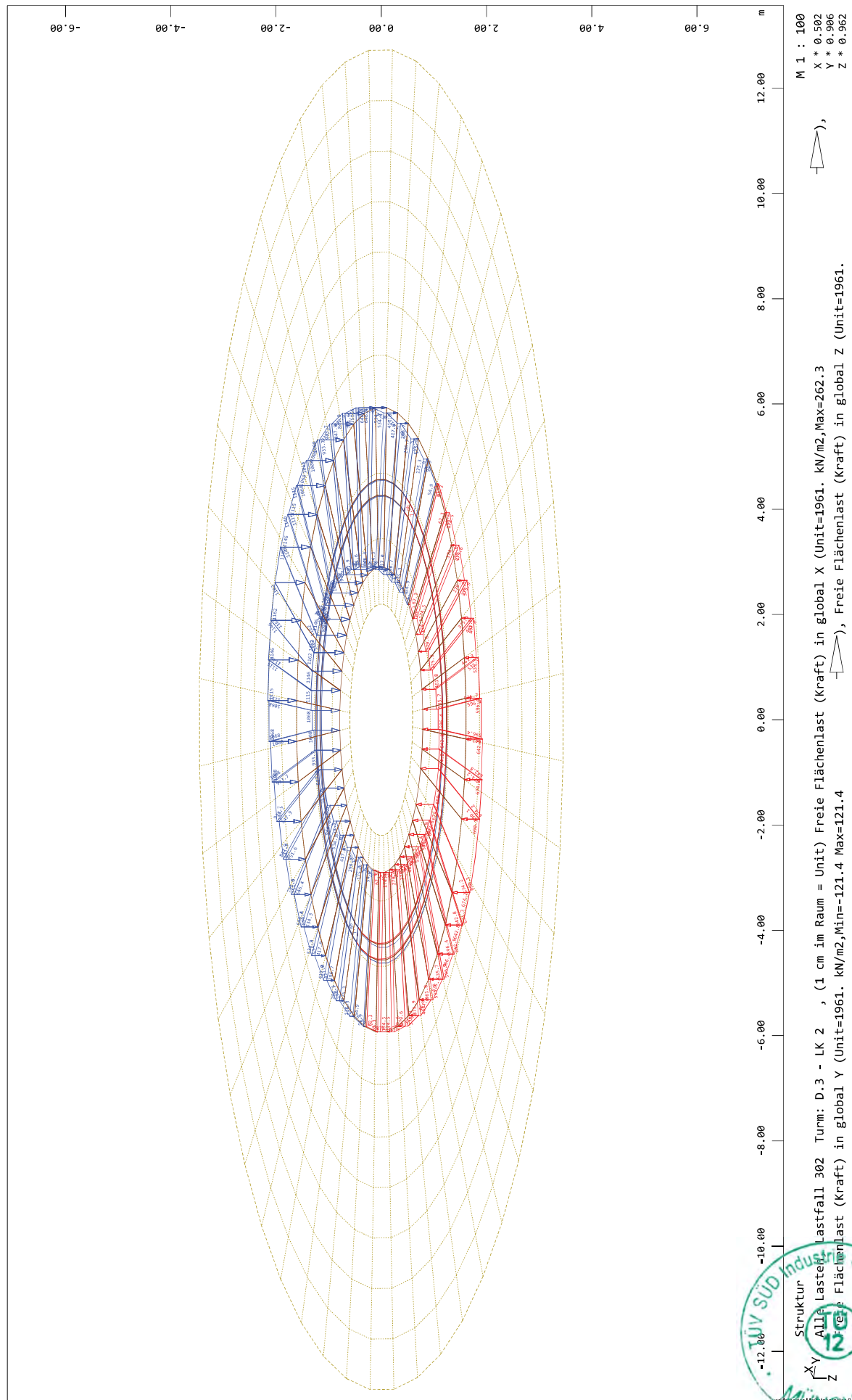
System



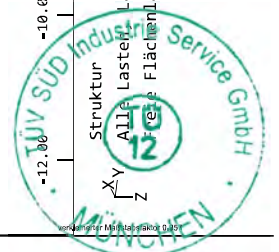
SOFTISTIK AG - www.softistik.de



System



SOFTISTIK AG - www.softistik.de



Verfasser / Author: 			Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybriddturm / Hybrid tower: T22	Datum / Date: 15.07.2022

Anhang C: Schnittgrößen / Annex C: Internal forces

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	Anhang C: Schnittgrößen / Annex C: Internal forces	

Seite/
Page 1

TÜ
12

System

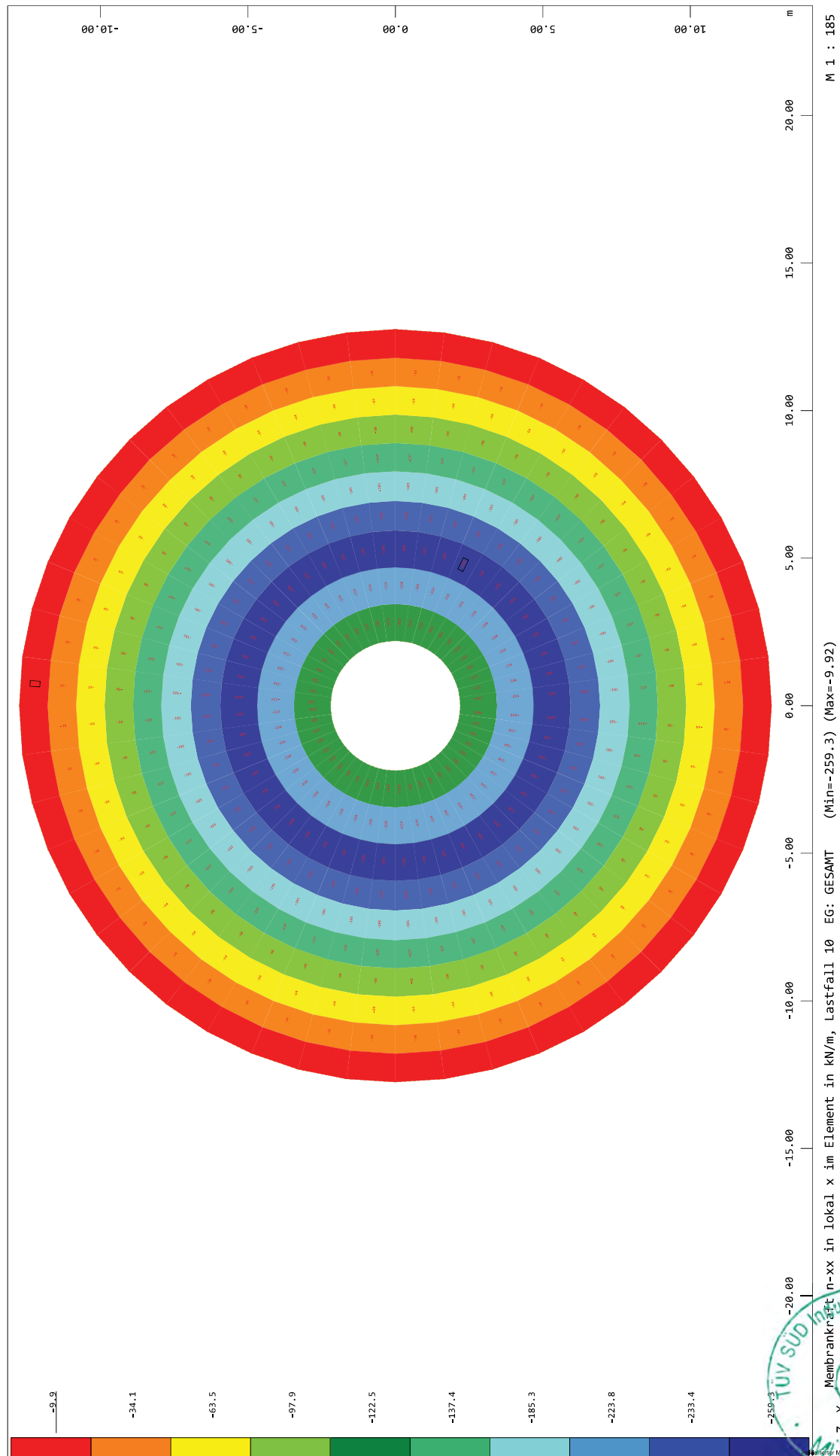
Inhaltsverzeichnis

WINGRAF - GRAFIK FUER FINITE ELEMENTE

Membrankraft n-xx in lokal x LF: 10	2
Membrankraft n-yy in lokal y LF: 10	3
Membranschubkraft n-xy in lokal xy LF: 10	4
Biegemoment m-xx in lokal x LF: 10	5
Biegemoment m-yy in lokal y LF: 10	6
Drillmoment m-xy in lokal xy LF: 10	7
Querkraft v-x in lokal x LF: 10	8
Querkraft v-y in lokal y LF: 10	9
Membrankraft n-xx in lokal x LF: 1001	10
Membrankraft n-yy in lokal y LF: 1001	11
Membranschubkraft n-xy in lokal xy LF: 1001	12
Biegemoment m-xx in lokal x LF: 1001	13
Biegemoment m-yy in lokal y LF: 1001	14
Drillmoment m-xy in lokal xy LF: 1001	15
Querkraft v-x in lokal x LF: 1001	16
Querkraft v-y in lokal y LF: 1001	17
Membrankraft n-xx in lokal x LF: 3001	18
Membrankraft n-yy in lokal y LF: 3001	19
Membranschubkraft n-xy in lokal xy LF: 3001	20
Biegemoment m-xx in lokal x LF: 3001	21
Biegemoment m-yy in lokal y LF: 3001	22
Drillmoment m-xy in lokal xy LF: 3001	23
Querkraft v-x in lokal x LF: 3001	24
Querkraft v-y in lokal y LF: 3001	25
Membrankraft n-xx in lokal x LF: 10009	26
Membrankraft n-yy in lokal y LF: 10009	27
Membranschubkraft n-xy in lokal xy LF: 10009	28
Biegemoment m-xx in lokal x LF: 10009	29
Biegemoment m-yy in lokal y LF: 10009	30
Drillmoment m-xy in lokal xy LF: 10009	31
Querkraft v-x in lokal x LF: 10009	32
Querkraft v-y in lokal y LF: 10009	33
Membrankraft n-xx in lokal x LF: 30009	34
Membrankraft n-yy in lokal y LF: 30009	35
Membranschubkraft n-xy in lokal xy LF: 30009	36
Biegemoment m-xx in lokal x LF: 30009	37
Biegemoment m-yy in lokal y LF: 30009	38
Drillmoment m-xy in lokal xy LF: 30009	39
Querkraft v-x in lokal x LF: 30009	40
Querkraft v-y in lokal y LF: 30009	41
Maximale Bemessungsquerkraft VED BF: 21	42

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

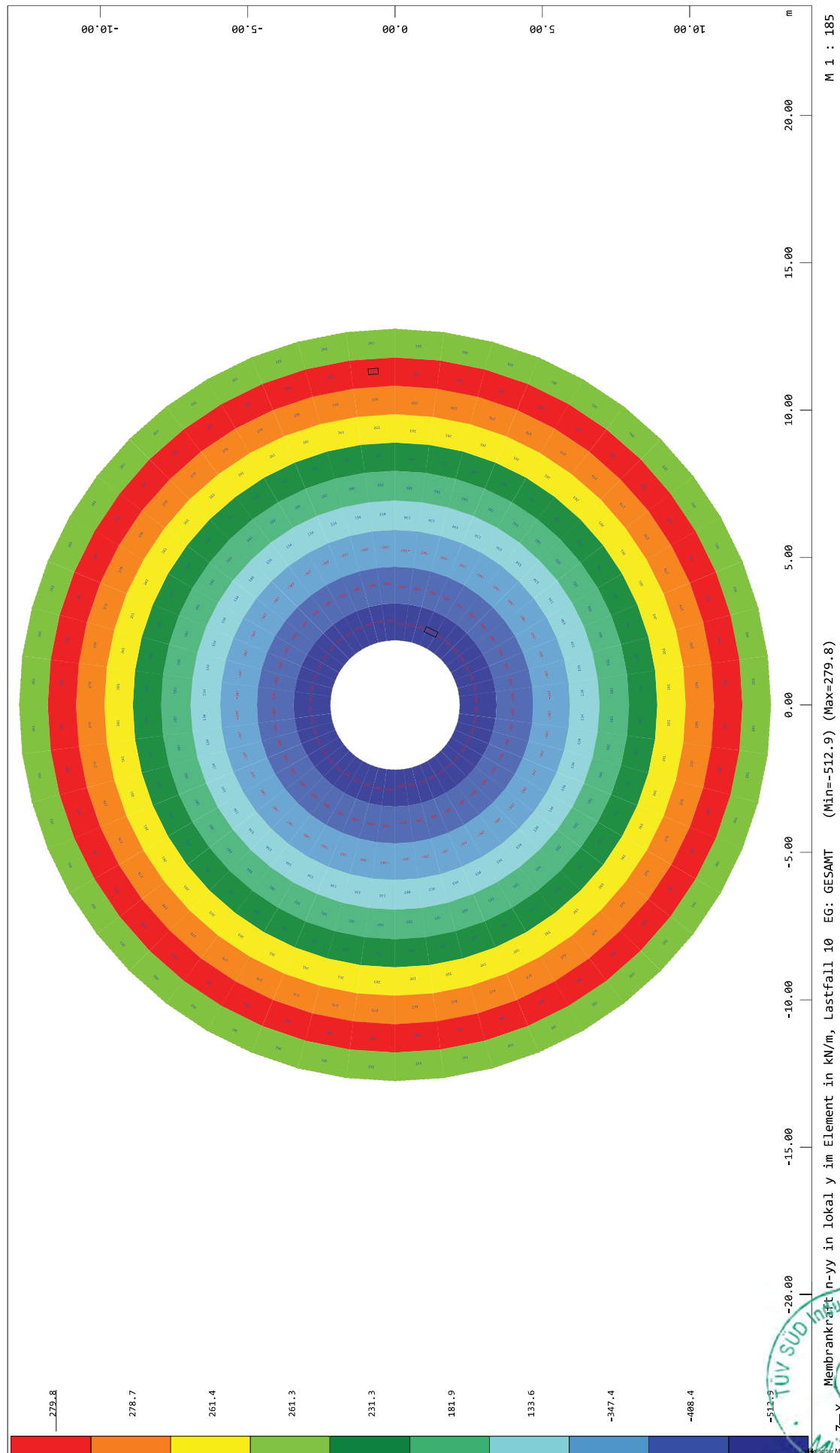


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

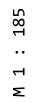


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



SOFISTIK AG - www.sofistik.de



○ in kN/m, Lastfall 10 EG: GESAMT (Min=-5.4061e-05) (Max= 4.6265e-05)

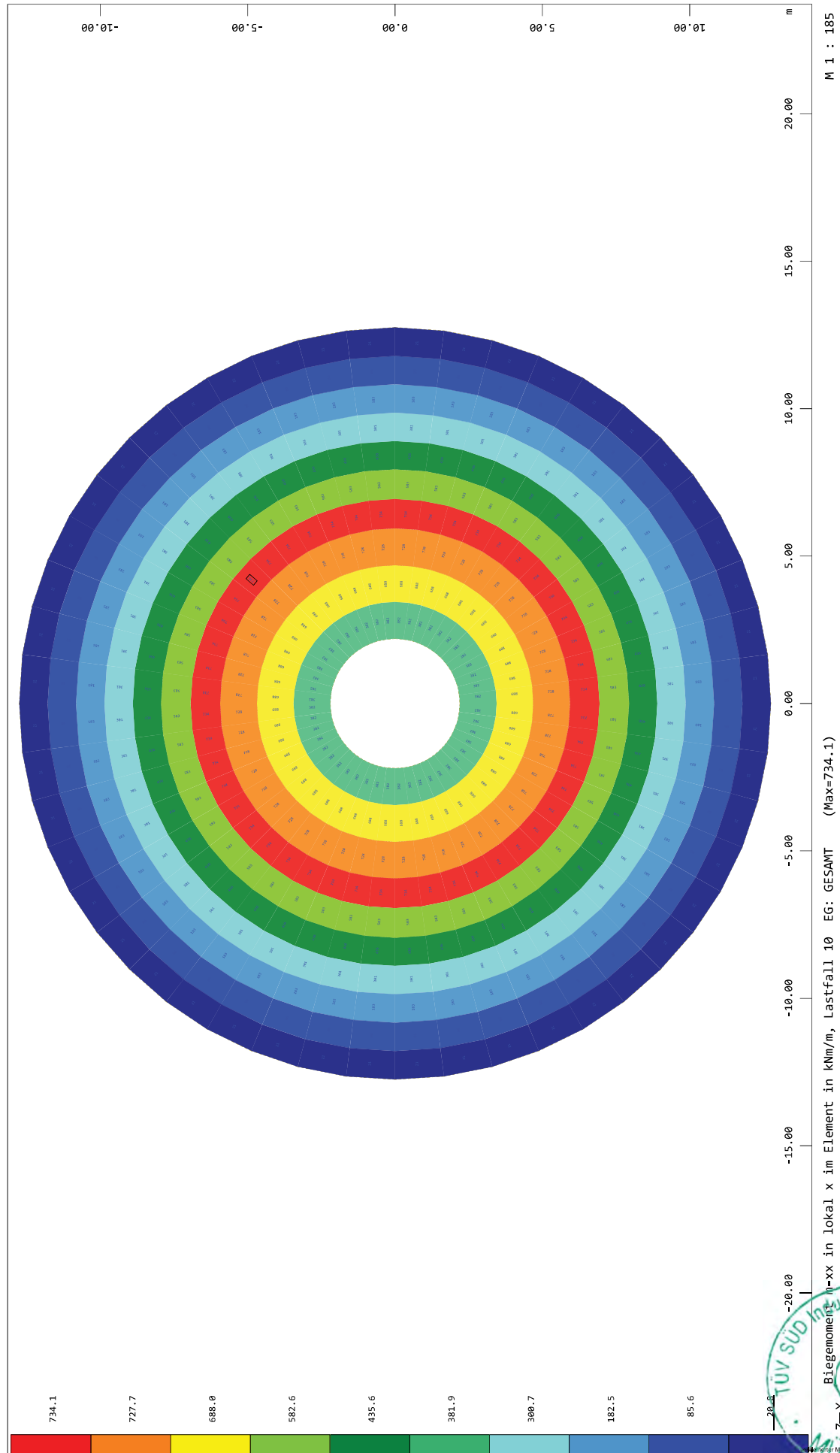
Membranschubkraft n -xy in lokal xy im Element

Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH = 169 m

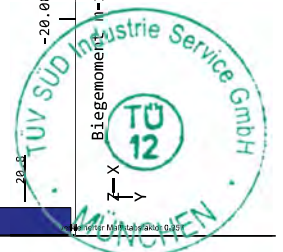


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

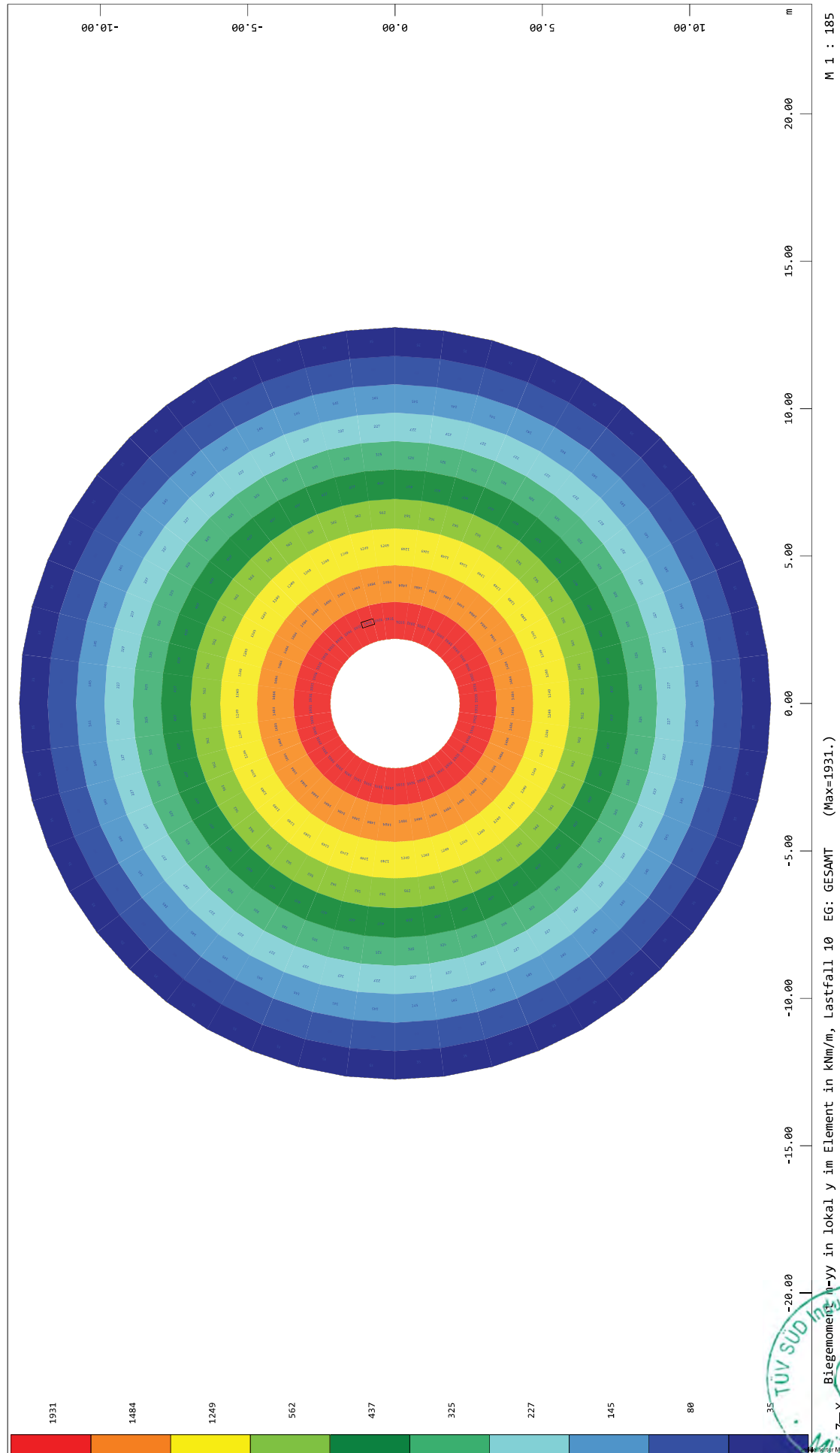


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m



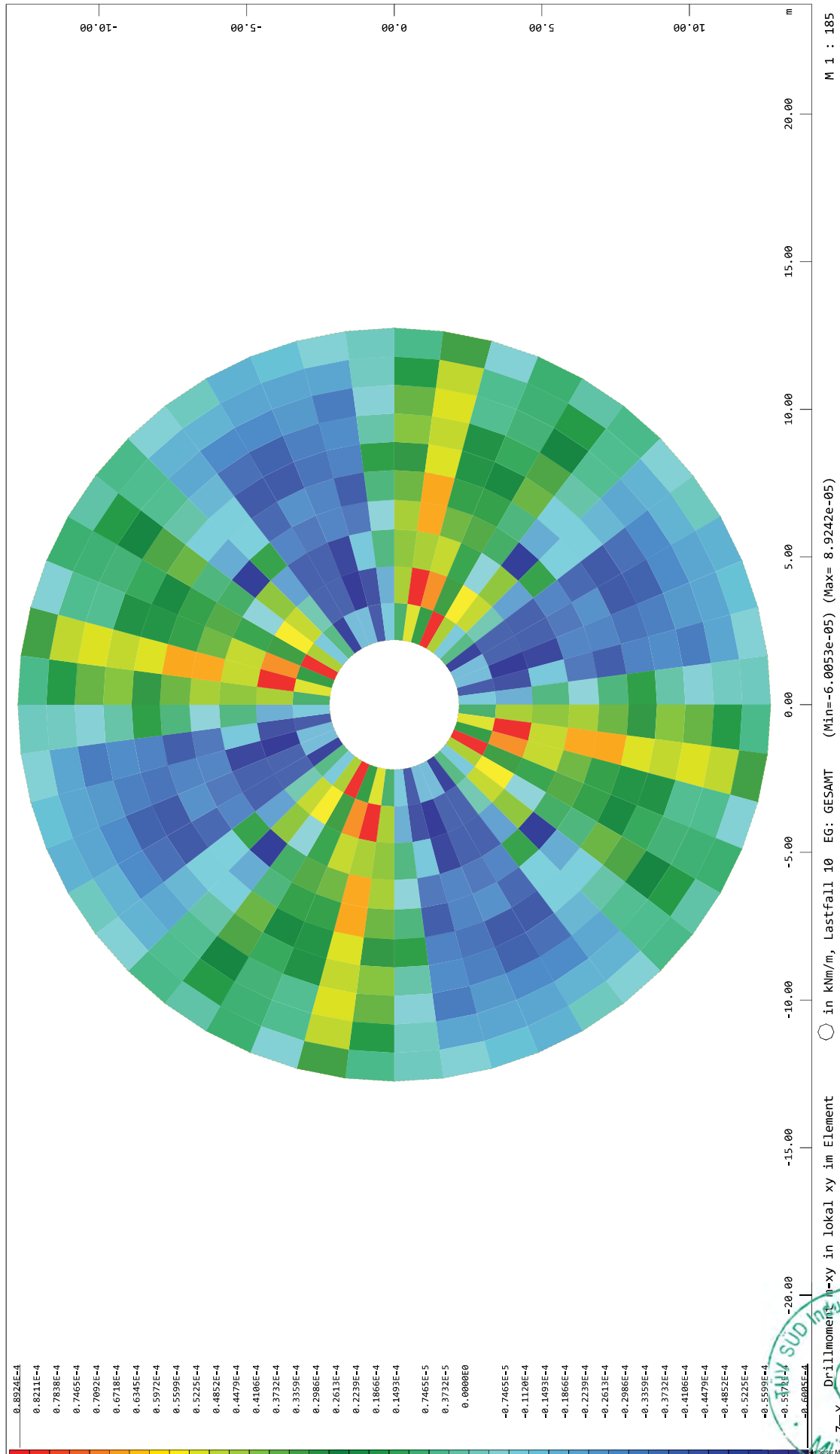
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

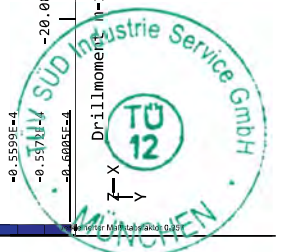


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

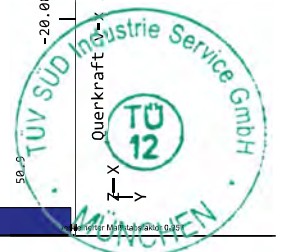
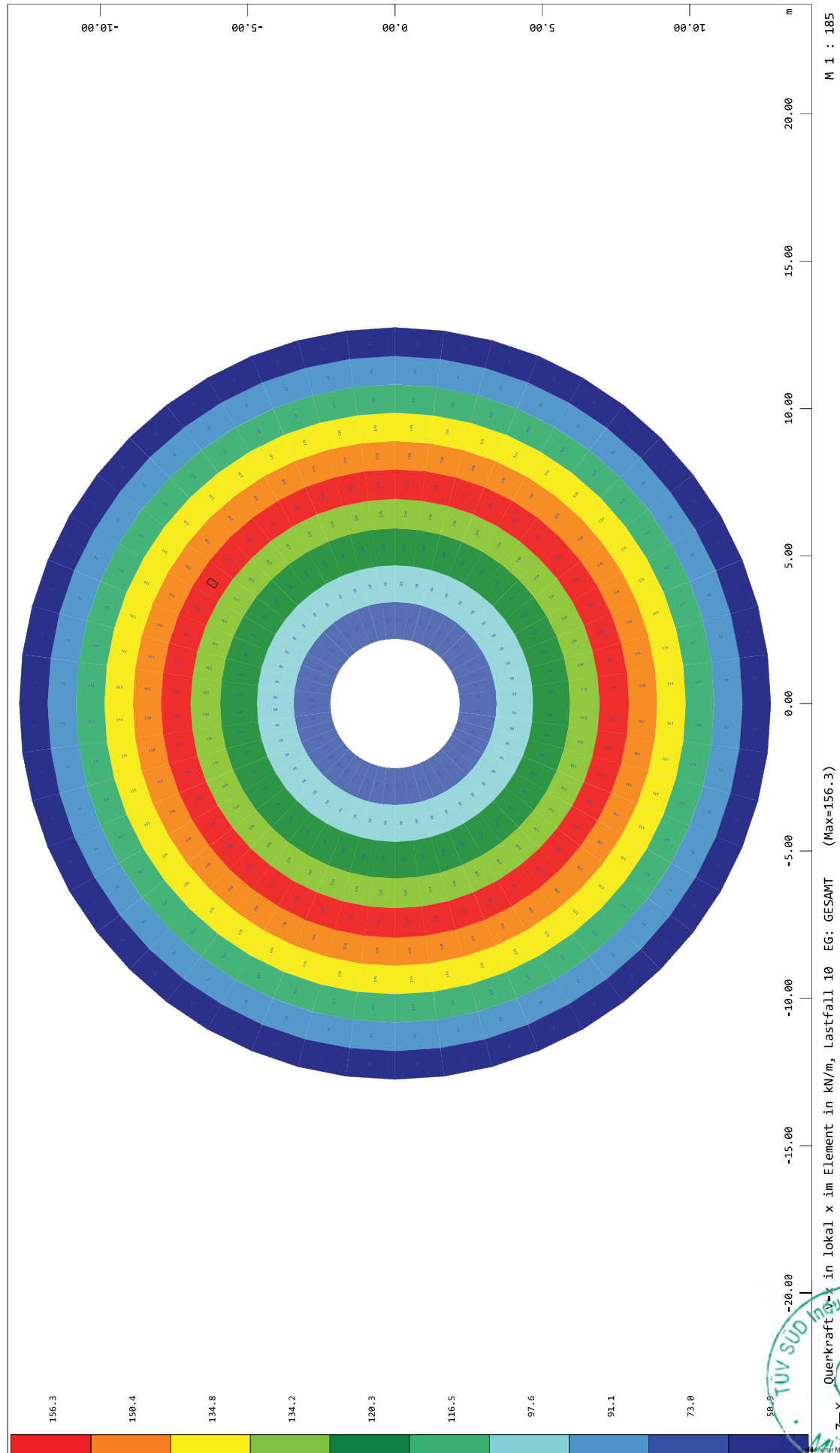


