



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 02.02.2021

Prüfnummer: 3108363-23-d Rev. 2

Objekt: **Prüfung der Standsicherheit - Flachgründung**
Windenergieanlage Vestas V162-5.4/5.6/6.0 MW
Turm: Hybridturm T20
Nabenhöhe: 169 m über GOK
Windzone S, Erdbebenzone 3

Hier: Ø = 24,50 m (rund) mit Auftrieb

Entwurfslebensdauer: 20 Jahre

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

**Hersteller und
Konstruktion:** Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 42
8200 Aarhus N
Dänemark

**Statische
Berechnung:** Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Str. 1
92369 Sengenthal

Auftraggeber: Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Str. 1
92369 Sengenthal

Geltungsdauer: bis 16.02.2025

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/CST

Dokument:
3108363-23-
d_Rev.2_Bögl_Vestas
V162_T20_169m_FGmA_24,5_2
0a.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/de/impresum

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

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

TUV[®]

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	17.02.2020	Erstfassung
1	15.01.2021	Redaktionelle Änderungen. Neue Revisionen Dokumente [1], [3], [7] und [10]. Neues Dokument [6]. Dokument [2] behält Gültigkeit.
2	02.02.2021	Korrektur Dokument [8]. Dokumente [1] bis [3] behalten Gültigkeit.

Inhaltsverzeichnis

1. Unterlagen 3

1.1. Geprüfte Unterlagen..... 3

1.2. Eingesehene Unterlagen..... 3

2. Prüfgrundlage 4

3. Beschreibung 4

3.1. Baustoffe..... 5

3.2. Lastannahmen 5

3.3. Baugrund 5

4. Prüfumfang 6

5. Prüfbemerkungen..... 6

6. Prüfergebnis..... 6

Auflagen..... 7



Industrie Service

1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

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

- [1] „Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm T20, Windenergieanlage: Vestas V162-5.6, Nabenhöhe: 169m + 166 m, Bauteil: Fundament D = 24,5 m“, 192 Seiten, Dokument Nr. 21683-T20, Rev. d, Datum 2020-12-01
- [2] „Schalplan Fundament Ø24,50m, NH=166m und 169m“, Dokument Nr. DE_T20_005_XX_X_Schalplan, Rev. a, Datum 2020-01-08
- [3] „Bewehrung Fundament Ø24.50m“, Dokument Nr. DE_T20_006_XX_X_Bewehrung, Rev. c, Datum 2020-10-14

1.2. Eingesehene Unterlagen

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

- [4] „Combine Foundation loads, V162-5.4 & 5.6 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH169 m, 50/60 Hz, GS“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, 237 Seiten, Dokument Nr. 0088-7315, Rev. 3, Datum 2020-01-29
- [5] „Combine Foundation loads, V162-5.4 & 5.6 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH166 m, 50/60 Hz, GS“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, 127 Seiten, Dokument Nr. 0088-7314, Rev. 3, Datum 2020-01-29
- [6] “Tower Loads Comparison – HA2A600/HA2A900 EV162-5.4/5.6/6.0 MW, EnVentus, WZ2GK2(S), HH166/169 m 50/60 Hz, GS“, erstellt von Vestas, 31 Seiten, Dokument Nr. 0098-7766, Rev. 01, Datum 2020-10-02
- [7] „Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas V162-5.4/5.6/6.0 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 20 Jahre) für Windzone S“, erstellt von DNV GL Energy Renewables Certification, 6 Seiten, Dokument Nr. L-05629-A052-3, Rev. 2, Datum 2020-12-08
- [8] „Uebersichtsplan Gesamtturm, NH=169m V162, Spannglieds. „Suspa““, erstellt von Max Bögl Wind AG, Dokument Nr. DE_T20_001_XX_X_Uebersicht, Rev. c, Datum 2020-12-10
- [9] „Statische Berechnung – Max Bögl Hybridturm T20, Spannbetonturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 165 Seiten, Dokument Nr. 21683-T20, Rev. b, Datum 2020-02-13
- [10] „Prüfbericht für eine Typenprüfung – Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm T20, Windenergieanlagen Vestas V162-5.4/5.6/6.0 MW, 169 m Nabenhöhe, Windzone S, Erdbebenzone 3, Entwurfslebensdauer: 20 Jahre“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, 13 Seiten, Dokument Nr. 3108363-13-d, Rev. 1, Datum 2021-01-12
- [11] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Drahtspannsystem SUSPA-Draht EX für externe Vorspannung mit 30 bis 84 Spannstahldrähten nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-2“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 39 Seiten, Zulassungsnr. Z-13.3-139, vom 16.04.2018, Geltungsdauer bis 16.04.2021
- [12] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, 10 Seiten, Zulassungsnr. Z-13.3-141, vom 15.04.2019, Geltungsdauer bis 16.04.2021

- [13] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT2.0, Bauteil: Spanngliedverankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, 54 Seiten, Dokument Nr. 21683, Rev. b, Datum 2019-06-27
- [14] „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, 7 Seiten, Dokument Nr. 8116 986 268-6 D, Rev. 0, Datum 2019-07-04

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

3. Beschreibung

Der Hybridturm für die Windenergieanlage vom Typ Vestas V162-5.4/5.6/6.0 MW mit 169 m Nabenhöhe wird mit Spanngliedern extern vorgespannt und im Sockel mit einer Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatten verankert.

Die Flachgründung besteht aus einer kreisförmigen Fundamentplatte mit 24,50 m Außendurchmesser, mit veränderlicher Höhe sowie einem darauf aufgesetzten Sockel. Zwischen Turmwand und Sockel ist eine Mörtelausgleichsschicht angeordnet.



Industrie Service

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 Expositionsklassen XC4, XF1, XD1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Beton für Sockel	C45/55 mit Expositionsklassen XC4, XF1, XD1 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Vergussmörtel	C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /3/
Spannsystem:	24 Spannglieder System SUSPA Draht EX-84, 84 Spannstahladrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm ² Nennquerschnitt gemäß [11] in Verbindung mit [12]

3.2. Lastannahmen

Die dimensionierenden Lasten für die Fundamentauslegung sind in den Fundamentlastdokumenten [4] und [5] für den Grenzzustand der Ermüdung angegeben. Die Lasten in [4] wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [7] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Die Lasten für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit wurden aus der statischen Berechnung des Turmes [9] entnommen. Diese Lasten werden mit dem Turmprüfbericht [10] bestätigt und als richtig vorausgesetzt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 20 Jahre.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [10] 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 /6/ in Deutschland abgedeckt.

Auf der Oberseite des Fundamentsockels 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 Dokument [4] $k_{\varphi, \text{dyn}} \geq 95 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\varphi, \text{stat}} \geq 40 \text{ GNm/rad}$.

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt bei 0,24 m über Fundamentunterkante.

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 gutachterlichen Stellungnahmen sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung 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 Beton des Fundaments am Turmfuß und an der Ankerplatte der Spanngliedverankerung werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Ermüdungsnachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß wurden in [9] geführt und in [10] bestätigt.

Die Nachweise der Spanngliedverankerung wurden in [13] geführt und in [14] bestätigt.

Imperfektionen:

Die Lasten aus [9] enthalten bereits Effekte aus einer Turmschiefstellung, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung statischer Bodenkenwerte.

Abweichend von /1/ wurden laut Dokument [9] für die Turmschiefstellung lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters statt 5 mm/m angesetzt. Dieser Ansatz wurde mit [10] bestätigt.

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. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Spannverfahren [11] und [12] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
7. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Fundaments ist eine gültige Version der Zulassungen [11] und [12] vorzulegen und gegebenenfalls die Gleichwertigkeit mit den hier zitierten Versionen nachzuweisen.
8. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete betontechnologische Maßnahmen zu ergreifen.
9. 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.
10. Die in der Berechnung spezifizierten Materialwichten des Fundaments und der Bodenaufschüttung sind durch entsprechende Qualitätssicherung und im Rahmen der Bauüberwachung zu bestätigen.



Industrie Service

11. Das in [2] spezifizierte Gesamtgewicht der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Ausführung der Überschüttung muss in Abstimmung mit dem Bodengutachter gewählt werden.

Prüfintervalle

12. 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 handwritten signature in green ink, appearing to read 'C. Stiglmeier'.

C. Stiglmeier

Der Leiter

A handwritten signature in green ink, appearing to read 'S. Mayer'.

i.V. S. Mayer

Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6		NH: 169 m + 166 m	Datum:
		Hybridturm: T20	01.12.2020

3108363-23-d Rev. 1

TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer

.5.Jahre/Wiedervorlage bis **16.02.2025**

In bautechnischer Hinsicht geprüft.

Siehe Prüfbericht vom **15.01.2021**

München **15.01.2021**

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
 Prüfamf für Standsicherheit
 von Windenergieanlagen

Statische Berechnung

Max Bögl Hybridturm T20

Structural design Max Bögl hybrid tower

Der Bearbeiter:

Der Leiter:

Projektnummer: 21683-T20
Project number:

Anlagenhersteller: Vestas Wind Systems A/S
Wind turbine manufacturer: Hedeager 44
 DK-8200 Aarhus

Windenergieanlage: Vestas V162-5.6
Wind turbine generator:

Nabenhöhe: 169 m + 166 m
Hub height:

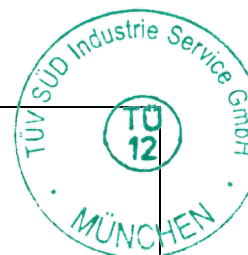
Bauteil: Fundament D = 24,5 m
Component: Foundation D = 24,5 m

Verfasser: Max Bögl Wind AG
Author: Max-Bögl-Str. 1
 DE-92369 Sengenthal

Datum: 01.12.2020
Date:

Revision: d
Revision:

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>
Block:	
Vorgang:	



Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

Änderungsverzeichnis / Revisions

Revision	Datum	Beschreibung	Bearbeiter
-	22.11.2019	Erstausgabe / <i>First release</i>	P. Plou / C. von Oesen
a	06.12.2019	Modifizierte Betonturmlastausbreitung / <i>Modified concrete tower load distribution</i> Modifizierte Ermüdungsnachweis der Lasteinleitung an der Windzugseite / <i>Modified fatigue verification of the load application at the wind tension side</i> Ermüdungsnachweis des Betons oberhalb der Ankerplatte ergänzt / <i>Fatigue verification of the concrete above the anchor plate added</i>	P. Plou
b	09.01.2020	Beschreibung der Belastung aus dem Hybridturm erweitert / <i>Description of the tower loads extended</i>	P. Plou
c	27.01.2020	Markov-Matrizen für 20 und 25 Jahre Lebensdauer berücksichtigt / <i>20 and 25 years lifetime markov matrices considered</i>	P. Plou
d	01.12.2020	Lastvergleich gemäß [G-3] ergänzt / <i>Load comparison according to [G-3] added</i>	L. Planas

Hinweis:

Im Zweifelsfall ist der deutsche Text maßgebend.

Note:

In case of doubt, German text prevails.

Datum: 01.12.2020

Aufgestellt:


i.A. Lluís Planas Bosch

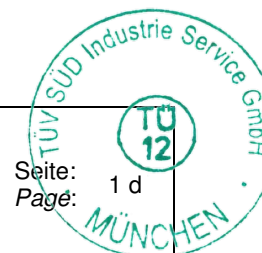
Geprüft:


i.A. Christoph von Oesen

Geprüft und freigegeben:


i.A. Thorsten Betz

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>
Block:	Änderungsverzeichnis / Revisions
Vorgang:	

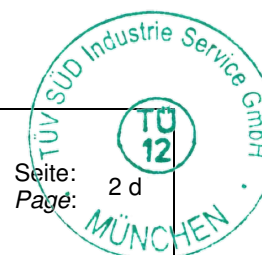


Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

Inhaltsverzeichnis / Contents

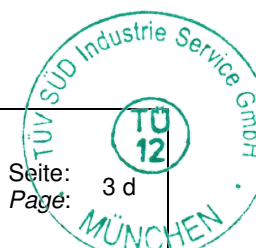
Änderungsverzeichnis / Revisions		1
Inhaltsverzeichnis / Contents		2
1 Allgemeines / General		5
1.1 Vorbemerkungen / Preliminary remarks		5
1.2 Unterlagen, Vorschriften und Literatur / Documents, regulations and literature.....		8
1.3 Abmessungen		9
2 FE System / FE System		12
2.1 Allgemeine Beschreibung / General discription.....		12
2.2 Geometrie und Elementierung / Geometry and Elements.....		14
2.3 Material / Material		16
2.4 Bettung / Bedding		17
3 Einwirkungen / Loads		18
3.1 Eigengewicht / Dead weight.....		18
3.2 Erdauflast / Soil cover.....		18
3.3 Auftrieb / Buoyancy.....		19
3.4 Nutzlasten / Live loads.....		19
3.5 Vorspannung / Pre-stressing		20
3.6 Belastung aus dem Hybridturm / Tower loads.....		23
4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design		29
4.1 Geometrie und Bodenkennwerte / Geometry and soil properties.....		29
4.2 Einwirkungen / Loads.....		31
4.3 Nachweis gegen Klaffen / Gapping		32
4.4 Randdruckspannungen / Soil edge pressure.....		33
4.5 Nachweis der Bodendrehfedersteifigkeit / Verification of the ground rotatin stiffness.....		34
5 Bemessungsschnittgrößen / Design internal forces		37
5.1 Lastfallkombinationen / Load combination.....		37
5.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit / Ultimate limit state.....		39
5.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit / Serviceability limit state.....		39

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	
Block:	Inhaltsverzeichnis / Contents	
Vorgang:		



Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20 Datum: 01.12.2020
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20

6	Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design.....	40
6.1	Bemessungsverfahren / <i>Design Procedure</i>	40
6.1.1	Bemessungsvorgaben für GZT / <i>Design Specifications for ULS</i>	41
6.1.2	Bemessungsvorgaben für GZG / <i>Design Specifications for SLS</i>	42
6.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit / <i>Ultimate limit state</i>	43
6.2.1	Erforderliche Bewehrung (FE) / <i>Required reinforcement (FE)</i>	43
6.3	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit / <i>Serviceability limit state</i>	44
6.3.1	Erforderliche Bewehrung zur Beschränkung der Rissbreite (FE) / <i>Required reinforcement for crack width limitation (FE)</i>	44
6.4	Mindestbewehrung / <i>Minimum required reinforcement</i>	45
6.4.1	Mindestbewehrung für duktilen Bauteilverhalten / <i>Minimum required reinforcement for ductile Behavior</i>	45
6.4.2	Mindestbewehrung zur Beschränkung der Rissbreite / <i>Minimum required reinforcement for crack width limitation</i>	47
6.5	Erforderliche Bewehrung / <i>Required reinforcement</i>	50
6.6	Lasteinleitung / <i>Load application</i>	51
6.6.1	Windzugseite / <i>Wind tension side</i>	51
6.6.2	Winddruckseite / <i>Wind compression side</i>	54
6.6.3	Nachweis der Betonpressung am Turmfuß / <i>Concrete compression at tower bottom</i>	57
6.7	Bewehrungsübersicht und –skizze / <i>Summary and sketch of reinforcement</i>	59
7	Ermüdungsnachweise / <i>Fatigue design</i>	64
7.1	Allgemeines / <i>General</i>	64
7.2	Biege- und Schubbewehrung / <i>Bending and shear reinforcement</i>	65
7.3	Lasteinleitung / <i>Load application</i>	69
7.3.1	Windzugseite / <i>Wind tensile side</i>	69
7.3.2	Betonermüdung / <i>Concrete fatigue design</i>	71
7.3.3	Beton oberhalb der Ankerplatte / <i>Concrete above the anchor plate</i>	73
8	Betonierfuge / <i>Construction joint</i>.....	76
8.1	Allgemeines / <i>General</i>	76
8.2	Fugentragfähigkeit in GZT / <i>Joint resistance in ULS</i>	77
8.3	Fugentragfähigkeit unter Ermüdung / <i>Joint resistance under fatigue</i>	79

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: Page: 3 d
Block:	Inhaltsverzeichnis / <i>Contents</i>	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

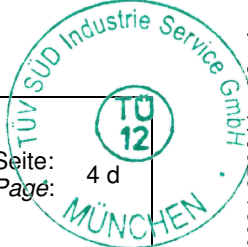
Anhang A: Geotechnische Nachweise / Appendix A: Geotechnical verifications

Anhang B: FE System / Appendix B: FE System.....

Anhang C: Lasteingabe / Appendix C: Load Input.....

Anhang D: Schnittgrößen / Appendix D: Internal forces.....

Anhang E: Erforderliche Bewehrung / Appendix E: Required reinforcement

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i> Block: Inhaltsverzeichnis / Contents Vorgang:	 <p>Seite: 4 d Page:</p>
--	---

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

1 Allgemeines / General

1.1 Vorbemerkungen / Preliminary remarks

Für die Windenergieanlagen V162-5.6 des Anlagenherstellers Vestas wird im Folgenden das Fundament des Hybridturms T20 mit den Nabenhöhen von 169m und 166m ausgelegt (von nun an werden sie 169mNH und 166mNH genannt).

Die Gesamtlänge des Turmes beträgt 163,850m für 169mNH und 161,050m für 166mNH, wobei der Spannbetonschaft mit einer Länge von 89,090m und der Stahlrohrturm mit einer Länge von 74,760m für 169mNH und 71,960m für 166mNH ausgeführt wird.

Der Hybridturm wird auf einem Kreisringfundament gegründet. Die Fundament-oberkante liegt bei 2,660m für 169mNH und 2,460m für 166mNH über GOK. Der Durchmesser der Flachgründung beträgt 24,5 m, siehe Abbildung / Figure 2. Unter dem inneren Bereich wird eine Weichschicht mit einem Durchmesser von 4,4 m angeordnet. Dieser Bereich wird unbewehrt ausgeführt. Das Fundament wirkt dadurch statisch als Kreisringplatte. Zusätzlich wird ab Außenkante des Sockels eine weitere Weichschicht mit einer Breite von 2 m vorgesehen.

Die aus der Turmstatik [G-1] erforderlichen 24 Spannglieder werden über eine Verankerungskonstruktion, die in der Spezifikation [G-2] bemessen wird, im Sockel des Fundaments verankert.

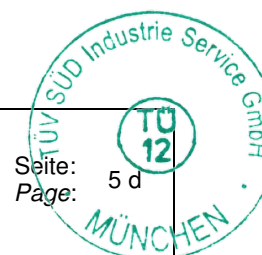
For the installation of the wind turbines V162-5.6 from the turbine manufacturer Vestas, a design of the foundation of the hybrid tower T20 is required. The hub-heights are 169m and 166m (from now on, they are called 169mNH and 166mNH).

The total tower length amounts to 163,850m for 169mNH and 161,050m for 166mNH, in which the pre-stressed concrete tower has a length of 89,090m and the steel tower a length of 74,760m for 169mNH and 71,960m for 166mNH.

The hybrid tower is grounded on a circular ring foundation. The foundation upper edge is 2.660m for 169mNH and 2.460m for 166mNH above GOK. The diameter of the flat foundation is 2,460m see Abbildung / Figure 2. A soft layer with a diameter of 4,4 m is arranged below the inner area. This area is executed without reinforcement. The foundation performs statically as a circular ring plate. In addition, another soft layer with a width of 2 m is provided from the outer edge of the base.

The 24 tendons required for the tower structural analysis [G-1] are anchored to the foundation by an anchoring system, which is designed in specification [G-2].

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block:	1 Allgemeines / General	
Vorgang:		



Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20 Datum: 01.12.2020
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20

Es wird eine statisch erforderliche, horizontale Erdüberschüttung mit einer Bodenwichte von 18 KN/m³ angesetzt. Die Überschüttungshöhe beträgt an der Fundamentaßenkante 2,15 m und am Sockel 0,55 m. Es wird ein Auftrieb von 0,44 m berücksichtigt, d.h. Grundwasser darf maximal bis zur Geländeoberkante anstehen.

Das Fundament wird für die in Kapitel 7 der Statik des Betonschaft [G-1] angegebenen Lasten und Anforderungen unter Berücksichtigung der o.g. Randbedingungen ausgelegt. Es werden die erforderlichen Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit, der Ermüdung und der Gebrauchstauglichkeit geführt.

Die Schnittkräfte und die erforderliche Bewehrung der Flachgründung werden anhand eines FE-Systems mit dem Programm SOFISTIK ermittelt, siehe Kapitel 2. Der Boden wird über das Steifemodulverfahren als elastischer Halbraum abgebildet.

Die in dieser Typenstatik bemessene Flachgründung soll an möglichst vielen Standorten eingesetzt werden. Die Eignung des Standorts ist durch einen Sachverständigen für Geotechnik nachzuweisen. Insbesondere sind folgende Nachweise unter Ansatz der standortspezifischen Bodenkennwerte zu führen:

- Nachweis der erforderlichen Drehfedersteifigkeit der Flachgründung (statisch und dynamisch)
- Nachweis gegen Grundbruch
- Nachweis gegen Gleiten

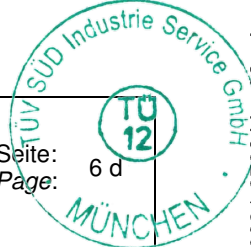
It is required in the tower structural analysis that horizontal earth covering is set with a necessary soil weight of 18 KN/m³. The overfill height is 2,15 m to the foundation outer edge and 0,55 m to the base. A water buoyancy of 0,44 m is considered, which means that groundwater may be up to ground level.

The foundation is designed for the loads and requirements specified in Chapter 7 of the tower structural analysis [G-1] considering the above mentioned boundary conditions. The required verifications in the Ultimate Limit State, Service Limit State and Fatigue State are provided.

The internal forces and the required reinforcement of the flat foundations are determined by using a FE-system in the SOFISTIK program, as seen in Chapter 2. The soil is represented using the stiffening modulus method as an elastic half-space.

The flat foundations designed in this analysis should be used in as many locations as possible. The suitability of the location needs to be proven by a geotechnical expert. In particular the following verifications must be investigated considering the site-specific soil characteristics:

- Verification of the shallow foundation torsional stiffness (static and dynamic)
- Verification against ground fracture
- Verification against slide

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: 6 d Page:
Block:	1 Allgemeines / General	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020

Die Anforderungen an den Baugrund und die anzusetzenden Lasten werden auf dem Schalplan des Fundaments, DE_T20_005_XX_X_Schalplan, angegeben.

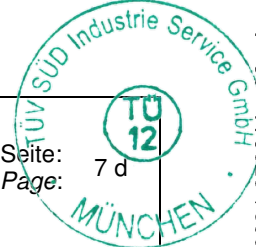
Der Einfluss der Bodensteifigkeit auf die Berechnungsergebnisse wurde in hier nicht aufgeführten Vergleichsrechnungen untersucht. Die gewählten Bewehrungsmengen decken die umhüllenden Berechnungsergebnisse ab.

Das Fundament wird mindestens in der Betongüte C45/55 für den Sockel und C30/37 für die Platte hergestellt und schlaff bewehrt. Der Beton und die Betondeckung sind auf eventuelle Aggressivität des Baugrunds und des Grundwassers einzustellen.

The requirements for the subsoil and the loads to be applied are specified on the foundation plan, DE_T20_005_XX_X_Schalplan.

The influence of soil stiffness on the calculation results was examined in comparative calculations not mentioned here. Reinforcement quantities are selected covering the results of the enveloping calculation.

The foundation is made at least with a concrete strength C45/55 for the base and C30/37 for the plate and conventionally reinforced. The concrete and its due cover must be adjusted for any aggressiveness of the subsoil and groundwater.

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i> Block: 1 Allgemeines / General Vorgang:	 <p>Seite: 7 d Page:</p>
---	---

Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6		NH: 169 m + 166 m	Datum:
		Hybridturm: T20	01.12.2020

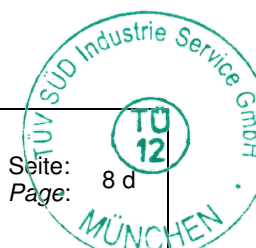
1.2 Unterlagen, Vorschriften und Literatur / *Documents, regulations and literature*

Technische Vorschriften und Richtlinien / Technical regulations and guidelines:

- [T-1] DIBt-Richtlinie: Richtlinie für Windenergieanlagen, Deutsches Institut für Bautechnik, Oktober 2012
- [T-2] IEC 61400-1: Windenergieanlagen Teil 1: Sicherheitsanforderungen, Deutsche Fassung EN 61400-1:2004
- [T-3] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Januar 2011
- [T-4] 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, Januar 2011
- [T-5] CEB-FIP Model Code 1990: Comité Euro International du Béton CEB FIP Model Code 1990, Bulletin d'Information No. 213/214, Final Draft, Lausanne, July 1993
- [T-6] DAfStb Heft 439: Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990
- [T-7] DAfStb Heft 600: Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2), 1. Auflage 2012
- [T-8] DIN EN 1997-1: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln, September 2009
- [T-9] DIN 1054: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Dezember 2010
- [T-10] DIN EN 1991-1-1: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Dezember 2010

Dokumente und Gutachten / Documents and reports:

- [G-1] Max Bögl Wind AG: Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm T20, Projektnummer 21683-T20, Januar 2020
- [G-2] Max Bögl Wind AG: Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm RT 2.0, 21683
- [G-3] 0098-7766_V01 CompareTowerLoads_EV162-5.4-5.6MW EnVentus DiBTs HH166 – 169 CHT, Oktober 2020

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: 8 d Page:
Block:	1 Allgemeines / General	
Vorgang:		

Verfasser:		 <p>MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

1.3 Abmessungen

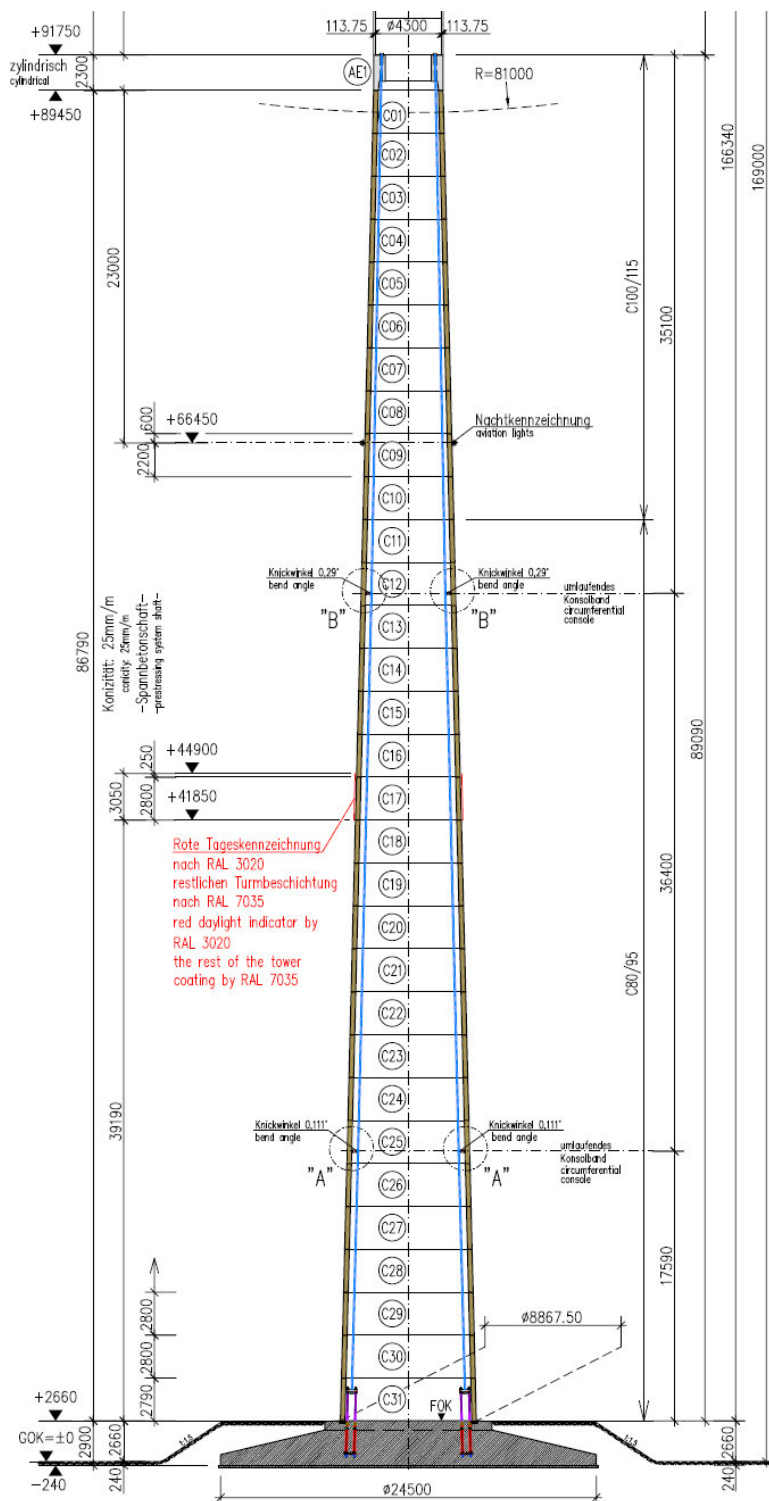
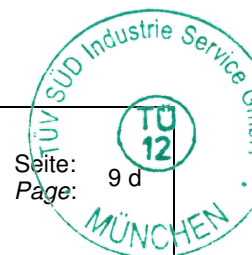


Abbildung / Figure 1: Geometrie Betonschaft und Fundament

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m
Block:	1 Allgemeines / General
Vorgang:	



Verfasser:	 <p>MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.:	21683-T20	
WEA: Vestas V162-5.6		NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:

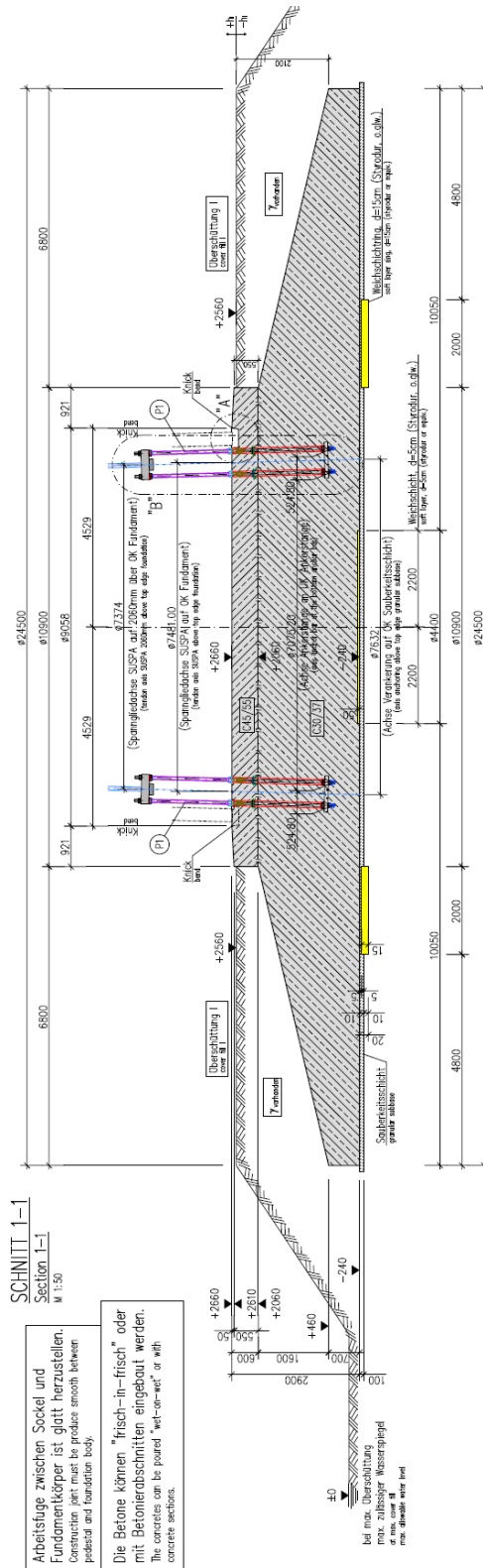
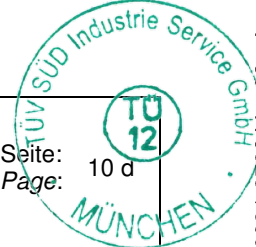


Abbildung / Figure 2: Fundamentgeometrie

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m
Block:	1 Allgemeines / General
Vorgang:	

Seite: 10 d
Page:



Verfasser:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6			NH: 169 m + 166 m
			Hybridturm: T20

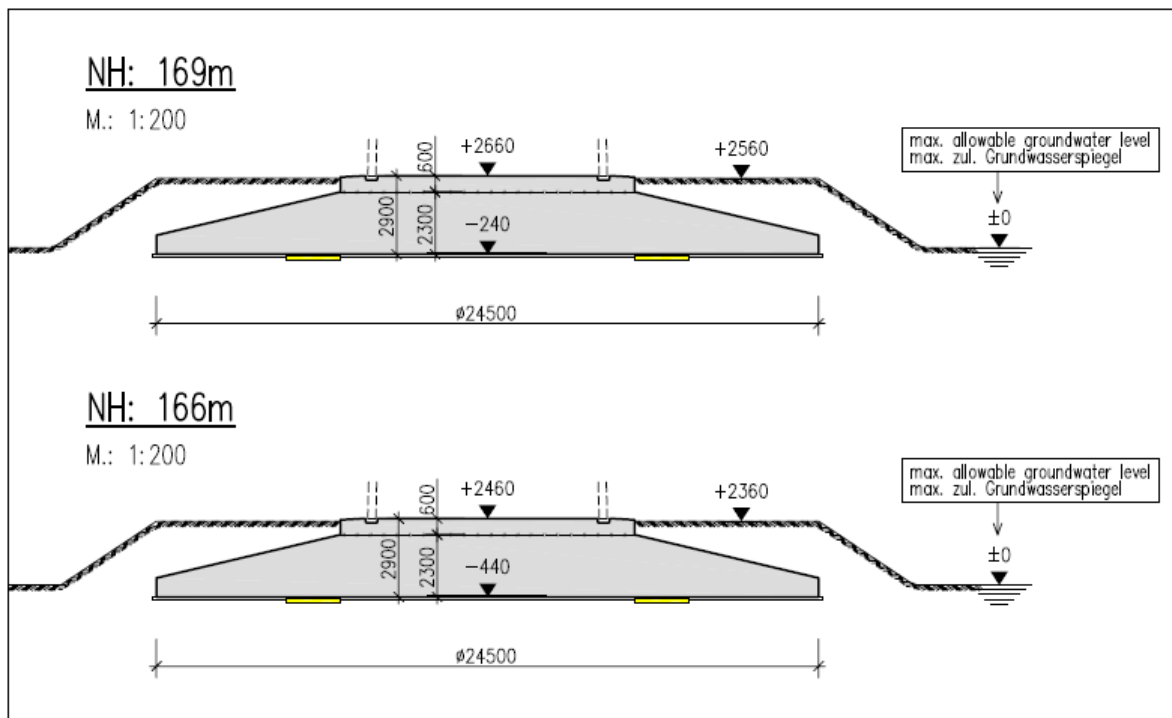
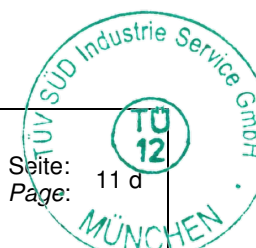


Abbildung / Figure 3: Gründungssituation NH 169m und 166m

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	
Block:	1 Allgemeines / General	
Vorgang:		
		Seite: 11 d Page:

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

2 FE System / FE System

2.1 Allgemeine Beschreibung / General description

Die Berechnung und Bemessung des Fundaments wird mittels eines FE-Modell mit dem Programm Sofistik vorgenommen.

Hierzu wird das Fundament wird mit Schalelemente (QUAD-Element) modelliert. Die Schalelemente bilden den Fundamentkörper mittels exzentrische QUAD-Elemente und variable Dicke 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. Der Weichschichtring wird mittels nicht gebetteten Schalelemente berücksichtigt.

In Abbildung / Figure 4 ist eine isometrische Ansicht der Elementgeometrie des FE-Modells zu finden.

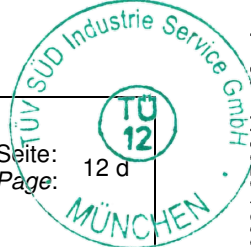
The calculation and design of the foundation is based on an FE-model with the program Sofistik.

The foundation is modeled with shell elements (QUAD element). The shell elements form the foundation body by means of eccentric QUAD elements and variable thickness.

The foundation is modeled as a circular ring plate with non-bedded areas. In order to be on the safety side, the inner unreinforced area of the foundation is not represented in the FE-system.

The soil is represented via the stiffness modulus method as an elastic half-space. The soft layer ring is taken into account as non-bedded planar elements.

Abbildung / Figure 4 shows an isometric view of the element geometry of the FE-model as an evaluation extract.

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block:	2 FE System / FE System	
Vorgang:		

Seite: 12 d
Page:

Verfasser:		 <p>MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6			NH: 169 m + 166 m
		Hybridturm: T20	

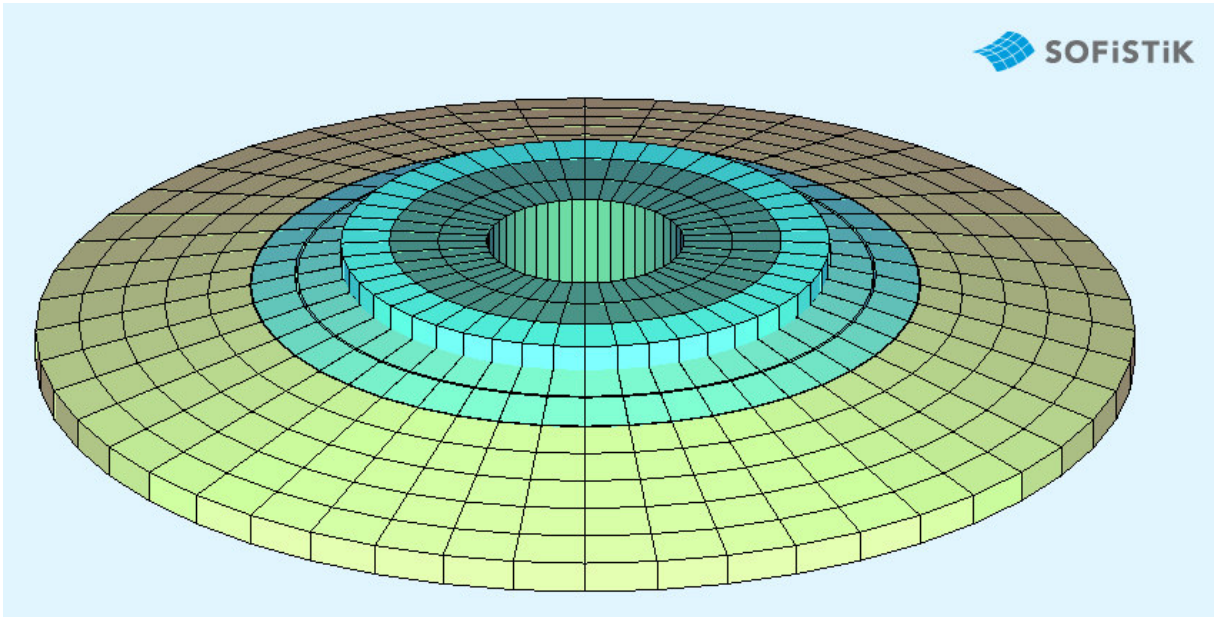
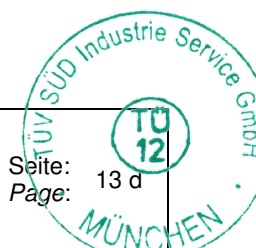


Abbildung / Figure 4: FE System

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 <p>Seite: 13 d Page:</p>
Block:	2 FE System / FE System	
Vorgang:		

Verfasser:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

2.2 Geometrie und Elementierung / *Geometry and Elements*

Zur Abbildung des Kreisringfundamentes werden die Schalelemente in ein radial-tangential Raster angeordnet. Die Elementanzahl beträgt 48 Elemente in Umfangsrichtung. In Radial Richtung wird die Anzahl gemäß Abbildung / Figure 5 möglichst gleichmäßig definiert.

Für die Auswertung werden die Elemente in Gruppen eingeteilt, siehe auch Abbildung / Figure 5. 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. Die Elemente der Gruppe 3 (Pos.-R 4 und 5) bilden den Körper auf dem Weichschichttring ab. Diesen Elementen wird keine Bettung zugewiesen.

Weitere Information der Modellierung des Fundaments sind im Anhang B angegeben.

To model the circular ring foundation the shell elements are arranged in a radial-tangential grid. This grid consists of 48 elements in the circumferential direction. Radially, elements are defined as shown in Abbildung / Figure 5 as even as possible.

For analyses purpose the elements are grouped, see Abbildung / Figure 5. The elements of group 1 and 2 (pos. R 1 to 3) form the area of the pedestal. The elements of group 3 and 4 (pos. R 4 to 10) model the plate. The elements of group 3 (pos. R 4 and 5) stand for the body on the soft layer ring. These elements are not bedded.

Further information on the modeling of the foundation can be found in Appendix B.

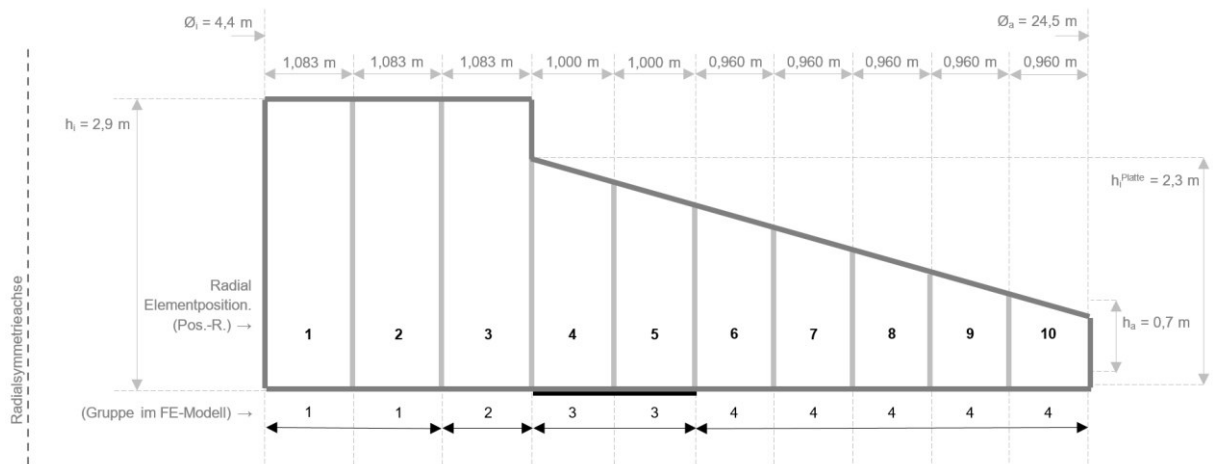
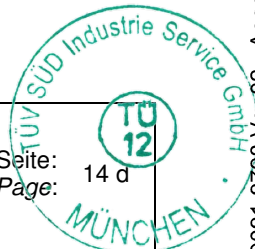


Abbildung / Figure 5: Elementeinteilung in Radialrichtung / Elements in radial direction

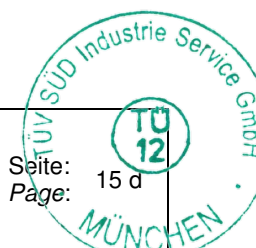
Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	 Seite: 14 d Page:
Block:	2 FE System / FE System	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

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

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

Pos.-R	Ri	Ra	b-R	b-U	A	Mitt.-R	Mitt.-U	H
<i>Numm.</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m²</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
1	2,200	3,283	1,083	0,359	0,39	2,742	17,226	2,900
2	3,283	4,367	1,083	0,500	0,54	3,825	24,033	2,900
3	4,367	5,450	1,083	0,642	0,70	4,908	30,840	2,875
4	5,450	6,450	1,000	0,778	0,78	5,950	37,385	2,182
5	6,450	7,450	1,000	0,909	0,91	6,950	43,668	1,947
6	7,450	8,410	0,960	1,037	1,00	7,930	49,826	1,716
7	8,410	9,370	0,960	1,163	1,12	8,890	55,858	1,491
8	9,370	10,330	0,960	1,288	1,24	9,850	61,889	1,265
9	10,330	11,290	0,960	1,414	1,36	10,810	67,921	1,039
10	11,290	12,250	0,960	1,540	1,48	11,770	73,953	0,813

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block: 2 FE System / FE System	
Vorgang:	

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

2.3 Material / Material

Alle Elemente werden mit den gleichen Materialeigenschaften modelliert.

Der Beton ist ein C30/37. Die Bewehrung ist B500 B.

Die im FE-Modell angesetzten Materialparameter und -Eigenschaften sind in Abbildung / Figure 6 aufgelistet.

All elements are modeled using the same material properties.

The concrete is a C30/37. The reinforcement is B500 B.

The material parameters and properties used in the FE-model are listed in Abbildung / Figure 6.

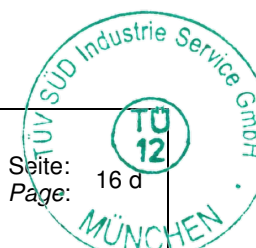
Mat 11 C 30/37 (EN 1992)

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]
				Proportionalitätsgrenzefp		500.00	[MPa]
				Schwingbreite	σ-dyn	152.17	[MPa]

Abbildung / Figure 6: Materialeigenschaften / Material properties

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	
Block: 2 FE System / FE System	
Vorgang:	

Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6			Datum: 01.12.2020
NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20		

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:

Statisches Steifemodul = 20 MN/m²

Alle gebetteten Elemente bekommen das gleiche Steifemodul zugewiesen. Die Elemente auf dem Weichschichtring sind nicht gebettet.

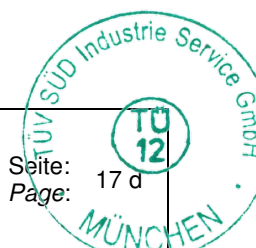
Der Einfluss der Bodensteifigkeit auf die Berechnungsergebnisse wurde in hier nicht aufgeführten Vergleichsrechnungen untersucht. Die gewählten Bewehrungsmengen decken die umhüllenden Berechnungsergebnisse ab.

Since the foundation should be used in as many locations as possible, the following soil stiffness is applied on the safe side:

Static constrained modulus = 20 MN/m²

The same constrained modulus is assigned to all bedded elements. The elements on the soft layer ring are not bedded.

The influence of soil stiffness on the calculation results was examined in comparative calculations not mentioned here. Reinforcement quantities are selected covering the results of the enveloping calculation.

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: 17 d Page:
Block:	2 FE System / FE System	
Vorgang:		

Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6			Datum: 01.12.2020
NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20		

3 Einwirkungen / Loads

Graphische Auszüge der Lasteingabe im FE-Modell sind im Anhang C dargestellt.

Graphical illustrations of the load inputs in the FE-model are shown in Appendix C.

3.1 Eigengewicht / Dead weight

Das Eigengewicht wird programmintern ermittelt (LF10).

The dead weight is determined in the program (LF10).

Das Gewicht des unbewehrten Betonbereiches in Fundamentmitte, die nicht modelliert ist, wird als Eingabelast am inneren Elementrand angesetzt (LF11). Dafür wird eine Betonwichte $\gamma_C = 25 \text{ kN/m}^3$ benutzt. 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 (LF11). For this a concrete weight $\gamma_C = 25 \text{ kN/m}^3$ is applied. The eccentricity is covered by applying a uniform distributed torsional moment.

3.2 Erdauflast / Soil cover

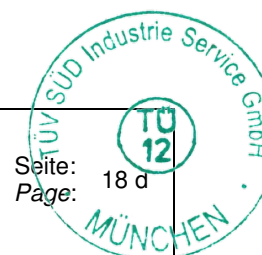
Eine maximaler Erdauflast (Überschüttung) wird modelliert.

A maximum earth load (soil cover) is modeled.

Die maximaler Erdauflast (LF42) berücksichtigt eine Erdschicht mit einer Dicke von 0,550 m am Sockel und einer Dicke von 2,150 m außen. Die Erdwichte wird mit $\gamma_E = 18 \text{ kN/m}^3$ angesetzt.

The maximum earth load (LF42) takes into account a layer of earth with a thickness of 0,550 m at the pedestal and a thickness of 2,150 m at the outside of the plate. An earth weight of $\gamma_E = 18 \text{ kN/m}^3$ is applied.

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>
Block:	3 Einwirkungen / Loads
Vorgang:	



Seite: 18 d
Page:

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

3.3 Auftrieb / Buoyancy

Die Auftriebskräfte durch anstehendes Grundwasser werden als Last berücksichtigt (LF52). Die Dicke des verdrängten Wasserkörpers besteht 0,440 m.

Analog zum Eigengewicht werden die Auftriebslasten im nicht modellierten unbewehrten Bereich auf der Elementinnenkante angebracht, einschließlich ein lineares Torsionsmoment.

Buoyancy due to groundwater is considered as load (LF52). The thickness of the water body is 0.440 m.

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

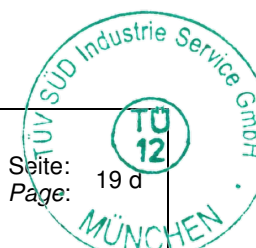
3.4 Nutzlasten / Live loads

Die Nutzlasten im Turminnenraum (LF60) werden mit einer Flächenlast von $q_{NL} = 10 \text{ kN/m}^2$ auf der gesamten inneren Fläche des Anfangsringses abgeschätzt.

Analog zum Eigengewicht werden die Nutzlasten im nicht modellierten unbewehrten Bereich auf der Elementinnenkante angebracht, einschließlich ein lineares Torsionsmoment.

The Live Loads inside the tower (LF60) are consists of a surface load of $q_{NL} = 10 \text{ kN/m}^2$ over the entire inner surface in the starting ring.

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

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 <p>Seite: 19 d Page:</p>
Block:	3 Einwirkungen / Loads	
Vorgang:		

Verfasser:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

3.5 Vorspannung / Pre-stressing

Die Vorspannung vom Betonturm (LF70) tritt als Fundament-Last durch die Kontaktfläche mit dem Anfangsring und durch die Spanngliederankerung auf.

Das gesamt Last von den 24 SUSPA EX-84 gemäß Turmstatik [G-1] beträgt $P_{ges} = 98952 \text{ kN}$.

Die Lasteinleitung im FE-Modell berücksichtigt die Lastausbreitung bis zur Fundamentmittelebene mit einem Lastausbreitungswinkel von $\alpha = 45^\circ$, siehe Abbildung / Figure 7. Die Lasten werden als Flächenlasten aufgebracht.

The pre-stressing from the concrete tower (LF70) acts as a foundation load through the contact surface with the starter ring and through the tendon anchoring.

The total load of the 24 SUSPA EX-84 according to [G-1] is $P_{ges} = 98952 \text{ kN}$.

The load introduction in the FE-model considers the load distribution to the foundation center level with a load distribution angle of $\alpha = 45^\circ$, see Abbildung / Figure 7. The loads are applied as surface loads in the FE-model.

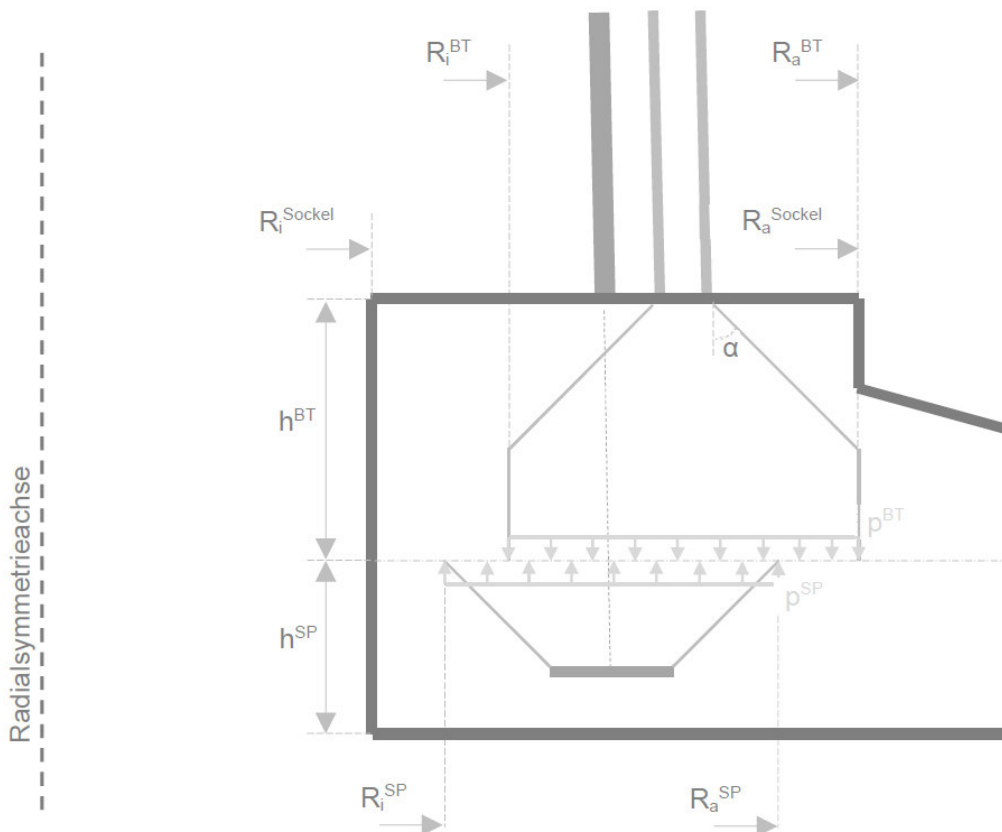
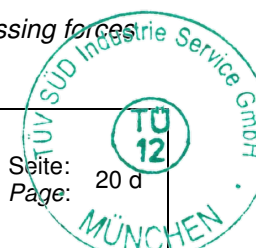


Abbildung / Figure 7: Lastausbreitung der Vorspannung / Load distribution of pre-stressing forces

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	 Seite: 20 d Page:
Block:	3 Einwirkungen / Loads	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20 Datum: 01.12.2020
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20

Legende / Legend

XXX	→	Eingabe / Input
BT	→	Betonturm / Concrete tower
SP	→	Spannglieder / Tendons

Eingabe / Input

Lasten / Loads

$P = 98\,965 \text{ kN}$ Gesamtvorspannkraft / Total prestressing load

Geometrie / Geometry

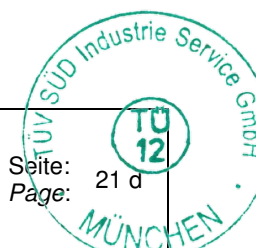
$R_{i\text{Sockel}}$	=	2,200	m	
$R_{a\text{Sockel}}$	=	5,450	m	
$R_{m\text{BT}}$	=	4,284	m	Mittlere Radius Betonturm / Middle radius concrete tower
$b_{0\text{BT}}$	=	0,300	m	Breite Betonturm / Width concrete tower
h^{BT}	=	1,450	m	
$R_{m\text{SP}}$	=	3,798	m	Mittlere Radius Spannglieder / Middle radius tendons
$b_{0\text{SP}}$	=	0,825	m	Breite Spannglieder / Width tendons
h^{SP}	=	0,664	m	

Berechnungsvorgaben / Calculation specifications

$\alpha = 45^\circ$

Berechnung / Calculation

b^{BT}	=	2,332 m	=	$\text{MIN}(b_{0\text{BT}} + 2 \cdot h^{\text{BT}} \cdot \tan(\alpha) ;$ $2 \cdot (R_{a\text{Sockel}} - R_{m\text{BT}}) ; 2 \cdot (R_{m\text{BT}} - R_{i\text{Sockel}}))$
$R_{i\text{BT}}$	=	3,118 m	=	$R_{m\text{BT}} - b^{\text{BT}} / 2$
$R_{a\text{BT}}$	=	5,450 m	=	$R_{m\text{BT}} + b^{\text{BT}} / 2$
b^{SP}	=	2,153 m	=	$\text{MIN}(b_{0\text{SP}} + 2 \cdot h^{\text{SP}} \cdot \tan(\alpha) ;$

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m Block: 3 Einwirkungen / Loads Vorgang:	Seite: 21 d Page: <div style="text-align: right;">  </div>
---	--

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20 Datum: 01.12.2020
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20

$$; 2 \cdot (R_{a}^{\text{Sockel}} - R_m^{\text{SP}}) ; 2 \cdot (R_m^{\text{SP}} - R_i^{\text{Sockel}}))$$

$$R_i^{\text{SP}} = 2,722 \text{ m} = R_m^{\text{SP}} - b^{\text{SP}} / 2$$

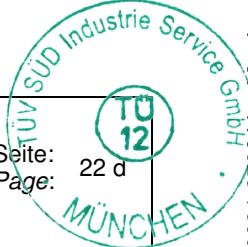
$$R_a^{\text{SP}} = 4,875 \text{ m} = R_m^{\text{SP}} + b^{\text{SP}} / 2$$

$$A^{\text{BT}} = 62,771 \text{ m}^2 = \pi \cdot ((R_a^{\text{BT}})^2 - (R_i^{\text{BT}})^2)$$

$$A^{\text{SP}} = 51,378 \text{ m}^2 = \pi \cdot ((R_a^{\text{SP}})^2 - (R_i^{\text{SP}})^2)$$

$$p^{\text{BT}} = 1\,577 \text{ kN/m}^2 = P / A^{\text{BT}}$$

$$p^{\text{SP}} = 1\,926 \text{ kN/m}^2 = P / A^{\text{SP}}$$

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i> Block: 3 Einwirkungen / Loads Vorgang:	Seite: 22 d Page: 
---	--

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

3.6 Belastung aus dem Hybridturm / *Tower loads*

Die Belastung aus dem Hybridturm ist in der Turmstatik [G-1] definiert. Die Lasten umfassen die Umhüllende mehrerer Kombinationen und werden als Schnittgröße an Fundamentoberkante angegeben.

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

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

The action combinations at the top of the foundation that are given in following table are considered.

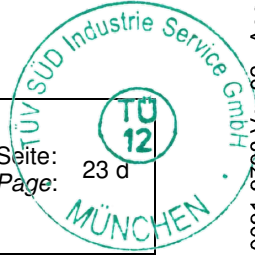
LF-Nr.	N _d	F _h	M _t	M _b	γ _E	LF-Beschreibung
<i>Numm.</i>	<i>kN</i>	<i>kN</i>	<i>kNm</i>	<i>kNm</i>	-	<i>Text</i>
101	25 860	1 350	1 433	276 335	1,35	GZT: Max. Biegemoment + zugehörige (Max. N)
102	19 156	1 350	1 433	276 335	1,35	GZT: Max. Biegemoment + zugehörige (Min. N)
103	25 860	1 261	10 591	248 702	1,35	GZT: 0,9x Max. Biegemom. + 0,6x Max. Torsionsmom. (Max. N)
104	19 156	1 261	10 591	248 702	1,35	GZT: 0,9x Max. Biegemom. + 0,6x Max. Torsionsmom. (Min. N)
105	24 312	935	15 886	165 801	1,35	GZT: 0,6x Max. Biegemom. + 0,9x Max. Torsionsmom. (Max. N)
106	18 009	935	15 886	165 801	1,35	GZT: 0,6x Max. Biegemom. + 0,9x Max. Torsionsmom. (Min. N)
107	24 312	687	17 651	75 577	1,35	GZT: Max. Torsionsmoment + zugehörige (Max. N)
108	18 009	687	17 651	75 577	1,35	GZT: Max. Torsionsmoment + zugehörige (Min. N)
301	18 070	853	2 305	149 260	1,00	D.3 (Max. N) (quasi-ständige Kombination)
302	18 070	853	2 305	149 260	1,00	D.3 (Min. N) (quasi-ständige Kombination)

Es werden die Lasten aus der gesamtdynamischen Berechnung des Anlagenherstellers [G-1] und des Lastvergleichs [G-3] berücksichtigt.

The loads from the structural analysis of the turbine manufacturer [G-1] and the load comparison [G-3] is also considered.

Die Lasten aus Lastvergleich werden durch die Berechnung in diesem Dokument abgedeckt. Die leichte Erhöhung der Biegemomente in einzelnen Schnitten ist vernachlässigbar.

The load comparison is directly covered by the calculation in this document. The slight bending moment increase in an individual section is negligible.

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block: 3 Einwirkungen / <i>Loads</i>	
Vorgang:	

Verfasser:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

Die Belastung wird in Sofistik als freie Flächenlasten eingegeben. Diese sind entsprechend dem Elementraster im Umfangsrichtung ermittelt.

The loading in Sofistik is defined as free area loads. Its determination is based on the circumferential element grid.

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

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

Die Lasteinleitung im FE-Modell berücksichtigt die Lastausbreitung bis zum Fundamentmittelebene mit einem Lastausbreitungswinkel von $\alpha = 45^\circ$ für die Belastung in vertikaler Richtung, Siehe Abbildung / Figure 8.

The load introduction in the FE-model considers the load distribution to the foundation center level with a load distribution angle of $\alpha = 45^\circ$ for the vertical loading, see Abbildung / Figure 8.