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m



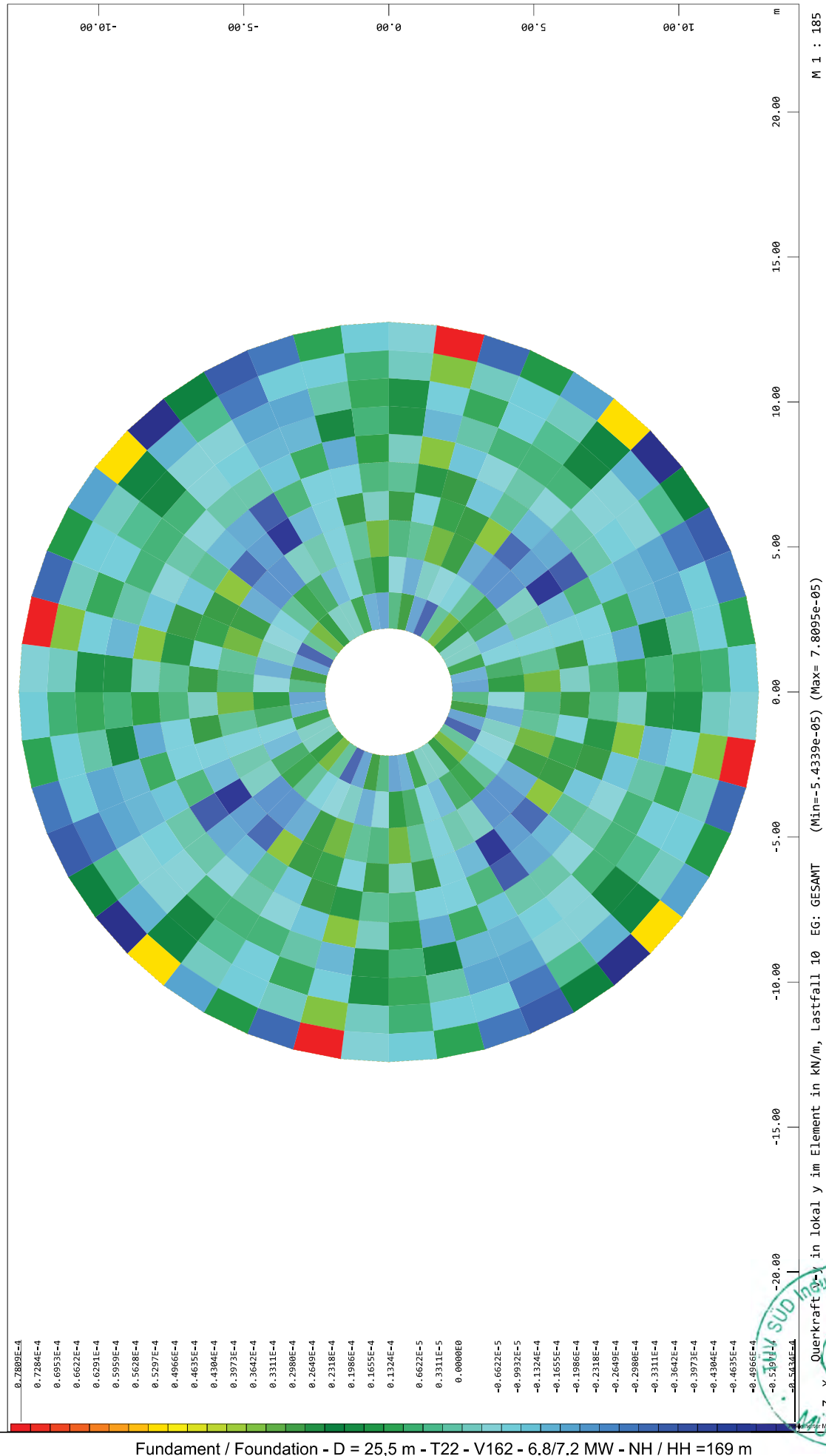
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

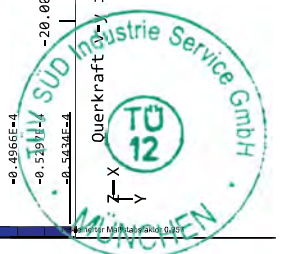


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

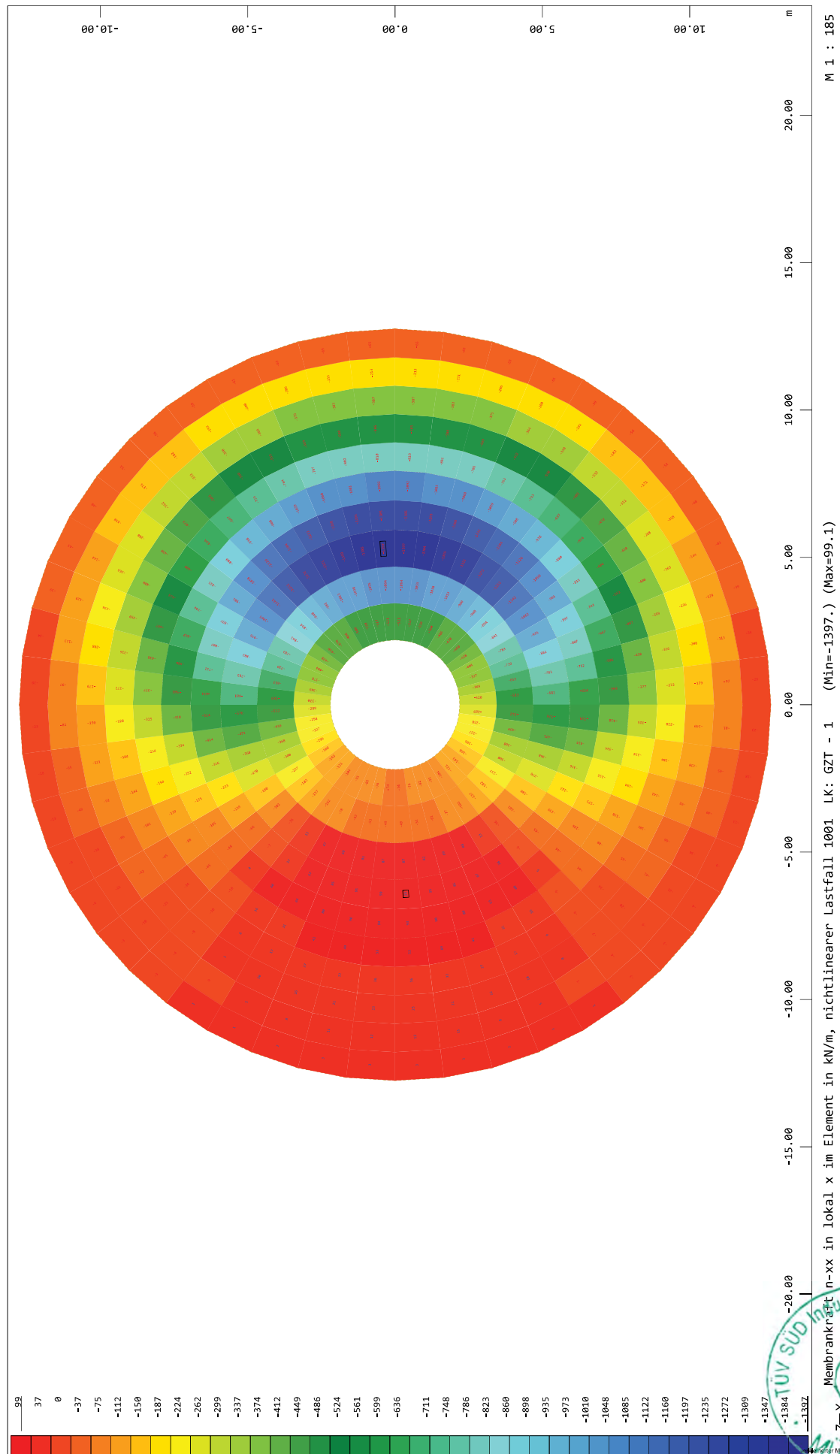


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

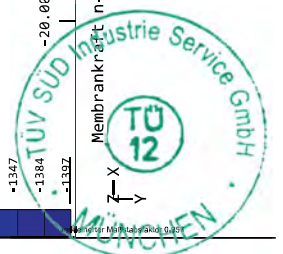


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

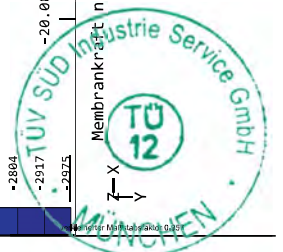
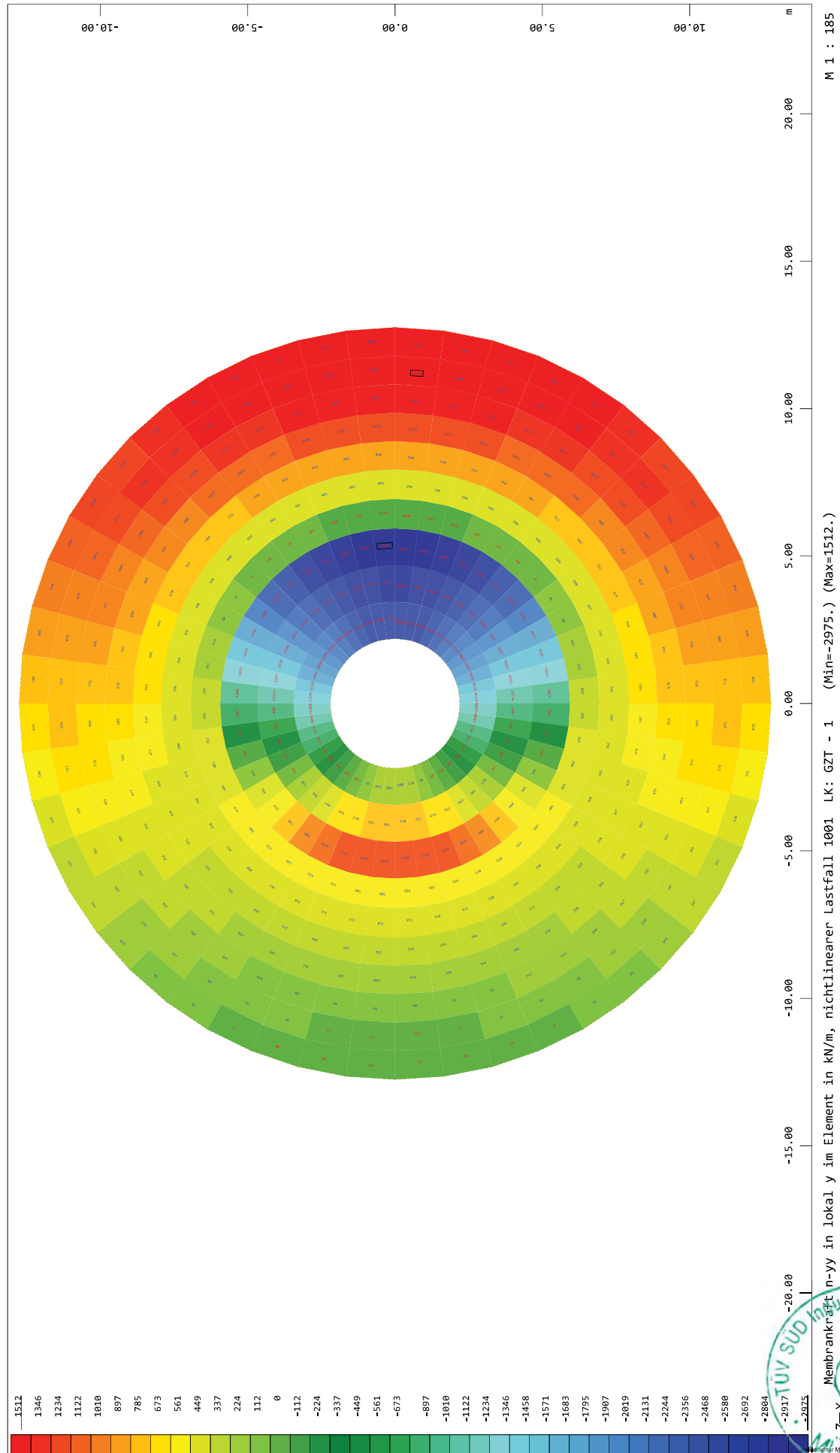


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m



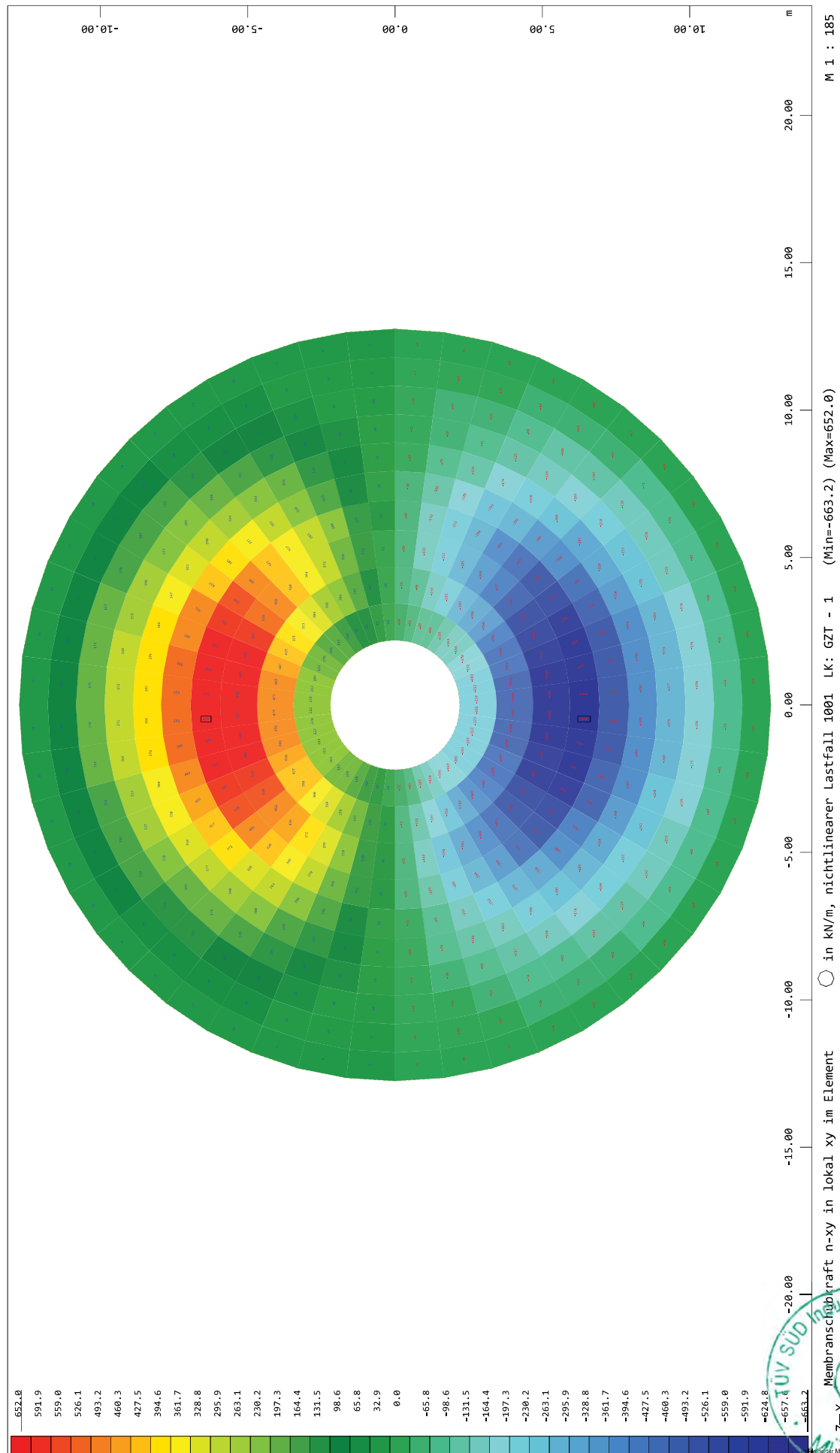
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

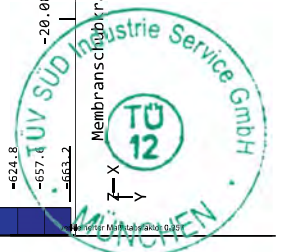


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

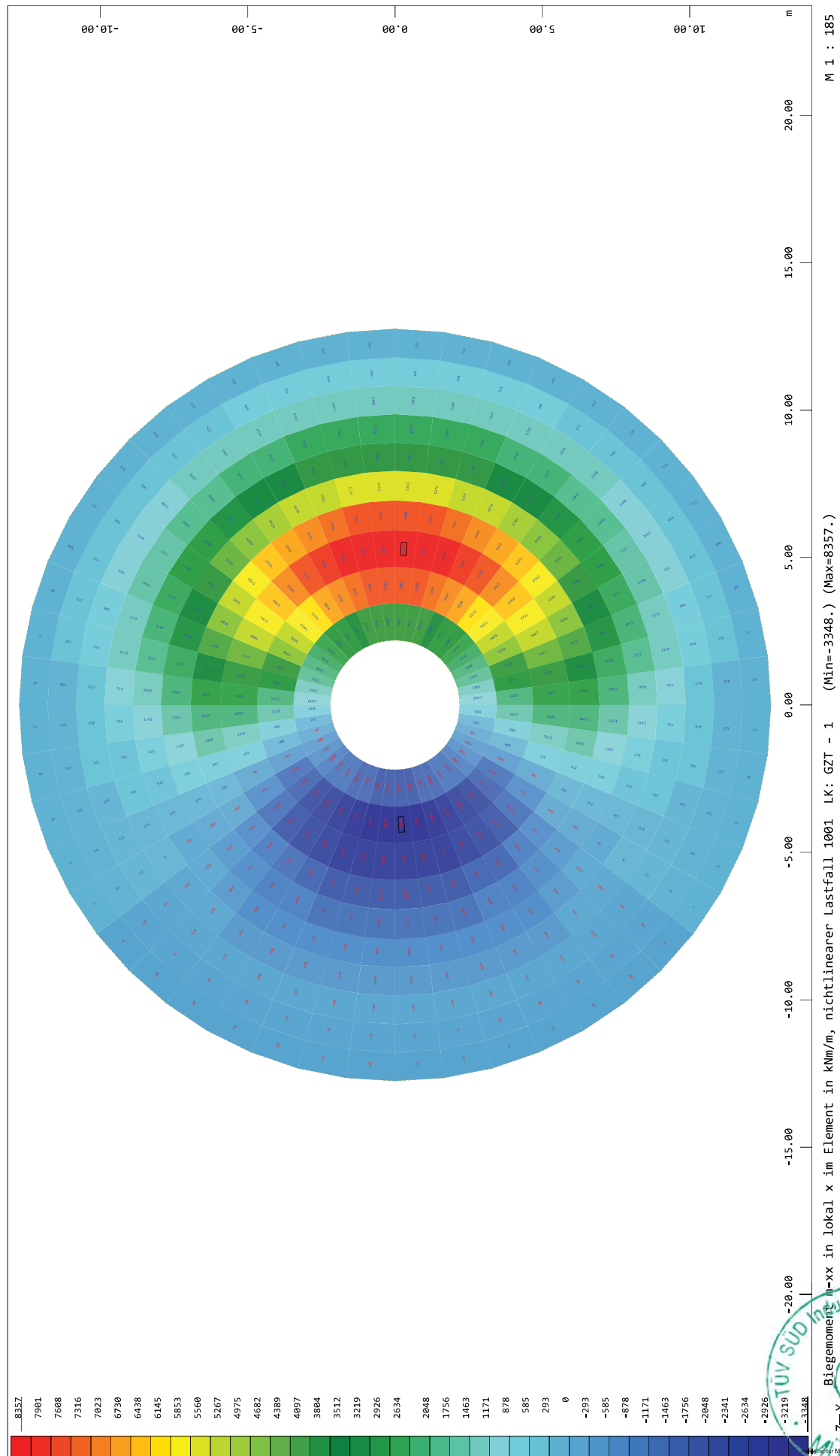


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

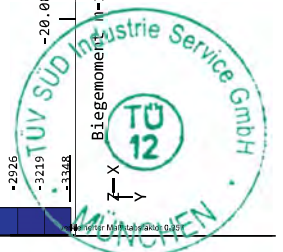


System

SOFiSTiK AG - www.sofistik.de

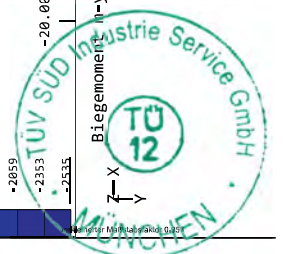
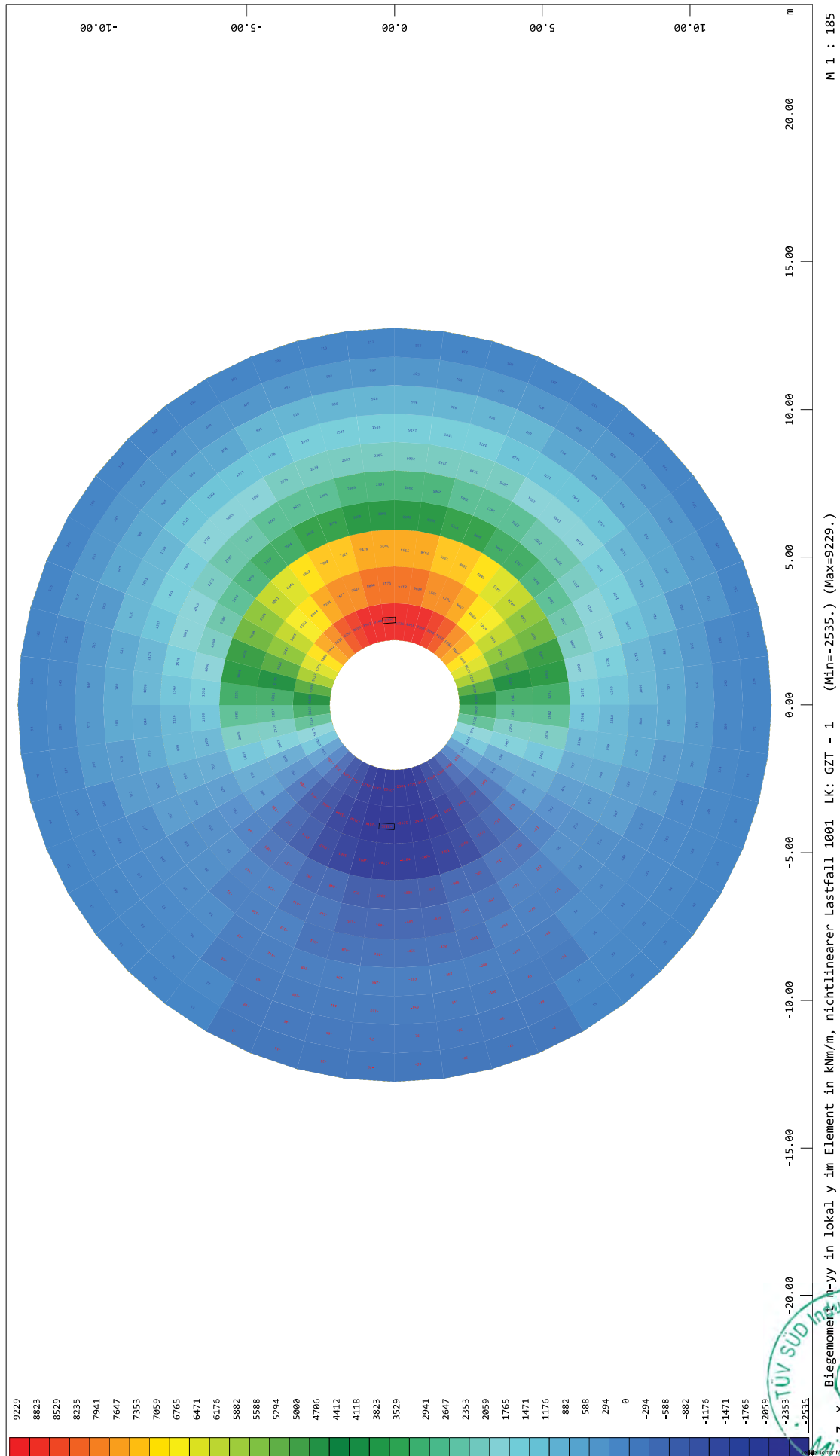


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m



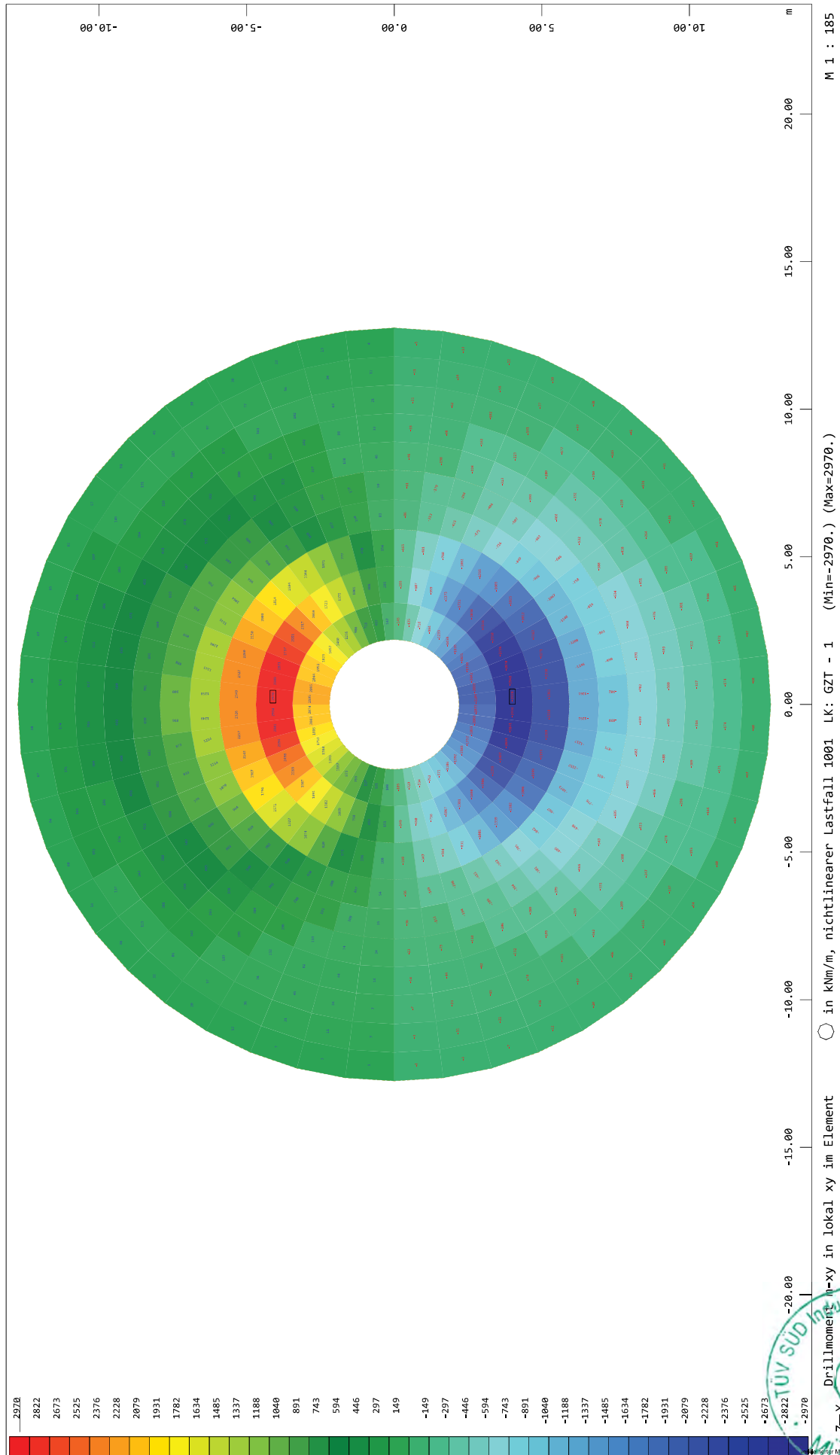
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

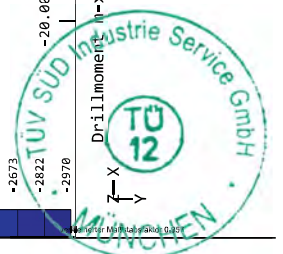


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

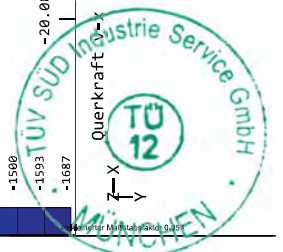
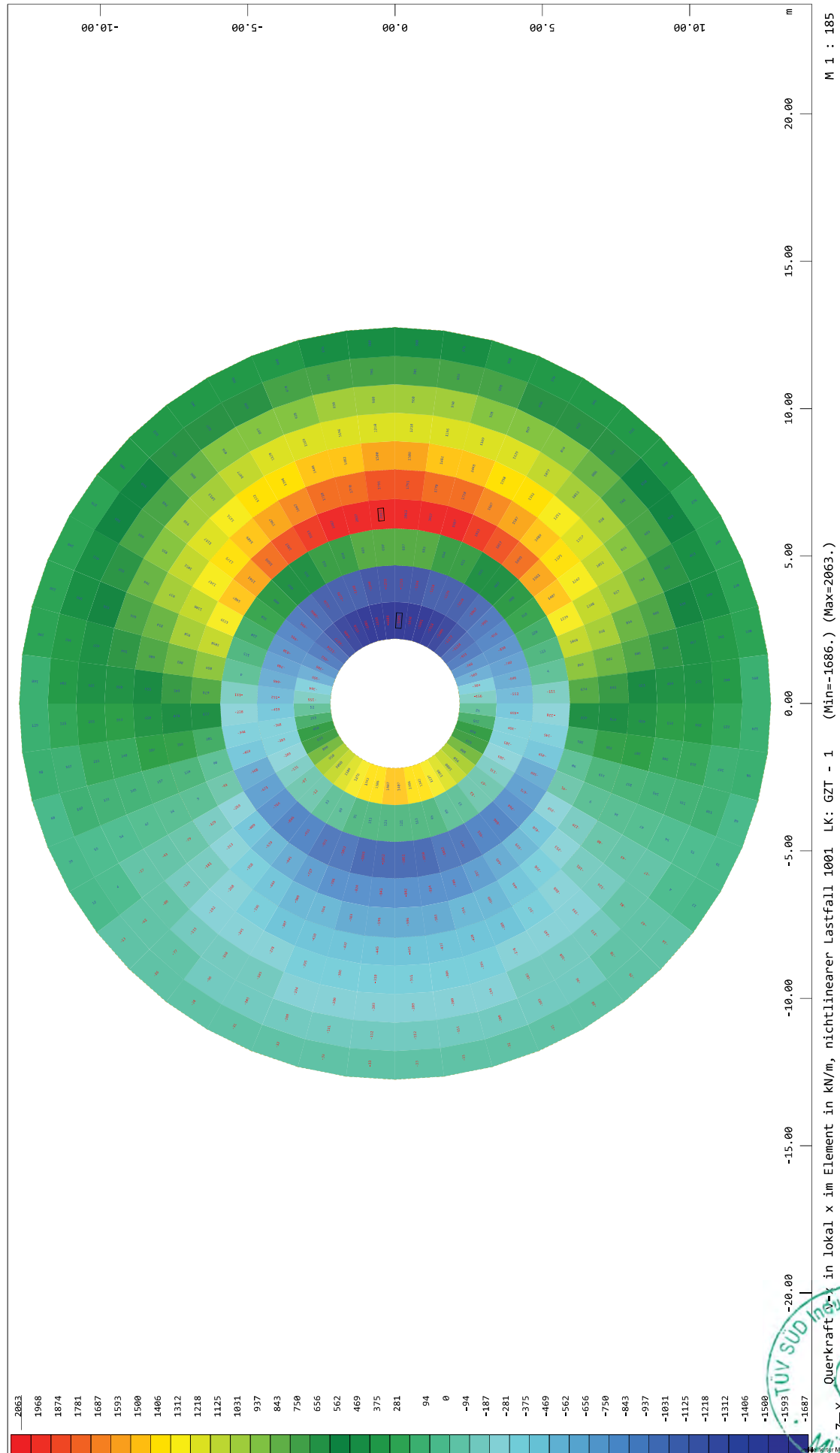


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m



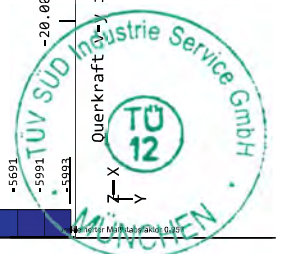
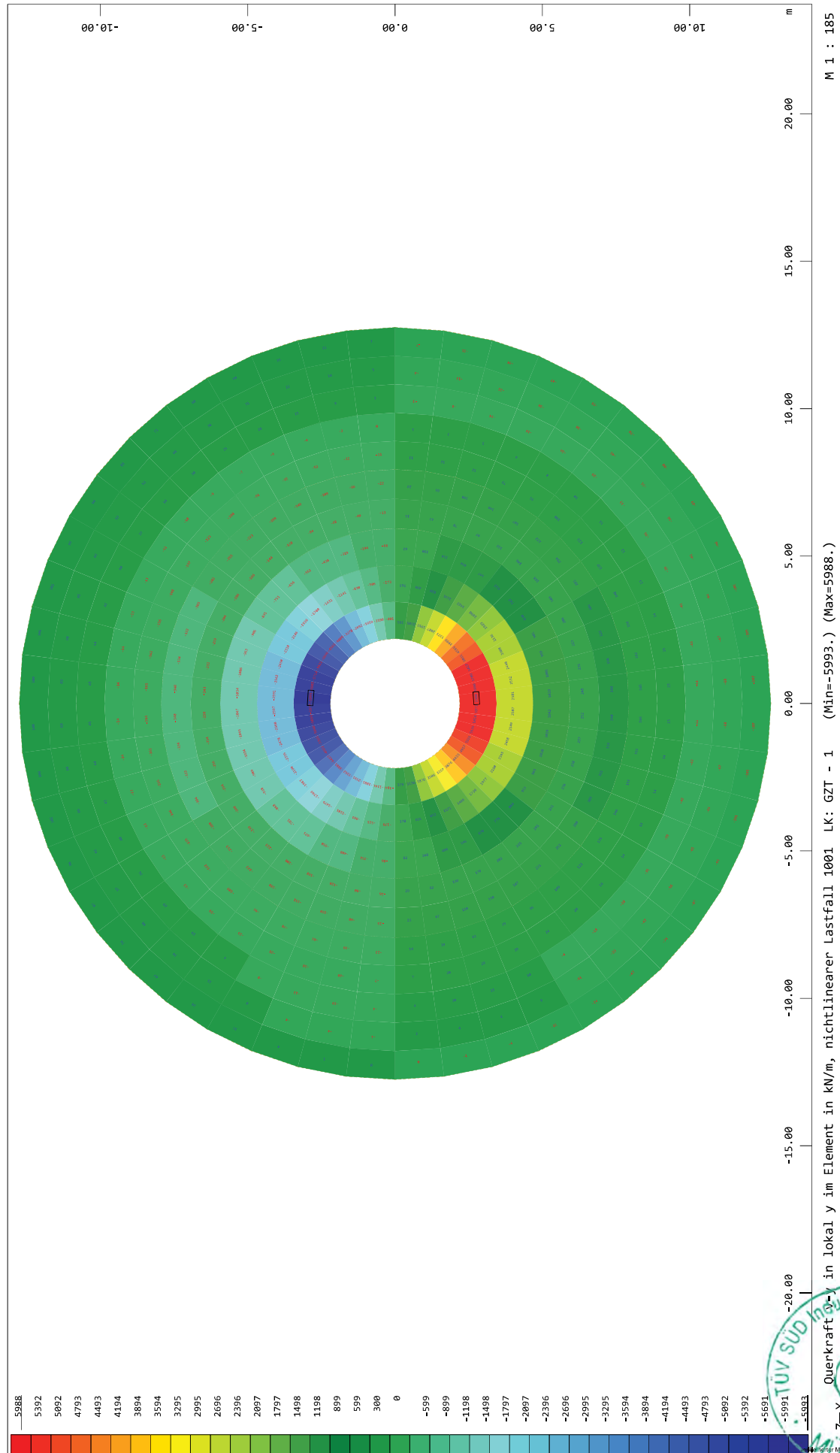
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



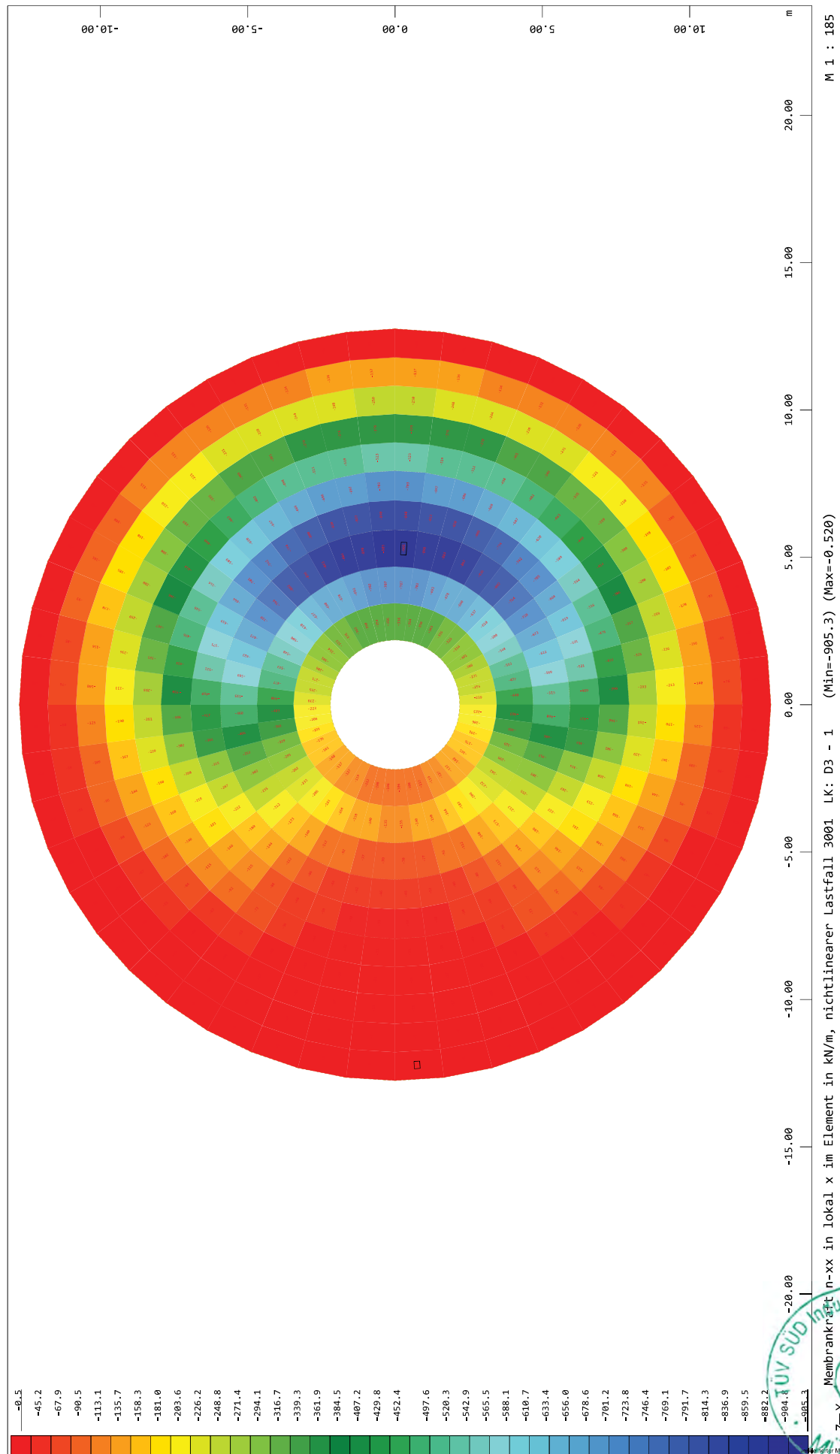
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



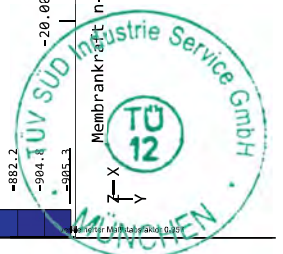
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



M 1 : 185

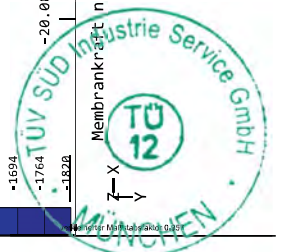
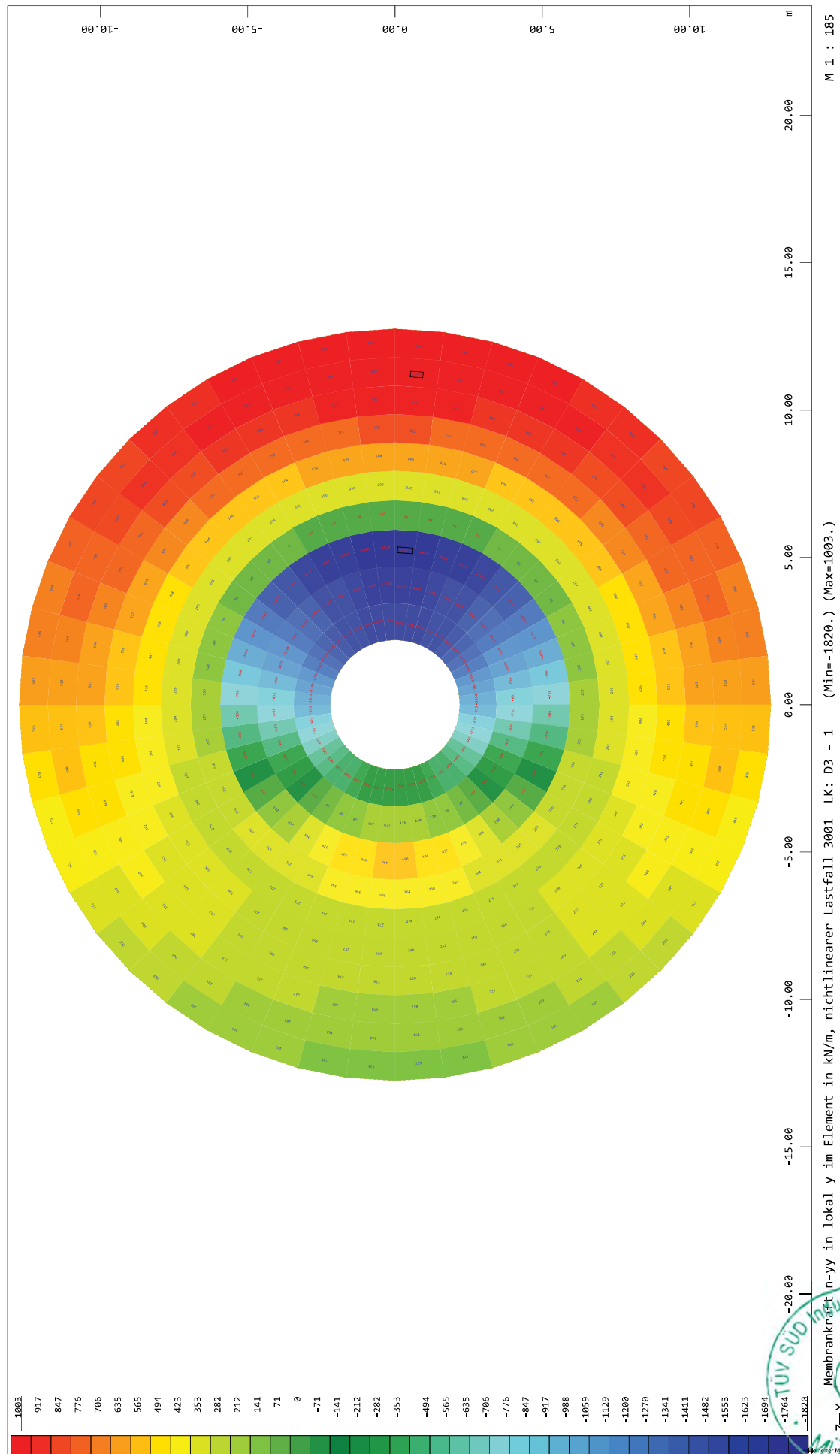
Membrankraft n-xx in lokal x im Element in kN/m, nichtlinearer Lastfall 3001 LK: D3 - 1 (Min=-905.3) (Max=905.3)



Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

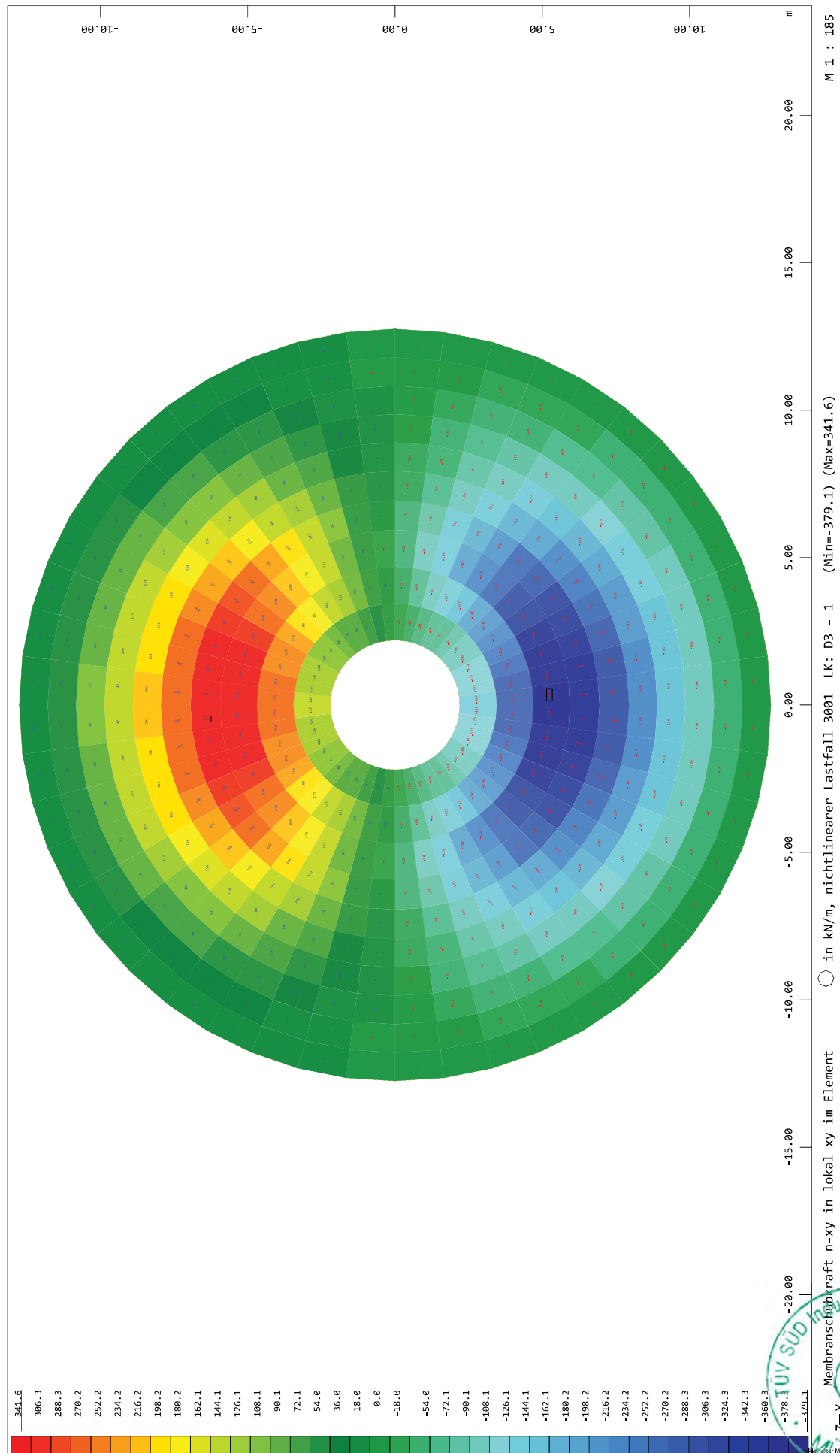
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



System

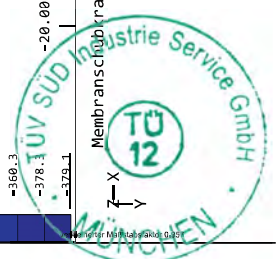
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



M 1 : 185

○ in kN/m, nichtlinearer Lastfall 3001 LK: D3 - 1 (Min=-379.1) (Max=341.6)

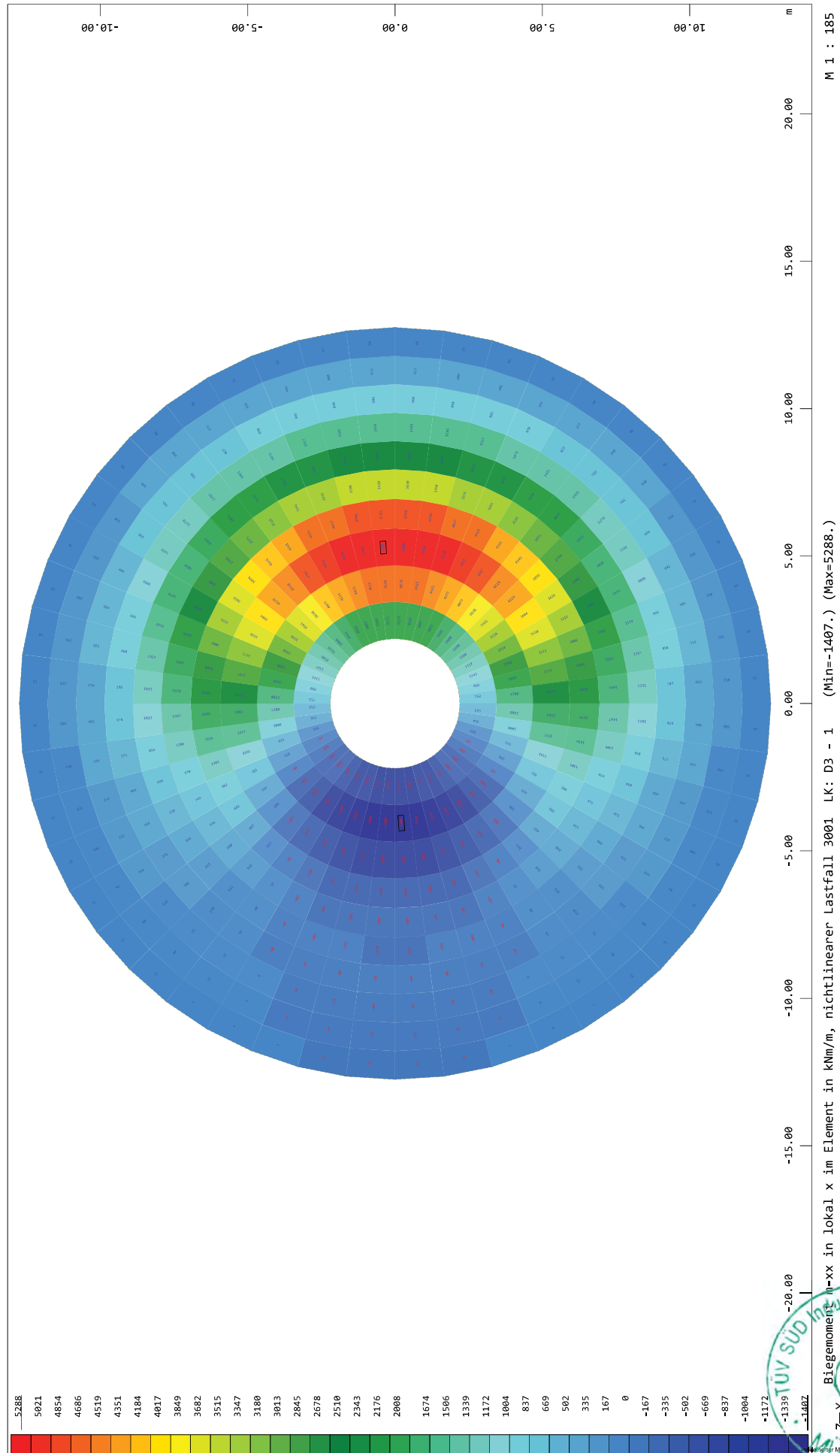
○ in kN/m, nichtlinearer Lastfall 3001 LK: D3 - 1 (Min=-379.1) (Max=341.6)



Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH = 169 m

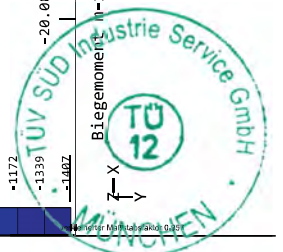
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Biegemoment m_{xx} in lokal x im Element in kNm/m, nichtlinearer Lastfall 3001 LK: D3 - 1 (Min=-1407.) (Max=5288.)

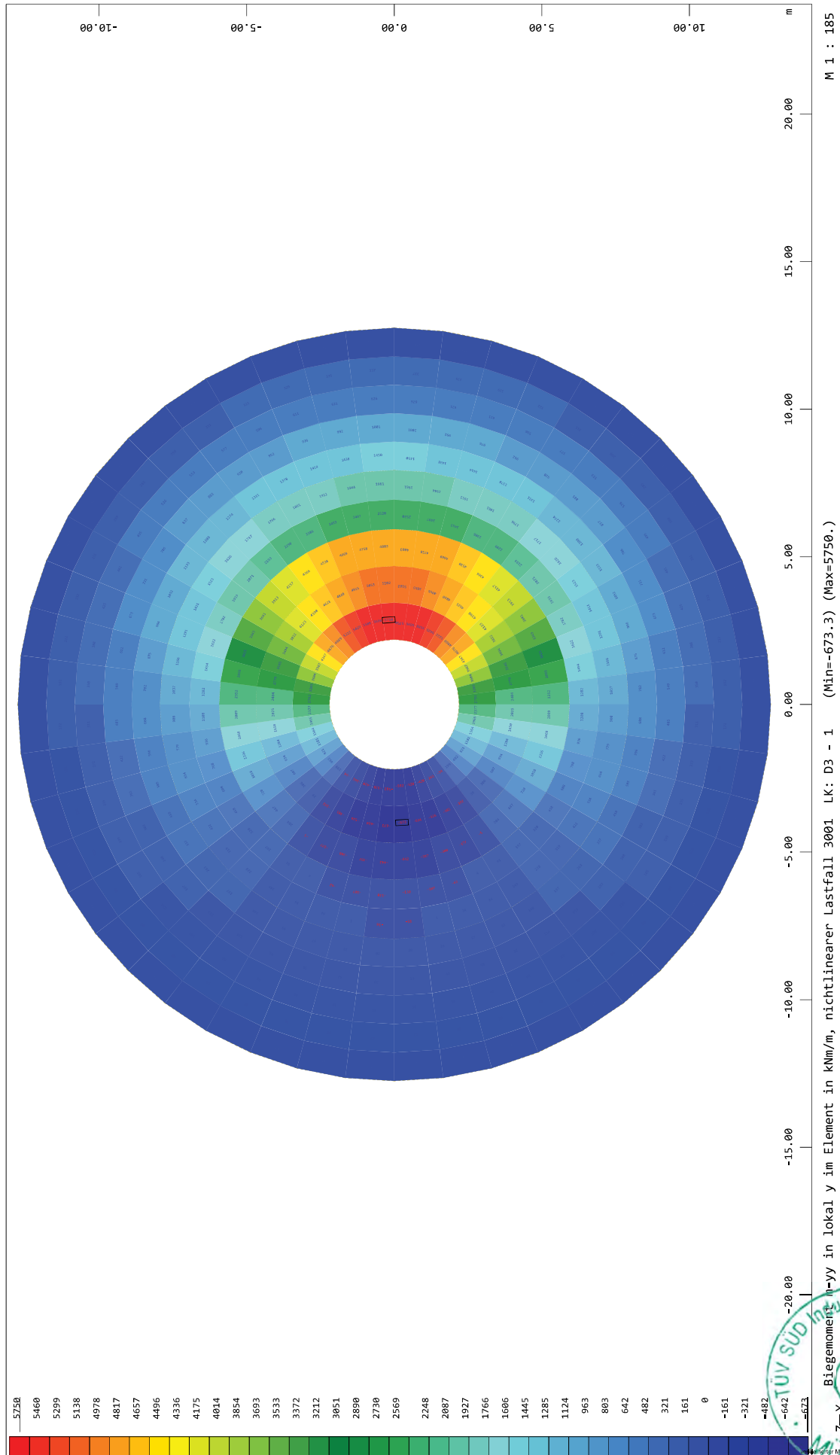
M 1 : 185



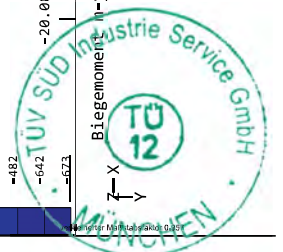
Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