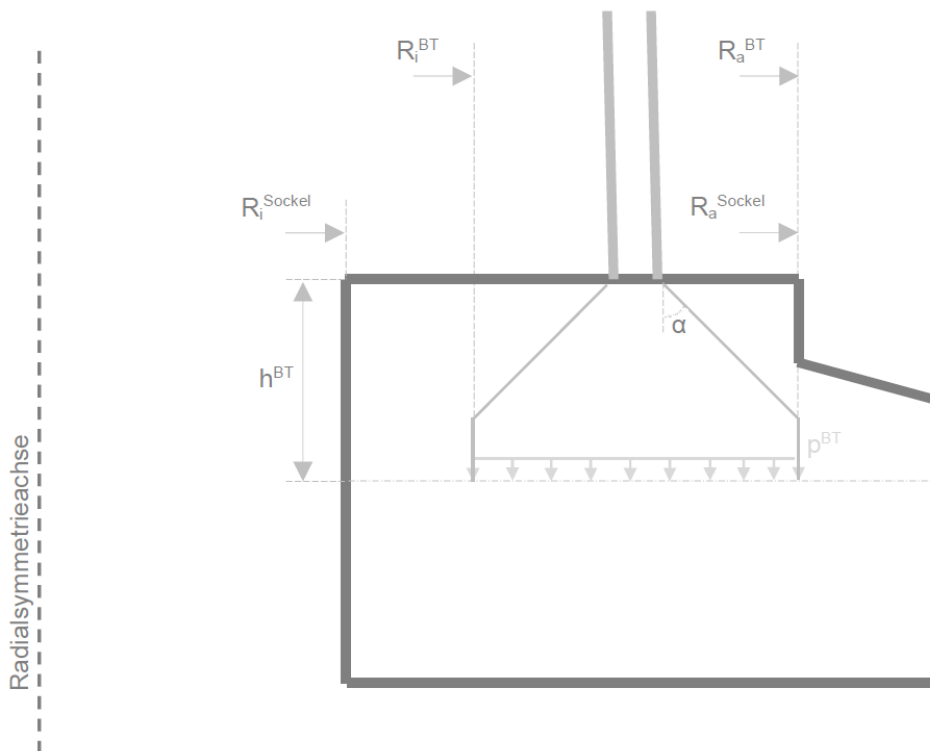
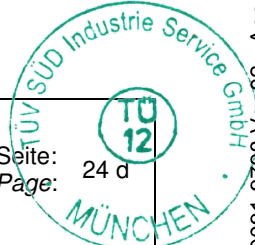


Abbildung / Figure 8: Lastausbreitung der Hybridturmbelastung / Load introduction of the tower loads

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	 Seite: 24 d Page:
Block:	3 Einwirkungen / Loads	
Vorgang:		

Verfasser:	 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20 Datum: 01.12.2020

Eine detaillierte Berechnung der eingegebenen Flächenlasten für das Element an der Winddruckseite (0°) für LF101 ist nachfolgend beispielhaft angegeben.

A detailed calculation of the free area load defined for the element on the load compression side (0°) for the load case (LF) 101 is to be found next.

Legende / Legend

XXX	→	Eingabe / Input
AR	→	Anfangsring / Starter ring
BT	→	Betonturm / Concrete tower
FOK	→	Fundamentoberkante / Foundation upper edge
KE	→	Knotenebene / Plane of the nodes

Eingabe / Input

Geometrie / Geometry

$R_{i\text{Sockel}}$	=	2,200	m	
$R_{a\text{Sockel}}$	=	5,450	m	
h_{Sockel}	=	2,900	m	
AR	=	C31		
R_m^{BT}	=	4,284	m	Mittlere Radius Betonturm / Middle radius concrete tower
b_0^{BT}	=	0,300	m	Breite Betonturm / Width concrete tower
h^{BT}	=	1,450	m	

Berechnungsvorgaben / Calculation specifications

$\alpha = 45^\circ$

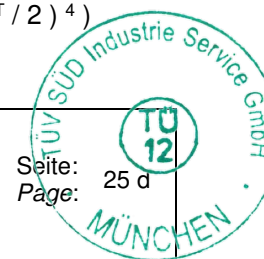
Berechnung / Calculation

Lastausbreitung-Parameter / Parameters of the load introduction

$$A_0^{\text{BT}} = 8,075 \text{ m}^2 = 2 \cdot \pi \cdot R_m^{\text{BT}} \cdot b_0^{\text{BT}}$$

$$I_0^{\text{BT}} = 74,178 \text{ m}^4 = \left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot \left(\left(R_m^{\text{BT}} + b_0^{\text{BT}} / 2 \right)^4 - \left(R_m^{\text{BT}} - b_0^{\text{BT}} / 2 \right)^4 \right)$$

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	
Block:	3 Einwirkungen / Loads	
Vorgang:		



Seite: 25 d
Page:

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

$$\begin{aligned}
 b^{BT} &= 2,333 \text{ m} = \text{MIN}(b_0^{BT} + 2 \cdot h^{BT} \cdot \tan(\alpha) ; \\
 &\quad ; 2 \cdot (R_a^{\text{Sockel}} - R_m^{BT}) ; 2 \cdot (R_m^{BT} - R_i^{\text{Sockel}})) \\
 R_i^{BT} &= 3,118 \text{ m} = R_m^{BT} - b^{BT} / 2 \\
 R_a^{BT} &= 5,450 \text{ m} = R_m^{BT} + b^{BT} / 2 \\
 A_1^{BT} &= 62,781 \text{ m}^2 = \pi \cdot ((R_a^{BT})^2 - (R_i^{BT})^2)
 \end{aligned}$$

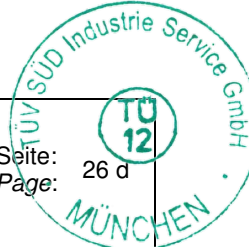
Betonturm-Belastung / Concrete tower loading

$N_{d,FOK}$	$=$	25 860 kN	LF101	
$M_{y,d}^{FOK}$	$=$	276 335 kNm	LF101	
$F_{x,d}^{FOK}$	$=$	1 350 kN	LF101	
$M_{t,d}^{FOK}$	$=$	1 433 kNm	LF101	
$M_{y,d}^{KE}$	$=$	280 250 kNm	$= M_{y,d}^{FOK} + F_{h,d}^{FOK} \cdot h^{\text{Sockel}}$	

FE-Eingabe-Flächenlast / Area load input in FEM

$\theta = 0^\circ$ Winkel zur Winddruckrichtung in UZS / Angle clockwise from wind compression direction

$$\begin{aligned}
 p_{\theta,z}^N &= 412 \text{ kN/m}^2 = N_{d,FOK} / A_1^{BT} \\
 p_{\theta,z}^{My} &= 2\,082 \text{ kN/m}^2 = (M_{y,d}^{KE} / l_0^{BT}) \cdot (R_m^{BT} \cdot \cos(\theta)) \cdot (A_0^{BT} / A_1^{BT}) \\
 p_{\theta,x}^{Fx} &= 167 \text{ kN/m}^2 = F_{x,d}^{FOK} / A_0^{BT} \\
 p_{\theta,x}^{Mt} &= 0 \text{ kN/m}^2 = - ((M_{t,d}^{FOK} / R_m^{BT}) / A_0^{BT}) \cdot \sin(\theta) \\
 p_{\theta,y}^{Mt} &= 41 \text{ kN/m}^2 = + ((M_{t,d}^{FOK} / R_m^{BT}) / A_0^{BT}) \cdot \cos(\theta) \\
 \\
 p_{\theta,x} &= 167 \text{ kN/m}^2 = p_{\theta,x}^{Fx} + p_{\theta,x}^{Mt} \\
 p_{\theta,y} &= 41 \text{ kN/m}^2 = p_{\theta,y}^{Mt} \\
 p_{\theta,z} &= 2\,493 \text{ kN/m}^2 = p_{\theta,z}^N + p_{\theta,z}^{My}
 \end{aligned}$$

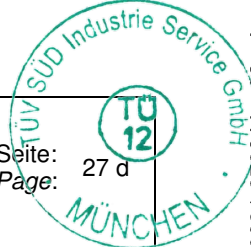
Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	
Block: 3 Einwirkungen / Loads	
Vorgang:	

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Ermittlung der freien Flächenlast-Werte für LF101 tabellarisch dargestellt.

The results of the determination of the free area load values for the load case (LF) 101 are shown on the next table.

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	412	2 082	167	0	41	167	41	2 493
2	7,5	412	2 064	167	- 5	41	162	41	2 476
3	15,0	412	2 011	167	- 11	40	156	40	2 423
4	22,5	412	1 923	167	- 16	38	151	38	2 335
5	30,0	412	1 803	167	- 21	36	146	36	2 215
6	37,5	412	1 651	167	- 25	33	142	33	2 063
7	45,0	412	1 472	167	- 29	29	138	29	1 884
8	52,5	412	1 267	167	- 33	25	134	25	1 679
9	60,0	412	1 041	167	- 36	21	131	21	1 453
10	67,5	412	797	167	- 38	16	129	16	1 208
11	75,0	412	539	167	- 40	11	127	11	951
12	82,5	412	272	167	- 41	5	126	5	684
13	90,0	412	0	167	- 41	0	126	0	412
14	97,5	412	- 272	167	- 41	- 5	126	- 5	140
15	105,0	412	- 539	167	- 40	- 11	127	- 11	- 127
16	112,5	412	- 797	167	- 38	- 16	129	- 16	- 385
17	120,0	412	-1 041	167	- 36	- 21	131	- 21	- 629
18	127,5	412	-1 267	167	- 33	- 25	134	- 25	- 855
19	135,0	412	-1 472	167	- 29	- 29	138	- 29	-1 060
20	142,5	412	-1 651	167	- 25	- 33	142	- 33	-1 240
21	150,0	412	-1 803	167	- 21	- 36	146	- 36	-1 391
22	157,5	412	-1 923	167	- 16	- 38	151	- 38	-1 511
23	165,0	412	-2 011	167	- 11	- 40	156	- 40	-1 599
24	172,5	412	-2 064	167	- 5	- 41	162	- 41	-1 652

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block: 3 Einwirkungen / <i>Loads</i>	
Vorgang:	

Verfasser:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

Die eingegebene vertikale Lasten für den Lastfall 101 sind beispielhaft in der Abbildung / Figure 9 als Sofistik-Auszug graphisch dargestellt.

The defined vertical loads for the load case (LF) 101 are shown as an example in Abbildung / Figure 9 as a graphic extract from Sofistik.

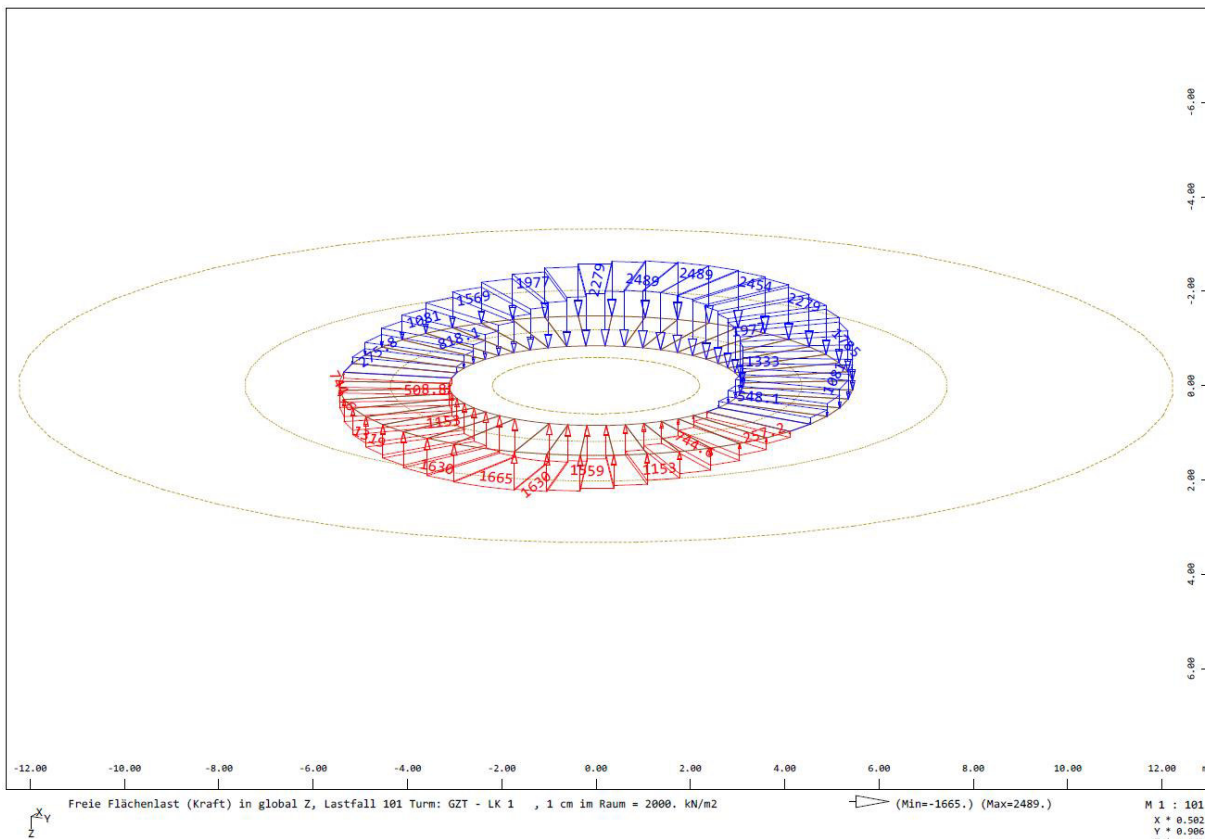
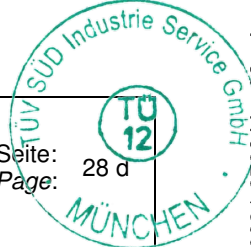


Abbildung / Figure 9: Eingegebene vertikale Lasten aus Sofistik für LF101 / Defined vertical loads from Sofistik for the load case (LF) 101

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	 Seite: 28 d Page:
Block:	3 Einwirkungen / Loads	
Vorgang:		

Verfasser:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design

4.1 Geometrie und Bodenkennwerte / Geometry and soil properties

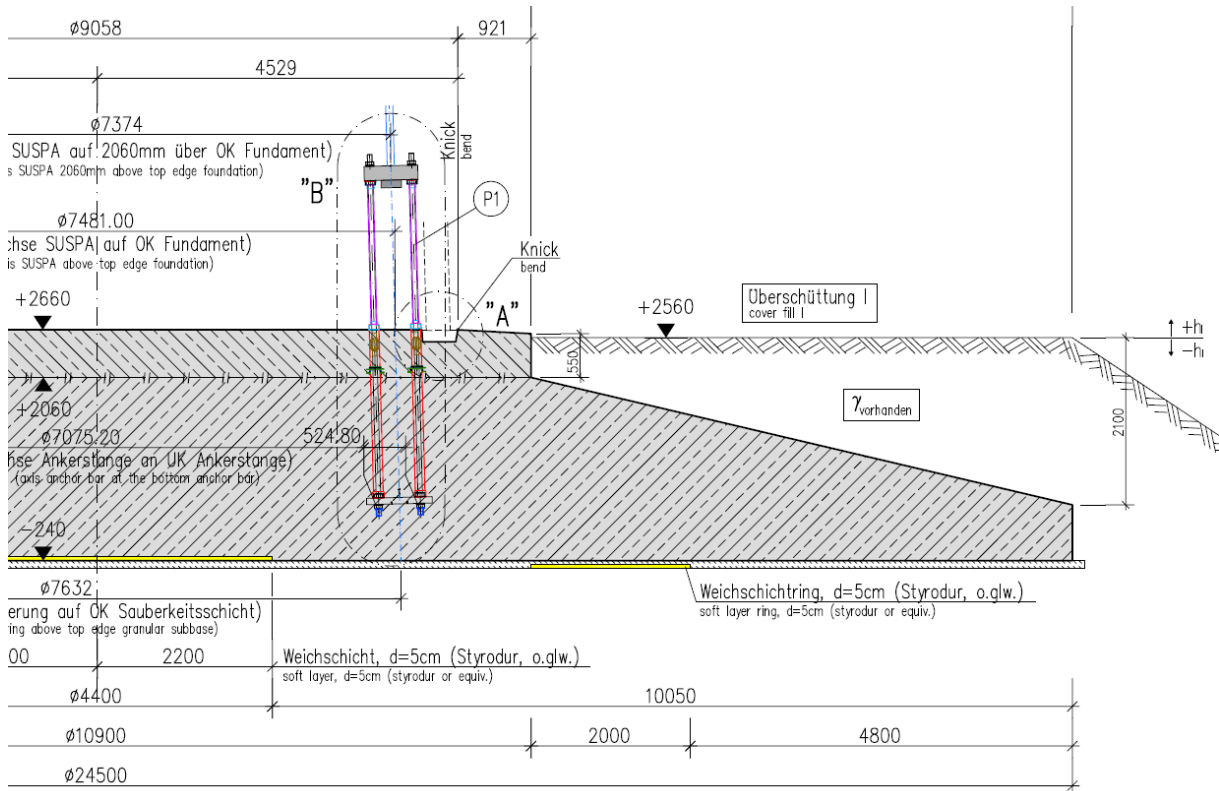
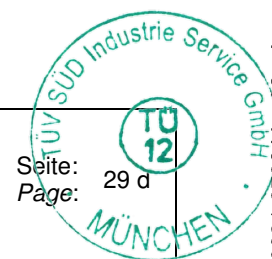


Abbildung / Figure 10: Fundamentgeometrie / Geometry of foundation

Geometrie:

Außendurchmesser / Outer diameter	D_a	=	24,500	[m]
Innendurchmesser / Inner diameter	D_i	=	4,400	[m]
Fundamenthöhe / Foundation height	h_{Fund}	=	2,900	[m]
Einbindetiefe / Embedment depth	d'	=	0,440	[m]

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m
Block:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design
Vorgang:	



Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
		Datum: 01.12.2020
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20

Bodenkennwerte:

Wichte des Baugrunds / <i>Soil weight</i>	γ	=	18,00 [kN/m ³]
Wichte des Baugrunds im Grundwasser / <i>Soil weight under ground water</i>	γ'	=	11,00 [kN/m ³]
Reibungswinkel / <i>Friction Angle</i>	φ'	=	27,50 [°]
Kohäsion / <i>Cohesion</i>	c_k	=	0,00 [kN/m ²]

Es liegen keine Bodenkennwerte vor. Für eine grobe Überprüfung der bodenmechanischen Nachweise werden die Bodenkennwerte wie dargestellt angenommen.

Grundsätzlich ist die Eignung des Standorts durch einen Sachverständigen für Geotechnik nachzuweisen. Insbesondere sind folgende Nachweise unter Ansatz der standortspezifischen Bodenkennwerte zu führen:

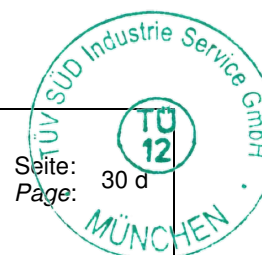
- Nachweis der erforderlichen Drehfedersteifigkeit der Flachgründung (statisch und dynamisch)
- Nachweis gegen Grundbruch
- Nachweis gegen Gleiten

There are no valid soil properties for the type approval. The following values will be assumed for the check of the geotechnical design.

The suitability of the location needs to be proven by a geotechnical expert. In particular the following verifications must be investigated considering the site-specific soil characteristics:

- Verification of the shallow foundation torsional stiffness (static and dynamic)
- Verification against ground fracture
- Verification against slide

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block:	4 Nachweise des Baugrunds / <i>Geotechnical design</i>	
Vorgang:		



Verfasser:	 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020

4.2 Einwirkungen / Loads

Nachfolgend ist die Belastung für die geotechnischen Nachweise aufgelistet. Die Turmlasten sind gemäß [G-1] an OK Fundament angegeben.

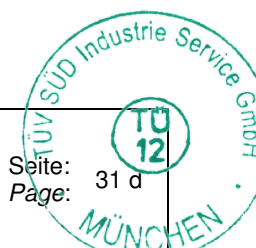
Following the loads for the geotechnical verifications are listed. The tower loads are given according to [G-1] at top of foundation.

Belastung:

Eigengewicht Fundament / <i>Dead weight</i>	G_{Fund}	=	19957,33	[kN]
Minimale Erdauflast / <i>Minimum soil cover</i>	$G_{Erde,min}$	=	9885,65	[kN]
Maximale Erdauflast / <i>Maximum soil cover</i>	$G_{Erde,max}$	=	9885,65	[kN]
Minimaler Auftrieb / <i>Minimum Buoyancy</i>	$G_{A,min}$	=	0,00	[kN]
Maximaler Auftrieb / <i>Maximum Buoyancy</i>	$G_{A,max}$	=	-2074,32	[kN]

Lasten aus dem Turm / *Loads from the tower:*

Normalkraft D.3 / <i>Normal force D.3</i>	$F_{z,k,D.3}$	=	18070,00	[kN]
Querkraft D.3 / <i>Shear force D.3</i>	$F_{r,k,D.3}$	=	1117,00	[kN]
Biegemoment D.3 / <i>Bending moment D.3</i>	$M_{r,k,D.3}$	=	155445,00	[kNm]
Normalkraft BS-P / <i>Normal force BS-P</i>	$F_{z,k,BS-P}$	=	18150,00	[kN]
Querkraft BS-P / <i>Shear force BS-P</i>	$F_{r,k,BS-P}$	=	1375,00	[kN]
Biegemoment BS-P / <i>Bending moment BS-P</i>	$M_{r,k,BS-P}$	=	214800,00	[kNm]
Normalkraft BS-A / <i>Normal force BS-A</i>	$F_{z,k,BS-A}$	=	18190,00	[kN]
Querkraft BS-A / <i>Shear force BS-A</i>	$F_{r,k,BS-A}$	=	1650,00	[kN]
Biegemoment BS-A / <i>Bending moment BS-A</i>	$M_{r,k,BS-A}$	=	257900,00	[kNm]

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: 31 d Page:
Block:	4 Nachweise des Baugrunds / <i>Geotechnical design</i>	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

4.3 Nachweis gegen Klaffen / Gapping

Infolge der aus den Einwirkungen der Bemessungssituation BS-P resultierenden charakteristischen Beanspruchung in der Sohlfläche darf ein Klaffen der Sohlfuge höchstens bis zum Schwerpunkt der Sohlfläche auftreten.

In the serviceability limit state, gapping is allowed up to the center of gravity for the normal loads (BS-P).

2. Kernweite:

ΣF_{i2}	87,3	MN
ΣM_{i2}	663,0	MNm
R_{k2}	7,590	m
$R_{k2,anal}$	7,262	m
ΔR_{k2}	0,328	m

Anm.: Vergleich zu $R_{k2,anal}$ o. Weichschichtring $\Delta = 4,5\%$

Infolge der aus der Einwirkungskombination DLC D.3 (quasi-ständige Einwirkungen) resultierenden charakteristischen Beanspruchung darf in der Sohlfläche keine klaffende Fuge auftreten.

Resulting from the load combination DLC D.3 (quasi-permanent load combination), no ground gap shall occur.

1. Kernweite:

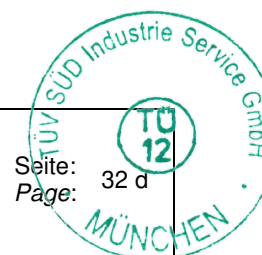
ΣF_{i1}	190,4	MN
ΣM_{i1}	664,2	MNm
R_{k1}	3,488	m
$R_{k1, Einwirkung}$	3,462	m

Sicherheit: 1%

Die detaillierten Berechnungsschritte sind in Anhang A angegeben.

The detailed calculations are given in Appendix A.

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design	
Vorgang:		



Seite: 32 d
Page:

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

4.4 Randdruckspannungen / *Soil edge pressure*

Die maximalen Randspannungen werden iterativ ermittelt und ergeben sich wie folgt. Die detaillierten Berechnungsschritte sind in Anhang A angegeben.

The maximum soil edge pressure is determined iterative and results as follows. The detailed calculations are given in Appendix A.

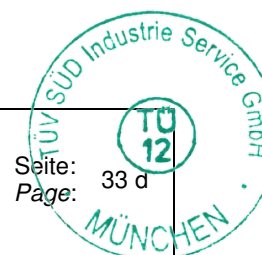
Permanente Bemessungssituation (BS-P):

$N_{k,BS-P} =$	45919	kN	$= G_{found,k} + F_{x,1,k} + G_{soil,max}$	
$A_{BS-P} =$	280,34	m ²	Anteil:	74%
$\sigma_{N,BS-P} =$	163,8	kPa		
$M_{k,BS-P} =$	218788	kNm	$e_{BS-P} =$	4,76 m Kernweite OK $R_{k2} = 7,59$ m
$\Sigma M_{k,BS-P,i} =$	218577	kNm		
$\Delta M_{k,BS-P} =$	211	kNm		
$\Delta X_{BS-P} =$	7,1	m	Anm.: Klaffen von Außenkante Fundament	
$\sigma_{max,BS-P} =$	286,9	kPa		
$max\sigma_0 =$	259,7	kPa	Anm.: vgl. Grundbauch Taschenbuch, Teil 3	

Außergewöhnliche Bemessungssituation (BS-A):

$N_{k,BS-A} =$	45959	kN	$= G_{found,k} + F_{x,1,k} + G_{soil,max}$	
$A_{BS-A} =$	230,77	m ²	Anteil:	61%
$\sigma_{N,BS-A} =$	199,2	kPa		
$M_{k,BS-A} =$	262685	kNm	$e_{BS-A} =$	5,72 m Kernweite OK $R_{k2} = 7,59$ m
$\Sigma M_{k,BS-A,i} =$	262248,4	kPa		
$\Delta M_{k,BS-A} =$	437	kNm		
$\Delta X_{BS-A} =$	9,9	m	Anm.: Klaffen von Außenkante Fundament	
$\sigma_{max,BS-A} =$	360,5	kPa		

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block:	4 Nachweise des Baugrunds / <i>Geotechnical design</i>	
Vorgang:		



Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

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

Nachfolgend wird die Einhaltung der Mindest-drehfedersteifigkeit des Fundaments gemäß der Turmstatik nachgewiesen.

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

- Turmlast:
 - $N = N^{D,3}$
 - $M_b = 100\ 000\ \text{kNm}$
 - $F_h = 0$
 - $M_t = 0$
- Eigengewicht
- Vorspannung
- Maximale Überschüttung

Zur Ermittlung der dynamischen Drehfedersteifigkeit der Gründung wird ein dynamisches Steifemodul angesetzt:

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

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

Aus den Knotenverschiebungen, Abbildung / Figure 11 und Abbildung / Figure 12, in vertikaler Richtung wird die Fundamentverdrehung berechnet.

Following the compliance of the minimum rotational stiffness of the foundation according to tower structural analysis [G-1] will be verified.

A load case (LF8000) is defined in the FE System which contains the following loads:

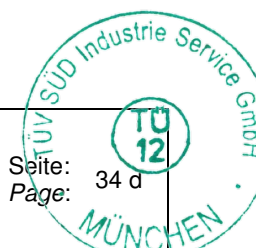
- Tower loads:
 - $N = N^{D,3}$
 - $M_b = 100\ 000\ \text{kNm}$
 - $F_h = 0$
 - $M_t = 0$
- Dead weight
- Pre-stressing
- Maximum soil cover

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

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

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

The rotation of the foundation is calculated from the vertical displacements, Abbildung / Figure 11 und Abbildung / Figure 12.

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block:	4 Nachweise des Baugrunds / <i>Geotechnical design</i>	
Vorgang:		

Seite: 34 d
Page:

Verfasser:		 <p>MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

Satische Drehfedersteifigkeit / Static rotational stiffness:

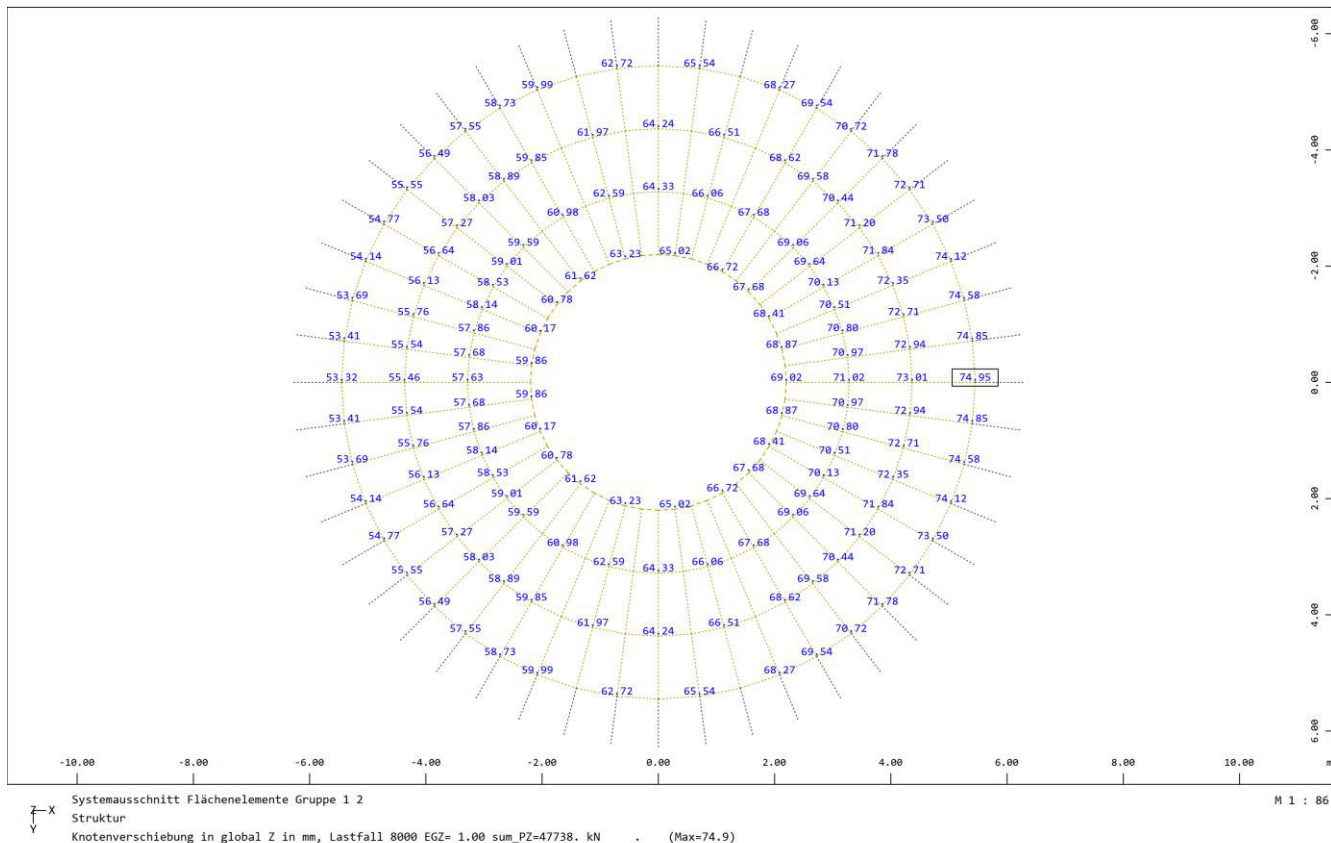
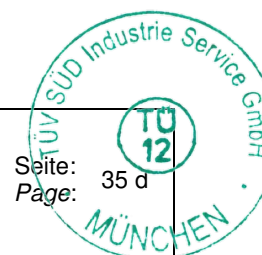


Abbildung / Figure 11: Knotenverformungen (statisch)

$$\begin{aligned}
 \varphi_{k,stat} &= M_b / \text{atan} ((V_{Z,Max} - V_{Z,Min}) / \Phi) = \\
 &= 100 \text{ MNm} / \text{atan} ((74,95 \text{ mm} - 53,32 \text{ mm}) / 10,9 \text{ m}) / 100 \text{ MNm} = \\
 &= 50 \text{ 393 MNm/rad} > \\
 &> \varphi_{k,stat}^{\text{MIN}} = 40 \text{ 000 MNm/rad.}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m
Block:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design
Vorgang:	



Seite: 35 d
Page:

Verfasser:		 <p>MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6			NH: 169 m + 166 m
		Hybridturm: T20	

Dynamische Drehfedersteifigkeit / Dynamic rotational stiffness:

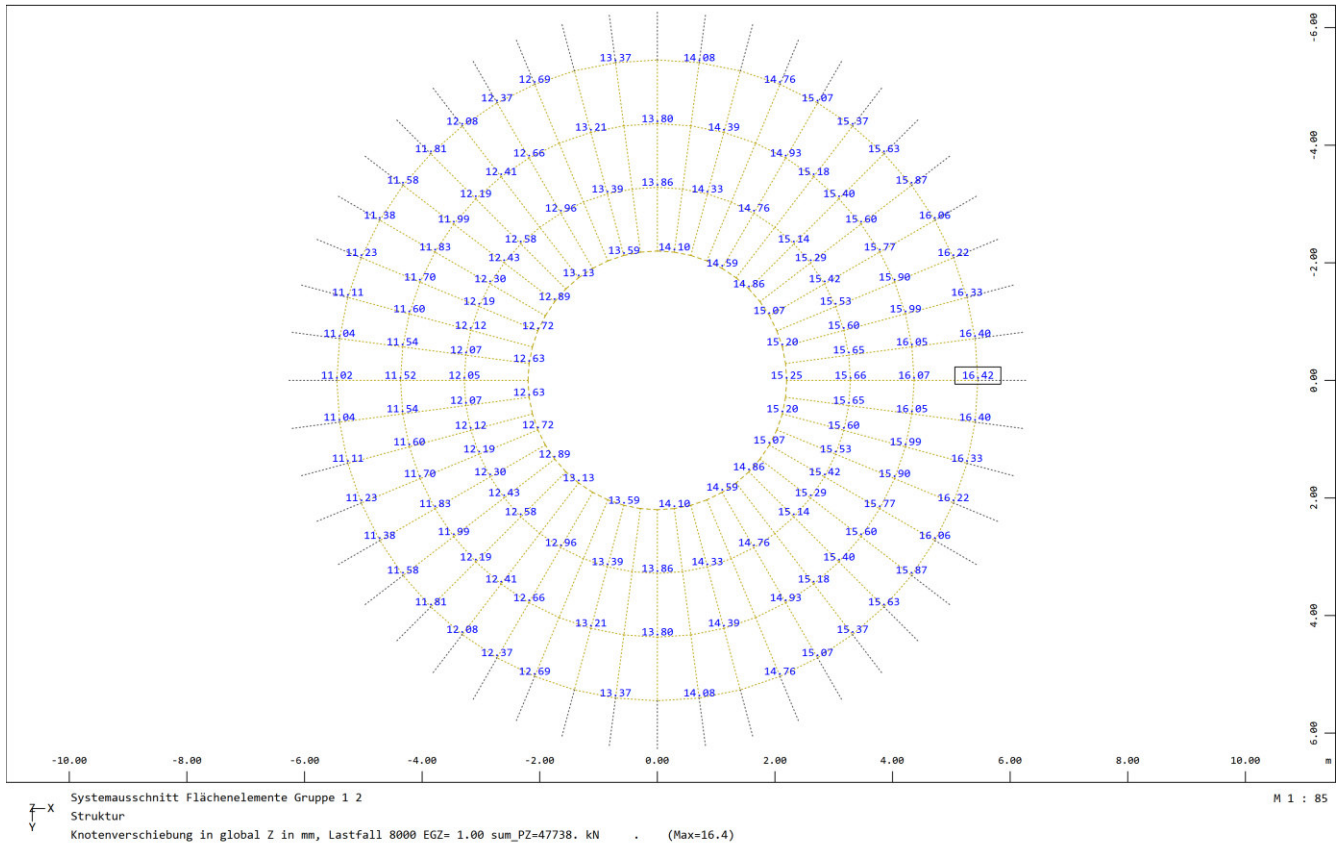
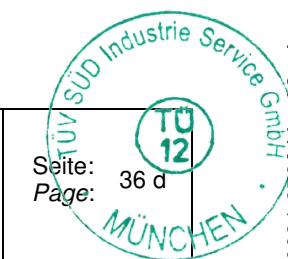


Abbildung / Figure 12: Knotenverschiebungen (dynamisch)

$$\begin{aligned}
 \varphi_{k,dyn} &= M_b / \text{atan} ((V_{Z,Max} - V_{Z,Min}) / \Phi) = \\
 &= 100 \text{ MNm} / \text{atan} ((16,42 \text{ mm} - 11,02 \text{ mm}) / 10,9 \text{ m}) / 100 \text{ MNm} = \\
 &= 201 \text{ 852 MNm/rad} > \\
 &> \varphi_{k,stat}^{MIN} = 200 \text{ 000 MNm/rad.}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m
Block:	4 Nachweise des Baugrunds / Geotechnical design
Vorgang:	



Seite: 36 d
Page:

Verfasser:	 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

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 [T-1] angesetzt. Abweichend hiervon wird für das günstig wirkende Fundamenteigengewicht gemäß MB Spezifikation [G-2] ein Teilsicherheitsbeiwert von 0,95 angesetzt.

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

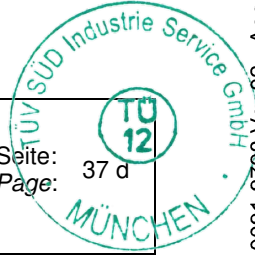
For the Determination of the design internal forces the loads specified in chapter 3 are combined in order to cover design limit states.

The combination coefficients are based on DIBt-Guideline [T-1]. In deviation from this the combination coefficient for favourable dead weight of the foundation is chosen to 0,95 according to MB specification [G-2].

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

LF.-Bez. →	EG	MaÜS	Au	P	TL	
LF.-Nr. →	10,11	42	52	70		
LF-Nr.	Fakt.	Fakt.	Fakt.	Fakt.	Numm.	LF-Beschreibung
1001	1,35	1,35	-	1,00	101	GZT: Max. Biegemoment + zugehörige + Max. N
1002	0,95	1,00	1,35	1,00	102	GZT: Max. Biegemoment + zugehörige + Min. N
1003	1,35	1,35	-	1,00	103	GZT: 0,9x Max. Biegemoment + 0,6x Max. Torsionsmoment + Max. N
1004	0,95	1,00	1,35	1,00	104	GZT: 0,9x Max. Biegemoment + 0,6x Max. Torsionsmoment + Min. N
1005	1,35	1,35	-	1,00	105	GZT: 0,6x Max. Biegemoment + 0,9x Max. Torsionsmoment + Max. N
1006	0,95	1,00	1,35	1,00	106	GZT: 0,6x Max. Biegemoment + 0,9x Max. Torsionsmoment + Min. N
1007	1,35	1,35	-	1,00	107	GZT: Max. Torsionsmoment + zugehörige + Max. N
1008	0,95	1,00	1,35	1,00	108	GZT: Max. Torsionsmoment + zugehörige + Min. N
3001	1,00	1,00	-	1,00	301	D.3: Max. N (quasi-ständige Kombination)
3002	1,00	1,00	1,00	1,00	302	D.3: Min. N (quasi-ständige Kombination)

EG: Eigengewicht
 MaÜS: Maximal Erdüberschüttunh
 Au: Auftrieb
 P: Vorspannung
 TL: Turmlasten
 N: Normalkraft

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: 37 d Page:
Block: 5 Bemessungsschnittgrößen / <i>Design internal forces</i>	
Vorgang:	

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
		Datum: 01.12.2020
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20

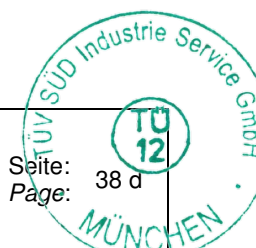
Die in der obigen Tabelle angegebenen Lastfallkombination werden automatisch von Sofistik mit der Nutzlast in den Lastfällen 10001 bis 10016 für den GZT und 30001-30016 für den GZG kombiniert. Für die Nutzlast wird bei ungünstiger Wirkung ein Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 und bei günstiger Wirkung von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

In den Lastfällen 10001 bis 10016 (30001 bis 30016) werden die maßgebenden kombinierten Elementschnittgrößen aller Lastfälle ermittelt, siehe nachfolgende Tabelle.

Sofistik combines the load combinations presented in above table automatically with the live load, load case 10001 to 10016 for ULS and 30001 to 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 to 10016 specify the controlling internal element forces of all load cases, see following table.

LF	Maßgeb. Ergebnis
<i>Numm</i>	<i>Text</i>
-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: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i> Block: 5 Bemessungsschnittgrößen / <i>Design internal forces</i> Vorgang:	 <p>Seite: 38 d Page:</p>
---	--

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

5.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit / *Ultimate limit state*

Die Elementschnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind im Anhang D exemplarisch für die Lastfälle 10, 1001 und 10009 angegeben.

In Appendix D the element internal forces of the ULS load cases 10, 1001 and 10009 are included as an example.

Die Schnittgrößen der Lastfallkombinationen 10 001 bis 10 016 werden für die FE interne Bruchbemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit angesetzt.

The load case combinations from 10 001 to 10 016 are used by the FE-model for the internal ULS-fracture dimensioning.

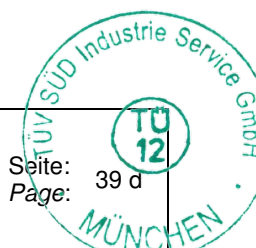
5.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit / *Serviceability limit state*

Die Elementschnittgrößen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind im Anhang D exemplarisch für die Lastfälle 3001 und 30016 angegeben.

In Appendix D the element internal forces for the SLS load cases 10, 3001 and 30009 are included as an example.

Die Schnittgrößen der Lastfallkombinationen 30 001 bis 30 016 werden für die FE interne Rissbreitenbegrenzung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit angesetzt.

The load case combinations from 30 001 to 30 016 are used by the FE-model for the internal crack width dimensioning.

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 <p>Seite: 39 d Page:</p>
Block:	5 Bemessungsschnittgrößen / <i>Design internal forces</i>	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

6 Bemessung im GZT und GZG / *ULS and SLS Design*

6.1 Bemessungsverfahren / *Design Procedure*

Die Bemessung des Fundaments erfolgt nach Eurocode 2 [T-3] und [T-4].

Folgende Nachweise im Grenzzustand und der Gebrauchstauglichkeit werden durchgeführt:

- Bemessung in Bruchzustand: Ermittlung der erforderlichen Biege- und Querkraftbewehrung
- Begrenzung der Rissbreite.
- Mindestbewehrung zur Robustheit
- Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite.
- Nachweise zur Lasteinleitung

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

Die Ermüdungsnachweise werden in Kapitel 7 geführt.

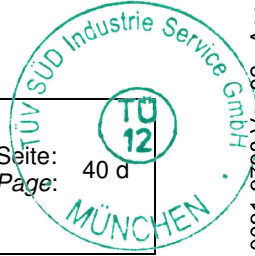
The foundation is dimensioned according to Eurocode 2 [T-3] und [T-4].

The following verifications for ultimate and serviceability limit state are carried out:

- Design in fracture state. Determination of required bending and shear reinforcement
- Crack width control
- Minimum reinforcement for robustness
- Minimum reinforcement for the crack width limitation
- Verification of the load application

The dimensioning based on fracture state and crack width limitation is automatically carried out in the FE-model from Sofistik. The verification for the load introduction are performed analytically.

The verifications against fatigue are performed in chapter 7.

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 <p>Seite: 40 d Page:</p>
Block:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

6.1.1 Bemessungsvorgaben für GZT / Design Specifications for ULS

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 sind dem Sofistik BEMESS-Handbuch zu entnehmen.

Für die Bemessung wurden die folgenden Randabstände zur Bewehrungsachse gewählt:

Untere Bewehrung:

- 97 mm in Radial-Richtung.
- 125 mm in Umfangsrichtung.

Obere Bewehrung:

- 275 mm in Radial-Richtung (Sockel).
- 303 mm in Umfangsrichtung (Sockel).
- 85 mm in Radial-Richtung (Platte).
- 105 mm in Umfangsrichtung (Platte).

Die Bemessung unter Querkraft wird mit einem $\cot(\theta) = 1,75$ durchgeführt.

The required bending reinforcement (radial and tangential) as well as the shear force reinforcement in ULS (fracture state) are determined in the FE-model of Sofistik for each shell element.

The design is carried out according to the Baumann method. More information can be found in the Sofistik BEMESS-Manual.

For the design the following edge distances to the reinforcement axis were chosen:

Lower reinforcement:

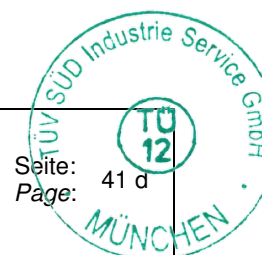
- 97 mm in radial direction.
- 125 mm in circumferential direction.

Upper reinforcement:

- 275 mm in radial direction (pedestal).
- 303 mm in the circumferential direction (pedestal).
- 85 mm in radial direction (plate).
- 105 mm in the circumferential direction (plate).

The design under shear force is performed with a value of $\cot(\theta) = 1,75$.

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:		



Seite: 41 d
Page:

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

6.1.2 Bemessungsvorgaben für GZG / Design Specifications for SLS

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-3] und [T-4] an. Hierbei werden die folgenden Eisendurchmesser angesetzt:

Untere Bewehrung:

- 28 mm in Radial-Richtung.
- 28 mm in Umfangsrichtung.

Obere Bewehrung:

- 28 mm in Radial-Richtung (Sockel)
- 28 mm in Umfangsrichtung (Sockel)

- 25 mm in Radial-Richtung (Platte)
- 20 mm in Umfangsrichtung (Platte)

Die zulässige rechnerische Rissbreite wird gemäß DIBt-Richtlinie [T-1] mit 0,2 mm für die Bauteile, die höchstens einen halben Meter in das Erdreich hineinreichen (Obere Bewehrung der Sockel-Bereich) und mit 0,3 mm für die übrigen Bauteilen angesetzt.

The required bending reinforcement (radial and tangential) in ULS (crack width limitation) is determined by using shell elements in the FE-model of Sofistik.

Sofistik applies chapter "7.3.4 Calculation of the crack width" of Eurocode 2 [T-3] und [T-4]. The following rebar diameters are applied:

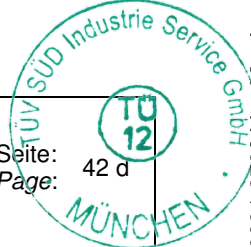
Lower reinforcement:

- 28 mm in radial direction.
- 28 mm in circumferential direction.

Upper reinforcement:

- 28 mm in radial direction (pedestal)
- 28 mm in circumferential direction (pedestal)
- 25 mm in radial direction (plate)
- 20 mm in circumferential direction (plate)

The permissible calculated crack width is applied according to the DIBt-guideline [T-1]: 0,2 mm for the components which extend maximum half meter into the ground (upper reinforcement of the base area) and 0,3 mm for the remaining components.

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 <p>Seite: 42 d Page:</p>
Block:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

6.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit / *Ultimate limit state*

6.2.1 Erforderliche Bewehrung (FE) / *Required reinforcement (FE)*

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

Die Ergebnisse der Sofistik-Bemessung sind als graphische Auszüge im Anhang E dokumentiert.

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

Sofistik stores the results of the fracture dimensioning in ULS under Load case 21.

The results of the Sofistik-dimensioning are documented as graphical abstracts in Appendix E.

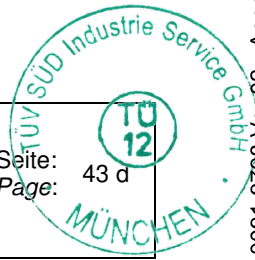
The maximum required reinforcement for the ultimate limit state is detailed in the following table.

BLF-Nr.	Pos.-R	ASO	ASOQ	ASUQ	ASU	ASS
<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m²</i>
21	1	13,1	40,8	61,5	31,9	31,8
21	2	24,4	42,0	57,4	59,8	14,9
21	3	23,5	42,0	50,5	62,8	8,2
21	4	19,9	19,8	58,0	75,4	15,0
21	5	14,7	16,8	54,0	59,7	14,3
21	6	10,9	12,3	50,0	48,0	13,6
21	7	7,6	8,5	44,6	36,8	12,9
21	8	4,8	5,3	39,2	26,4	12,4
21	9	2,6	4,9	33,3	16,2	11,5
21	10	1,5	9,0	25,6	5,8	8,6

ASO: Radialbewehrung Oben
 ASOQ: Umfangsbewehrung Oben
 ASUQ: Umfangsbewehrung Unten
 ASU: Radialbewehrung Unten
 ASS: Schubbewehrung

Die Querbewehrung in der Platte darf nach Eurocode 2, 9.3.2 (3) vollständig aus Schubzulagen bestehen, da $V_{Ed} \leq 1/3 V_{Rd,max}$ (Siehe Anhang E).

According to Eurocode 2, 9.3.2 (3), the shear reinforcement in the plate can exist entirely of bent bars since $V_{Ed} \leq 1/3 V_{Rd,max}$ (See Appendix E).

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:	

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

6.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit / *Serviceability limit state*

6.3.1 Erforderliche Bewehrung zur Beschränkung der Rissbreite (FE) / *Required reinforcement for crack width limitation (FE)*

Sofistik ermittelt die Rissbreite mit den Bewehrungsmengen des Bemessungslastfall 21 (GZT-Bruchbemessung) und erhöht diese, falls der Nachweis nicht eingehalten ist. Der Bemessungslastfall 22 beinhalten dementsprechend das Maximum aus der Bruch und Rissbreitebemessungen.

Die Ergebnisse der Sofistik-Bemessung sind als graphische Auszüge in Anhang E dokumentiert.

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

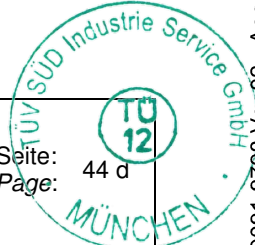
Sofistik runs the verification of the crack width dimensioning with the reinforcement quantities of Load case 21 (ULS fracture design) and, in case the verification is not fulfilled, it increases then. Load case 22 consequently includes the fracture and crack width dimensioning.

The results of the Sofistik-dimensioning are documented as graphical abstracts in Annex E.

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

BLF-Nr.	Pos.-R	ASO	ASOQ	ASUQ	ASU	ASS
<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m²</i>
22	1	16,7	40,8	61,5	38,1	31,8
22	2	31,1	42,0	59,3	59,8	14,9
22	3	24,7	42,0	55,1	62,8	8,2
22	4	19,9	19,8	62,8	75,4	15,0
22	5	14,7	16,8	60,8	62,1	14,3
22	6	10,9	12,3	59,0	53,5	13,6
22	7	7,6	8,5	56,0	45,3	12,9
22	8	4,8	5,3	53,2	38,4	12,4
22	9	2,6	4,9	48,9	24,7	11,5
22	10	1,5	11,4	39,0	8,7	8,6

ASO: Radialbewehrung Oben
 ASOQ: Umfangsbewehrung Oben
 ASUQ: Umfangsbewehrung Unten
 ASU: Radialbewehrung Unten
 ASS: Schubbewehrung

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:	

Verfasser:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

6.4 Mindestbewehrung / Minimum required reinforcement

6.4.1 Mindestbewehrung für duktilen Bauteilverhalten / Minimum required reinforcement for ductile Behavior

Nachfolgend wird die erforderliche Mindestbewehrung für ein duktilen Bauteilverhalten in Umfangsrichtung nach Eurocode 2, [T-3] und [T-4], 9.2.1.1, festgelegt.

Beispielhaft wird die Mindestbewehrung für den Sockel ermittelt. Die Ergebnisse für alle Elemente werden tabellarisch angegeben.

Following the required minimum reinforcement for ductile behavior in circumferential direction is determined according to Eurocode 2, [T-3] und [T-4], 9.2.1.1.

For example, the required minimum reinforcement is calculated for the pedestal. The results for all elements is given in the following table.

Legende / Legend

XXX → Eingabe / Input

Eingabe / Input

Material / Material

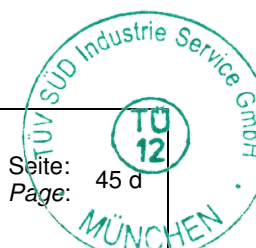
$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$
 $f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \leq C50/60$
 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Geometrie / Geometry

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

Berechnung / Calculation

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

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	 Seite: 45 d Page:
Block:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridgeturm: T20
		Datum: 01.12.2020

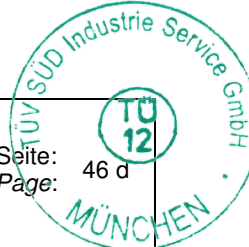
Ermittlung der Mindestbewehrung / Minimum required reinforcement:

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	2,874	1,000	0,303	2,571	1,377	41,6
4	30	2,9	500	2,179	1,000	0,105	2,074	0,791	24,6
5	30	2,9	500	1,944	1,000	0,105	1,839	0,630	22,1
6	30	2,9	500	1,714	1,000	0,105	1,609	0,490	19,6
7	30	2,9	500	1,489	1,000	0,105	1,384	0,370	17,2
8	30	2,9	500	1,263	1,000	0,105	1,158	0,266	14,8
9	30	2,9	500	1,037	1,000	0,105	0,932	0,179	12,4
10	30	2,9	500	0,811	1,000	0,105	0,706	0,110	10,0

Zusammenfassung / Summary:

BLF-Nr.	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	41,6	41,6	0,0	0,0
MiBe-Dukt	4	0,0	24,6	24,6	0,0	0,0
MiBe-Dukt	5	0,0	22,1	22,1	0,0	0,0
MiBe-Dukt	6	0,0	19,6	19,6	0,0	0,0
MiBe-Dukt	7	0,0	17,2	17,2	0,0	0,0
MiBe-Dukt	8	0,0	14,8	14,8	0,0	0,0
MiBe-Dukt	9	0,0	12,4	12,4	0,0	0,0
MiBe-Dukt	10	0,0	10,0	10,0	0,0	0,0

ASO: Radialbewehrung Oben
ASOQ: Umfangsbewehrung Oben
ASUQ: Umfangsbewehrung Unten
ASU: Radialbewehrung Unten
ASS: Schubbewehrung

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	
Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:	

Verfasser:	 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

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

Nachfolgend wird die erforderliche Mindestbewehrung zur Beschränkung der Rissbreite in Umfangsrichtung gemäß Eurocode 2, [T-3] und [T-4], 7.3.2, ermittelt.

Following the minimum required reinforcement for the crack width limitation is determined in circumferential direction according to Eurocode 2, [T-3] und [T-4], 7.3.2.

Beispielhaft wird die Mindestbewehrung für den Sockel ermittelt. Die Ergebnisse für alle Elemente werden tabellarisch angegeben.

For example, the required minimum reinforcement is calculated for the pedestal. The results for all elements is given in the following table.

Legende / Legend

XXX → Eingabe / Input

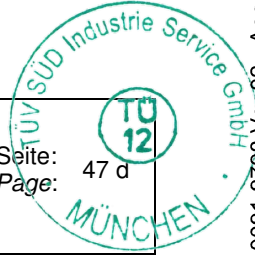
Eingabe / Input

Material / Material

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

Geometrie / Geometry

$$\begin{aligned}
 h &= \text{2,900 m} && \text{Element-Mittelhöhe / Element mean height} \\
 b &= 1,000 \text{ m} && \text{Einheitliche Breite / Unit width} \\
 A_{ct} &= 1,450 \text{ m}^2 = h / 2 \cdot b \\
 d_s &= \text{28 mm} && \text{Eisendurchmesser / Stab diameter}
 \end{aligned}$$

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: 47 d Page:
Block:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

Berechnung / Calculation

$$w_{k,zul} = 0,2 \text{ mm} \quad \text{Zulässige Rissbreite / Permitted crack width}$$

$$k_c = 0,4 \quad \text{mit } \sigma_c = 0 / \text{with } \sigma_c = 0$$

$$k = 0,5 \quad \text{selbst hervorgerufene Zwang, } h \geq 800 \text{ mm / non-uniform self-equilibrating stresses, } h \geq 800 \text{ mm}$$

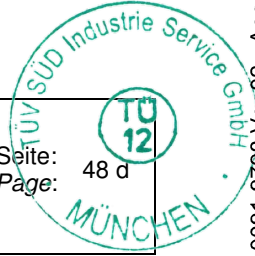
$$d_{s,St} = 56 \text{ mm} = d_s \cdot f_{ct0} / f_{ct,eff}$$

$$\sigma_s = 111,5 \text{ MPa} = (w_{k,zul} \cdot 3,48 \cdot 10^6 / d_{s,St})^{1/2}$$

$$a_s^{min,Ris} = 45,5 \text{ cm}^2/\text{m} = k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot 10^4 \cdot f_{ct,eff} / \sigma_s$$

Ermittlung der Mindestbewehrung oben / Upper minimum required reinforcement:

Pos.-R	f _{ck}	h	b	A _{ct}	d _s	w _{k,zul}	k _c	k	σ _s	a _s ^{min,Ris} ₀
Numm.	MPa	m	m	m	mm	mm	-	-	MPa	cm ² /m
1	40	2,900	1,000	1,5	28	0,2	0,4	0,5	111,5	45,5
2	40	2,900	1,000	1,5	28	0,2	0,4	0,5	111,5	45,5
3	40	2,874	1,000	1,4	28	0,2	0,4	0,5	111,5	45,1
4	30	2,179	1,000	1,1	25	0,3	0,4	0,5	144,5	21,9
5	30	1,944	1,000	1,0	25	0,3	0,4	0,5	144,5	19,5
6	30	1,714	1,000	0,9	25	0,3	0,4	0,5	144,5	17,2
7	30	1,489	1,000	0,7	25	0,3	0,4	0,5	144,5	14,9
8	30	1,263	1,000	0,6	25	0,3	0,4	0,5	144,5	12,7
9	30	1,037	1,000	0,5	25	0,3	0,4	0,5	144,5	10,4
10	30	0,811	1,000	0,4	25	0,3	0,4	0,5	144,5	8,1

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	
Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:	

Verfasser:	 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.: 21683-T20 Datum: 01.12.2020
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20

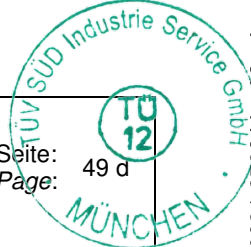
Ermittlung der Mindestbewehrung unten / Lower minimum required reinforcement:

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	40	2,900	1,000	1,5	28	0,3	0,4	0,5	136,5	37,2
2	40	2,900	1,000	1,5	28	0,3	0,4	0,5	136,5	37,2
3	40	2,874	1,000	1,4	28	0,3	0,4	0,5	136,5	36,8
4	30	2,179	1,000	1,1	28	0,3	0,4	0,5	136,5	23,1
5	30	1,944	1,000	1,0	28	0,3	0,4	0,5	136,5	20,6
6	30	1,714	1,000	0,9	28	0,3	0,4	0,5	136,5	18,2
7	30	1,489	1,000	0,7	28	0,3	0,4	0,5	136,5	15,8
8	30	1,263	1,000	0,6	28	0,3	0,4	0,5	136,5	13,4
9	30	1,037	1,000	0,5	28	0,3	0,4	0,5	136,5	11,0
10	30	0,811	1,000	0,4	28	0,3	0,4	0,5	136,5	8,6

Zusammenfassung / Summary:

BLF-Nr.	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	37,2	0,0	0,0
MiBe-Riss	2	0,0	45,5	37,2	0,0	0,0
MiBe-Riss	3	0,0	45,1	36,8	0,0	0,0
MiBe-Riss	4	0,0	21,9	23,1	0,0	0,0
MiBe-Riss	5	0,0	19,5	20,6	0,0	0,0
MiBe-Riss	6	0,0	17,2	18,2	0,0	0,0
MiBe-Riss	7	0,0	14,9	15,8	0,0	0,0
MiBe-Riss	8	0,0	12,7	13,4	0,0	0,0
MiBe-Riss	9	0,0	10,4	11,0	0,0	0,0
MiBe-Riss	10	0,0	8,1	8,6	0,0	0,0

ASO: Radialbewehrung Oben
 ASOQ: Umfangsbewehrung Oben
 ASUQ: Umfangsbewehrung Unten
 ASU: Radialbewehrung Unten
 ASS: Schubbewehrung

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design Vorgang:	 Seite: 49 d Page:
---	---

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

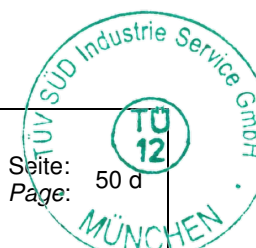
6.5 Erforderliche Bewehrung / *Required reinforcement*

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 bending and shear reinforcement from the FE-model (ULS and SLS) and the minimum reinforcement is stored under the Load case "ERF" and is summarized in the following table.