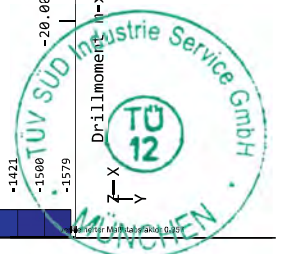
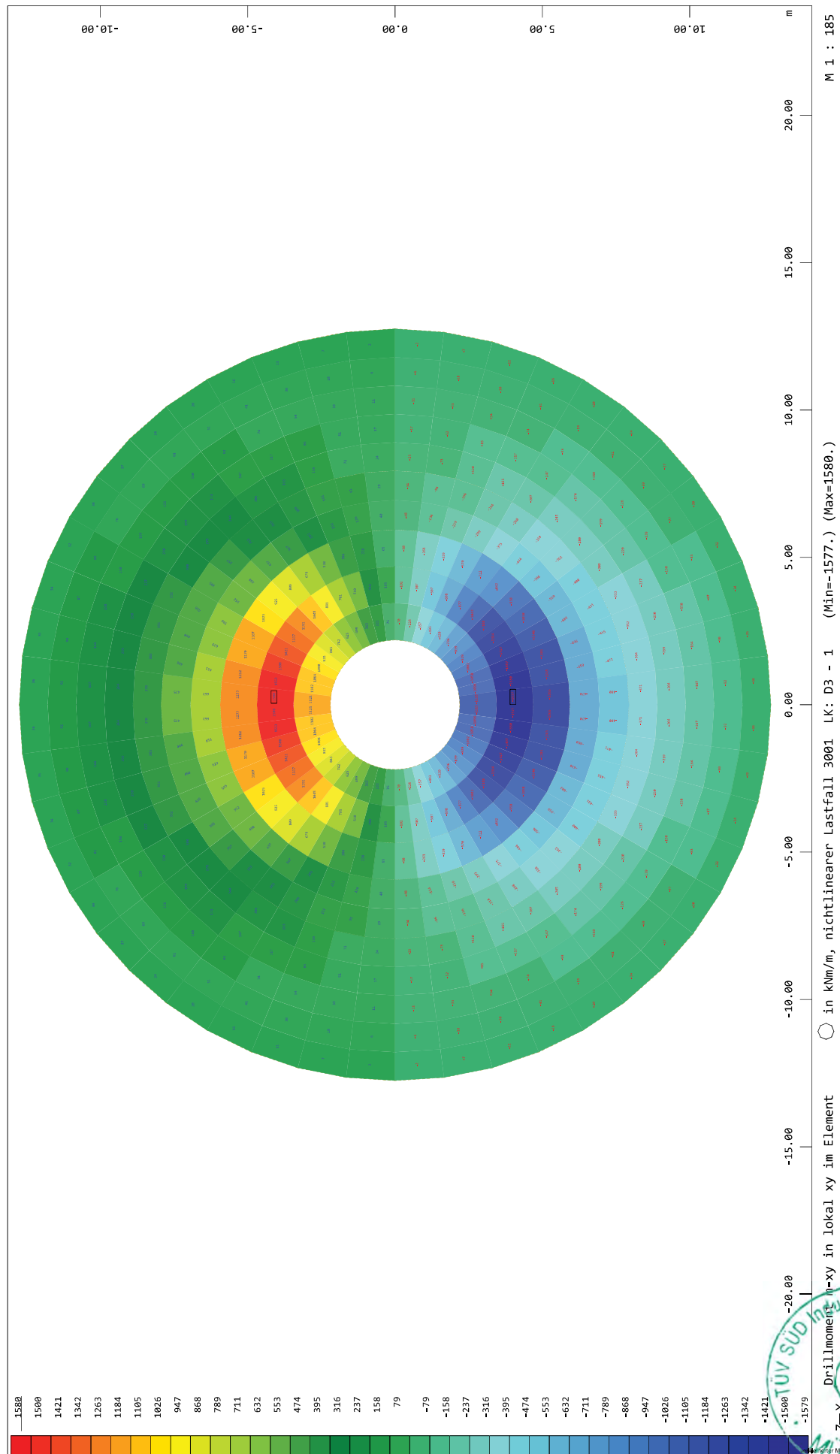


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m



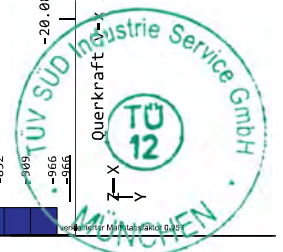
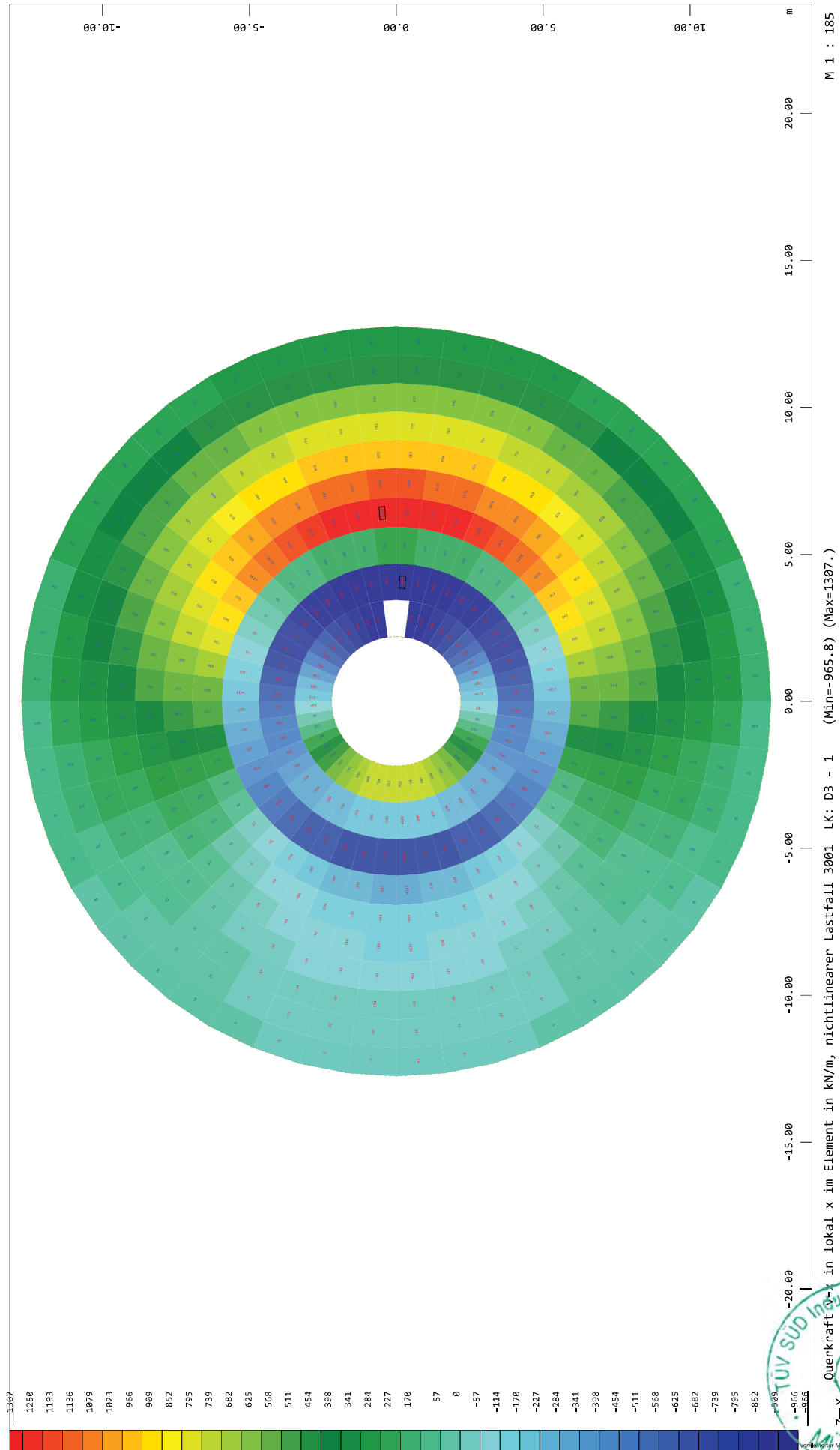
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



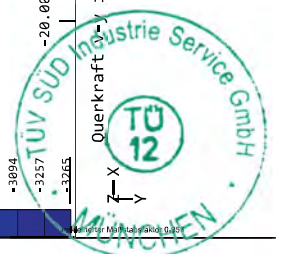
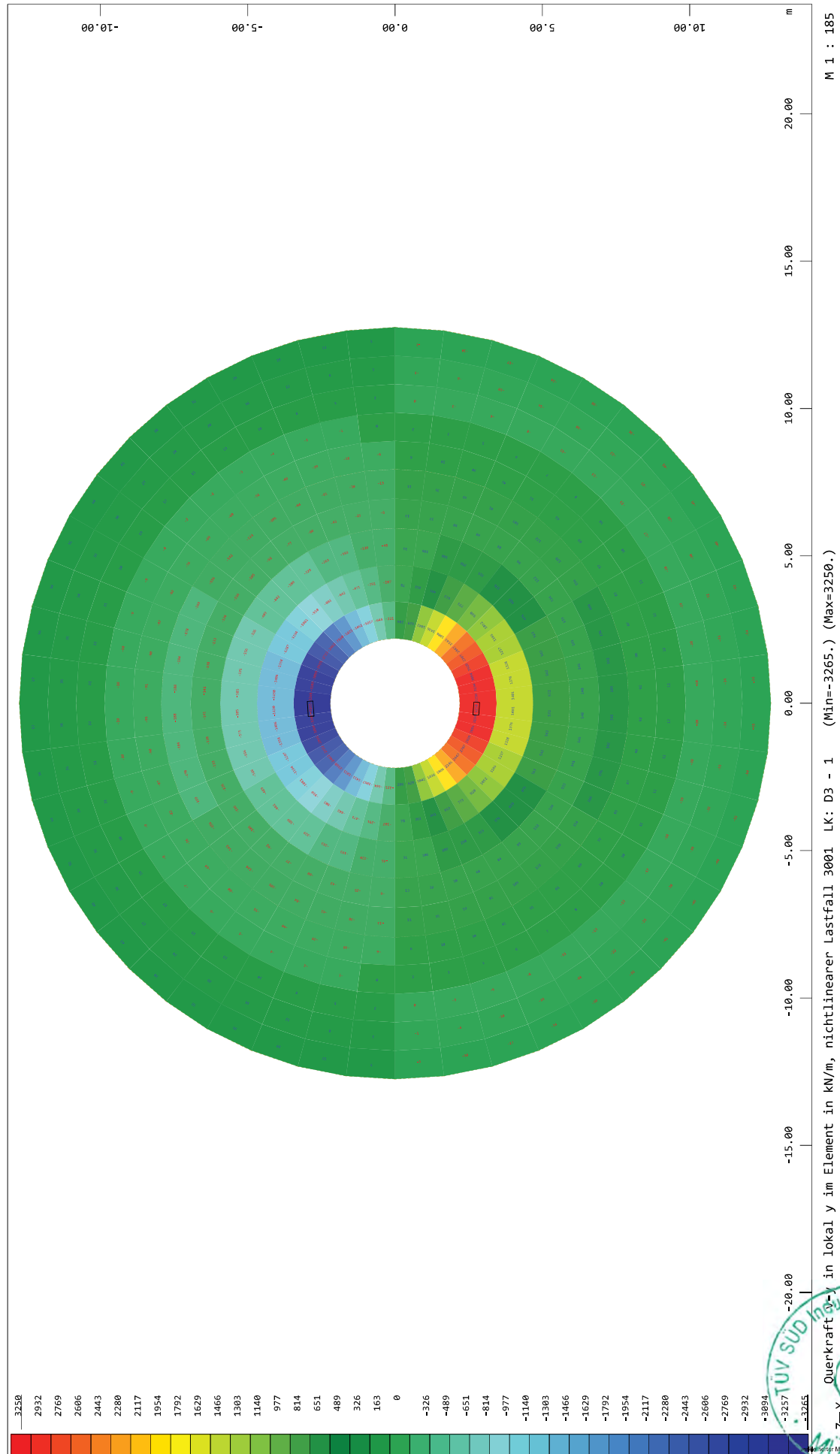
System

SOFTISTIK AG - www.softistik.de



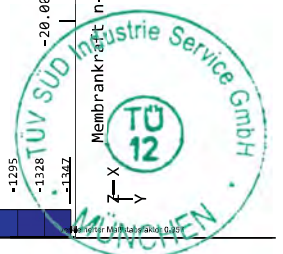
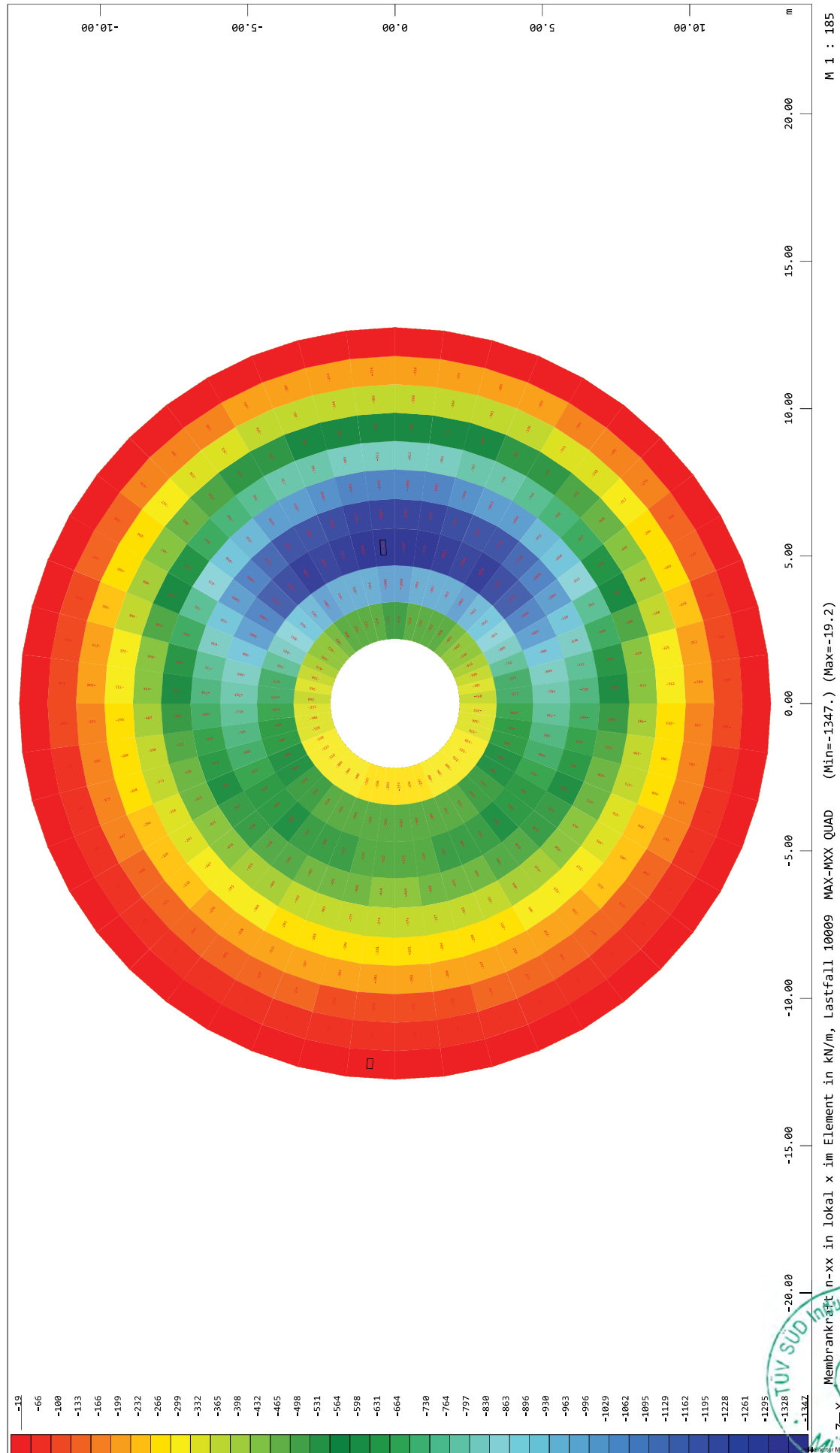
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



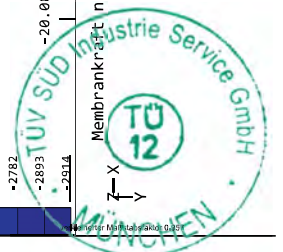
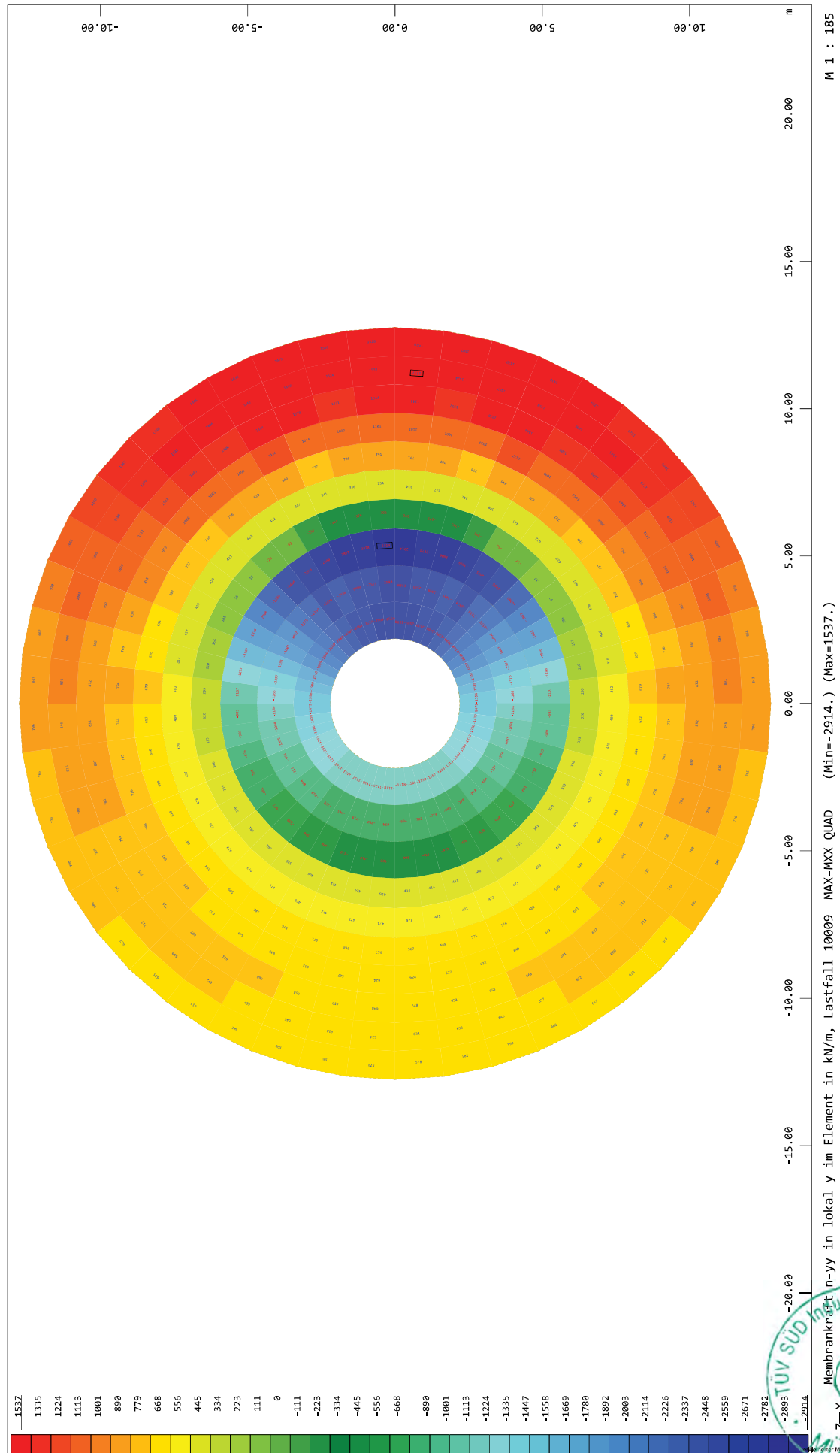
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



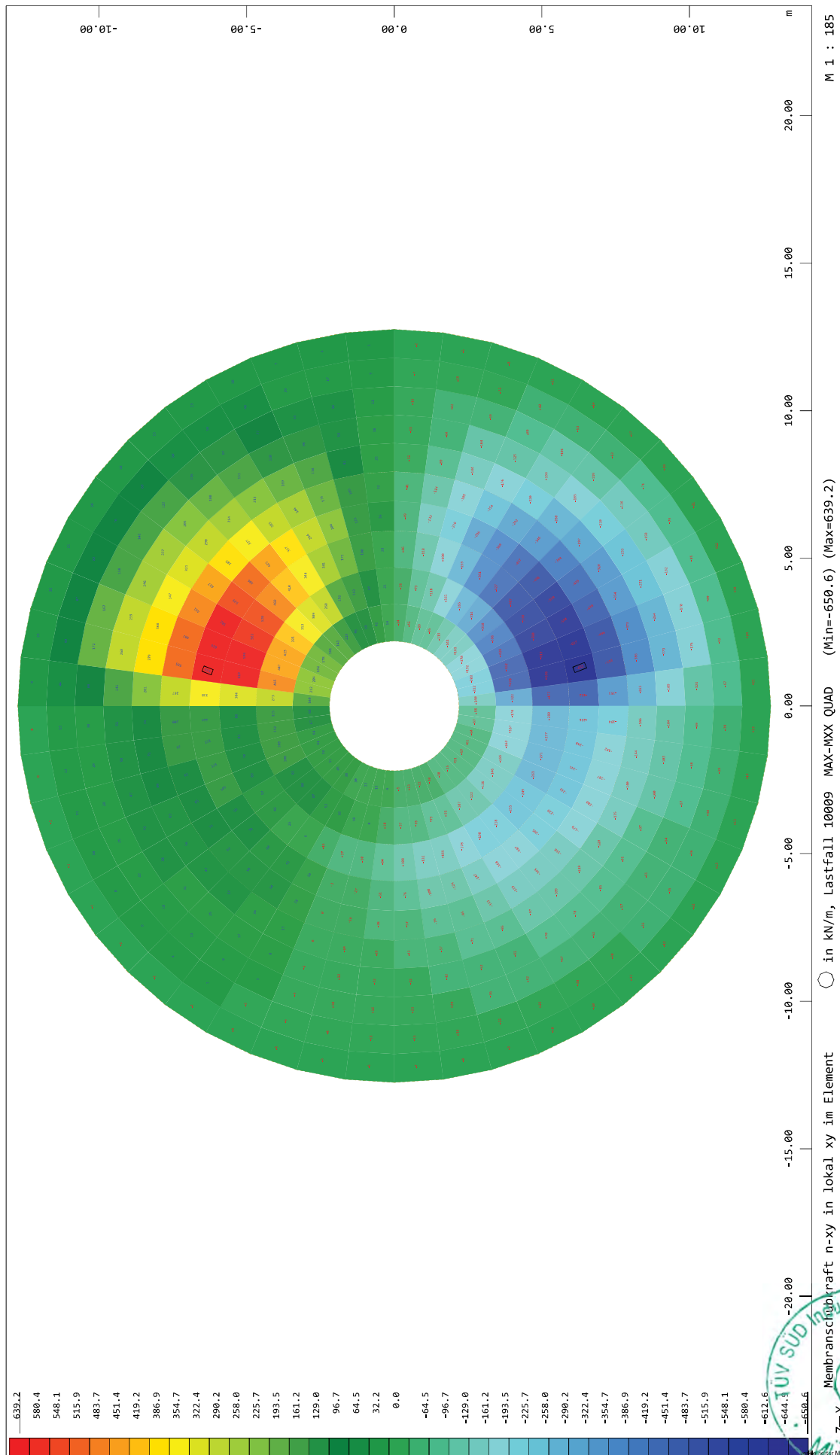
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

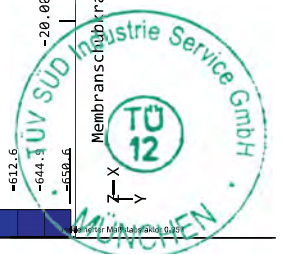


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

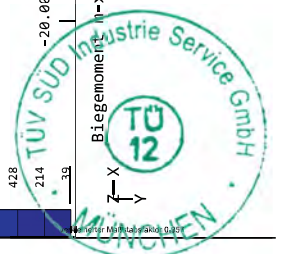
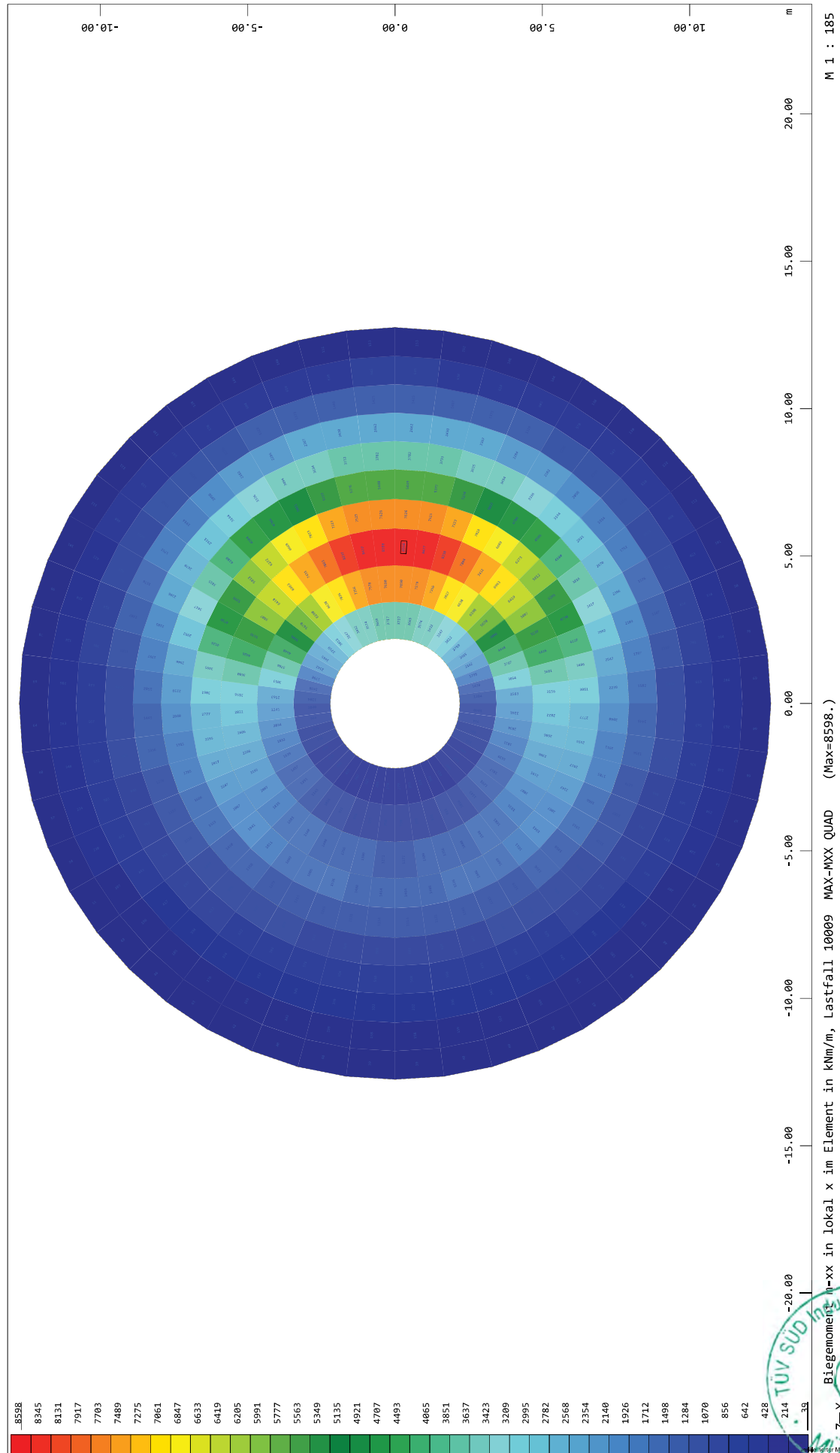