BLF-Nr.	Pos.-R	ASO	ASOQ	ASUQ	ASU	ASS
<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m²</i>
ERF	1	16,7	45,5	61,5	38,1	31,8
ERF	2	31,1	45,5	59,3	59,8	14,9
ERF	3	24,7	45,1	55,1	62,8	8,2
ERF	4	19,9	24,6	62,8	75,4	15,0
ERF	5	14,7	22,1	60,8	62,1	14,3
ERF	6	10,9	19,6	59,0	53,5	13,6
ERF	7	7,6	17,2	56,0	45,3	12,9
ERF	8	4,8	14,8	53,2	38,4	12,4
ERF	9	2,6	12,4	48,9	24,7	11,5
ERF	10	1,5	11,4	39,0	8,7	8,6

ASO: Radialbewehrung Oben
 ASOQ: Umfangsbewehrung Oben
 ASUQ: Umfangsbewehrung Unten
 ASU: Radialbewehrung Unten
 ASS: Schubbewehrung

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:		

Seite: 50 d
Page:

Verfasser:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

6.6 Lasteinleitung / Load application

6.6.1 Windzugseite / Wind tension side

Auf der dem Wind zugewandten Seite wird auf der sicheren Seite angenommen, dass die Fuge klappt, d.h. es tritt nur die Zugkraft in den Spanngliedern auf, die in die Platte weitergeleitet werden muss. Das gewählte Stabwerksmodell ist in Abbildung / Figure 13 dargestellt. Die Zugkräfte an der Unterseite Z_3 werden durch die gewählte Radialbewehrung aufgenommen.

On the windward side it is assumed that the joint is gapping. That means only the tension forces in the tendons occur, which must be transferred to the plate. The chosen framework model is given in Abbildung / Figure 13. The tension forces at the bottom Z_3 are absorbed by the chosen radial reinforcement.

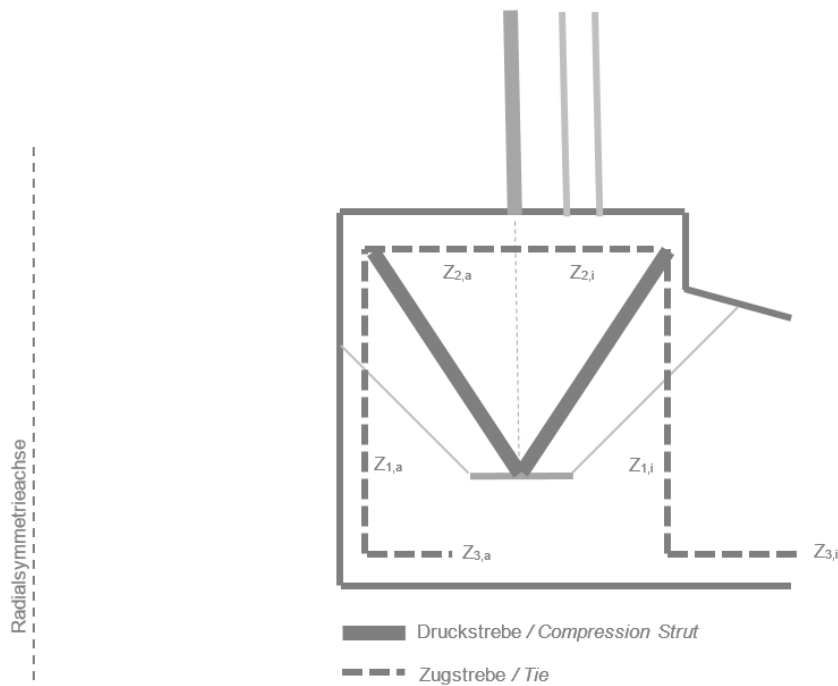
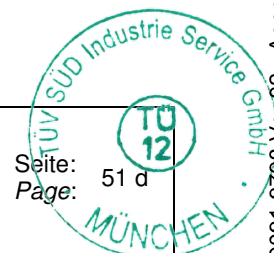


Abbildung / Figure 13: Lasteinleitung Zugseite / Load application tension side

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m
Block:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design
Vorgang:	



Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020

Legende / Legend

XXX → Eingabe / Input

Eingabe / Input

Lasten / Loads

$$P_{ges} = 98\,965 \text{ kN} \quad 24xEX-84$$

$$Y_{P,unfav} = 1,10$$

Material / Material

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

$$Y_s = 1,15$$

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

Geometrie / Geometry

$$D_P = 7,595 \text{ m} \quad \text{Spanngliederdurchmesser / Prestressing tendon diameter}$$

$$R_P = 3,798 \text{ m} = D_P / 2$$

$$U_P = 23,860 \text{ m} = \pi \cdot D_P$$

Lasteinleitungsvorgaben / Load application specifications

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

$$h_{eff} = 1,750 \text{ m} \quad \text{Lastausbreitungshöhe / Load distribution height}$$

$$R_{Z,i} = 2,048 \text{ m} = R_P - h_{eff} \cdot \tan(\alpha)$$

$$R_{Z,a} = 5,548 \text{ m} = R_P + h_{eff} \cdot \tan(\alpha)$$

Berechnung / Calculation

Zugkraft Z_1 / Tensile force Z_1

$$Z_{1,a,d} = 54\,431 \text{ kN} = P_{ges} \cdot Y_{P,unfav} / 2$$

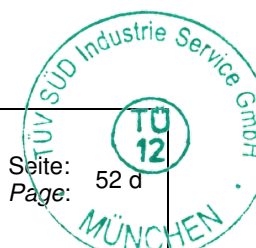
$$A_{s1,erf,a} = 1251,9 \text{ cm}^2 = Z_{1,a,d} / (f_{yd} / 10)$$

$$A_{s1,vor,a} = 1260,7 \text{ cm}^2 \quad 88\Phi 28 \quad 88\Phi 28 \quad 88\Phi 16$$

$$\eta_{1,a} = 0,99 = A_{s1,erf,a} / A_{s1,vorh,a} \leq 1,00$$

$$Z_{1,i,d} = 54\,431 \text{ kN} = P_{ges} \cdot Y_{P,unfav} / 2$$

$$A_{s1,erf,i} = 1251,9 \text{ cm}^2 = Z_{1,i,d} / (f_{yd} / 10)$$

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	
Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:	

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

$$A_{s1,vor,i} = 1260,7 \text{ cm}^2 \quad \mathbf{88\Phi28 \quad 88\Phi28 \quad 88\Phi16}$$

$$\eta_{1,i} = 0,99 = A_{s1,erf,i} / A_{s1,vor,i} \leq 1,00$$

Zugkraft Z_2 / Tensile force Z_2

$$Z_{2,a,d} = 54\,431 \text{ kN} = Z_{1,a,d} \cdot (R_{Z,a} - R_P) / h_{eff}$$

$$A_{s2,erf,a} = 1251,9 \text{ cm}^2 = Z_{2,a,d} / (f_{yd} / 10)$$

$$A_{s2,vor,a} = 2057,6 \text{ cm}^2 \quad \mathbf{88\Phi28 \quad 88\Phi28 \quad 88\Phi28 \quad 88\Phi25}$$

$$\eta_{2,a} = 0,61 = A_{s2,erf,a} / A_{s2,vor,a} \leq 1,00$$

$$Z_{2,i,d} = 54\,431 \text{ kN} = Z_{1,i,d} \cdot (R_P - R_{Z,i}) / h_{eff}$$

$$A_{s2,erf,i} = 1251,9 \text{ cm}^2 = Z_{2,i,d} / (f_{yd} / 10)$$

$$A_{s2,vor,i} = 2057,6 \text{ cm}^2 \quad \mathbf{88\Phi28 \quad 88\Phi28 \quad 88\Phi28 \quad 88\Phi25}$$

$$\eta_{2,i} = 0,61 = A_{s2,erf,i} / A_{s2,vor,i} \leq 1,00$$

Zugkraft Z_3 / Tensile force Z_3

$$Z_{3,a,d} = 54\,431 \text{ kN} = Z_{2,a,d}$$

$$A_{s3,erf,a} = 1251,9 \text{ cm}^2 = Z_{3,a,d} / (f_{yd} / 10)$$

$$A_{s3,vor,a} = 1328,0 \text{ cm}^2 \quad \mathbf{120\Phi28 \quad 120\Phi25}$$

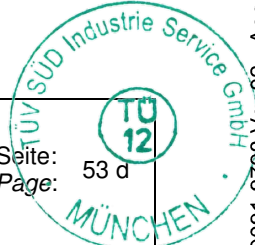
$$\eta_{3,a} = 0,94 = A_{s3,erf,a} / A_{s3,vor,a} \leq 1,00$$

$$Z_{3,i,d} = 54\,431 \text{ kN} = Z_{2,i,d}$$

$$A_{s3,erf,i} = 1251,9 \text{ cm}^2 = Z_{3,i,d} / (f_{yd} / 10)$$

$$A_{s3,vor,i} = 1328,0 \text{ cm}^2 \quad \mathbf{120\Phi28 \quad 120\Phi25}$$

$$\eta_{3,i} = 0,94 = A_{s3,erf,i} / A_{s3,vor,i} \leq 1,00$$

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design Vorgang:	 <p>Seite: 53 d Page:</p>
---	--

Verfasser:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

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 ist in Abbildung / Figure 14 dargestellt. Die horizontale Lastkomponente unter dem Turmfuß wird durch eine Ringdruckkraft aufgenommen. Die erforderliche lokale Spaltzugbewehrung aus der Lasteinleitung wird ebenfalls nachgewiesen.

At the downwind side the compression force from the tower is transferred from the pedestal into the plate via a compression strut. The framework modell is shown in Abbildung / Figure 14. A compression ring force absorbs the horizontal component under the tower bottom. The required local splitting tensile reinforcement are verified below.

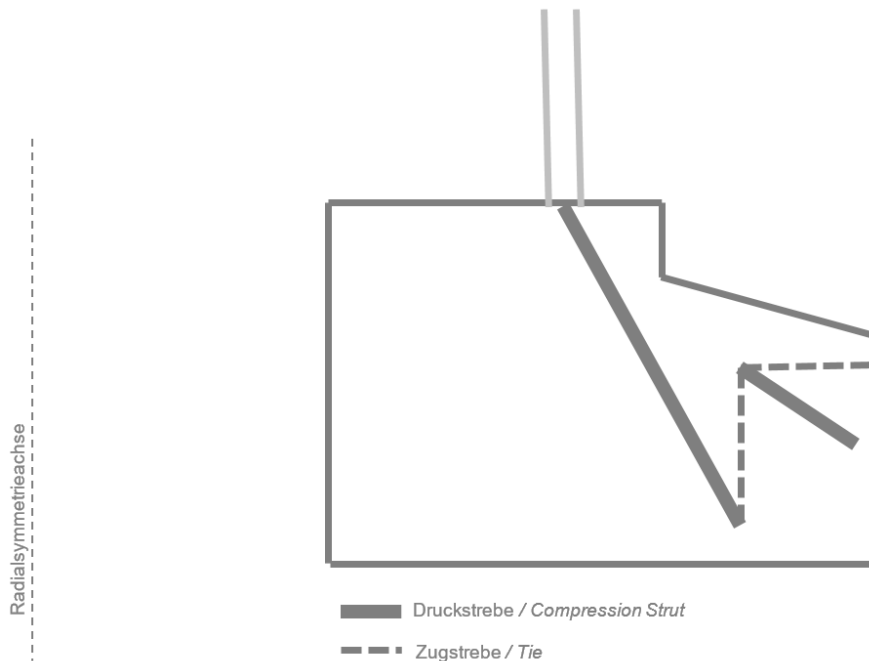
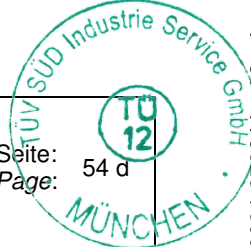


Abbildung / Figure 14: Lasteinleitung Druckseite / Load application compression site

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	 Seite: 54 d Page:
Block:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

Legende / Legend

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

Eingabe / Input

Lasten / Loads

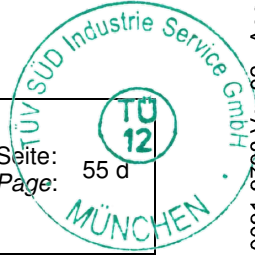
P_{ges}	=	98 965	kN	24xEX-84
$Y_{P,unfav}$	=	1,35		
N_d^{FOK}	=	25 860	kN	Turmnormalkraft / Tower normal force
F_{hd}^{FOK}	=	1 350	kN	Turmhorizontalkraft / Tower horizontal force
M_{bd}^{FOK}	=	276 335	kNm	Turmbiegemoment / Tower bending moment

Material / Material

f_{yk}	=	500	MPa	
Y_S	=	1,15		
f_{yd}	=	434,8	MPa	= f_{yk} / Y_S
f_{ck}	=	45	MPa	
α_{cc}	=	0,85		
Y_c	=	1,50		
f_{cd}	=	25,5	MPa	= $\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / Y_c$

Geometrie / Geometry

h	=	2,900	m	Fundamenthöhe an der Lasteinleitung / Foundation height at the load application
$D_{TUK,a}$	=	8,868	m	Turmunterkanteaußendurchmesser / Tower bottom outer diameter
b_{TUK}	=	0,300	m	Turmunterkantedicke / Tower bottom thickness
$D_{TUK,m}$	=	8,568	m	= $D_{TUK,a} - b_{TUK}$
$R_{TUK,m}$	=	4,284	m	= $D_{TUK,m} / 2$
$U_{TUK,m}$	=	26,917	m	= $\pi \cdot D_{TUK}$

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design Vorgang:	<div style="text-align: right;">  </div> Seite: 55 d Page:
--	--

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

Berechnung / Calculation

Radiale Spaltzugbewehrung / *Radial splitting tensile reinforcement*

$$F_D = 10\,785 \text{ kN/m} = (P_{ges} \cdot Y_{P,unfav} + N_d^{FOK}) / (2 \cdot \pi \cdot R_{TUK,m}) + (M_{bd}^{FOK} + F_{hd}^{FOK} \cdot h) / (\pi \cdot R_{TUK,m}^2)$$

$$F_{sd} = 2\,501 \text{ kN/m} = (F_D / 4) \cdot (1 - 0,7 \cdot (b_{TUK} / h))$$

$$a_{s,erf} = 57,5 \text{ cm}^2/\text{m} = F_{sd} / (f_{yd} / 10)$$

$$A_{s,erf} = 1548,3 \text{ cm}^2 = a_{s,erf} \cdot U_{TUK,m}$$

$$A_{s,vor} = 2057,6 \text{ cm}^2 \quad \mathbf{88\Phi 28} \quad \mathbf{88\Phi 28} \quad \mathbf{88\Phi 28} \quad \mathbf{88\Phi 25}$$

$$\eta_{1,a} = 0,75 = A_{s1,erf,a} / A_{s1,vorh,a} \leq 1,00$$

Ringdruckkraft-Nachweis / *Verification of the ring compression force*

$$D_{Fd} = 5\,821 \text{ kN/m} = (N_d^{FOK}) / (2 \cdot \pi \cdot R_{TUK,m}) + (M_{bd}^{FOK} + F_{hd}^{FOK} \cdot h) / (\pi \cdot R_{TUK,m}^2)$$

$$D_{ring} = 24\,939 \text{ kN/m} = D_{Fd} \cdot R_{TUK,m}$$

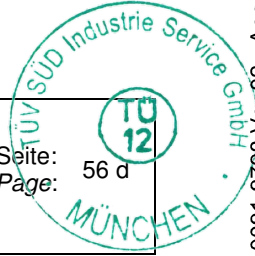
$$h_{wir} = 0,600 \text{ m} \quad \text{Wirkhöhe / Active height}$$

$$b_{wir} = 2,000 \text{ m} \quad \text{Wirkbreite / Active width}$$

$$A_{wir} = 1,200 \text{ m}^2 = h_{wir} \cdot b_{wir}$$

$$\sigma_{ring} = 20,8 \text{ MPa} = D_{ring} / (A_{wir} \cdot 1000)$$

$$\eta = 0,81 = \sigma_{ring} / f_{cd} \leq 1,00$$

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:	

Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

6.6.3 Nachweis der Betonpressung am Turmfuß / *Concrete compression at tower bottom*

Die maximale Betonpressung am Turmfuß wird nachgewiesen. Diese entsteht aus dem maximalen Biegemoment. Es wird eine Teilflächenpressung gemäß Eurocode 2, [T-3] und [T-4] angesetzt.

The maximum concrete pressure at the base of the tower is verified, which results from the maximum bending moment. For this, a partial surface pressure according to Eurocode 2, [T-3] und [T-4] is used.

Legende / Legend

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

Eingabe / Input

Lasten / Loads

P_{ges}	=	98 965	kN	24xEX-84 St1570
N_d^{FOK}	=	25 860	kN	Turmnormalkraft / Tower normal force
F_{hd}^{FOK}	=	1 350	kN	Turmhorizontalkraft / Tower horizontal force
M_{bd}^{FOK}	=	276 335	kNm	Turmbiegemoment / Tower bending moment

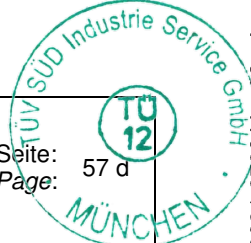
Material / Material

f_{ck}	=	30	MPa
α_{cc}	=	0,85	
Y_c	=	1,50	
f_{cd}	=	17,0	MPa = $\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / Y_c$

Geometrie / Geometry

h	=	2,900	m	Fundamenthöhe an der Lasteinleitung / Foundation height at the load application
b_{TUK}	=	0,300	m	Turmunterkantedicke / Tower bottom thickness
A_c	=	10,738	m ²	Turmunterkantefläche (Tür abgezogen) / Tower bottom area (door subtracted)
W_c	=	20,822	m ³	Turmunterkantewiderstandsmoment (Tür abgezogen) / Tower bottom section modulus (door subtracted)

Berechnung / Calculation

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	 Seite: 57 d Page:
Block:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

Teilflächenpressung / *Partially loaded areas*

$$\sigma_{cd} = 25,1 \text{ MPa} = (P_{ges} + N_d^{FOK}) / (A_c) + (M_{bd}^{FOK} + F_{hd}^{FOK} \cdot h) / (W_c)$$

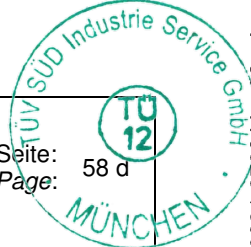
$$b_1 = 0,300 \text{ m} = b_{TUK}$$

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

$$\beta = 1,732 = \text{MIN} ((b_2 / b_1)^{1/2} ; 3,0)$$

$$\sigma_{Rd} = 29,4 \text{ MPa} = \beta \cdot f_{cd}$$

$$\eta = 0,85 = \sigma_{cd} / \sigma_{Rd} \leq 1,00$$

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i> Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design Vorgang:	 <p>Seite: 58 d Page:</p>
--	--

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

6.7 Bewehrungsübersicht und –skizze / Summary and sketch of reinforcement

Die gewählte Bewehrung wird in den folgenden Tabellen zusammengefasst (BLF-Nr.: „GEW“). Die gewählte Bewehrung deckt die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit inkl. zu berücksichtigender Mindestbewehrung aus den vorherigen Kapiteln ab. Außerdem werden die Ermüdungsnachweise aus Kapitel 7 berücksichtigt.

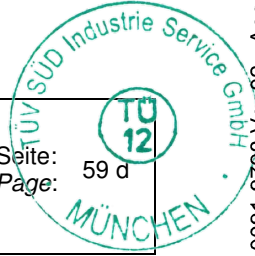
Der Einfluss der Bodensteifigkeiten wird durch der gewählte Bewehrung abgedeckt.

The selected reinforcement is summarized in the following tables (BLF No. : "GEW"). The chosen reinforcement covers the required reinforcement in ultimate and serviceability state including the minimum required reinforcement from the above chapters. Furthermore the choice considers the fatigue verifications in chapter 7.

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

Pos.-R	ASO	ASOQ	ASUQ	ASU	ASS
<i>Numm.</i>	-	-	-	-	-
1	L1:88Φ28 - L2:88Φ28 L3:88Φ28 - L4:88Φ25	36Φ28	Φ28/10	L1:120Φ28	64sΦ28
2	L1:88Φ28 - L2:88Φ28 L3:88Φ28 - L4:88Φ25		Φ28/10	L1:120Φ28 L2:120Φ28	-
3	L1:88Φ28 - L2:88Φ28 L3:88Φ28 - L4:88Φ25		Φ28/10	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28	58sΦ25+ +40sΦ28
4	L1:120Φ25+120Φ25 L2:120Φ20	Φ25/12	Φ28/10	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28+120Φ28	100sΦ28
5	L1:120Φ25+120Φ25 L2:120Φ20	Φ20/12	Φ28/10	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28+120Φ28	104sΦ28
6	L1:120Φ25+120Φ14 L2:120Φ20	Φ20/16	Φ28/10	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28+120Φ28	72sΦ25
7	L1:120Φ25+120Φ14 L2:120Φ20	Φ16/10	Φ28/10	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28+120Φ28	72sΦ25
8	L1:120Φ25+120Φ14 L2:120Φ20	Φ16/12	Φ28/10	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28+120Φ28	76sΦ25
9	L1:120Φ14 L2:120Φ20	Φ14/12	Φ28/12	L1:120Φ28+120Φ28 L2:120Φ28	120sΦ20
10	L1:120Φ14	Φ14/13	Φ25/12	L1:240Φ20	156sΦ16

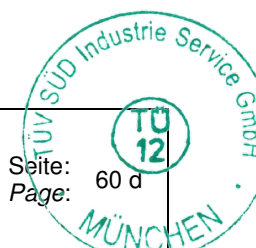
L: Lage (z.B.: L1 = 1. Lage)
S: Steher. Ein Steher beinhaltet 2 vertikale Eisen

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:	

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20 Datum: 01.12.2020
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20

BLF-Nr.	Pos.-R	ASO	ASOQ	ASUQ	ASU	ASS
<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m</i>	<i>cm²/m²</i>
GEW	1	119,5	68,2	61,6	42,9	42,3
GEW	2	85,7	68,2	61,6	61,5	-
GEW	3	66,8	68,2	61,6	67,0	31,8
GEW	4	41,6	40,9	61,6	75,1	33,0
GEW	5	35,6	26,2	61,6	64,3	29,4
GEW	6	23,1	19,6	61,6	56,3	14,8
GEW	7	20,6	20,1	61,6	50,2	13,2
GEW	8	18,6	16,8	61,6	45,3	12,6
GEW	9	8,3	12,8	51,3	30,4	11,6
GEW	10	2,5	11,8	40,9	10,2	8,8

ASO: Radialbewehrung Oben
 ASOQ: Umfangsbewehrung Oben
 ASUQ: Umfangsbewehrung Unten
 ASU: Radialbewehrung Unten
 ASS: Schubbewehrung

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i> Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design Vorgang:	 <p>Seite: 60 d Page:</p>
---	--

Verfasser:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.:
WEA: Vestas V162-5.6			NH: 169 m + 166 m
		Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

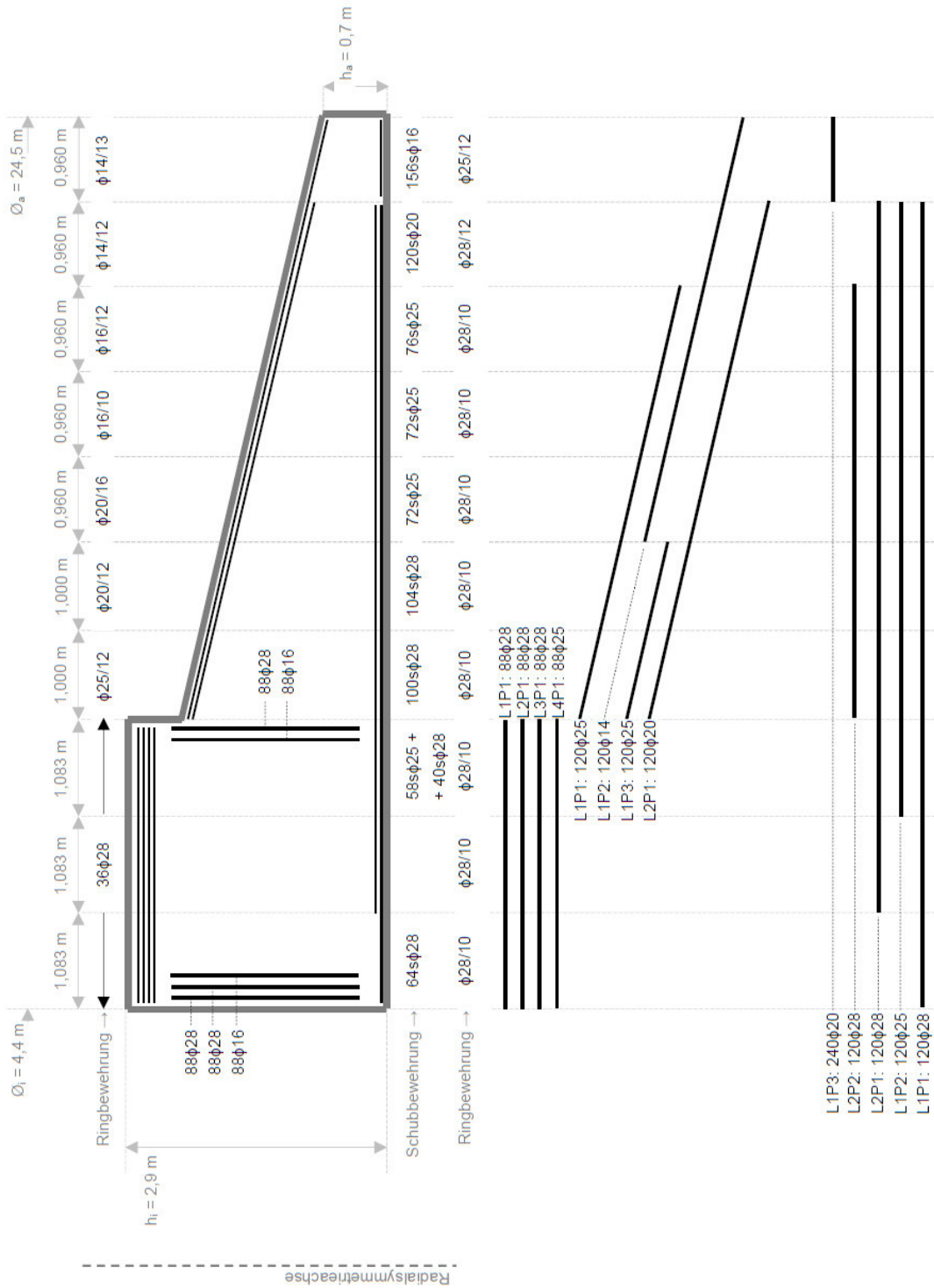
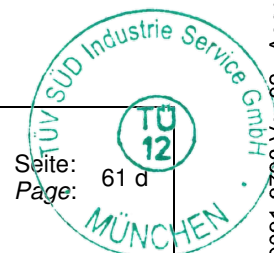


Abbildung / Figure 15: Bewehrungsskizze / Sketch of reinforcement

Anmerkungen
 - Angegeben ist die erforderliche statische Bewehrung. Verankerung muss zusätzlich definiert werden.
 - „sφ“ steht für „Steher“. Ein Steher beinhaltet 2 vertikale Eisen.

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m
Block:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design
Vorgang:	



Seite: 61 d
 Page:

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

Die in der Bewehrungsskizze (Abbildung / Figure 15) definierte vertikale Bewehrung im Sockel ergibt sich aus der Schubbewehrung, Kapitel 6.5, und der Lasteinleitung-Rückhängebewehrung, Kapitel 6.6.1. Die erforderliche Bewehrung aus beiden Nachweise ist durch die vorhandene Bewehrung wie folgt abgedeckt:

The defined vertical reinforcement on the reinforcement sketch (Abbildung / Figure 15) results from the shear reinforcement, chapter 6.5, and from the load application suspended reinforcement, chapter 6.6.1. The required reinforcement of both verifications is covered by the existing reinforcement as follows:

Erforderliche Bewehrung / Required reinforcement

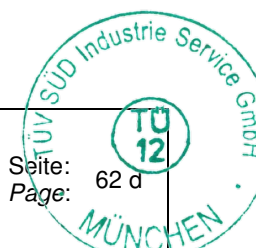
Pos.-R →	1	2	3
$A_{s,v,Erf,i}^{LE}$	1 252 cm ²	-	1 252 cm ²
$A_{s,v,Erf,i}^{FE}$	595 cm ²	386 cm ²	276 cm ²
$A_{s,v,Erf,i}$	1 847 cm ²	386 cm ²	1 527 cm ²
$A_{s,v,Erf}$	3 761 cm²		

$A_{s,v,Erf,i}^{LE}$: Erforderliche vertikal Bewehrung jeder Pos.-R aus der Lasteinleitung /
Required vertical reinforcement for each Pos.-R from the Load application

$A_{s,v,Erf,i}^{FE}$: Erforderliche vertikal Bewehrung jeder Pos.-R aus dem FE-Modell /
Required vertical reinforcement for each Pos.-R from the FE-Modell

$A_{s,v,Erf,i}$: Gesamte erforderliche vertikal Bewehrung jeder Pos.-R / Total required vertical reinforcement for each Pos.-R

$A_{s,v,Erf}$: Gesamte erforderliche vertikal Bewehrung / Total required vertical reinforcement

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	 <p>Seite: 62 d Page:</p>
Block:	6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

Vorhandene Bewehrung / Existing reinforcement

Pos.-R →	1	2	3
-----------------	---	---	---

A_{s,v,Vor,i}^R	88Φ28	542 cm ²	-	-	88Φ28	542 cm ²
	88Φ28	542 cm ²	-	-	88Φ16	177 cm ²
	88Φ16	177 cm ²	-	-	-	-
A_{s,v,Vor,i}^S	64sΦ28	788 cm ²	-	-	58sΦ25	569 cm ²
	-	-	-	-	40sΦ28	493 cm ²

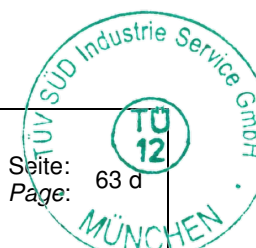
A_{s,v,Vor,i}	2 049 cm ²	-	1 781 cm ²
A_{s,v,Vor}	3 830 cm²		

$A_{s,v,Vor,i}^R$: Vorhandene vertikal Bewehrung jeder Pos.-R am Rand / Existing vertical reinforcement for each Pos.-R at the sides

$A_{s,v,Vor,i}^S$: Vorhandene vertikal Bewehrung jeder Pos.-R als Steher / Existing vertical reinforcement for each Pos.-R with a Steher

$A_{s,v,Vor,i}$: Gesamte vorhandene vertikal Bewehrung jeder Pos.-R / Total existing vertical reinforcement for each Pos.-R

$A_{s,v,Vor}$: Gesamte vorhandene vertikal Bewehrung / Total existing vertical reinforcement

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	
Block: 6 Bemessung im GZT und GZG / ULS and SLS Design	
Vorgang:	

Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6			Datum: 01.12.2020
NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20		

7 Ermüdungsnachweise / *Fatigue design*

7.1 Allgemeines / *General*

Der Betonstahl wird unter Ermüdung nachgewiesen.

Für den Nachweis gegen Ermüdung werden die Betonstahlspannungen 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.

Der Nachweis erfolgt nach Eurocode 2, 6.8.4. Die Schädigungen aus der Markov-Matrix werden nach der Palmgren-Miner-Regel addiert.