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m



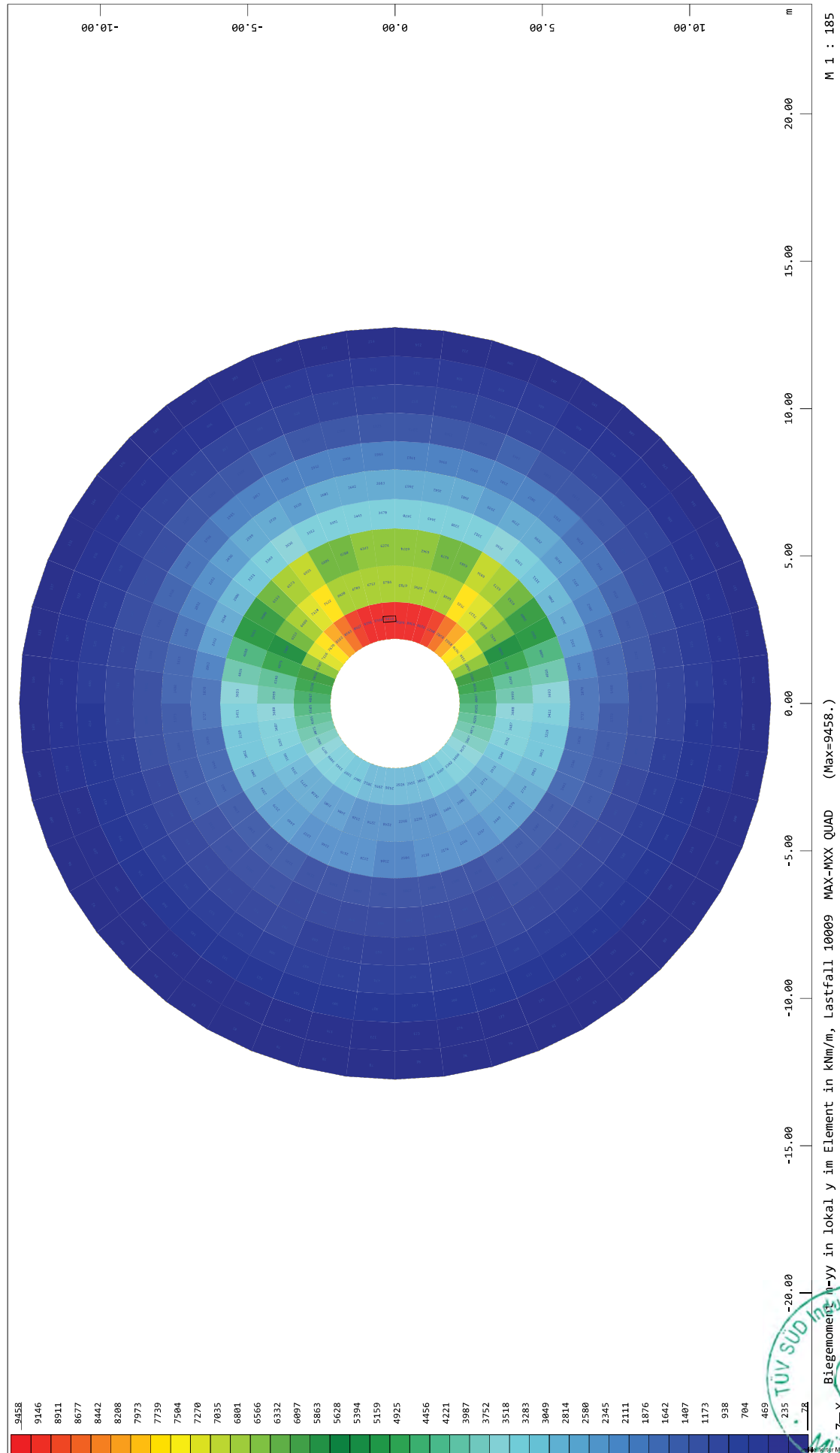
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

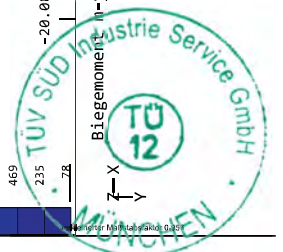


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



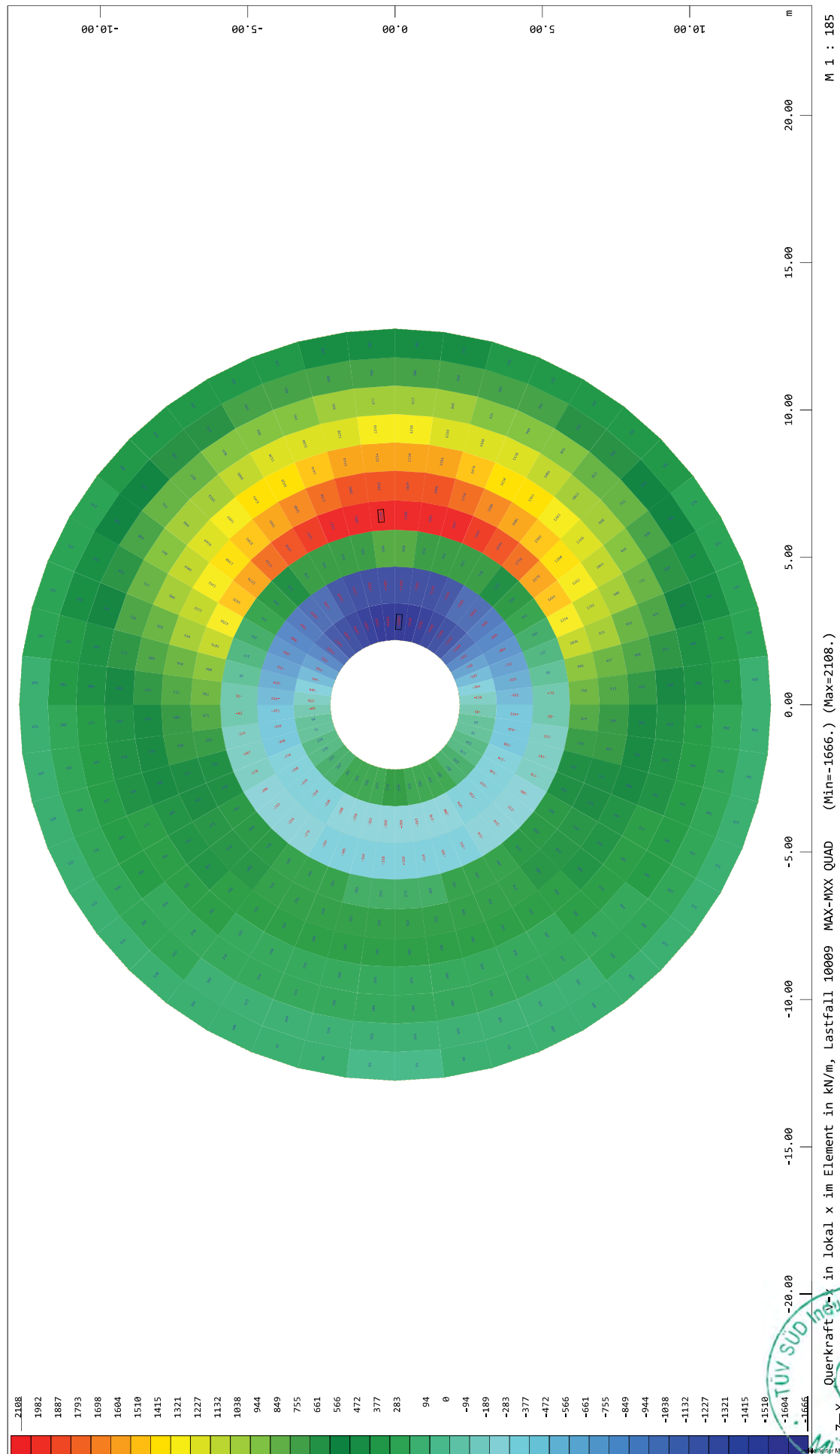
Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m



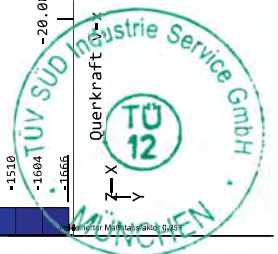
Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH = 169 m

System

SOFiSTiK AG - www.sofistik.de

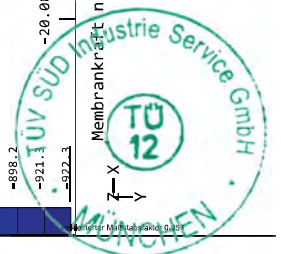
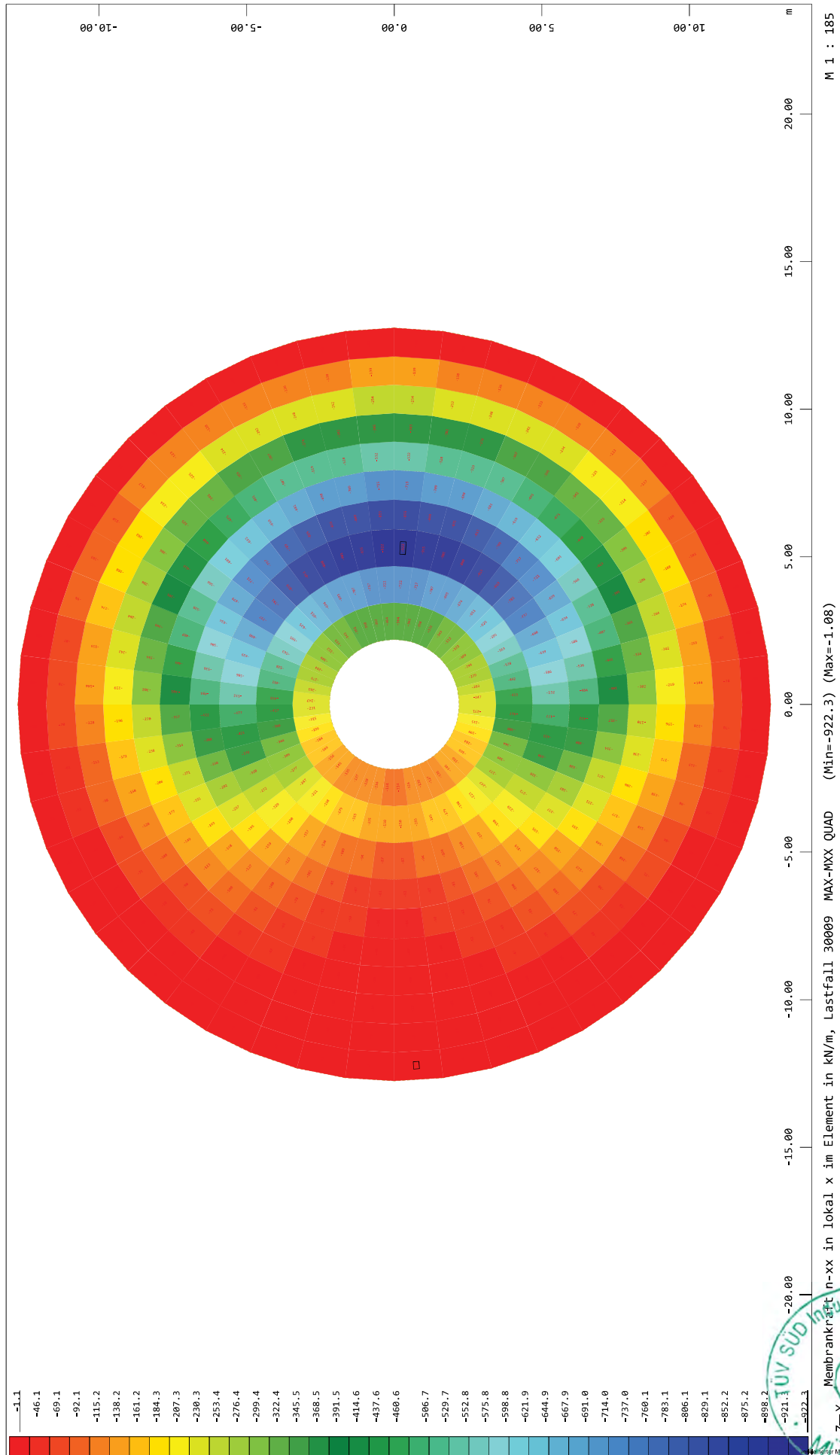


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH = 169 m



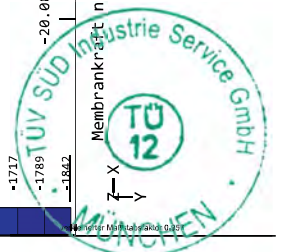
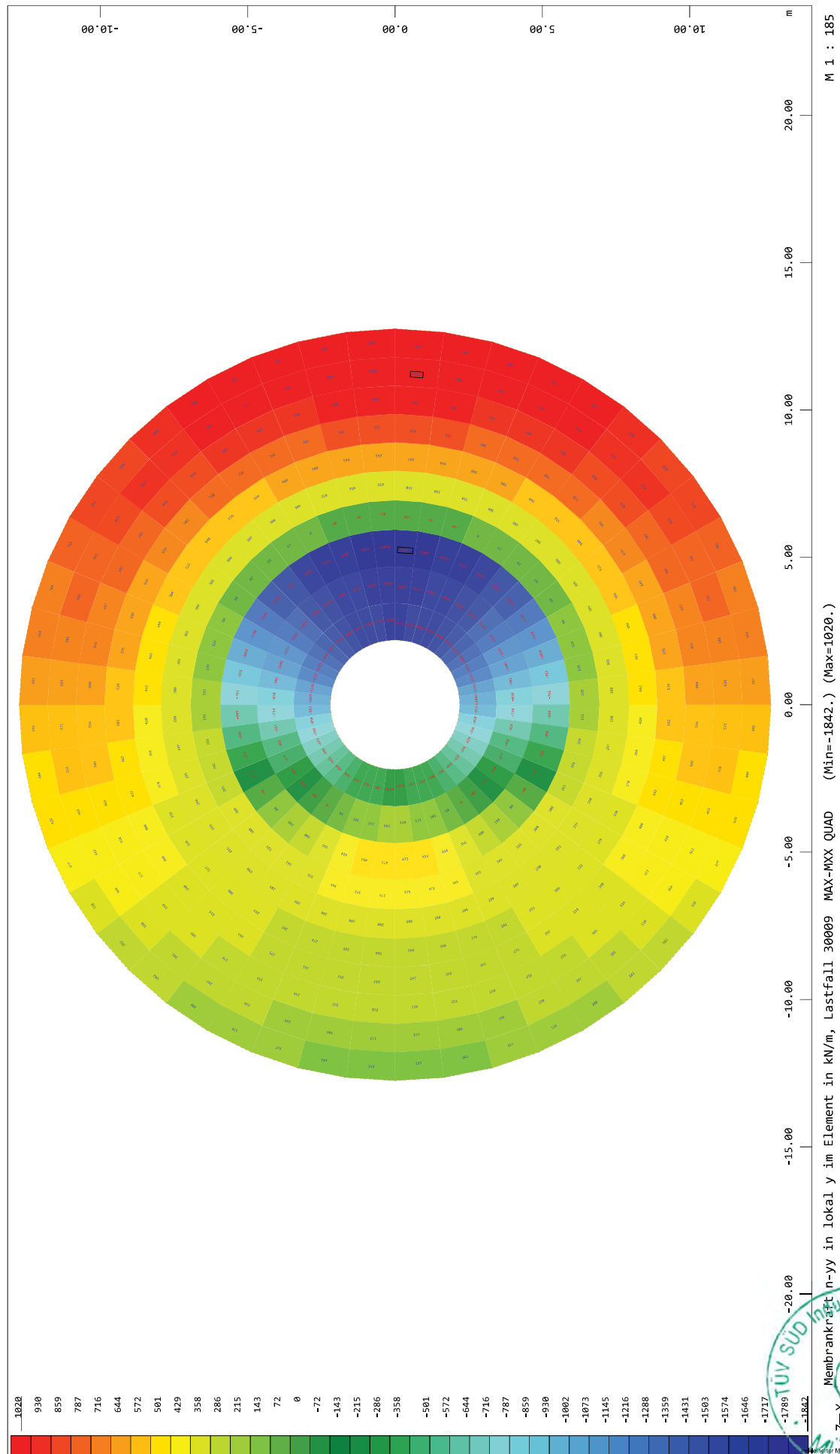
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



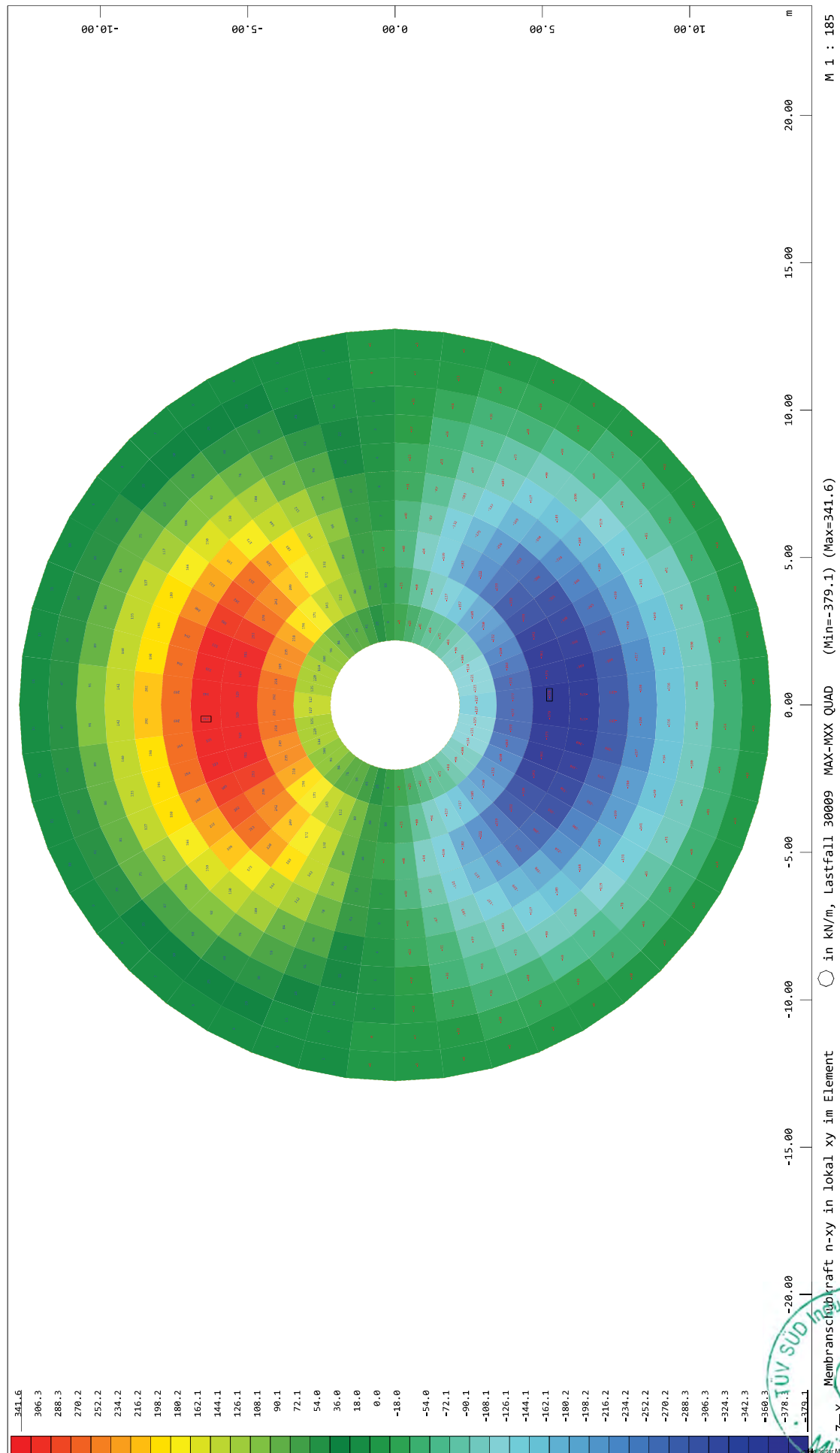
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

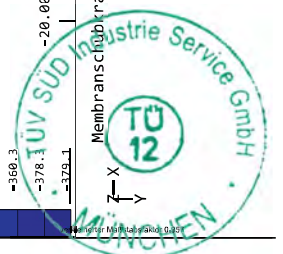


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

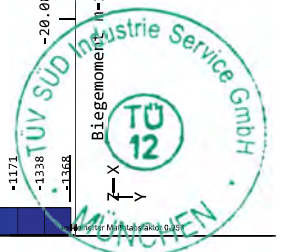
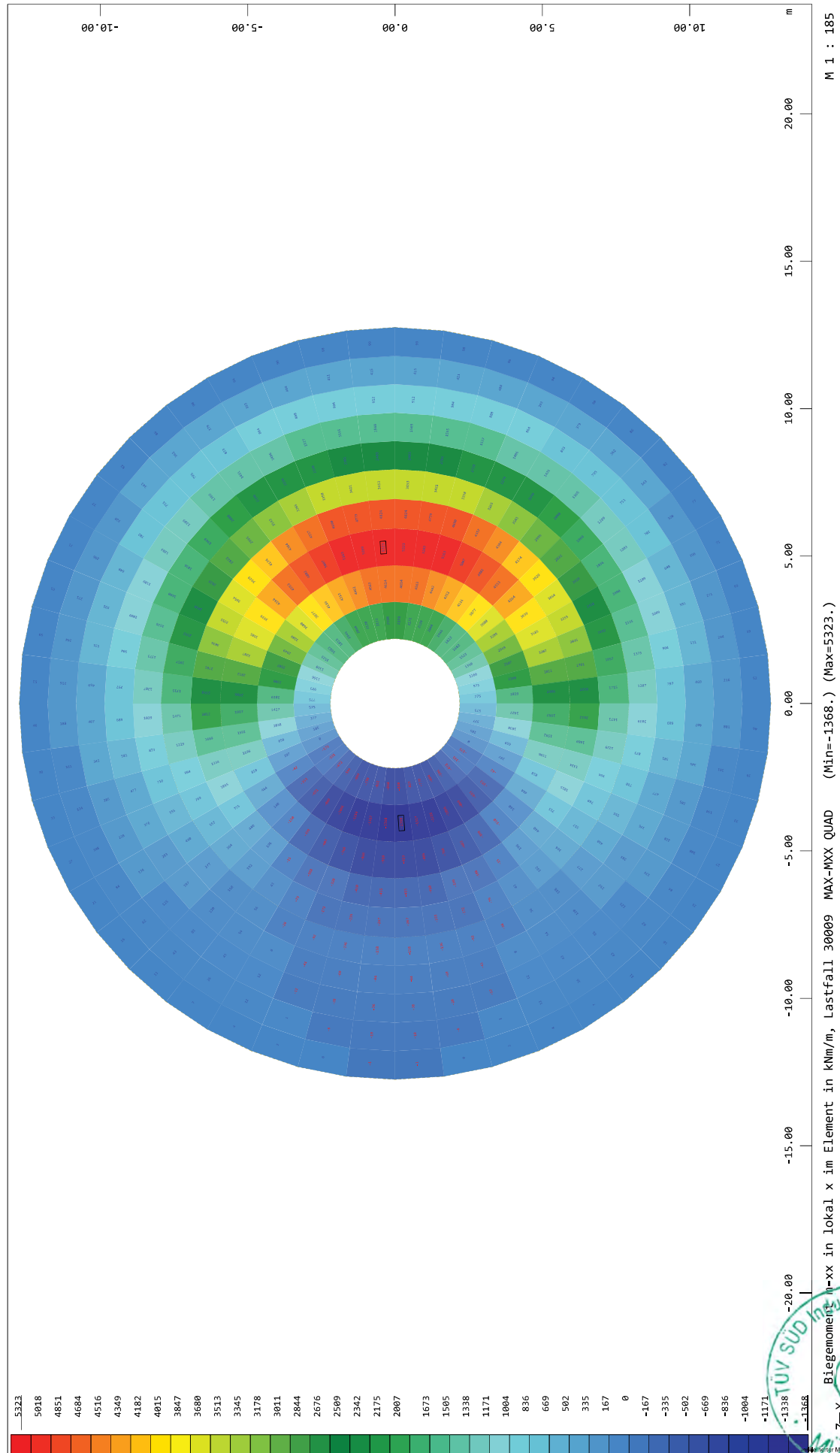


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH = 169 m



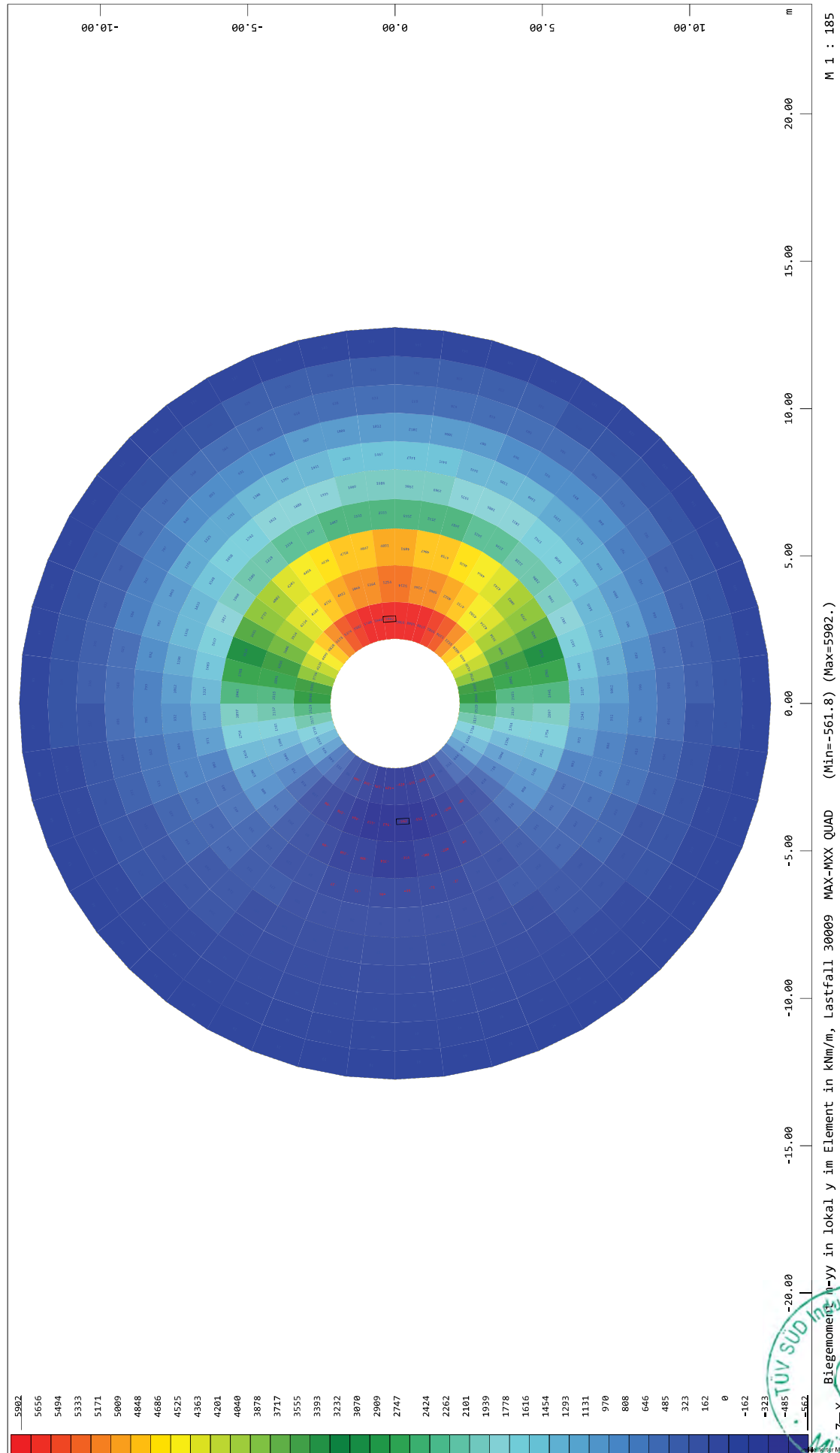
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



M 1 : 185

(Min=-561.8) (Max=5902.)

MAX-MXX QUAD

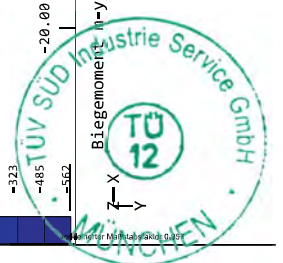
Lastfall 30009

im Element in lokal y

yy in lokal y

Biegemoment

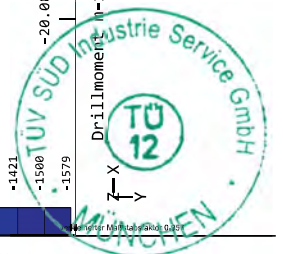
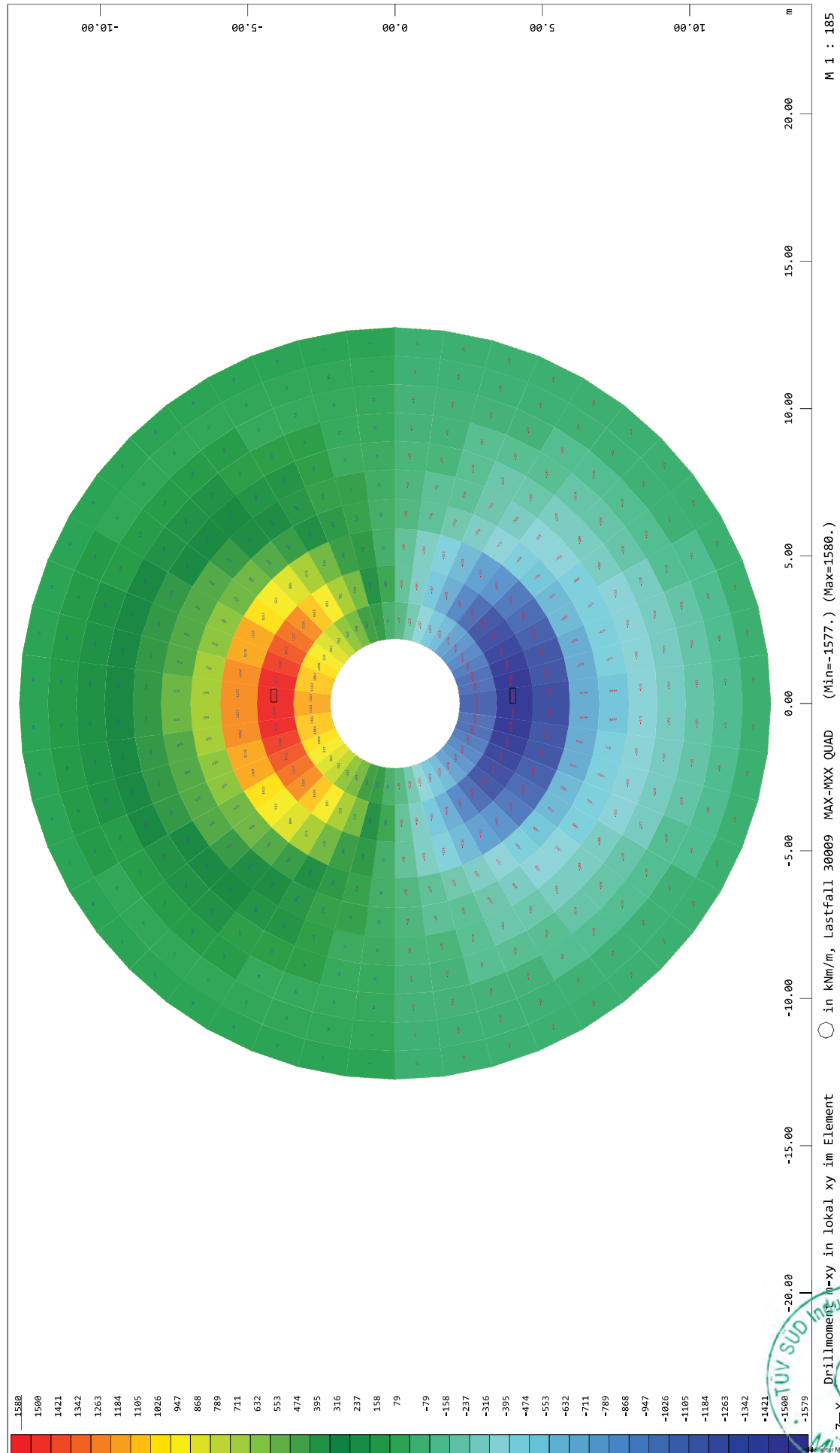
in lokal y



Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

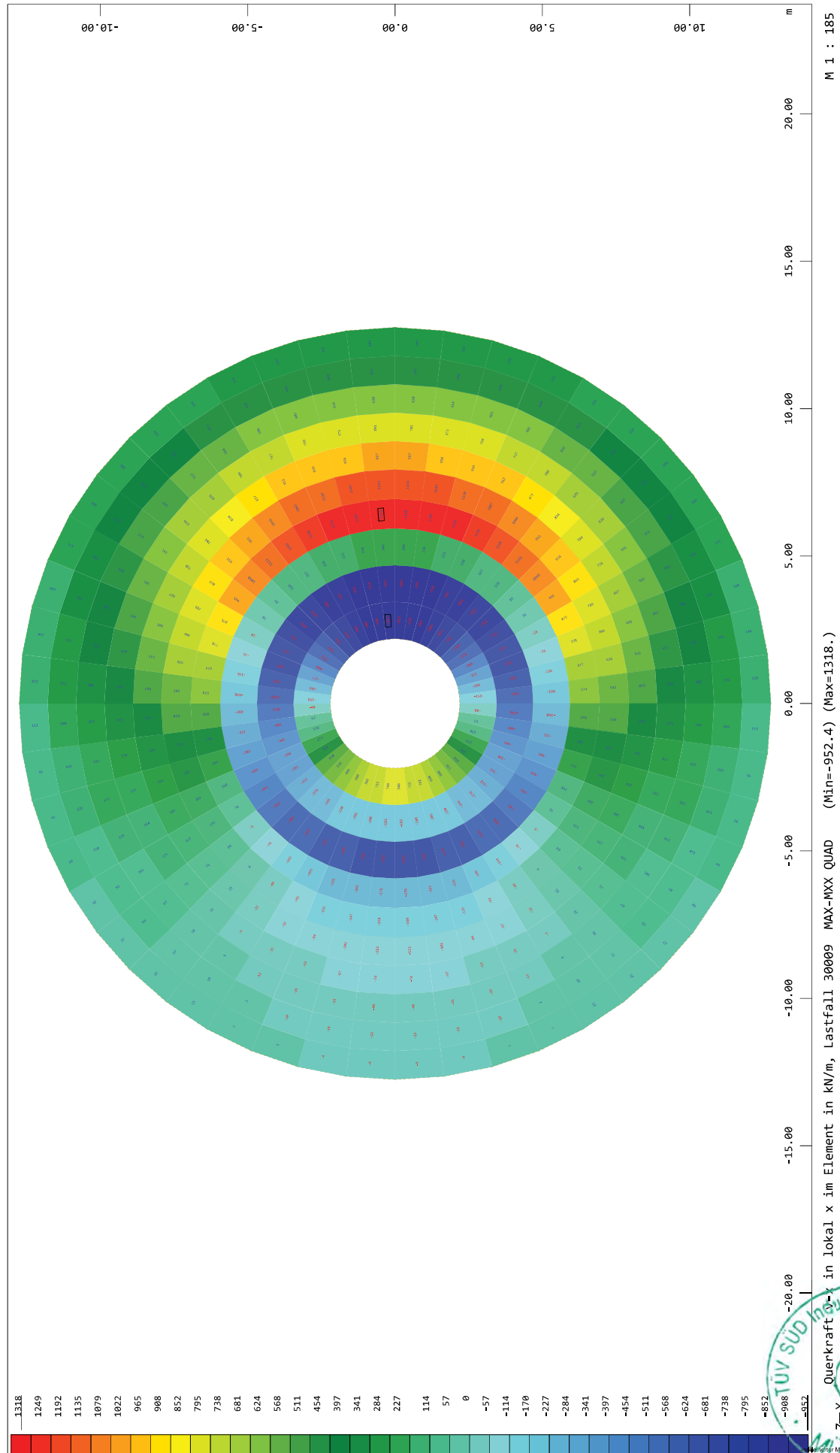
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

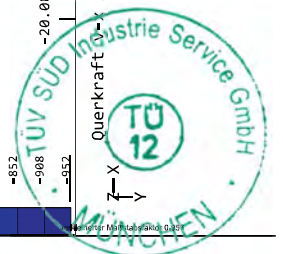


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

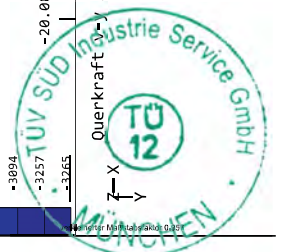
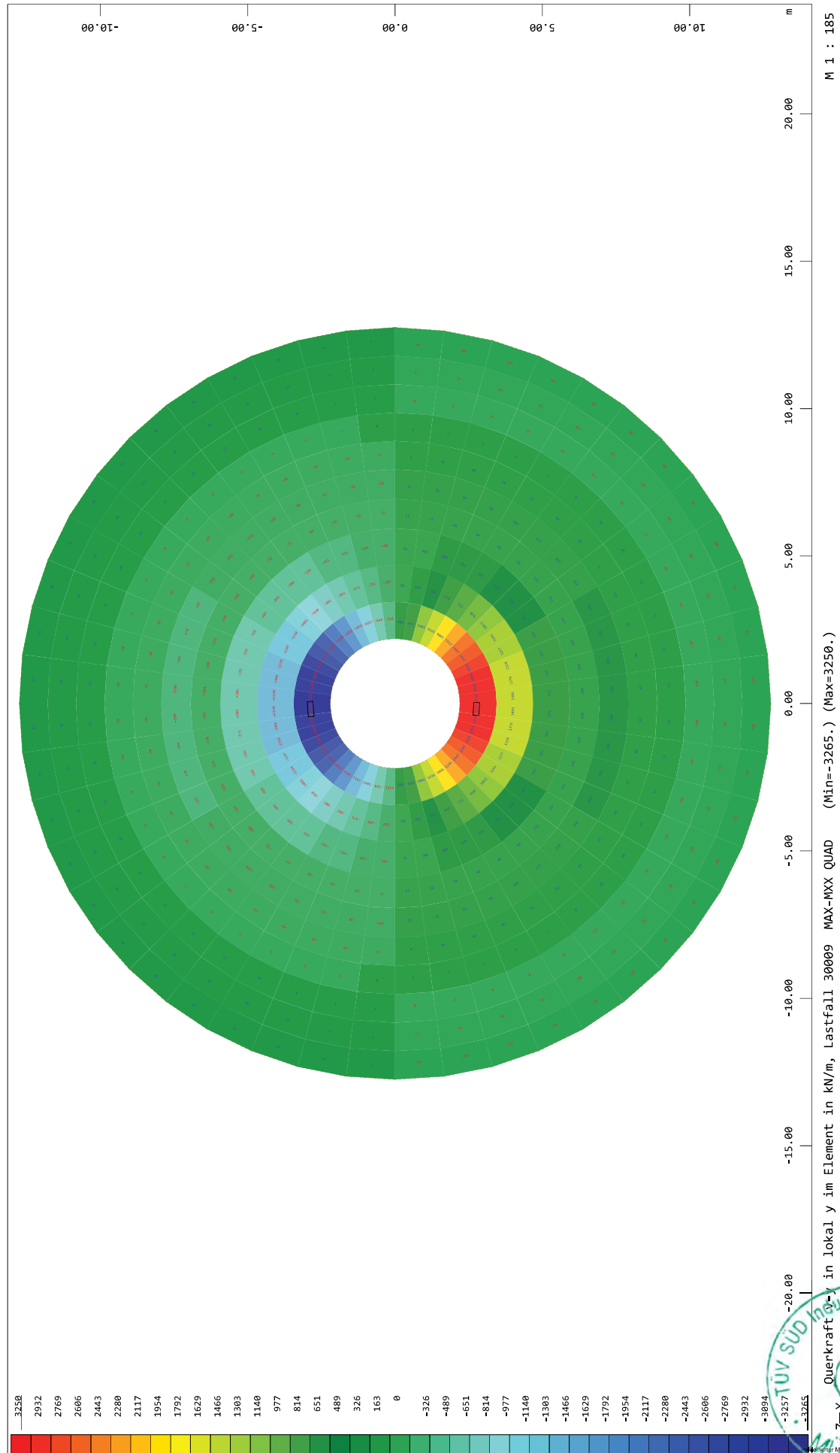


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m



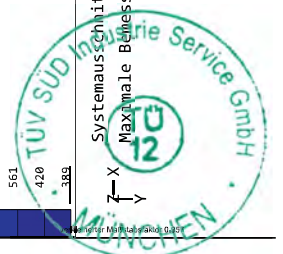
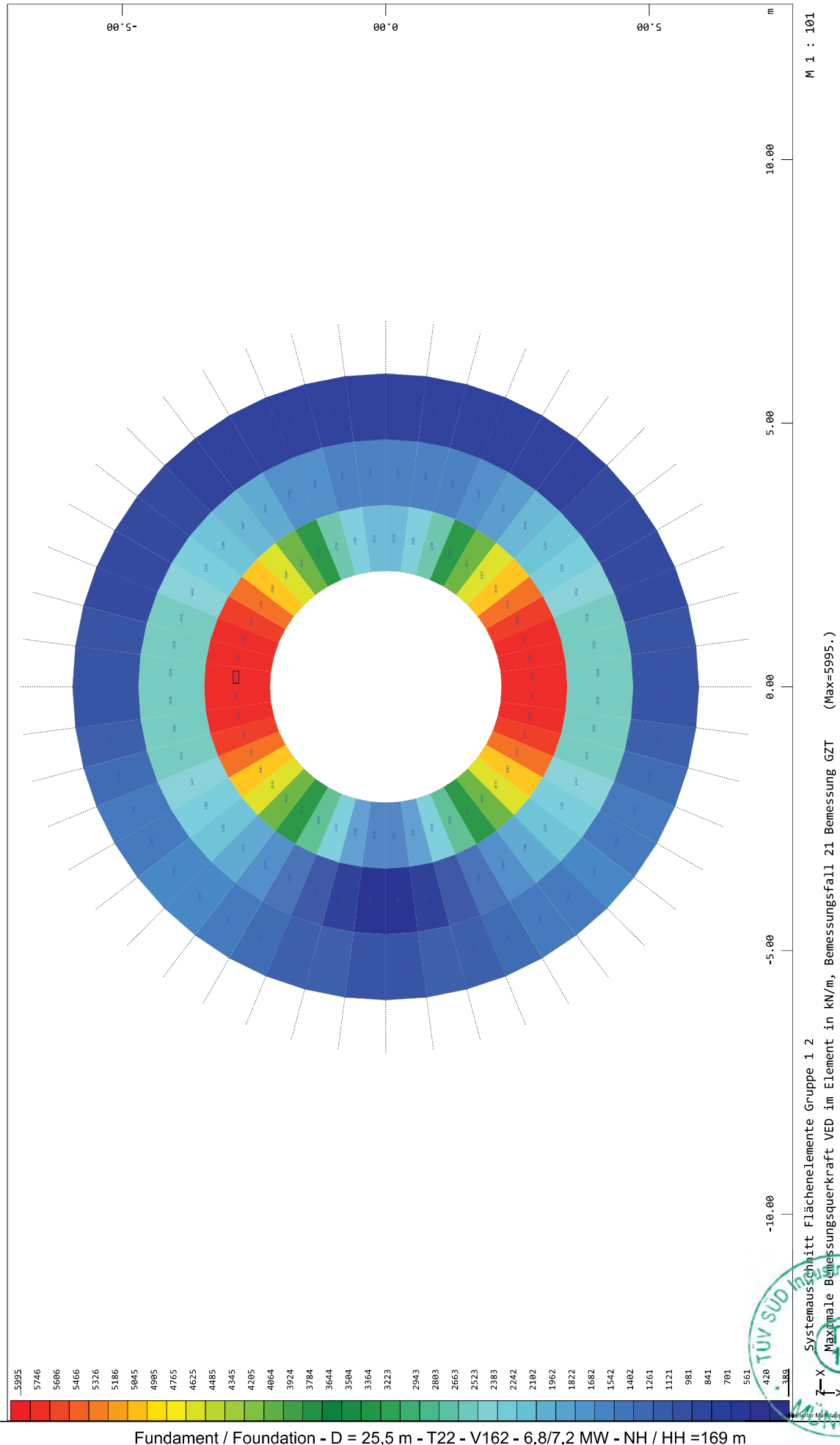
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



System

SOFiSTiK AG - www.sofistik.de



Verfasser / Author: 			Proj.-Nr. / No.: 21683-T22
WEA / WT: V162-6.8/7.2MW	NH / HH: 169 m	Hybriddturm / Hybrid tower: T22	Datum / Date: 15.07.2022

Anhang D: Bewehrung / Annex D: Reinforcement

Bauteil / Component:	Fundament / Foundation	
Block / Chapter:	Anhang D: Bewehrung / Annex D: Reinforcement	

System

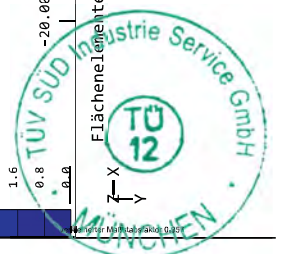
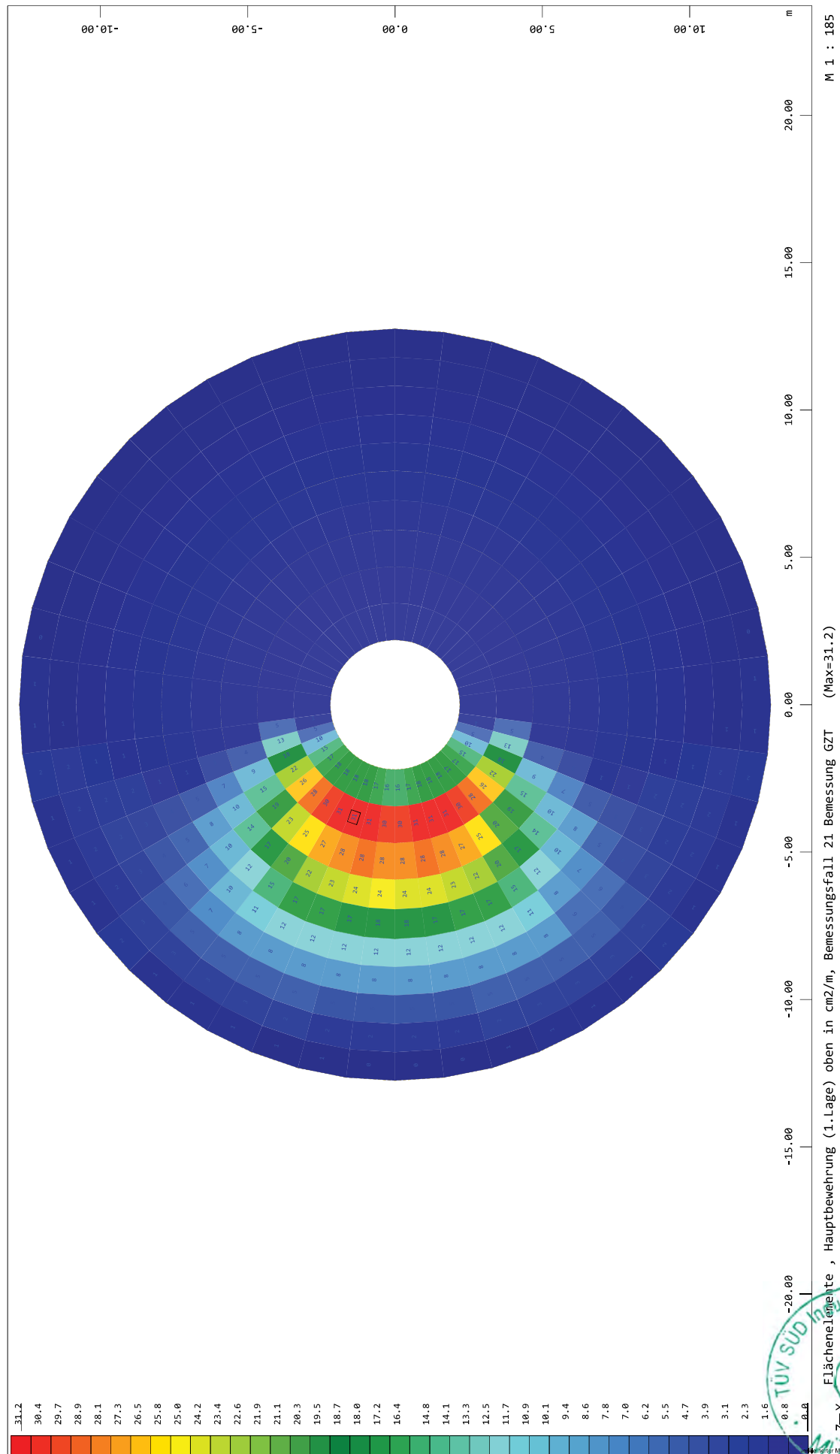
Inhaltsverzeichnis

WINGRAF - GRAFIK FUER FINITE ELEMENTE

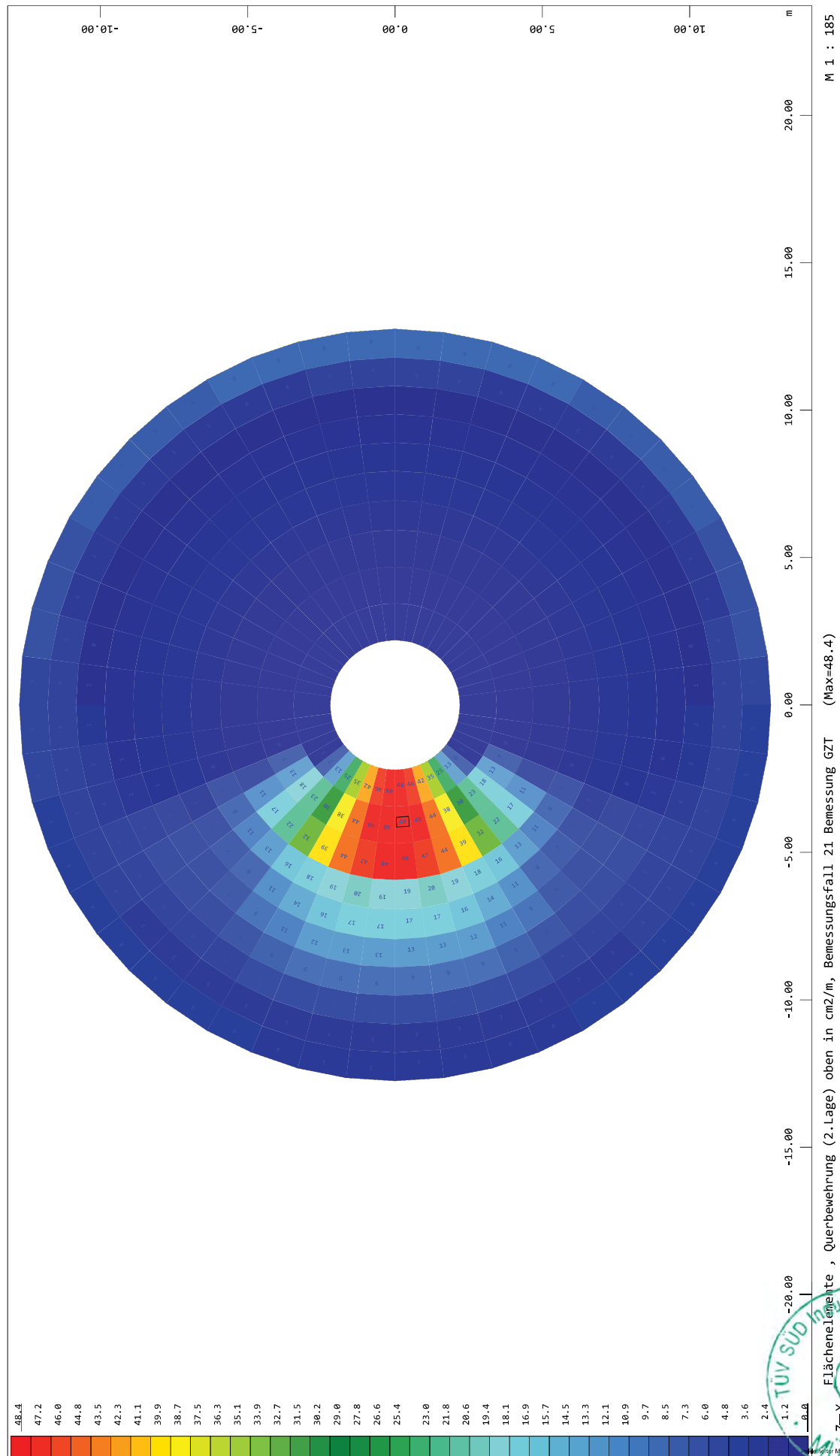
Flächenelemente , Hauptbewehrung (1.Lage) oben BF: 21	2
Flächenelemente , Querbewehrung (2.Lage) oben BF: 21	3
Flächenelemente , Querbewehrung (2.Lage) unten BF: 21	4
Flächenelemente , Hauptbewehrung (1.Lage) unten BF: 21	5
Flächenelemente , Bügelbewehrung BF: 21	6
Flächenelemente , Hauptbewehrung (1.Lage) oben BF: 22	7
Flächenelemente , Querbewehrung (2.Lage) oben BF: 22	8
Flächenelemente , Querbewehrung (2.Lage) unten BF: 22	9
Flächenelemente , Hauptbewehrung (1.Lage) unten BF: 22	10
Flächenelemente , Bügelbewehrung BF: 22	11
max.VED / VRDmax BF: 21	12
Flächenelemente , Maßgebender Nachweis Hauptbewehrung (1.Lage) oben BF: 22	13
Flächenelemente , Maßgebender Nachweis Querbewehrung (2.Lage) oben BF: 22	14
Flächenelemente , Maßgebender Nachweis Querbewehrung (2.Lage) unten BF: 22	15
Flächenelemente , Maßgebender Nachweis Hauptbewehrung (1.Lage) unten BF: 22	16

System

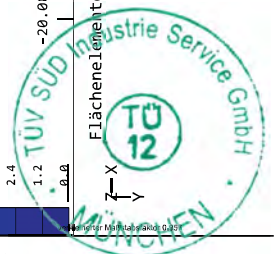
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



SOFiSTiK AG - www.sofistik.de

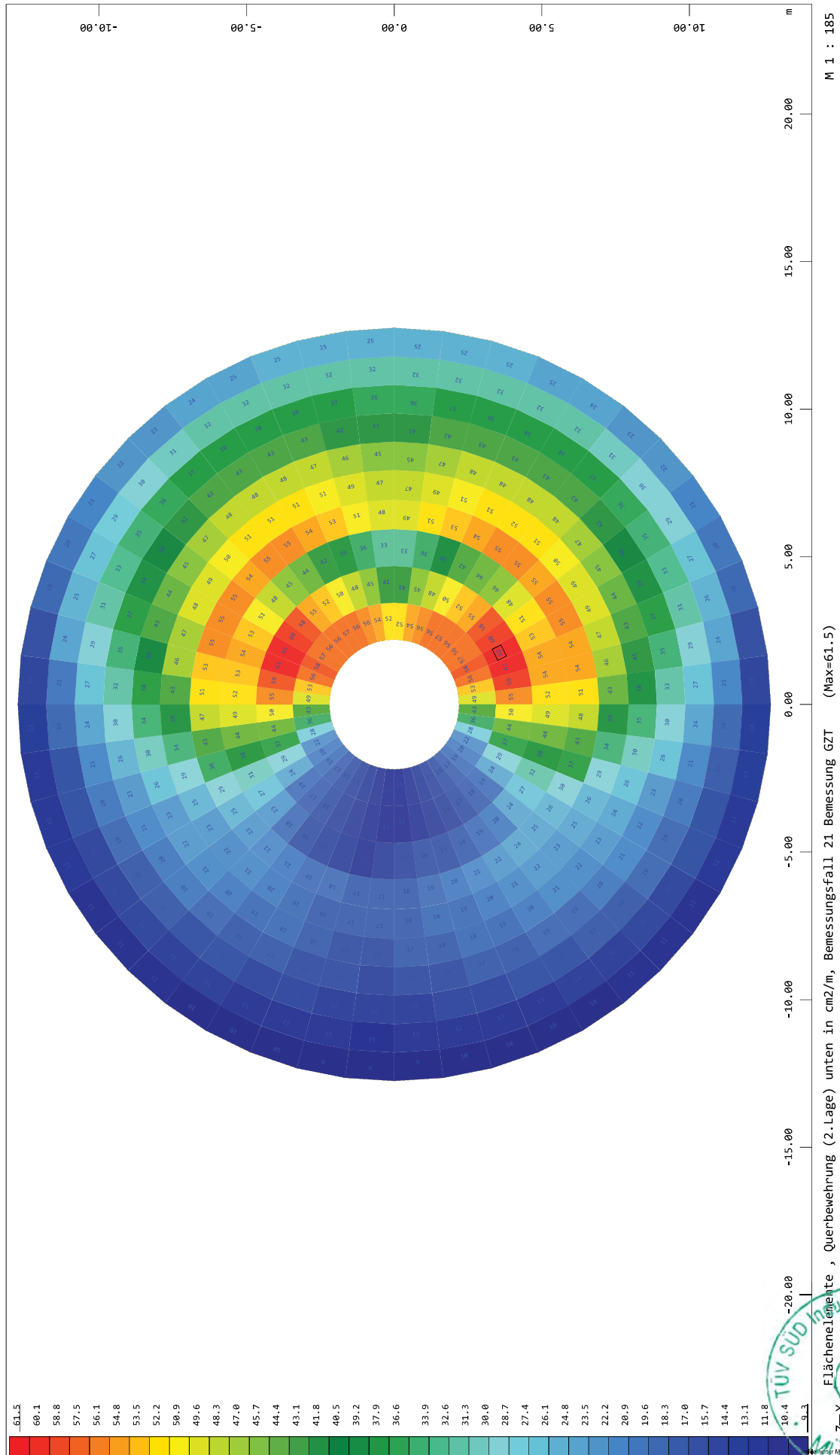


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH = 169 m



System

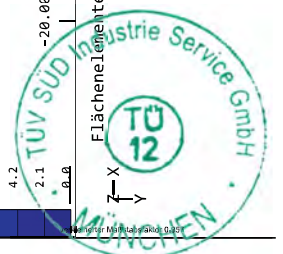
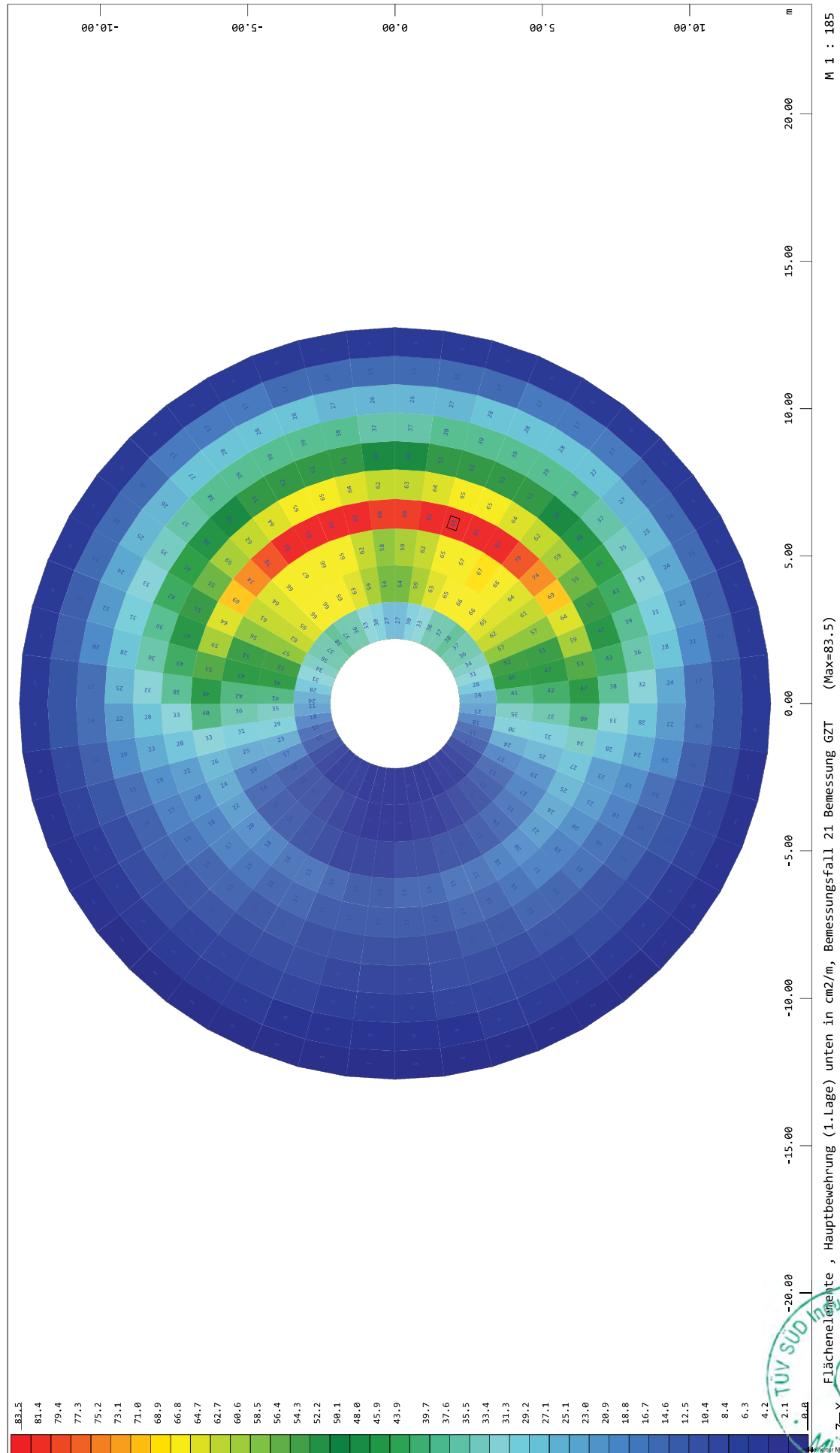
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH = 169 m