Folgende Ermüdungsnachweise werden durchgeführt:

- Biegebewehrung (Radial- und Umfangsrichtung)
- Querkraftbewehrung
- Vertikale Zugbewehrung (Lasteinleitung)
- Spaltzugbewehrung (Lasteinleitung)

The reinforcing bars are verified under fatigue.

For the fatigue verification the stresses in the reinforcement are determined with the FE-Model. The damages are then calculated with a calculation program.

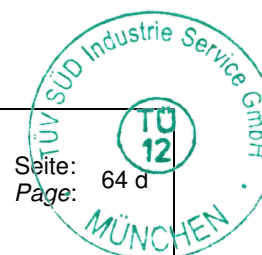
The load during the lifetime is provided by the turbine manufacturer in form of Markov matrixes.

The verification is performed according to Eurocode 2, 6.8.4. The damages are superimposed according to the Palmgren-Miner rule.

The following fatigue checks are carried out:

- Bending reinforcement (radial and circumferential direction)
- Shear reinforcement
- Vertical tensile reinforcement (load introduction)
- Splitting tensile reinforcement (load introduction)

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>
Block:	7 Ermüdungsnachweise / <i>Fatigue design</i>
Vorgang:	



Seite: 64 d
Page:

Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

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 für jedes Schalelement und Bewehrungsrichtung/-Position ergibt. Durch Interpolation der in der Markov-Matrixen definiert Biegemomente werden die Spannungsschwingungswerten realitätsnah berechnet.

The stresses in the rebars are determined using the FE-model in Sofistik. A representative number of bending moment load levels is calculated. This results in a multilinear distribution of the rebar stresses for each shell element and reinforcement direction/position. By interpolating the bending moments defined in the Markov matrix, the stress oscillation is calculated realistically.

Folgende Markov-Matrixen werden nachgewiesen:

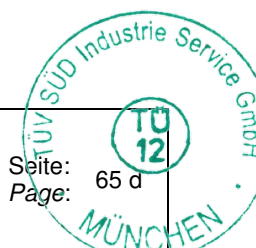
The following Markov matrices are verified:

- Markov-Matrix Nr. 01: V162_6b_Soft_5p4_20yr \ 0342_Mxt0.mko
- Markov-Matrix Nr. 02: V162_6b_Soft_5p4_25yr \ 0342_Mxt0.mko
- Markov-Matrix Nr. 03: V162_6b_Soft_5p6_20yr \ 0342_Mxt0.mko
- Markov-Matrix Nr. 04: V162_6b_Soft_5p6_25yr \ 0342_Mxt0.mko
- Markov-Matrix Nr. 05: V162_6b_Stiff_5p4_20yr \ 0342_Mxt0.mko
- Markov-Matrix Nr. 06: V162_6b_Stiff_5p4_25yr \ 0342_Mxt0.mko
- Markov-Matrix Nr. 07: V162_6b_Stiff_5p6_20yr \ 0342_Mxt0.mko
- Markov-Matrix Nr. 08: V162_6b_Stiff_5p6_25yr \ 0342_Mxt0.mko
- Markov-Matrix Nr. 09: V162_6c_Stiff_5p4_20yr \ 0342_Mxt0.mko
- Markov-Matrix Nr. 10: V162_6c_Stiff_5p4_25yr \ 0342_Mxt0.mko
- Markov-Matrix Nr. 11: V162_6c_Stiff_5p6_20yr \ 0342_Mxt0.mko
- Markov-Matrix Nr. 12: V162_6c_Stiff_5p6_25yr \ 0342_Mxt0.mko

Folgendes Spektrum der Biegemomentbelastung wird berücksichtigt:

The following spectrum of bending moment load is considered:

- $M_{b,Min}^{FOK} = -225 \text{ MNm}$
- $M_{b,Max}^{FOK} = +225 \text{ MNm}$
- $\Delta M_b^{FOK} = 25 \text{ MNm}$

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: 65 d Page:
Block:	7 Ermüdungsnachweise / <i>Fatigue design</i>	
Vorgang:		

Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6			Datum: 01.12.2020
NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20		

Die Biegemomente M_b^{FOK} beziehen sich auf der Fundamentoberkante. Die zugehörige Belastung aus dem Turm wird wie folgt definiert:

The bending moments M_b^{FOK} refer to the foundation upper edge. The associated load from the tower is defined as follows:

- $N = N^{D.3}$
- $M_{bi} = \text{Variable}$
- $F_{hi} = F_{hi}^{D.3} \cdot (M_{b,i} / M_{b,Max})$
- $M_t = M_t^{D.3}$

Die Lastfälle werden zusätzlich in Kombination mit folgenden Einwirkungen Berücksichtigt:

The Load cases are additionally considered in combination with the following effects:

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

Die Bewehrung wird für alle Kombinationen nachgewiesen.

The reinforcement is verified for all combinations.

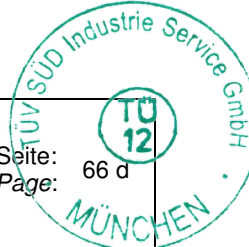
Die Betonstahlspannungen in der Schubbewehrung werden im FE-Modell mit folgender Druckstrebenneigung nach Eurocode 2, 6.8.2 (3) ermittelt.

The stresses in the rebars of the shear reinforcement are determined in the FE-model with the following concrete strut angle according to Eurocode 2, 6.8.2 (3).

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

Die Ermittlung der Schädigung erfolgt mittels der im Eurocode 2 definierten Wöhler-Kurven. Die Kurvenparameter angegeben in folgender Tabelle werden angesetzt.

The damage is determined applying the S/N curves, defined in Eurocode 2. The curve parameters in the following table are calculated.

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: 66 d Page:
Block:	7 Ermüdungsnachweise / <i>Fatigue design</i>	
Vorgang:		

Verfasser:	 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
	Hybridturm: T20	

Nr.	N*	k ₁	k ₂	ξ	Δσ _{Rsk} (N*)	γ _{s,Fat}	Δσ _{Rsd} (N*)
<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	-	-	-	<i>MPa</i>	-	<i>MPa</i>
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

ξ = 0,74 entspricht ein Faktor für den Biegerolldurchmesser von 15·d_s.

In nachfolgender Tabelle ist definiert welche der verschiedenen Kurvennummer je nach Elemente und Positionen angesetzt werden.

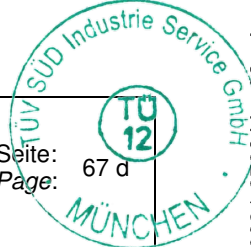
Following table defines which of the different curve numbers must be applied, depending on the elements and positions.

Pos.-R	WK-ASO	WK-ASOQ	WK-ASUQ	WK-ASU	WK-ASS
<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>
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

WK: Wöhler-Kurve
 ASO: Radialbewehrung Oben
 ASOQ: Umfangsbewehrung Oben
 ASUQ: Umfangsbewehrung Unten
 ASU: Radialbewehrung Unten
 ASS: Schubbewehrung

Mit diesem Verfahren ergibt sich mit der gewählten Bewehrung in Kapitel 6.7 die maximalen Schädigungen in der nachfolgenden Tabelle. Mit Werte von $D \leq D^{MAX} = 1,00$ ist der Nachweis erfüllt.

With this method, the maximum damage results with the previously selected reinforcement in chapter 6.7. With values of $D \leq D^{MAX} = 1,00$ the verification is fulfilled.

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: 67 d Page:
Block: 7 Ermüdungsnachweise / <i>Fatigue design</i>	
Vorgang:	

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

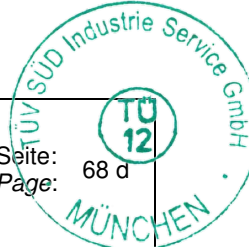
BLF-Nr.	Pos.-R	D-O	D-OQ	D-UQ	D-U	D-S
<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	-	-	-	-	-
GEW	1	0,00	0,18	0,28	0,81	0,00
GEW	2	0,07	0,86	0,31	0,89	0,00
GEW	3	0,97	1,00	0,09	0,43	0,00
GEW	4	0,66	0,35	0,08	0,40	0,91
GEW	5	0,31	0,31	0,05	0,22	0,94
GEW	6	0,80	0,49	0,02	0,11	0,00
GEW	7	0,19	0,04	0,01	0,04	0,00
GEW	8	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
GEW	9	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
GEW	10	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00

D-O: Schädigungssumme in der Radialbewehrung Oben
 D-OQ: Schädigungssumme in der Umfangsbewehrung Oben
 D-UQ: Schädigungssumme in der Umfangsbewehrung Unten
 D-U: Schädigungssumme in der Radialbewehrung Unten
 D-S: Schädigungssumme in der Schubbewehrung

Beispielhaft wird in folgender Tabelle ein Auszug der Berechnung der Schädigung für ein Schalelemente, eine Bewehrungsposition und eine Markov-Matrix dargestellt.

As an example, the following table shows an abstract of the damage calculation for a specific shell element, reinforcement position and Markov matrix.

Mean	Range	ni	M-Unt.	M-Obe.	Quad	Pos.-R	WK-Nr.-O	LFK-O	Δσ-O	Ni-O	Di-O
<i>kNm</i>	<i>kNm</i>	<i>Anz.</i>	<i>kNm</i>	<i>kNm</i>	<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	<i>Numm.</i>	<i>MPa</i>	<i>Anz.</i>	-
206 090	7 029	0,1	202 575	209 605	301001	4	1	2	1,2	4,600E+18	2,923E-20
189 960	0	0,1	189 960	189 960	301001	4	1	2			
181 900	0	0,7	181 900	181 900	301001	4	1	2			
173 840	0	0,3	173 840	173 840	301001	4	1	2			
165 770	7 029	0,1	162 255	169 285	301001	4	1	2	1,0	1,001E+19	1,343E-20
165 770	0	0,4	165 770	165 770	301001	4	1	2			
157 710	0	0,4	157 710	157 710	301001	4	1	2			
149 650	7 029	0,1	146 135	153 165	301001	4	1	2	1,0	1,097E+19	1,226E-20
141 590	7 029	0,3	138 075	145 105	301001	4	1	2	1,0	1,183E+19	2,274E-20
141 590	0	0,5	141 590	141 590	301001	4	1	2			

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block: 7 Ermüdungsnachweise / <i>Fatigue design</i>	
Vorgang:	

Seite: 68 d
Page:

Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

7.3 Lasteinleitung / *Load application*

7.3.1 Windzugseite / *Wind tensile side*

Nachfolgend wird der Ermüdungsnachweis für die Bewehrung zur Lasteinleitung auf der Windzugseite geführt.

Die Betonstahlspannungen werden nach dem Stabwerksmodell aus Kapitel 6.6.1 ermittelt.

Die Änderung der Kraft in den Spanngliedern ist aufgrund des Tragverhaltens des Betonturms (Fugenklaffen, etc.) gering. Unter der seltenen Einwirkungskombination D.1 erhöht sich die Kraft im Spannglied lediglich um 175 kN im Vergleich zum Ausgangszustand, siehe auch [G-1]. Entsprechend gering ist die Schwingweite in der Rückhängebewehrung.

Für die Ermittlung der Schwingweite wird ein linearer Zusammenhang zwischen Turmfußbiegemoment und Spanngliedkraft angesetzt. Hierfür werden das Biegemoment am Turmfuß und die maximale Spanngliedkraft in der seltenen Einwirkungskombination D.1 aus der Turmstatik [G-1] verwendet:

Following the fatigue verification of the load application reinforcement on the windward side is performed.

The rebar stresses are determined according to the strut-tie model in chapter 6.6.1.

The variation of the tendon force is very small due to the structural behavior of the concrete tower (joint opening, etc.). Under the rare action combination D.1 the tendon force increases only on 175 kN in comparison with the original state, see [G-1]. The amplitude on the rear suspended reinforcement is accordingly small.

For the determination of the amplitude, a linear relationship between the tower bottom bending moment and the tendon force is defined. Therefore, the bending moment at the tower bottom and the maximal tendon force from the rare action combination D.1 [G-1] will be used:

Legende / *Legend*

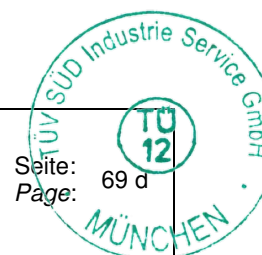
XXX	→	Eingabe / <i>Input</i>
SPGL	→	Spannglied / <i>Tendons</i>
FOK	→	Fundamentoberkante / <i>Upper edge of the foundation</i>

Eingabe / *Input*

Geometrie / *Geometry*

n_{SPGL} = 24

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>
Block:	7 Ermüdungsnachweise / <i>Fatigue design</i>
Vorgang:	



Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

Einwirkung / Action

M _{b,D,1} ^{FOK}	=	185 548	kNm	LF2103
P _{D,1}	=	4 298	kN / Spgl.	LF2103
P ₀	=	4 123	kN / Spgl.	

Berechnung / Calculation

$$\Delta P / \Delta M = 9,487E-04 \text{ kN / kNm / m} = (P_{D,1} - P_0) / M_{b,D,1}^{FOK} / (U_P / n_{SPGL})$$

Die Markov-Matrix Nummer 11 (Siehe Kapitel 7.1) ist die Maßgebende. Die Wöhler-Kurve Nummer 3 wird angesetzt.

In der folgenden Tabelle ist beispielhaft die Ermittlung der Einzelschädigungen für einige Zeile der Markov-Matrixen angegeben.

Die Schädigungssumme ergibt sich zu:

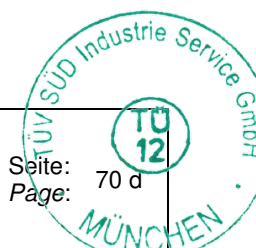
The Markov matrix number 11 (see chapter 7.1) is the representative one. The S/N curve number 3 is applied.

As an example, the damages for some rows of the Markov matrices can be found in the following table.

The total damage sum results in:

$$D^{TOT} = 7,03E-10 \leq D^{MAX} = 1,00$$

Mkv.Nr.	Mean	Range	ni	ΔF	Δσ	N	D
<i>Numm.</i>	<i>kNm</i>	<i>kNm</i>	<i>Anz.</i>	<i>kN/m</i>	<i>MPa</i>	-	-
1	179 450	7 243	0,1	6,871	0,7	1,401E+26	9,613E-28
1	171 250	7 243	0,1	6,871	0,7	1,401E+26	9,613E-28
1	171 250	0	1,1	0,000	0,0		0,000E+00
1	163 060	7 243	0,1	6,871	0,7	1,401E+26	9,613E-28
1	163 060	0	0,5	0,000	0,0		0,000E+00
1	154 860	7 243	0,1	6,871	0,7	1,401E+26	9,613E-28
1	154 860	0	0,5	0,000	0,0		0,000E+00
1	146 670	7 243	0,3	6,871	0,7	1,401E+26	1,923E-27
1	146 670	0	0,4	0,000	0,0		0,000E+00
1	138 480	0	0,5	0,000	0,0		0,000E+00

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block:	7 Ermüdungsnachweise / <i>Fatigue design</i>	
Vorgang:		

Seite: 70 d
Page:

Verfasser:	 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

7.3.2 Betonerermüdung / Concrete fatigue design

Der Beton am Turmfuß wird unter Ermüdung nachgewiesen. Dafür wird die Teilflächenpressung gemäß Eurocode 2 angesetzt.

The concrete at the tower base is verified under fatigue loads. For this the partial surface pressure according to Eurocode 2 is applied.

Grenzzustand der Ermüdung

Nachweis am Element

C31 unten

Durchmesser außen	D _a	=	8987,5 [mm]
Durchmesser innen	D _u	=	8147,5 [mm]
Fläche	A _c	=	1,08E+07 [mm ²]
Flächenträgheitsmoment	I _c	=	9,38E+13 [mm ⁴]
Widerstandsmoment	W _c	=	2,09E+10 [mm ³]

Türoffnungen? ("eins"/"zwei")

			eins
nur für 1 Tür, Eingang -->	b _{Tür}	=	1320 [mm]
nur für 2 Türen, Eingang -->	A _c	=	<i><--nicht berücksichtigt</i>
nur für 2 Türen, Eingang -->	I _c	=	<i><--nicht berücksichtigt</i>

Eigengewicht am Nachweisschnitt

G = -18070 [kN]

$\sigma_{c,G} = G/A_c = -1,681 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

Vorspannkraft je Spgl.

P_{m0} = 4123 [kN]

Anzahl Spannglieder

N_{SPGL} = 24 [-]

Streuungsbeiwert

r_{sup} = 1,05 [-]

Spannkraftverluste

r_{skr} = 0,10 [%]

$P_{m,Erm} = r_{sup} \cdot P_{m0} \cdot N_{spang} \cdot (1 - r_{skr}/2) = 98705 \text{ [kN]}$

$\sigma_{c,P} = -P_{m,Erm}/A_c = -9,182 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

Material

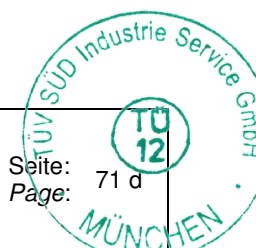
Festigkeit f_{ck} = 45 [N/mm²]

Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,c}$ = 1,5 [-]

Abminderungsbeiwert α_{cc} = 0,85 [-]

Betonalter zu Belastungsbeginn t = 33 [Tage]

Zementbeiwert s = 0,38 [-]

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: 71 d Page:
Block: 7 Ermüdungsnachweise / <i>Fatigue design</i>	
Vorgang:	

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

Ermüdungsfestigkeit Beton

$$\beta_{cc,t} = \text{EXP}(s \cdot (1 - \sqrt{(28/t)})) = 1,030 \quad [-]$$

$$f_{cd,fat} = \alpha_{cc} \cdot \beta_{cc,t} \cdot f_{ck} \cdot (1 - f_{ck}/250) / \gamma_{M,c} = 28,010 \quad [\text{N/mm}^2]$$

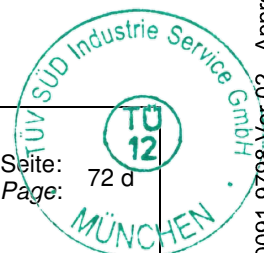
Teilsicherheitsbeiwert für Modellungenauigkeiten

$$\gamma_{SD} = 1,10 \quad [-]$$

Schädigungssumme

$$\Sigma D_i = 1,02E+00 \sim 1,00$$

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i> Block: 7 Ermüdungsnachweise / <i>Fatigue design</i> Vorgang:	Seite: 72 d Page:
---	----------------------



Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6			NH: 169 m + 166 m
		Hybridturm: T20	

7.3.3 Beton oberhalb der Ankerplatte / *Concrete above the anchor plate*

Der Beton oberhalb der Ankerplatte wird für die turmspezifischen Ermüdungslasten nachgewiesen.

Die Teilflächenpressung wird gemäß [T-4] angesetzt. Die Ermittlung der Kraftschwingweite der Spannglieder erfolgt analog zu Kapitel 7.3.1. Die Schädigung wird einzeln für die Moment-positiv- und -negativ-Seiten ermittelt.

Die Markov-Matrix Nummer 11 (Siehe Kapitel 7.1) ist die Maßgebende, auf der Moment-negativ-Seite ergibt sich die größte Schädigung.

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.

Die Schädigungssumme ergibt sich zu:

The concrete above the anchor plate is verified for the tower specific fatigue loads.

The partial surface pressure according to [T-4] is considered. The load amplitude is determined in analogy to chapter 7.3.1. The damage will be calculated for both positive and negative moment sides.

The markov matrix number 11 (see chapter 7.1) is the representative one, the largest damage results on the negative moment side.

The considered parameters and exemplarily the damage for a row of the markov matrix on the positive moment side can be found in the following calculations.

The total damage sum results in:

$$D^{TOT} = 7,69E-02 \leq D^{MAX} = 1,00$$

Legende / Legend

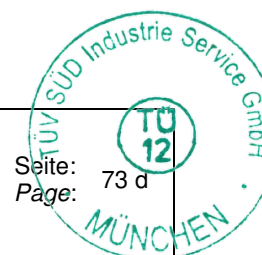
XXX	→	Eingabe / Input
SPGL	→	Spannglied / Tendon
AP	→	Ankerplatte / Anchorplate
HR	→	Hüllrohr / Cladding tube

Eingabe / Input

Geometrie / Geometry

$n_{SPGL} = 24$ Spanngliedanzahl / Number of tendons

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>
Block:	7 Ermüdungsnachweise / <i>Fatigue design</i>
Vorgang:	



Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
		Datum: 01.12.2020
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20

D_{AP^m}	=	7 595	mm	Mittige Ankerplattendurchmesser / Middle anchor plate diameter
U_{AP}	=	23 860	mm	= $\pi \cdot D_{AP^m}$
$SSPGL$	=	994	mm	= U_{AP} / n_{SPGL}
b_{AP}	=	440	mm	Breite / Width
l_{AP}	=	825	mm	Länge / Length
d_{HR}	=	146	mm	Durchmesser / Diameter
p_2	=	150	mm	Lochabstand in Querrichtung / Bore separation in transversal direction

Material / Material

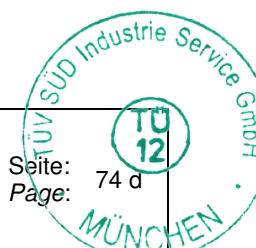
f_{ck}	=	30	MPa	
α_{cc}	=	0,85		
γ_c	=	1,50		
s	=	0,38		Zementtyp-Beiwert / Cement type coefficient
t	=	33	Tage	Betonalter zu Belastungsbeginn / Concrete age at first load
$\beta_{cc,t}$	=	1,030		= $\exp (s \cdot (1 - (28 / t)^{1/2}))$
$f_{cd,fat}$	=	15,4	MPa	= $\alpha_{cc} \cdot \beta_{cc,t} \cdot f_{ck} \cdot (1 - f_{ck} / 250) / \gamma_c$

Einwirkung / Action

$M_{b,D,1}^{FOK}$	=	185 548	kNm	LF2103
$P_{D,1}$	=	4 298	kN / Spgl.	LF2103
P_0	=	4 123	kN / Spgl.	
$\Delta P / \Delta M$	=	9,432E-04	kN / kNm	= $(P_{D,1} - P_0) / M_{b,D,1}^{FOK}$

Lastausbreitungsvorgaben / Load introduction specifications

b_1	=	440	mm	= b_{AP}
d_1	=	825	mm	= l_{AP}
h	=	664	mm	Ausbreitungshöhe / Height of the load distribution
$\tan \alpha_c$	=	0,5		Lastausbreitungswinkel im Beton / Concrete load distribution angle
b_2	=	994	mm	= $\text{MIN} (b_1 + 2 \cdot h \cdot \tan \alpha_c ; SSPGL ; 3 \cdot b_1)$
d_2	=	1 489	mm	= $\text{MIN} (d_1 + 2 \cdot h \cdot \tan \alpha_c ; 3 \cdot d_1)$
β	=	1,300		= $\text{MIN} (((b_2 \cdot d_2) / (b_1 \cdot d_1))^{1/2} ; 1,3)$
A_{c1}^{SPGL}	=	394 617	mm ²	= $\beta \cdot b_{AP} \cdot l_{AP} - 2 \cdot (d_{HR} \cdot p_2 + \pi \cdot (d_{HR} / 2)^2)$

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	
Block: 7 Ermüdungsnachweise / Fatigue design	
Vorgang:	

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

Beispielsberechnung / Calculation example

$M_i = 179\,450 \text{ kNm}$ Schwingungsmittelwert / *Cycle mean*
 $R_i = 7\,243 \text{ kNm}$ Schwingweite / *Cycle width*
 $n_i = 0,1$ Spielanzahl / *Number of cycles*

$M_{unt} = 175\,829 \text{ kNm} = M_i - R_i / 2$

$M_{obe} = 183\,071 \text{ kNm} = M_i + R_i / 2$

$F_{unt}^{x+} = 4\,289 \text{ kN} = P_0 + (\Delta P / \Delta M) \cdot M_{unt}$

$F_{obe}^{x+} = 4\,296 \text{ kN} = P_0 + (\Delta P / \Delta M) \cdot M_{obe}$

$\sigma_{c,min}^{x+} = 10,87 \text{ MPa} = F_{unt} / A_{c1}^{SPGL}$

$\sigma_{c,max}^{x+} = 10,89 \text{ MPa} = F_{obe} / A_{c1}^{SPGL}$

$Y_{Sd} = 1,10$

$\eta_c = 1,000$ (Auf der sicheren Seite / *On the safe side*)

$S_{cd,min}^{x+} = 0,776 = Y_{Sd} \cdot \sigma_{c,min} \cdot \eta_c / f_{cd,fat}$

$S_{cd,max}^{x+} = 0,777 = Y_{Sd} \cdot \sigma_{c,max} \cdot \eta_c / f_{cd,fat}$

$\Delta S_{cd}^{x+} = 0,001 = S_{cd,max} - S_{cd,min}$

$\log N_1^{x+} = 6,523 = (12 + 16 \cdot S_{cd,min} + 8 \cdot S_{cd,min}^2) \cdot (1 - S_{cd,max})$; wenn $0 < S_{cd,min} < 0,8$

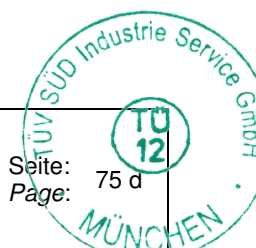
$\log N_2^{x+} = 7,204 = 0,2 \cdot \log N_1 \cdot (\log N_1 - 1)$; wenn $0 < S_{cd,min} < 0,8$

$\log N_3^{x+} = 53,476 = \log N_2 \cdot (0,3 - (3 \cdot S_{cd,min} / 8)) / \Delta S_{cd}$; wenn $0 < S_{cd,min} < 0,8$

$\log N^{x+} = 53,476 = \log N_1$; wenn $0 < S_{cd,min} < 0,8$; und $\log N_1 \leq 6$
 $\log N_2$; wenn $0 < S_{cd,min} < 0,8$; und $\log N_1 > 6$; und $\Delta S_{cd} \geq 0,3 - (3 \cdot S_{cd,min} / 8)$
 $\log N_3$; wenn $0 < S_{cd,min} < 0,8$; und $\log N_1 > 6$; und $\Delta S_{cd} < 0,3 - (3 \cdot S_{cd,min} / 8)$
 $6 - \Delta S_{cd} \cdot 30$; wenn $S_{cd,min} \geq 0,8$

$N^{x+} = 2,99E+53 = 10^{\log N}$ (wenn $\log N > 308$; $N = 308$)

$D_i^{x+} = 4,50E-55 = n_i / N$

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block: 7 Ermüdungsnachweise / <i>Fatigue design</i>	
Vorgang:	

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

8 Betonierfuge / Construction joint

8.1 Allgemeines / General

Zwischen dem Sockel und der Platte kann eine Arbeitsfuge vorgesehen werden. Die obersten 60 cm des Sockels können dann in einem zweiten Schritt betoniert werden.

Nachfolgend werden der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Ermüdungsnachweis der Arbeitsfuge geführt. Die Fuge wird als glatt nachgewiesen, damit ist keine Behandlung der Fugenoberfläche erforderlich.

Der Bemessungswert der Schubtragfähigkeit in der Fuge wird gemäß Eurocode 2, 6.2.5 ermittelt. 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 D.

Between the pedestal and the plate a construction joint can be executed. So, the upper 60 of the pedestal can be poured in a second step.

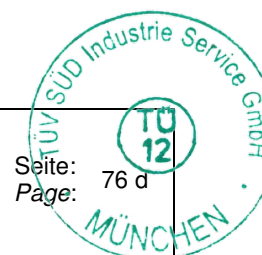
Following the verifications for the construction joint are performed in ultimate and fatigue limit state. The joint is applied as smooth joint. Therefore, no treatment of the joint surface is required.

The design value of the shear resistance at the interface is determined in accordance with Eurocode 2, 6.2.5. Due to the dynamic loads the adhesion factor c is set to 0.

To be on safe side, only the weight of the concrete is taken into account for the normal stress vertical to the interface.

The design value of the shear force is determined with the FE-Modell, see Appendix D.

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	
Block:	8 Betonierfuge / Construction joint	
Vorgang:		



Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

8.2 Fugentragfähigkeit in GZT / Joint resistance in ULS

Legende / Legend

XXX → Eingabe / Input

Eingabe / Input

Geometrie / Geometry

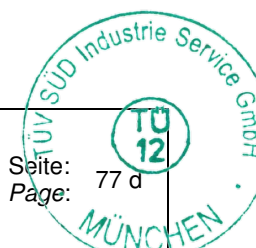
h _{Socket}	=	0,600	m		
R _i ^{Pos.-R-1}	=	2,200	m		
R _a ^{Pos.-R-1}	=	3,283	m		
R _a ^{Pos.-R-2}	=	4,367	m		
R _a ^{Pos.-R-3}	=	5,450	m		
A ^{Pos.-R-1}	=	18,66	m ²	=	$\pi \cdot ((R_a^{Pos.-R-1})^2 - (R_i^{Pos.-R-1})^2)$
A ^{Pos.-R-2}	=	26,05	m ²	=	$\pi \cdot ((R_a^{Pos.-R-2})^2 - (R_a^{Pos.-R-1})^2)$
A ^{Pos.-R-3}	=	33,40	m ²	=	$\pi \cdot ((R_a^{Pos.-R-3})^2 - (R_a^{Pos.-R-2})^2)$
A ^{TOT}	=	78,11	m ²	=	A ^{Pos.-R-1} + A ^{Pos.-R-2} + A ^{Pos.-R-3}
k ^{Pos.-R-1}	=	0,24		=	A ^{Pos.-R-1} / A ^{TOT}
k ^{Pos.-R-2}	=	0,33		=	A ^{Pos.-R-2} / A ^{TOT}
k ^{Pos.-R-3}	=	0,43		=	A ^{Pos.-R-3} / A ^{TOT}
h	=	2,900	m		
d ₁	=	0,125	m		
d	=	2,775	m	=	h - d ₁
z	=	2,498	m	=	0,9 · d

Lasten / Loads

v _{Ed} ^{Pos.-R-1}	=	6 047	kN/m		
v _{Ed} ^{Pos.-R-2}	=	2 837	kN/m		
v _{Ed} ^{Pos.-R-3}	=	1 491	kN/m		
v _{Ed}	=	3 028	kN/m	=	k ^{Pos.-R-1} · v _{Ed} ^{Pos.-R-1} + k ^{Pos.-R-2} · v _{Ed} ^{Pos.-R-2} + + k ^{Pos.-R-3} · v _{Ed} ^{Pos.-R-3}

Material / Material

f _{yk}	=	500	MPa		
γ _s	=	1,15			
f _{yd}	=	434,8	MPa	=	f _{yk} / γ _s

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	
Block: 8 Betonierfuge / Construction joint	
Vorgang:	

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Datum: 01.12.2020
		Hybridturm: T20

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

Vorhandende Bewehrung / Existing reinforcement

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 90^\circ \\
 A_{s,vor} &= 7143,4 \text{ cm}^2 \quad \text{736}\Phi\text{28} \quad \text{532}\Phi\text{25} \\
 a_{s,vor} &= 91,5 \text{ cm}^2/\text{m}^2 = A_{s,vor} / A^{TOT} \\
 \rho &= 0,0091 = a_{s,vor}
 \end{aligned}$$

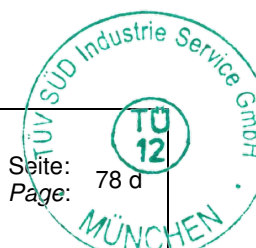
Berechnung / Calculation

$$\begin{aligned}
 \beta &= 1,00 \quad (\text{Sichere Seite}) \\
 c &= 0,00 \quad \text{dynamische Beanspruchung} \\
 \mu &= 0,60 \quad \text{Glatte Fuge} \\
 v &= 0,20 \quad \text{Glatte Fuge} \\
 \sigma_n &= 15 \text{ kN/m}^2 = h_{\text{Sockel}} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \quad (\text{Sichere Seite}) \\
 v_{Ed} &= 1\,212 \text{ kN/m}^2 = \beta \cdot v_{Ed} / Z \\
 v_{Rd,Fuge} &= 2\,872 \text{ kN/m}^2 \quad \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (1,2 \mu \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)) \leq \\
 &\leq 1\,700 \text{ kN/m}^2 = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \\
 \eta &= 0,71 = v_{Ed} / v_{Rd,Fuge} \leq 1,00
 \end{aligned}$$

Verankerungslänge / Anchorage length

Abminderungsfaktor / Reduction factor

$$\begin{aligned}
 A_{s,erf} &= 3001 \text{ cm}^2 \\
 A_{s,erf} / A_{s,vorh} &= 0,42
 \end{aligned}$$

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / Foundation D = 24,5 m	
Block: 8 Betonierfuge / Construction joint	
Vorgang:	

Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6			NH: 169 m + 166 m
		Hybridturm: T20	

8.3 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 den im GZT-Nachweis benutzten.

The chosen verification method is analogue to the fatigue verifications of the bending reinforcement in chapter 7.2. Different load levels of the bending moment and different load combinations are considered.

The shear force is determined analogue to the ULS verification with average areas.

The reinforcement stresses is calculated via the following formula. The abbreviations are used according to ULS verifications.

$$\sigma_s = q \text{ [kN/m]} / (z \cdot \rho \cdot 1,2 \cdot \mu)$$

Die Markov-Matrix Nummer 11 (Siehe Kapitel 7.1) ist die maßgebend. Die Wöhler-Kurve Nummer 3 wird angesetzt.

In der folgenden Tabelle sind die Einzelschädigungen für einige Zeile der Markov-Matrixen beispielhaft dargestellt.

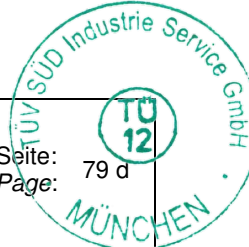
Die Schädigungssumme ergibt sich zu:

The Markov matrix number 11 (see chapter 7.1) is the representative one. The S/N curve number 3 is applied.

As an example, the damages for some rows of the Markov matrices can be found in the following table.

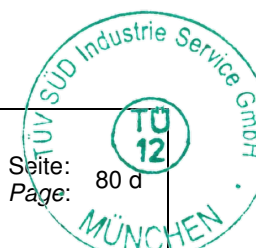
The total damage sum results in:

$$D^{TOT} = 0,01 \leq D^{MAX} = 1,00$$

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: 79 d Page:
Block:	8 Betonierfuge / <i>Construction joint</i>	
Vorgang:		

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
		Datum: 01.12.2020
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20

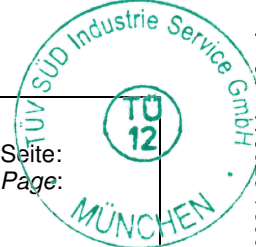
Mkv.Nr.	Mean	Range	ni	M _{Unt}	M _{Obe}	Δσ	N	D
<i>Numm.</i>	<i>kNm</i>	<i>kNm</i>	<i>Anz.</i>	<i>kNm</i>	<i>kNm</i>	<i>MPa</i>	-	-
1	179 450	7 243	0,1	175 829	183 071	4,5	4,235E+18	3,180E-20
1	171 250	7 243	0,1	167 629	174 871	4,4	4,517E+18	2,982E-20
1	171 250	0	1,1	171 250	171 250	0,0		0,000E+00
1	163 060	7 243	0,1	159 439	166 681	4,4	4,517E+18	2,982E-20
1	163 060	0	0,5	163 060	163 060	0,0		0,000E+00
1	154 860	7 243	0,1	151 239	158 481	4,4	4,517E+18	2,982E-20
1	154 860	0	0,5	154 860	154 860	0,0		0,000E+00
1	146 670	7 243	0,3	143 049	150 291	4,4	5,053E+18	5,331E-20
1	146 670	0	0,4	146 670	146 670	0,0		0,000E+00
1	138 480	0	0,5	138 480	138 480	0,0		0,000E+00

Bauteil: Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i> Block: 8 Betonierfuge / <i>Construction joint</i> Vorgang:	 Seite: 80 d Page:
--	--

Verfasser:	 <p style="font-size: small;">Fortschritt baut man aus Ideen</p>	Proj.-Nr.: 21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20
		Datum: 01.12.2020

Anhang A: Geotechnische Nachweise / Appendix A: Geotechnical verifications

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>
Block:	Anhang A: Geotechnische Nachweise / Appendix A: Geotechnical verifications
Vorgang:	



Übersicht Fundamentgeometrie

Material
 Tensarite 25,0 MN/m²
 Yonke 18,0 MN/m²
 Yonke 10,0 MN/m²

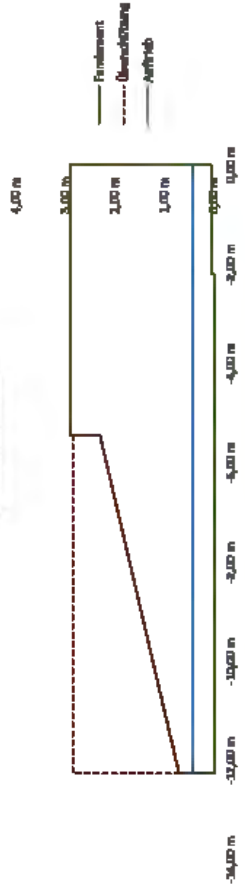
Geometrie
 H_{fund} 2,80 m
 H_{fund,gr} 0,440 m
 Fundbreite 2,15 m Anm.: Max. im FOK abzgl. 10 cm
 Fundtiefe 0,20 m

Internal forces
 D-S PBF H_{gr} M_{gr} M_{top} M_{gr} N_{gr} N_{top}
 BS-P 1,00 1117 15545 3328 0 18070
 BS-T 1,00 1376 21480 3868 0 16160
 BS-A 1,00 1650 25790 4785 0 19190

Anm.: Quer LK Fund.
 Anm.: Quer T1 Hinweis

M_{gr} N_{gr} M_{top} N_{top}
 158884 45338,7 0 8,462
 218786 4978,7 0 4,778
 0 2798,7 0 0,000
 262885 49988,7 0 5,794

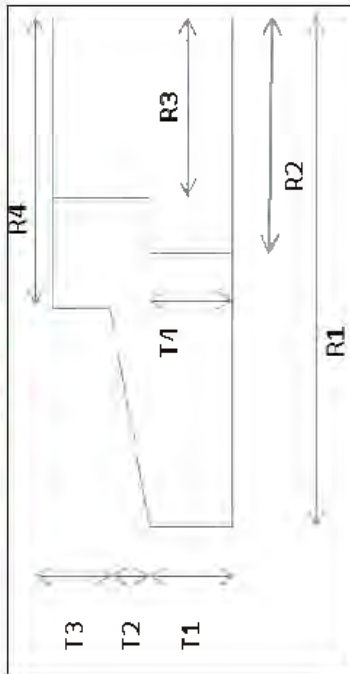
Fundamentsskizze



Betonstärkeminimal: 13,8 (max.: 19,1)

Fundamenttyp	DT	R2	R3	R4	T1	T2	T3	T4	T5	A _{fund}	A _{gr}	A _{top}	A _{gr} - A _{top} - A ₁	V ₀	V ₀₁	V ₀₂	V _{fund}	G _{fund}	G _{fund}	G _{fund}	G _{fund}	G _{fund}	G _{fund}	RISK		
																								G _{fund}	N _{fund}	
-	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m²	m²	m²	m²	m³	m³	m³	m³	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	BN	BN
-	24,500	2,200	0,000	5,450	0,700	1,800	0,900	0,090	2,850	471,44	15,21	458,23	330,00	413,06	55,89	-0,78	788,3	1855,7	549,2	8885,8	0	-2074	-2074	0	0	27768

Ext. Ausblende: 1,18 m



Geotechnische Nachweise

Geometrische Eingangswerte

- $R_{Fund,a}$ **12,25** m
 - $R_{Spk} = R_i =$ 2,20 m
 - $R_{Ws,a}$ **7,00** m
 - $R_{Ws,j}$ **5,00** m
 - B_{WS} 2,00 m
 - $R_{Fund,j}$ **2,20** m
- Anm.: Variable für Optimierung
 Anm.: für analytische Berechnung
 Anm.: Für mb2.0 Fundament > 6,1 m
 Anm.: Für mb2.0 Fundament < 2,6 m

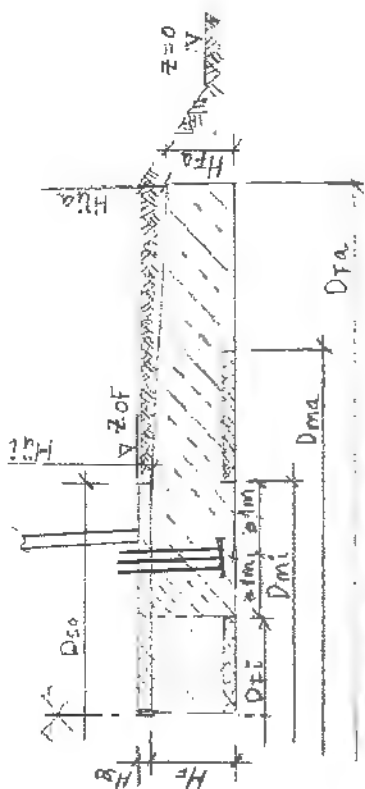
Kontrolle der Kernweite

1. Kernweite:

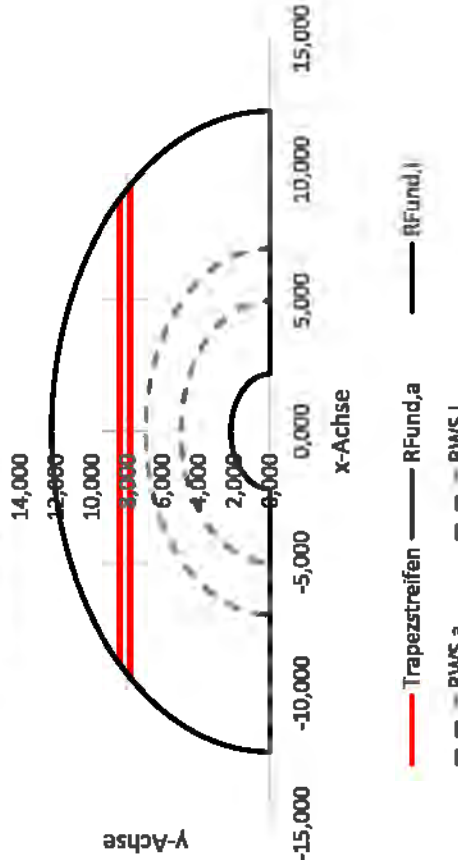
- ΣF_{T1} 190,4 MN
 - ΣM_{T1} 664,2 MNm
 - R_{k1} 3,488 m
 - $R_{k1, Einwirkung}$ 3,462 m
- Sicherheit: 1%

2. Kernweite:

- ΣF_{T2} 87,3 MN
 - ΣM_{T2} 663,0 MNm
 - R_{k2} 7,590 m
 - $R_{k2, anal}$ 7,262 m
 - ΔR_{k2} 0,328 m
- Anm.: Vergleich zu $R_{k2, anal}$ o. Weichschichttring $\Delta =$ 4,5%



Geometrische Eingangswerte



Einwirkungen

Permanente Bemessungssituation (BS-P):

$N_{k,BS-P} =$	45919 kN	$= G_{found,k} + F_{x,1,k} + G_{soil,max}$	
$A_{BS-P} =$	280,34 m ²	Anteil: 74%	
$\sigma_{N,BS-P} =$	163,8 kPa		
$M_{k,BS-P} =$	218788 kNm	$e_{BS-P} =$	4,76 m
$\Sigma M_{k,BS-P,j} =$	218577 kNm		Kernweite OK
$\Delta M_{k,BS-P} =$	211 kNm		$R_{k2} =$
$\Delta X_{BS-P} =$	7,1 m	Anm.: Klaffen von Außenkante Fundament	7,59 m
$\sigma_{max,BS-P} =$	286,9 kPa		
$max\sigma_0 =$	259,7 kPa	Anm.: vgl. Grundbauch Taschenbuch, Teil 3	

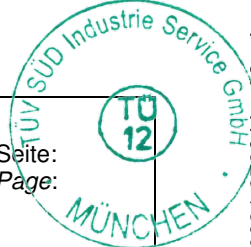
Außergewöhnliche Bemessungssituation (BS-A):

$N_{k,BS-A} =$	45959 kN	$= G_{found,k} + F_{x,1,k} + G_{soil,max}$	
$A_{BS-A} =$	230,77 m ²	Anteil: 61%	
$\sigma_{N,BS-A} =$	199,2 kPa		
$M_{k,BS-A} =$	262685 kNm	$e_{BS-A} =$	5,72 m
$\Sigma M_{k,BS-A,j} =$	262248,4 kPa		Kernweite OK
$\Delta M_{k,BS-A} =$	497 kNm		$R_{k2} =$
$\Delta X_{BS-A} =$	9,9 m	Anm.: Klaffen von Außenkante Fundament	7,59 m
$\sigma_{max,BS-A} =$	360,5 kPa		



Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

Anhang B: FE System / Appendix B: FE System

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: Page:
Block:	Anhang B: FE System / Appendix B: FE System	
Vorgang:		



System

Inhaltsverzeichnis

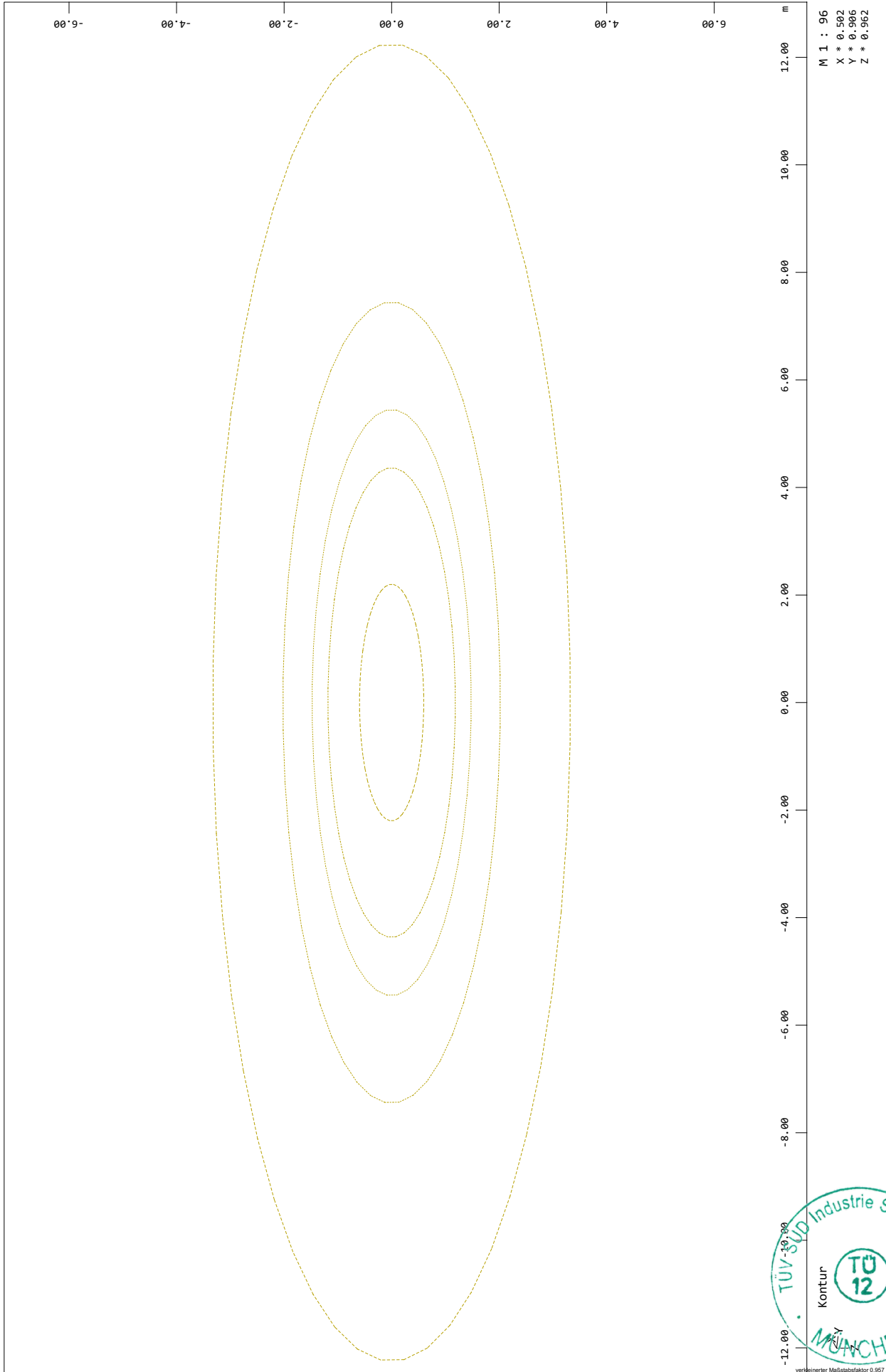
WINGRAF - GRAFIK FUER FINITE ELEMENTE

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

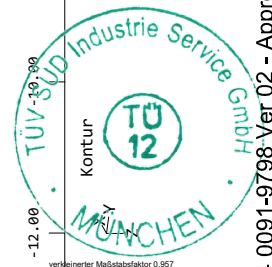
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



System

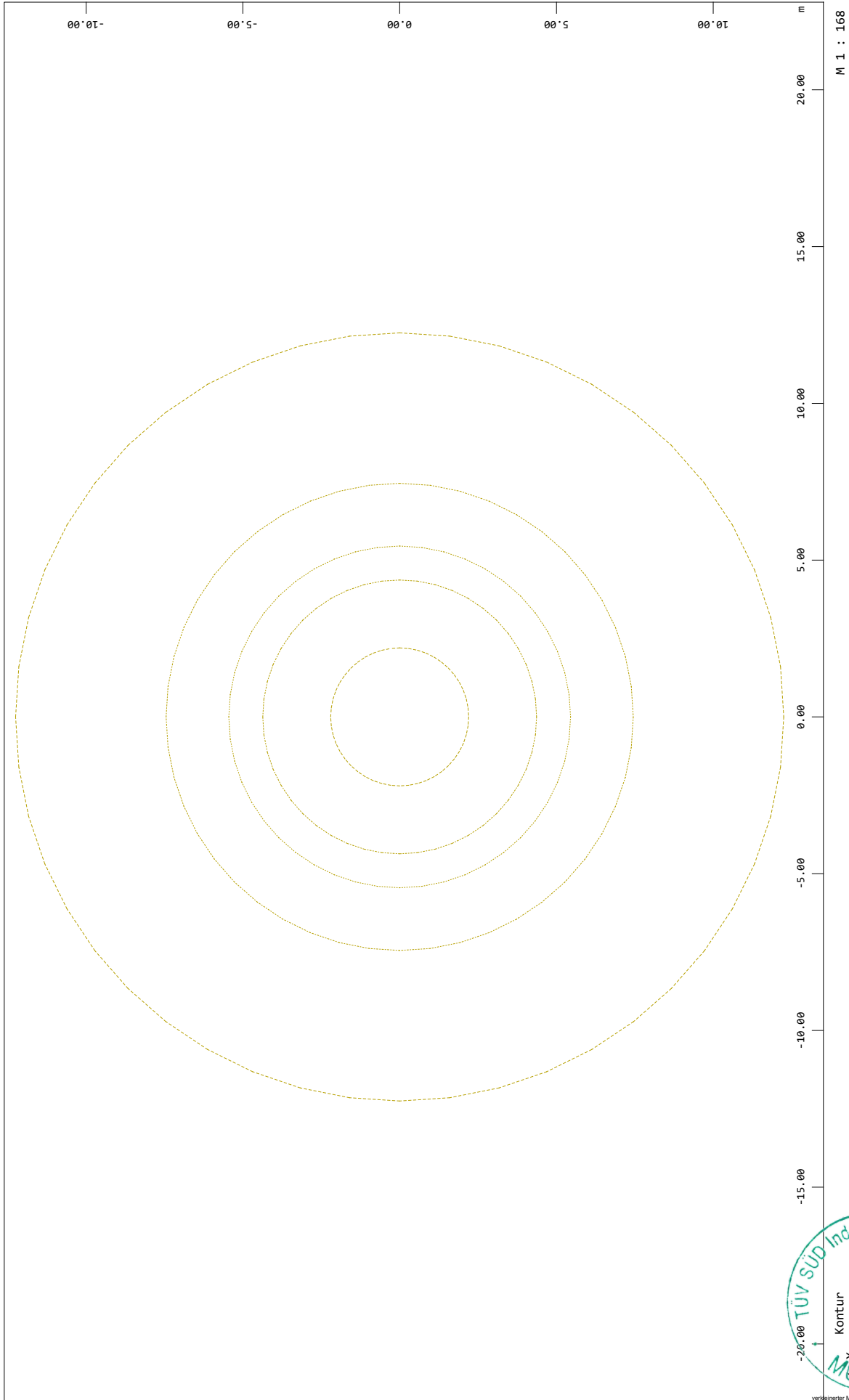


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

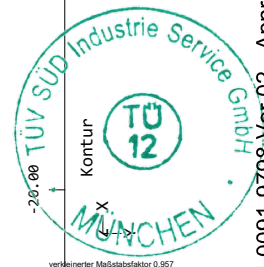


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

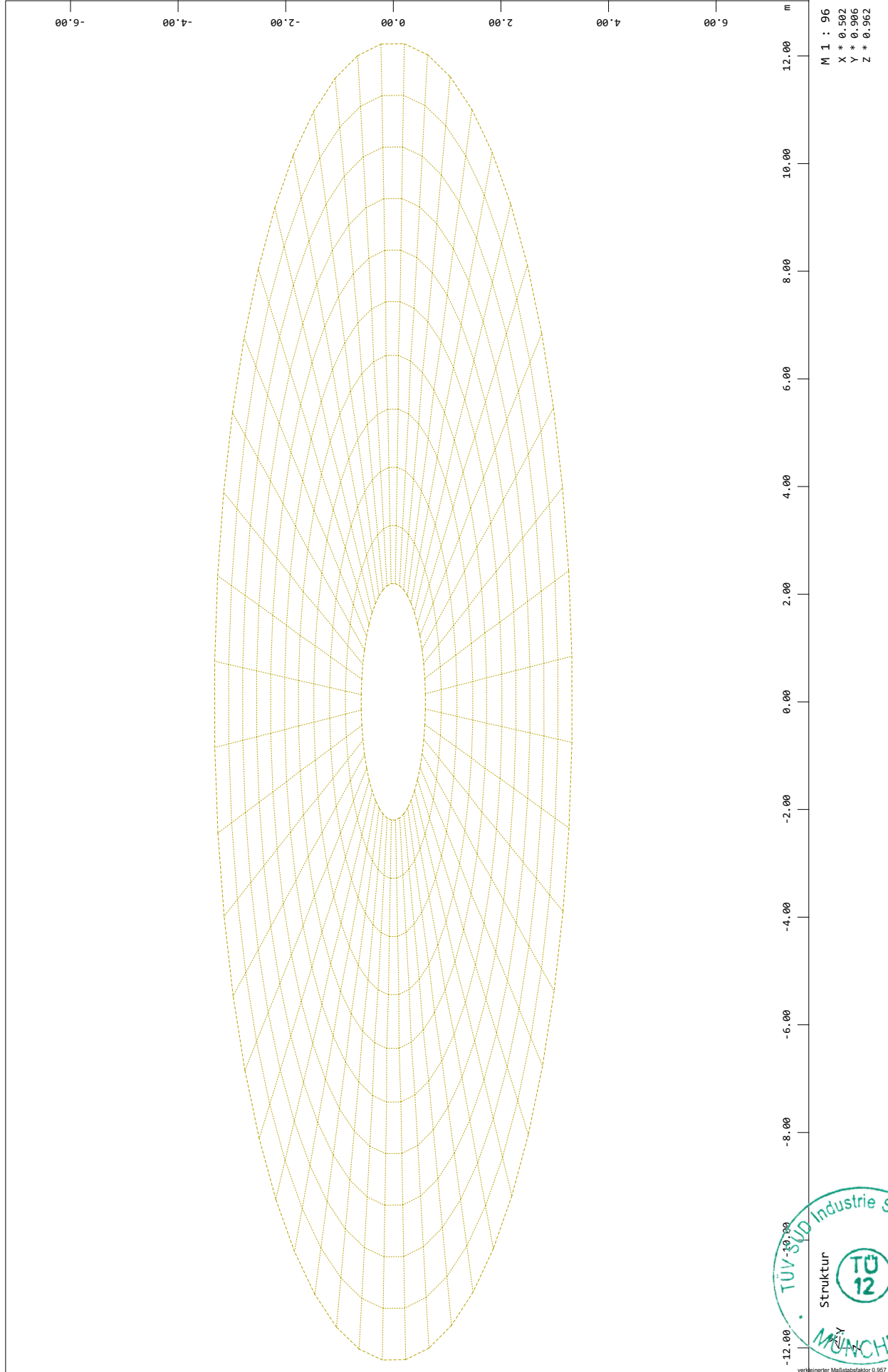


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

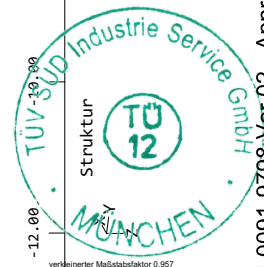


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System



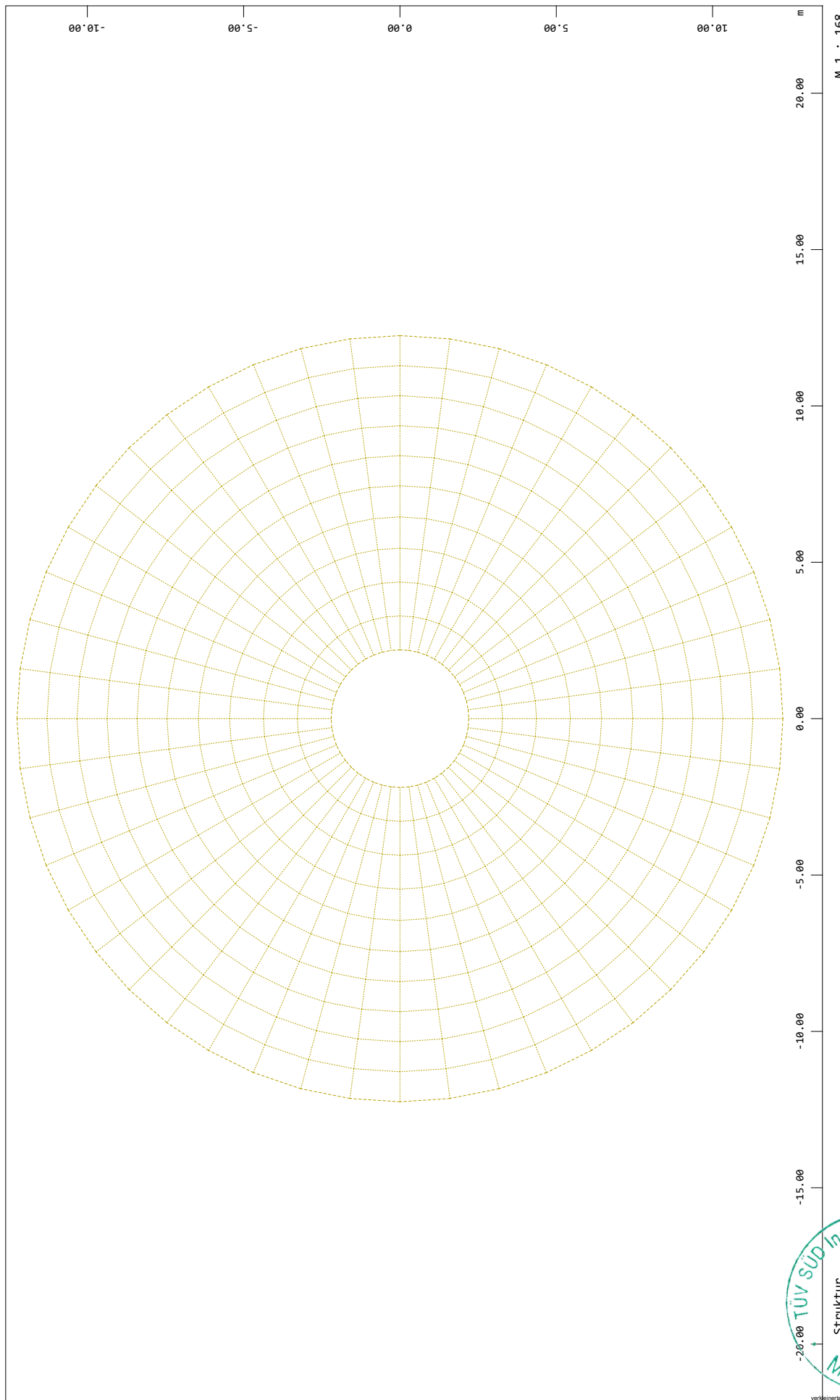
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



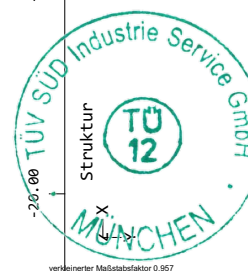
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System