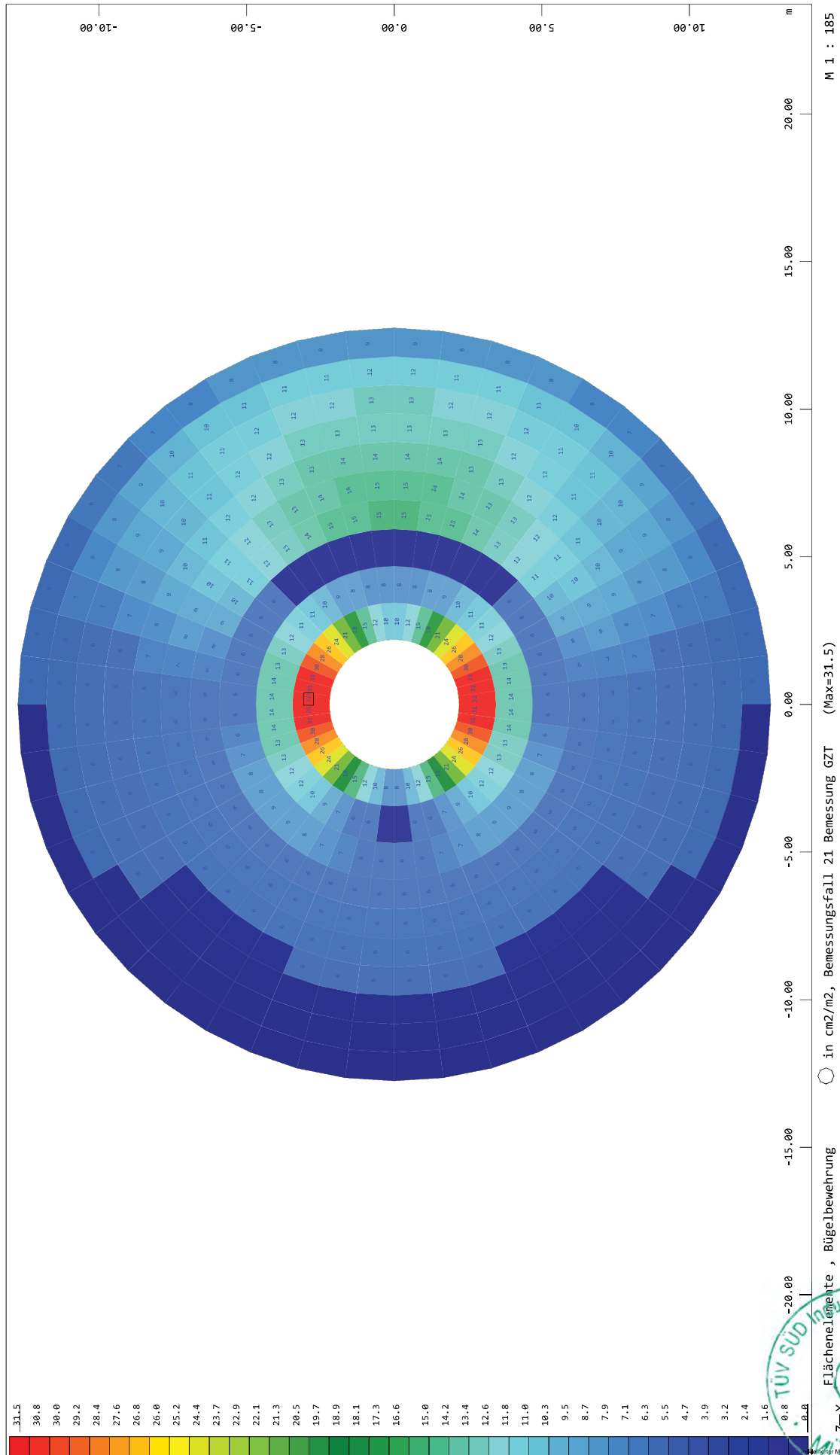
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



System

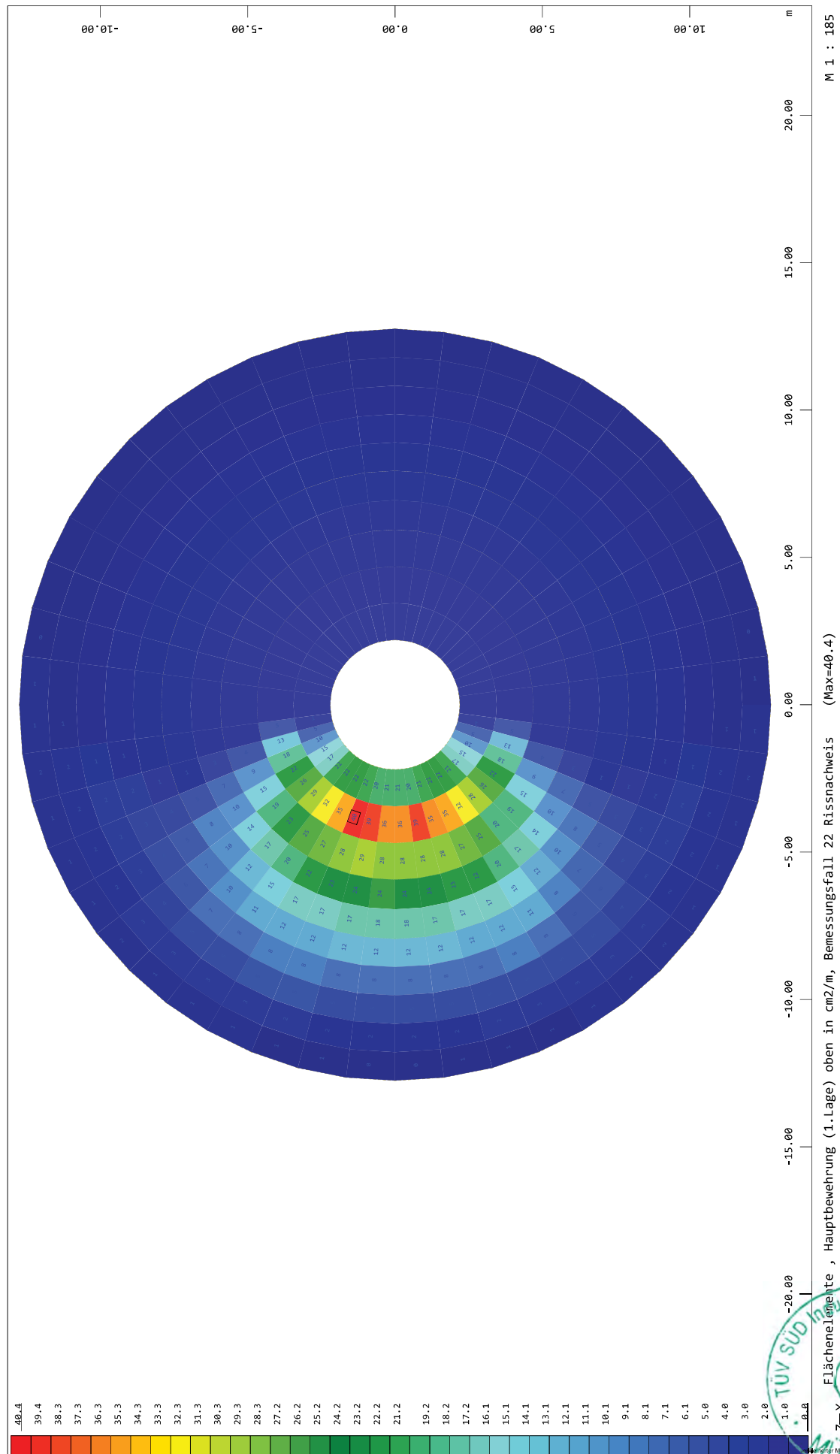
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



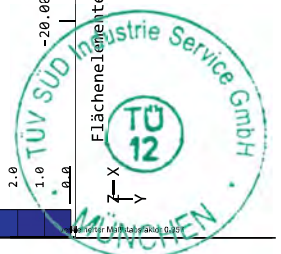
Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

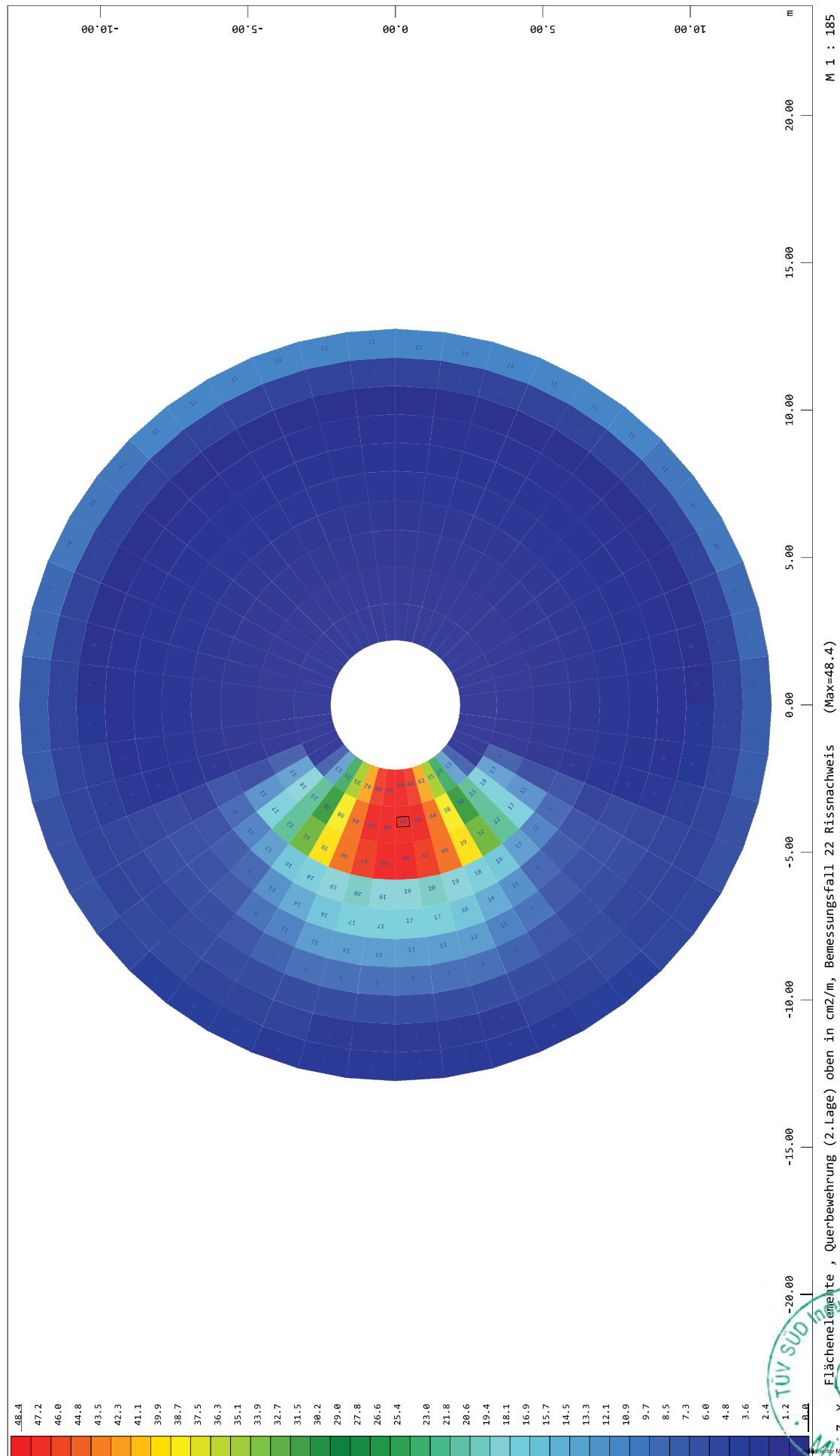


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH = 169 m



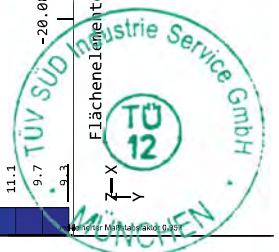
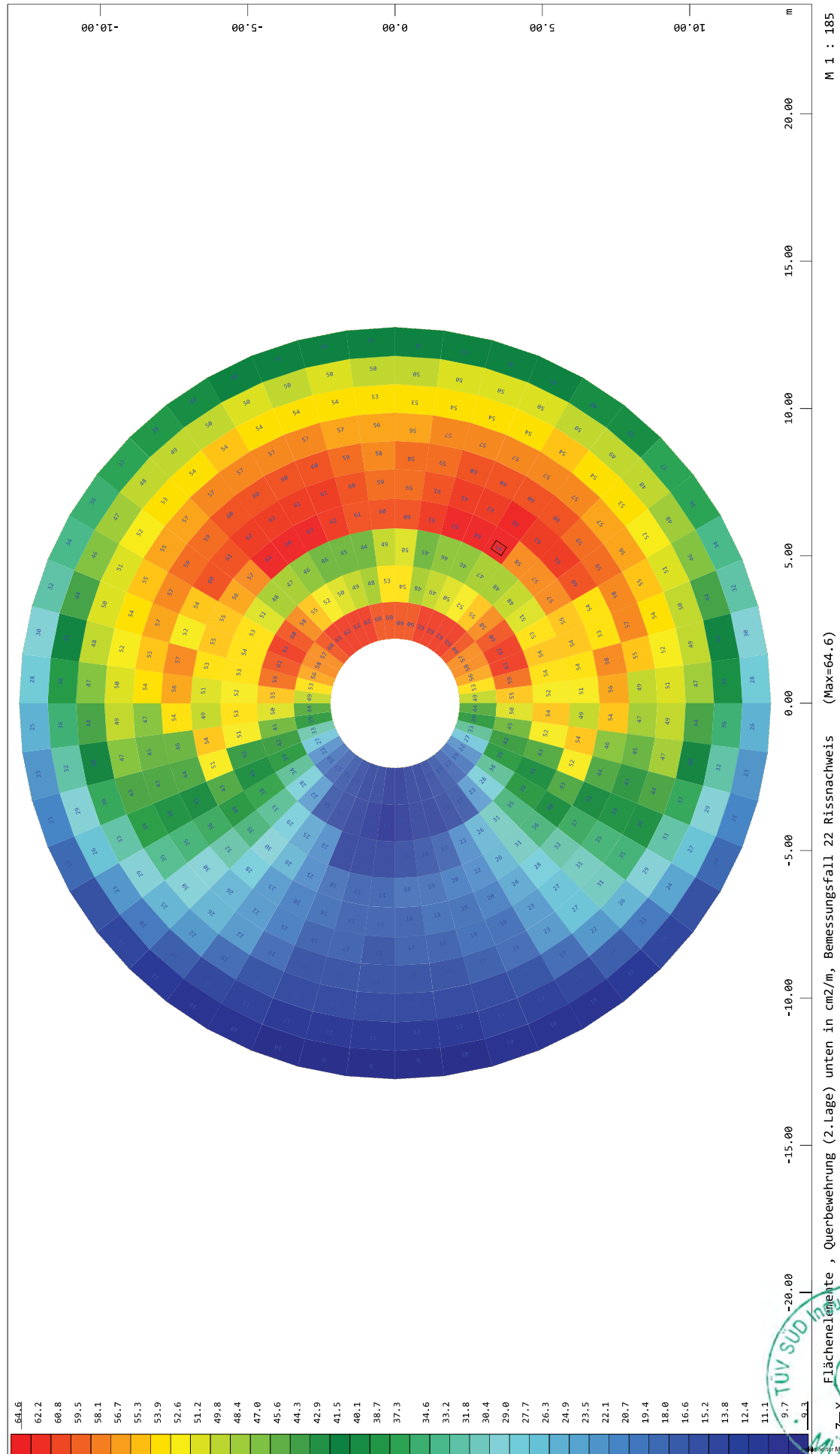
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



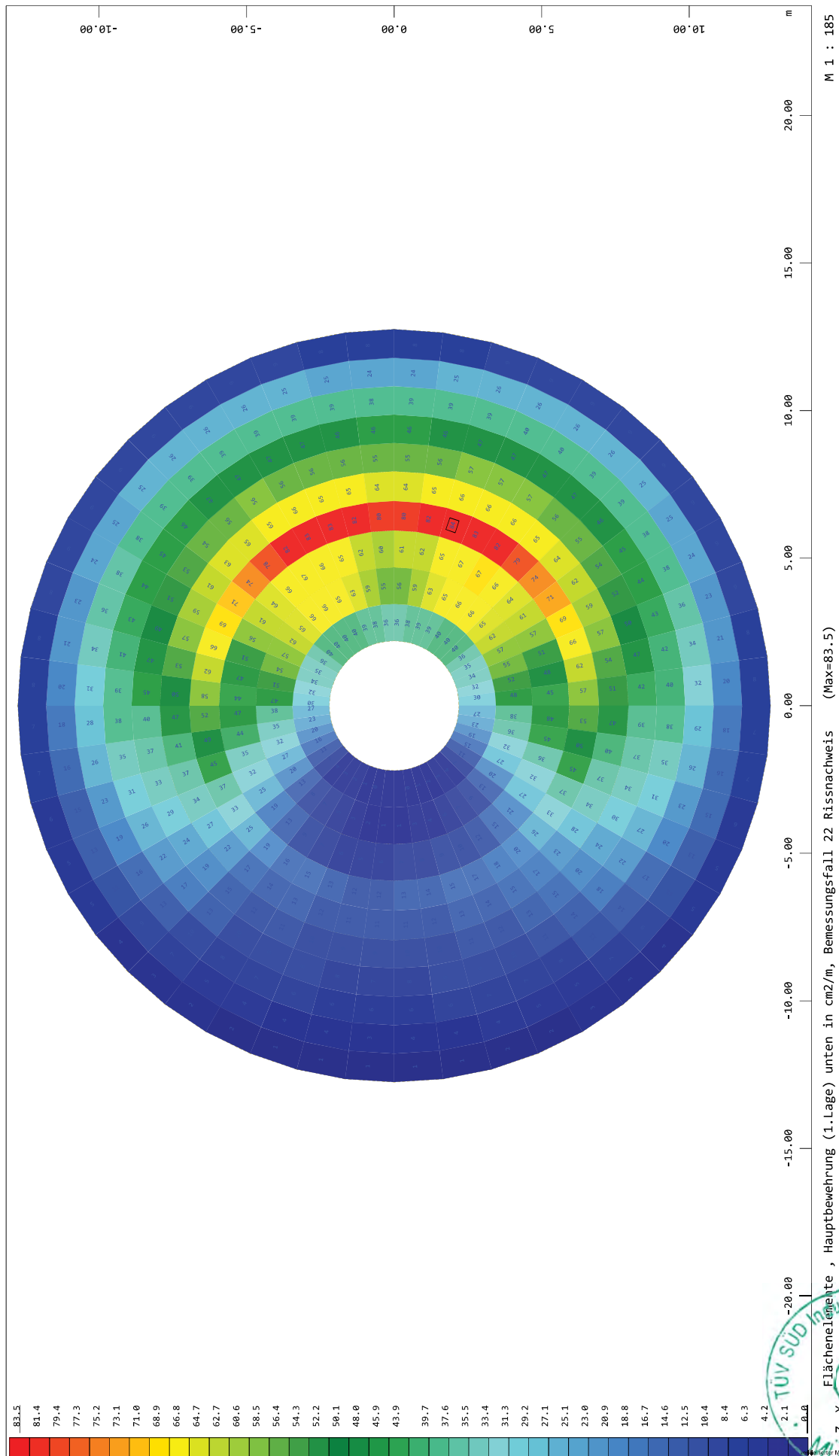
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



System

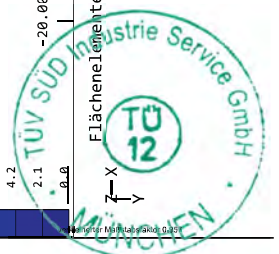
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



M 1 : 185

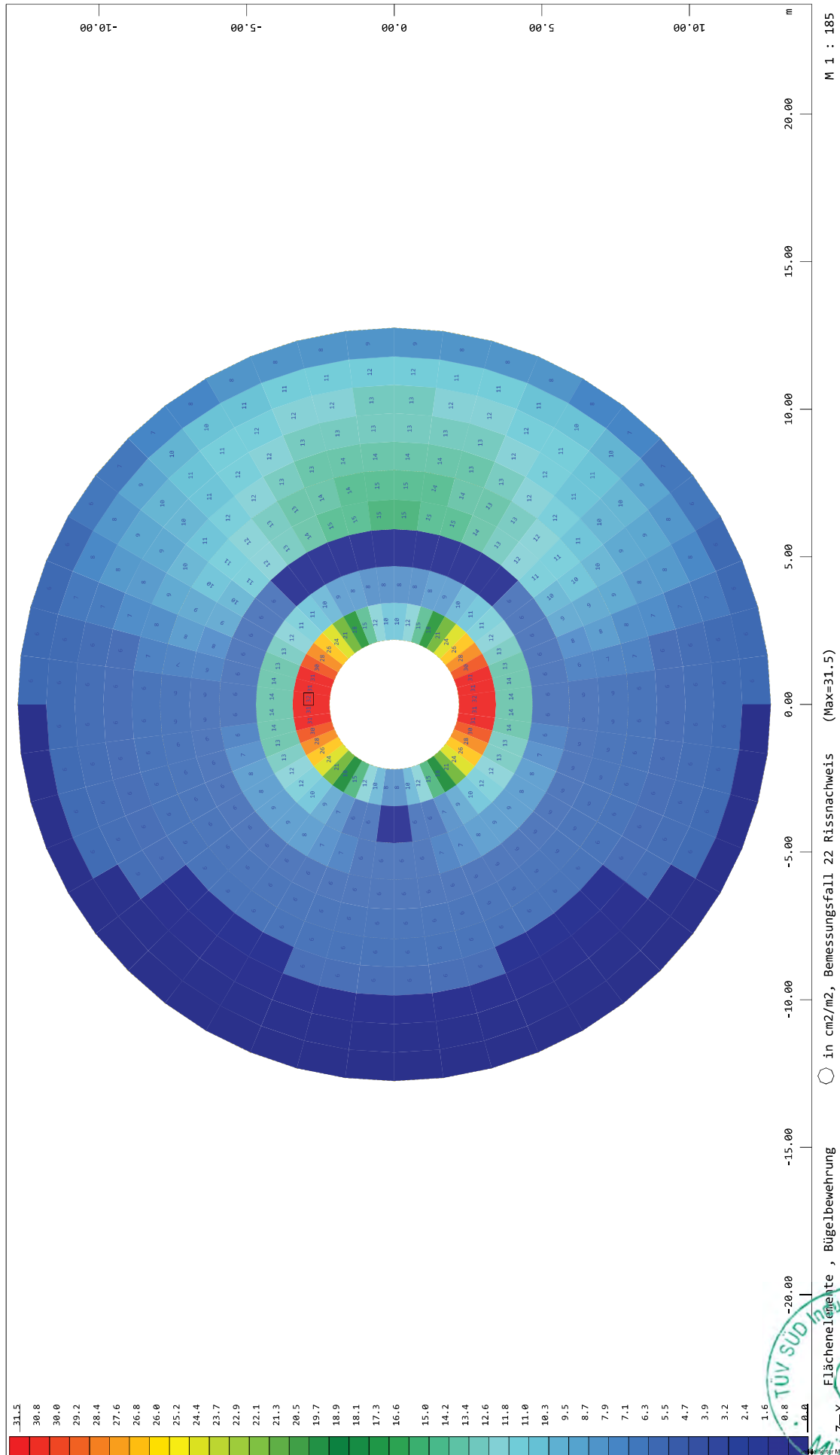
(Max=83.5)

Flächenelemente , Hauptbewehrung (1.Lage) unten in cm²/m, Bemessungsfall 22 Rissnachweis

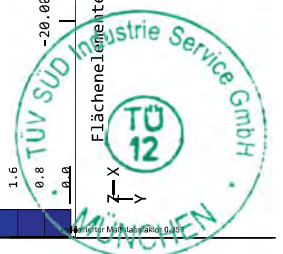


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

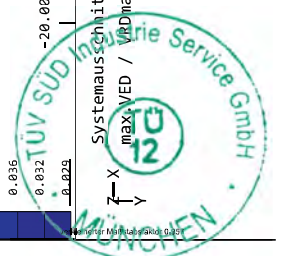
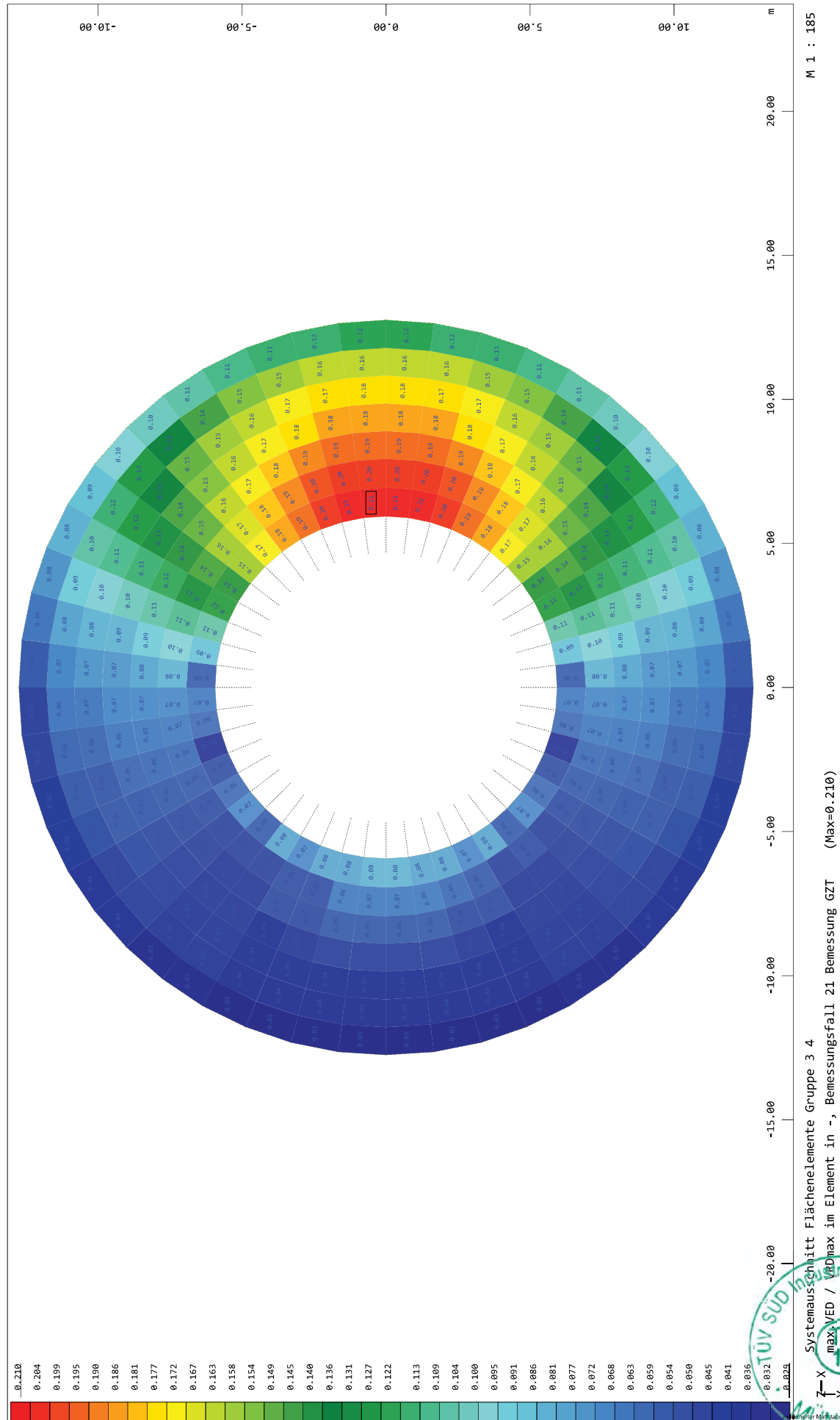


Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m



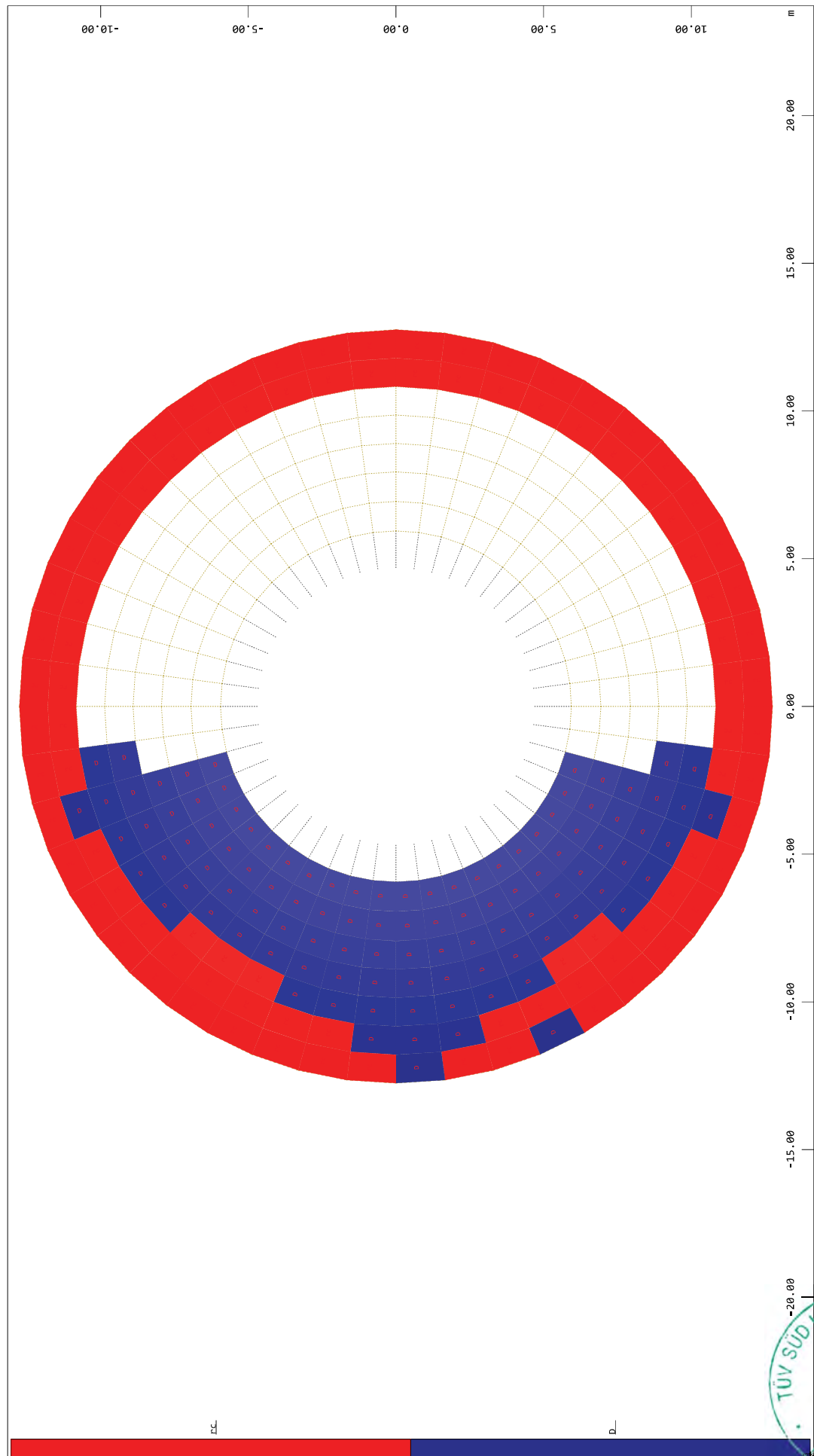
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



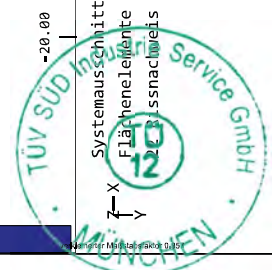
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



M 1 : 185

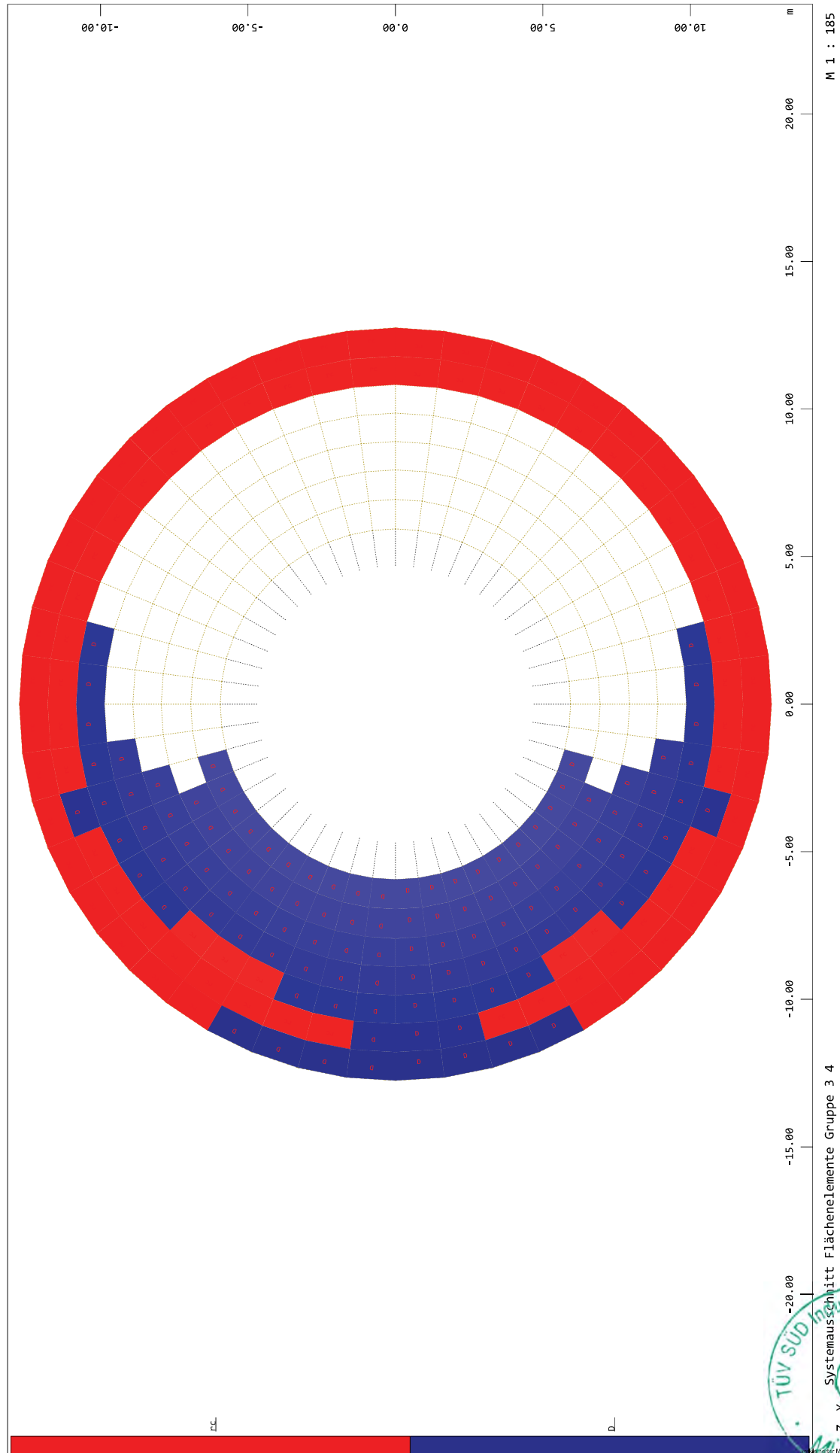
Systemausschnitt Flächenelemente Gruppe 3 4
Flächenelemente, Maßgebender Nachweis Hauptbewehrung (1. Lage) oben (D=DESI Bruchnachweis GZT, rc=Berechnung der Rissbreite), Bemessungsfall



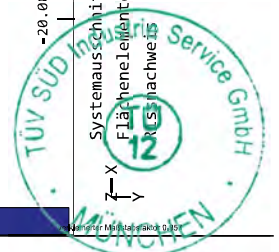
Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

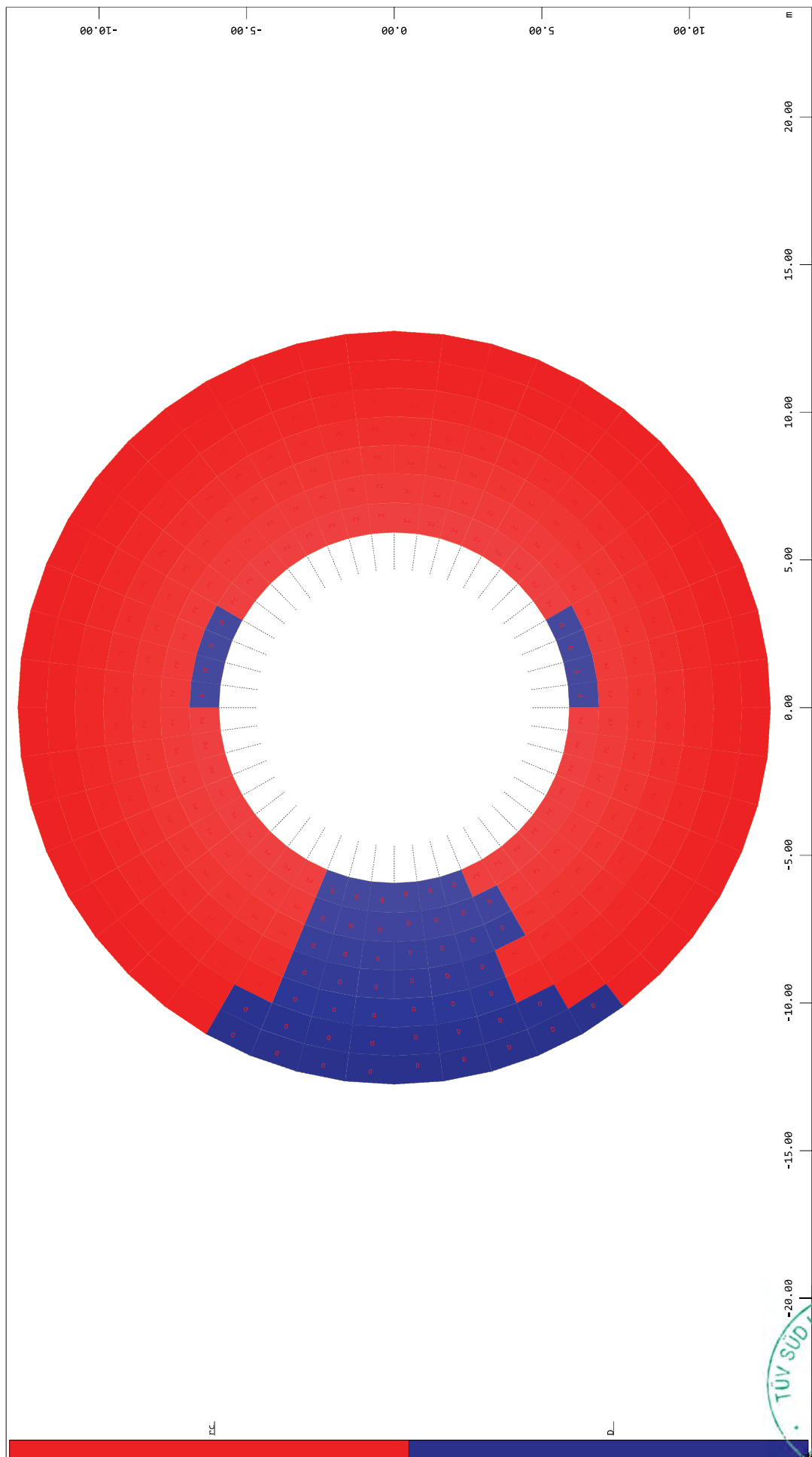


Systemauschnitt Flächenelemente Gruppe 3 4
Flächenelemente, Maßgebender Nachweis Querbewehrung (2. Lage) oben (D=DESI Bruchnachweis GZT, rc=Berechnung der Rissbreite), Bemessungsfall 22



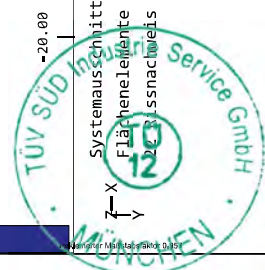
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



M 1 : 185

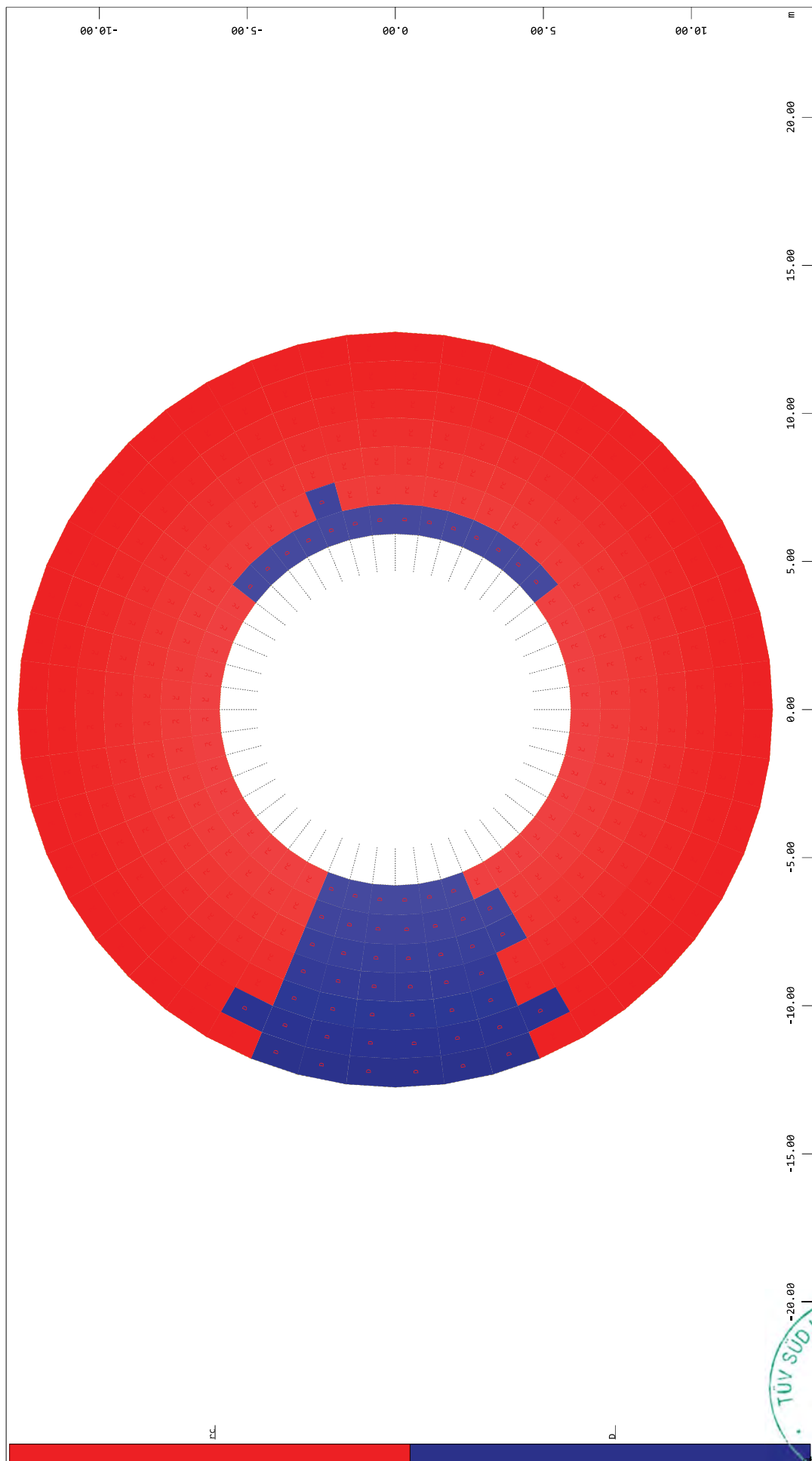
Systemauschnitt Flächenelemente Gruppe 3 4
Flächenelemente, Maßgebender Nachweis Querbewehrung (2. Lage) unten (D=DESI Bruchnachweis GZT, rc=Berechnung der Rissbreite), Bemessungsfall



Fundament / Foundation - D = 25,5 m - T22 - V162 - 6.8/7.2 MW - NH / HH =169 m

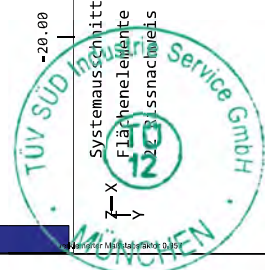
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



M 1 : 185

Systemauschnitt Flächenelemente Gruppe 3 4
Flächenelemente , Maßgebender Nachweis Hauptbewehrung (1.Lage) unten (D=DESI Bruchnachweis gZT, rc=Berechnung der Rissbreite), Bemessungsfall



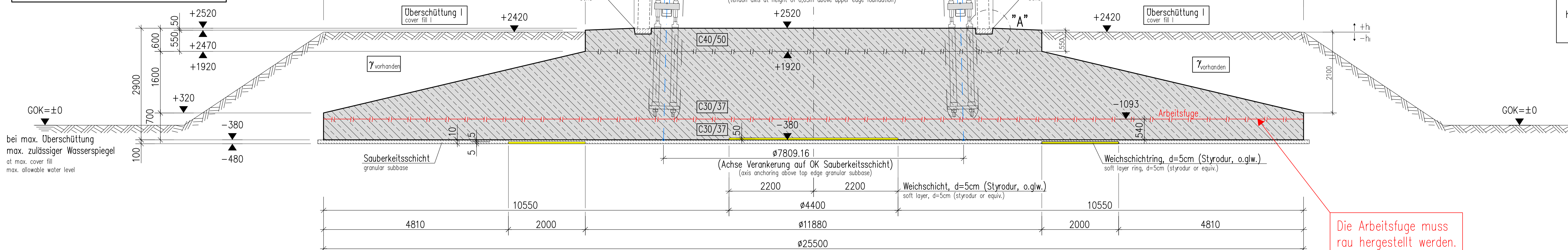
SNITT 1-1

Section 1-1

M 1:50

Arbeitsfuge zwischen Sockel und Fundamentkörper ist glatt herzustellen.
The construction joint between the base and the body of the foundation must be made smooth.

Die Betone können "frisch-in-frisch" eingebaut werden.
The concretes can be poured "wet-on-wet".

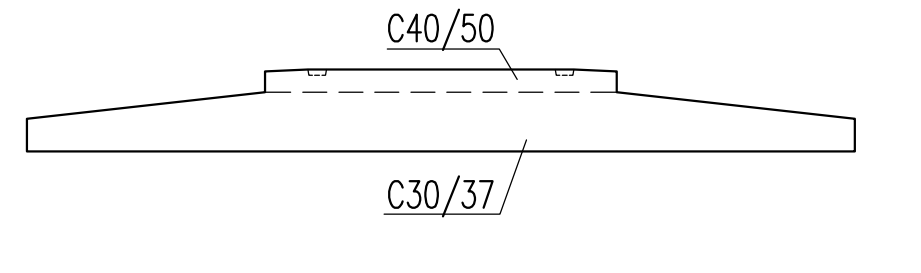


Die planmäßige Dichte beträgt 1,8 t/m³. Bei Abweichungen kann die erforderliche Überschüttung mit nachfolgender Formel ermittelt werden: Die Erdaufst ist durch den Bodengutachter festzulegen.
The planned density is 1.8 t/m³. In case of deviations, the required overfill can be calculated with following formula:
The soil load must be determined by the land surveyor.
The overfill must be at least 50cm.

erforderliche Erdaufst auf dem Fundamentkörper für Überschüttung I:
required earth cover on the foundation body for the cover fill I:

$$A_{\text{Aufst}} = \frac{\pi}{4} \times (25,50^2 - 11,88^2) = 399,9 \text{ m}^2$$
$$V_{\text{erf}} = 558,7 \text{ m}^3$$
$$G_{\text{erf}} = V \times \gamma = 558,7 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ t/m}^3 = 1005,7 \text{ t}$$
$$h_{\text{erf}} [\text{m}] = \frac{G_{\text{erf}}}{\gamma_{\text{erf}}} - V_{\text{erf}} = \frac{1005,7 [\text{t}]}{\gamma_{\text{erf}} [\text{t/m}^3]} - 558,7 [\text{m}^3]$$
$$h_{\text{erf}} [\text{m}] = \frac{1005,7}{399,9} - 558,7 = 2,50 \text{ m}$$

Volumen Beton: 880m³
volume concrete: 880m³
Fundamentkopf = 64m³
Fundamentplatte = 816m³
Gewicht: weight: 22000kN



DRAUFSICHT

TOP VIEW

M 1:50

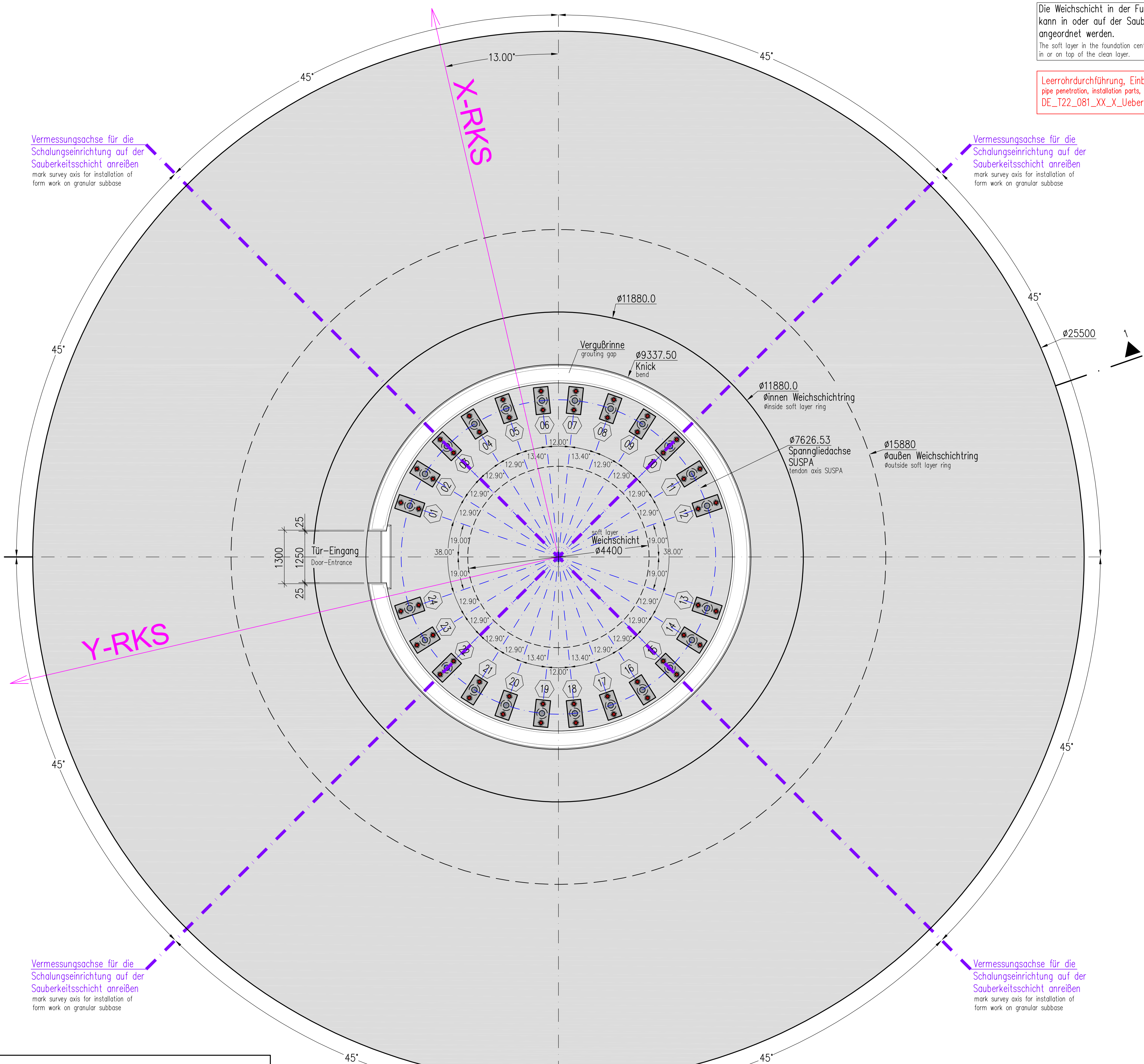
Detail für "VerguBrinne"
Detail for "overmoulding board"
siehe Plan DE_T22_081_XX_X_Uebersicht

Vermessungssache für die Schalungseinrichtung auf der Sauberkeitsschicht anreiben
mark survey axis for installation of form work on granular subbase

Vermessungssache für die Schalungseinrichtung auf der Sauberkeitsschicht anreiben
mark survey axis for installation of form work on granular subbase

Die Weichschicht in der Fundamentmitte kann in oder auf der Sauberkeitsschicht angeordnet werden.
The soft layer in the foundation center can be placed in or on top of the clean layer.

Leerrohrdurchführung, Einbauteile, etc. siehe Plan DE_T22_081_XX_X_Uebersicht



Achtung:
Spanngliedernummerierung auf Fundament kennzeichnen!
Attention:
Mark the numbers of the tendons on the foundation!

Sichtbare Betonkanten 1,0/1,0cm fassen
Visible concrete edges chamfer 1,0/1,0cm

3667703-22-d
In bautechnischer Hinsicht geprüft.
Sichtprüfung vom:
München 31.08.2022
TUV SUD Industrie Service GmbH
Prüfung für Standsicherheit
von Windenergieanlagen
Der Bearbeiter: Der Leiter

TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer
.5Jahre/Wiedervorlage bis 30.08.2027

Biege- und Verlegeanweisung Bending- and installation instruction nach/according: EC2 + NA	
Mindestbiegehaltdurchmesser / Minimum mandrel diameters	
Die Gesamtlängen der Auszüge beziehen sich auf Außenmaße All total lengths of bar profiles show outside dimensions	
Baustoffe Building materials	
letzte Stabablenkung last steel bar position	Betonstahl: B500B reinforcement steel: profil/according to: EN 10080-1 + EN 10080-2
letzte Mutterposition last mesh position	Betonfestigkeitsklasse: C30/37 & C40/50 Concrete strength: profil/according to: EN 12618-1
Betondeckung [mm] Concrete cover	Expositionsklasse Exposure class
innen inside	XC4, XC5, XF1, XF2
außen/außen outside/outside	XC4, XC5, XF1, XF2
selbst self	XC4, XC5, XF1, XF2
Anmerkung: Expositionsklasse XD1 nur in Außenbereich ohne Erdbedeckung erforderlich. Note: Exposure class XD1 in outside areas without backfill / earth cover	
- dynamische Drehfeder der Gründung: dynamic rotational stiffness	K _{rot,0} ≥ 200000 MNm/rod
- statische Drehfeder der Gründung: static rotational stiffness	K _{rot,0} ≥ 40000 MNm/rod

ZUGEHÖRIGE PLANE	ASSOCIATED DRAWINGS
Plan NR.:	
DE_T22_001_XX_X_Uebersicht	Übersichtsplan Gesamtumriss general plan with earthing concept
DE_T22_003_XX_X_Erdung	Erdungskonzept Übersichtsplan grounding for foundation
DE_T22_004_XX_X_Erdung	Erdung für Fundament foundation reinforcement plan
DE_T22_006_XX_X_Bewehrung	Bewehrungsplan Fundament foundation reinforcement plan
DE_T22_081_XX_X_Uebersicht	Übersichtsplan Leerrohraustritt layout pipe penetration
M578	Spanngliedverankerung 3.0 tendon anchoring 3.0
DE_T22_M012_Montageplan	Absteckung Montagegerahmen staking out mounting frame

VESTAS Windenergieanlage VIEA VESTAS V162 Stahl-Beton-Hybridturm (T22) 169mm NH Rotorblattdurchmesser 162m DIB 2	VESTAS wind turbine VIEC VESTAS V162 steel concrete hybridtower (T22) 169mm HH rotor blade diameter 162m DIB 2
---	---

Labelle max. charakt. Lasten & Bereiche, vgl. Endausfallbericht	Mass.	18.08.2022
Bezeichnung	erstellt	Datum

 Fortschritt baut man aus Ideen.	
Bauherr: Max Bögl	Projekt Nr.: 21683
Bauvorhaben: Windkraftanlage	wind turbine generator
Bauteile: Schaplan Fundament #25,50m	Moßstab: 1:50; 1:25; 1:10
Formwork plan foundation	

erst.: Moos	Dat.: 04.07.2022	Boegl-Planbezeichnung	
gepr.: Reisp	Dat.: 05.07.2022	Land	Turnip
Freig.: Belz	Dat.: 05.07.2022	DE	T22_005_XX_X
		Segment	Boegl
		Plan	Schapl
		Index	2

Software-Datenname: DE_T22_005_XX_X_Schapl