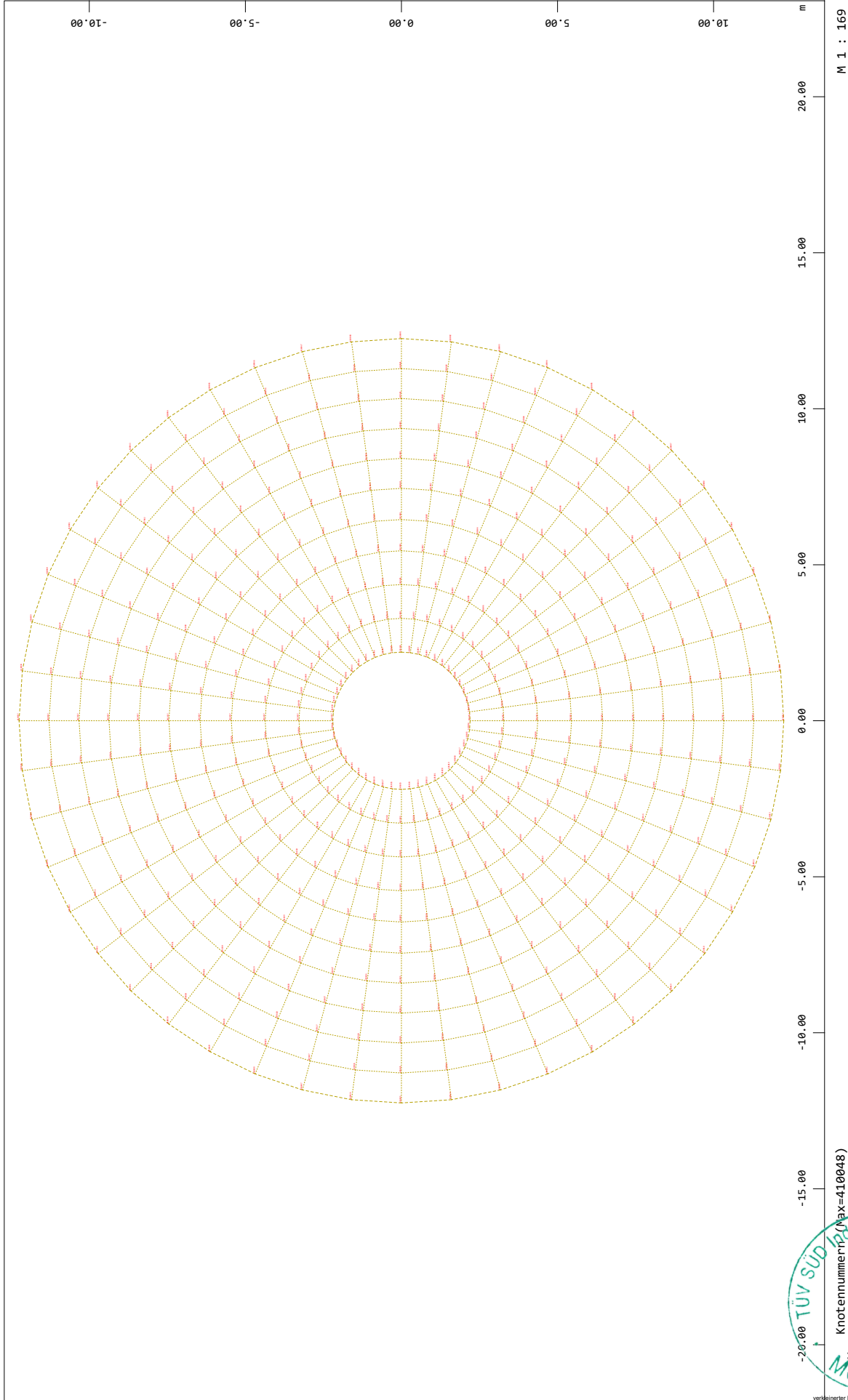


SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

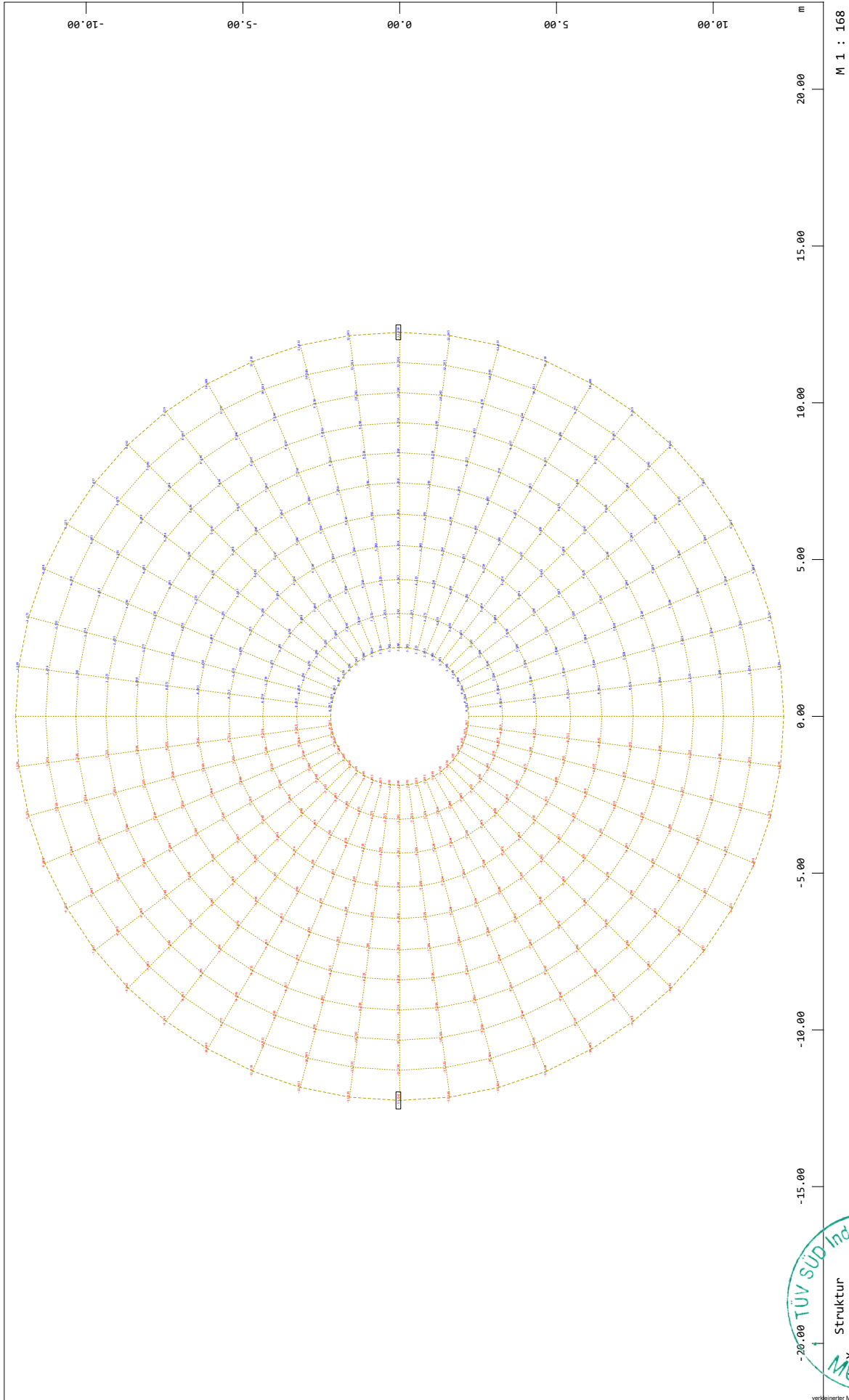
System



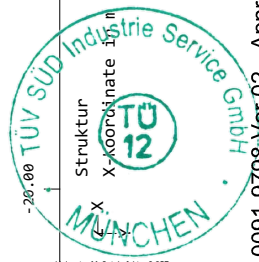
SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System



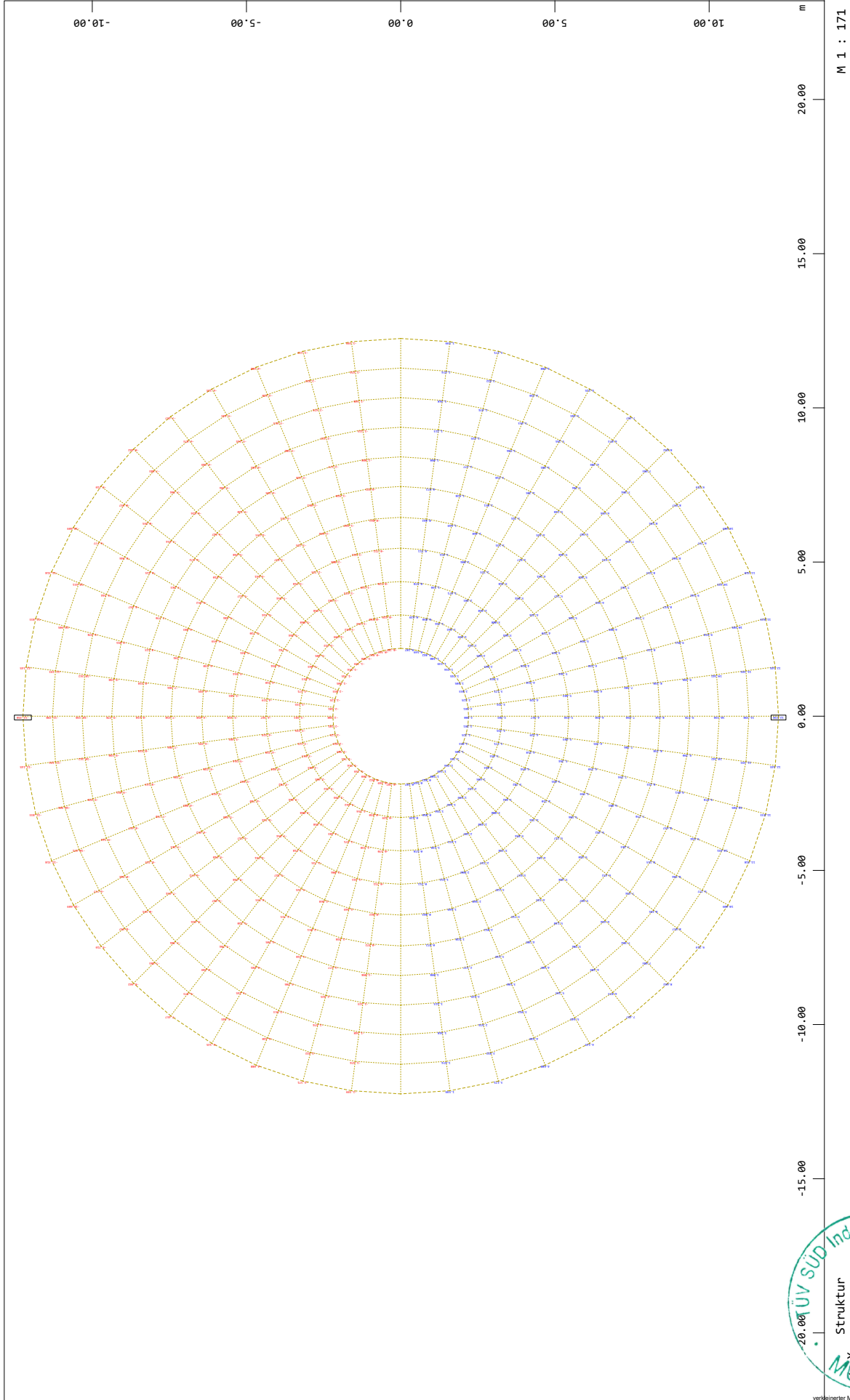
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System

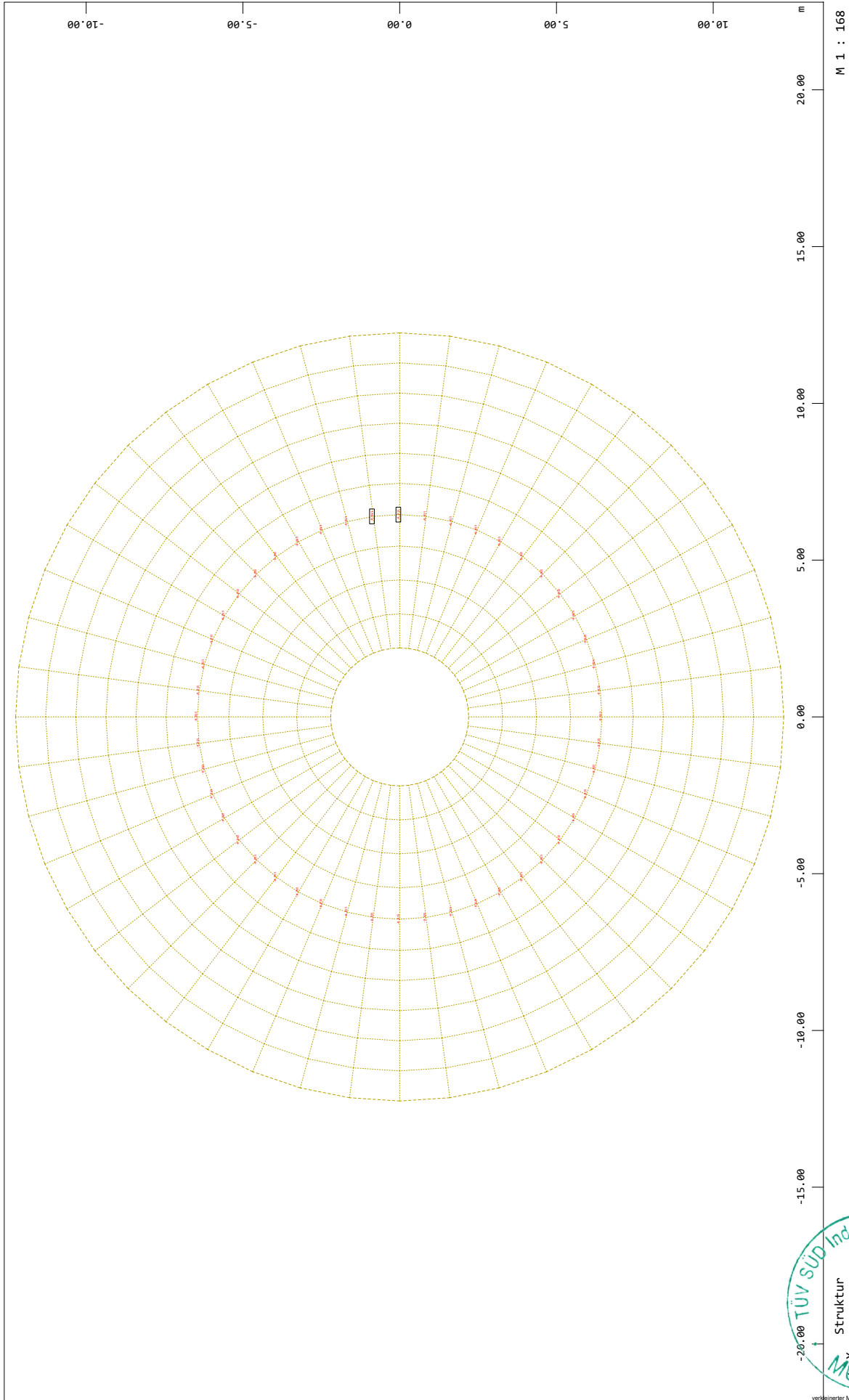


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System

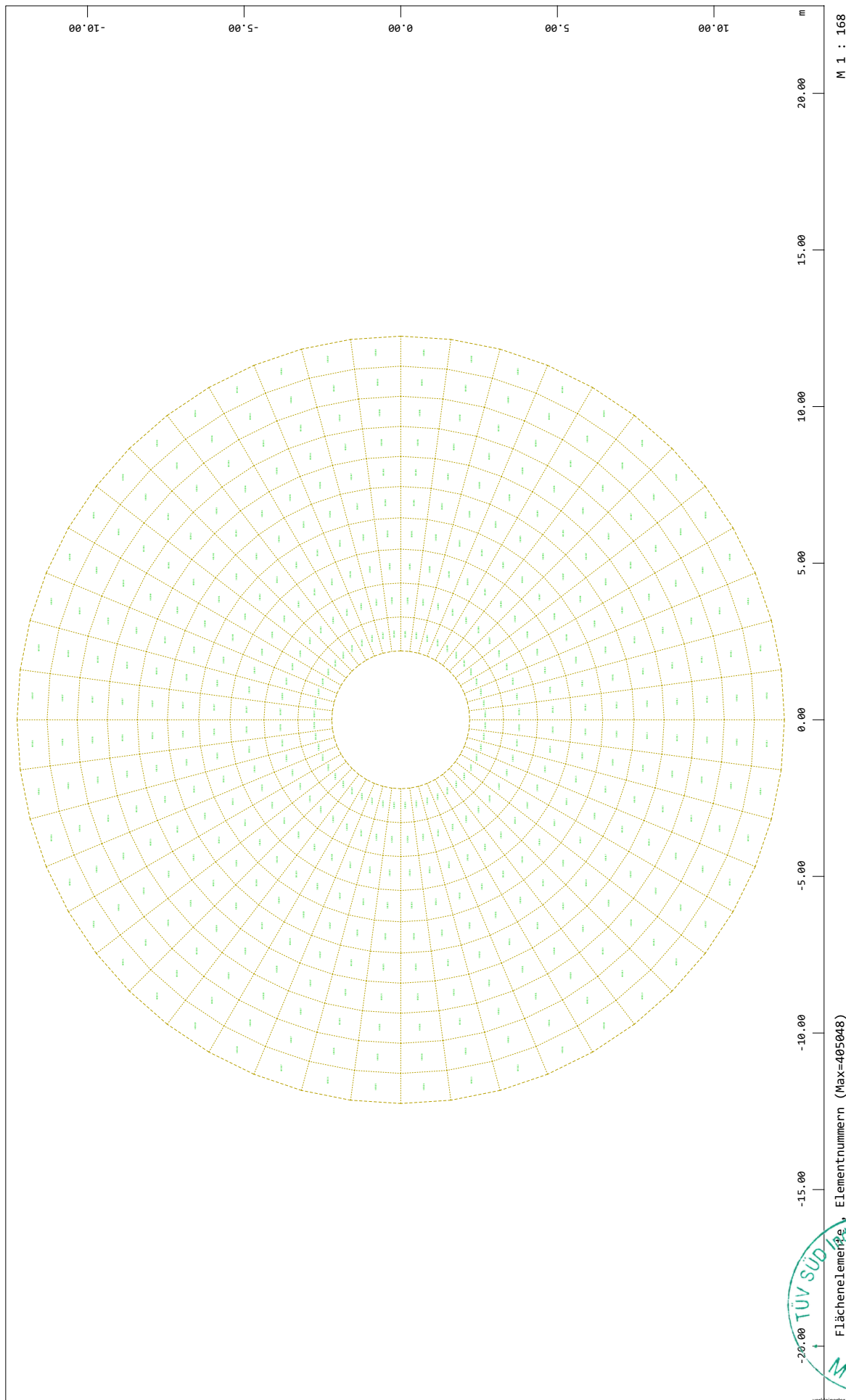


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System

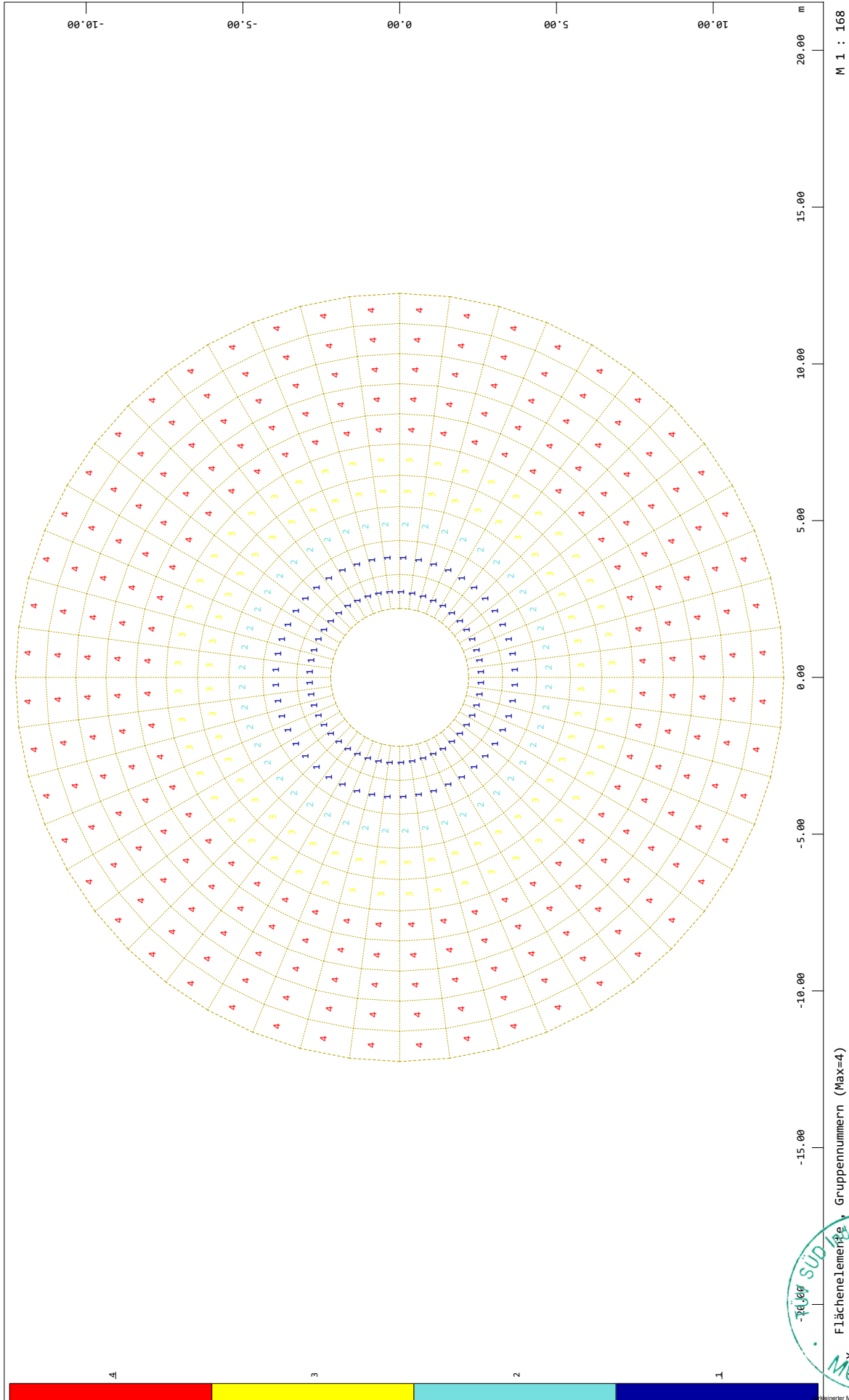


SOFISTIK AG - www.sofistik.de



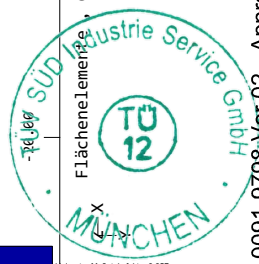
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

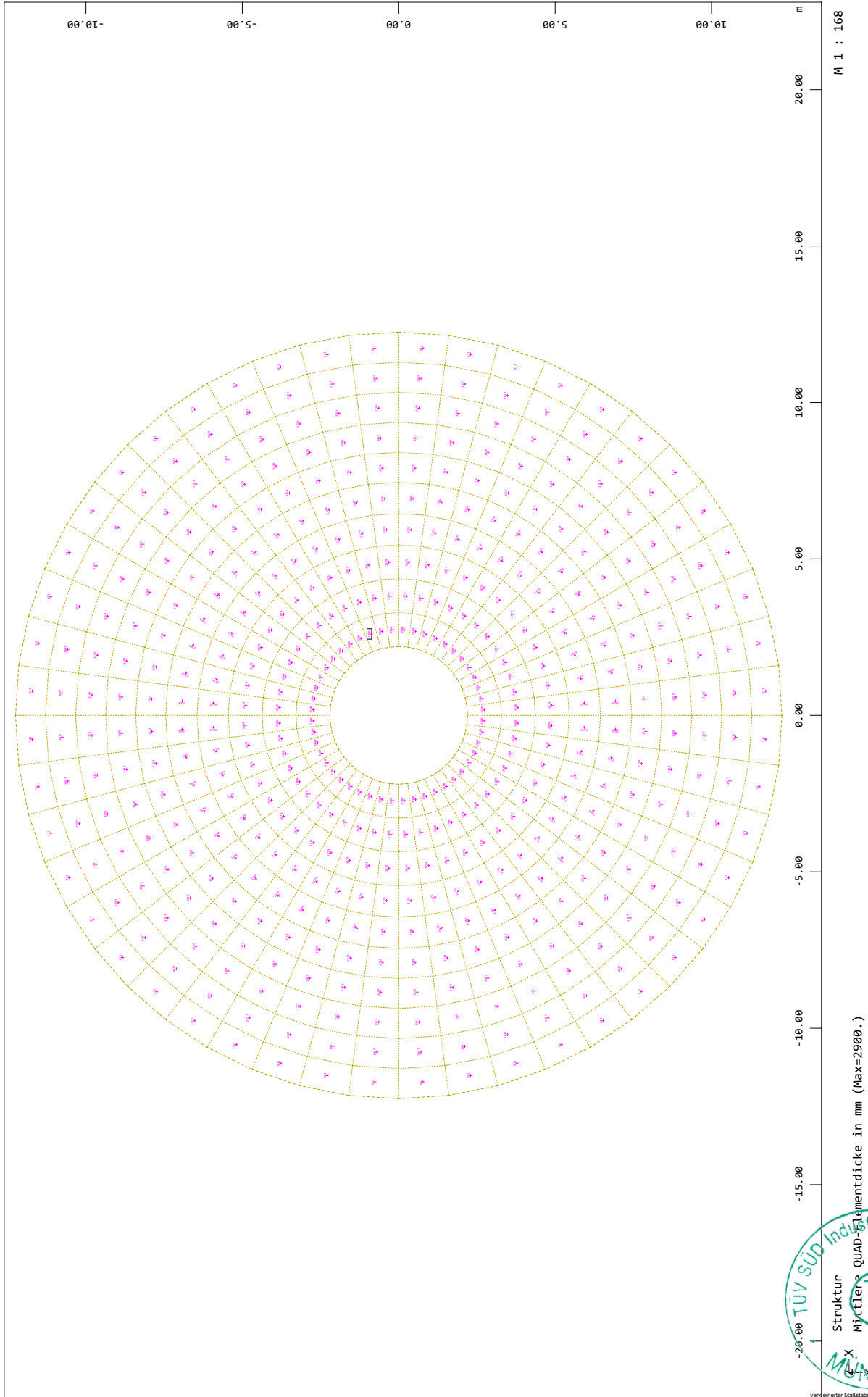


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

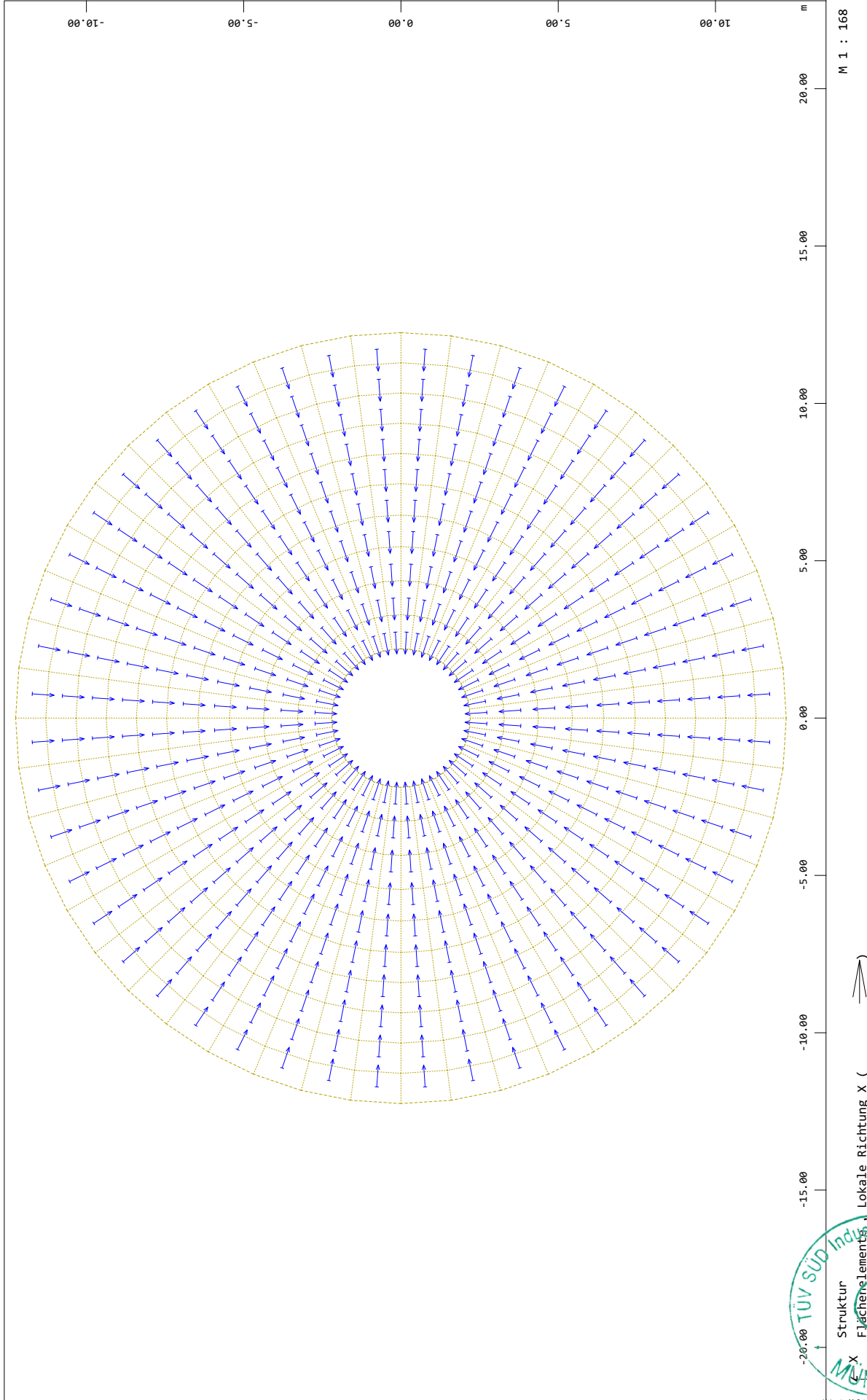


System



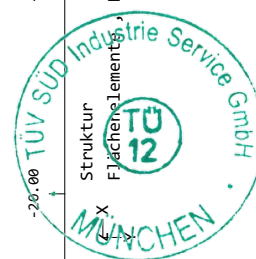
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System



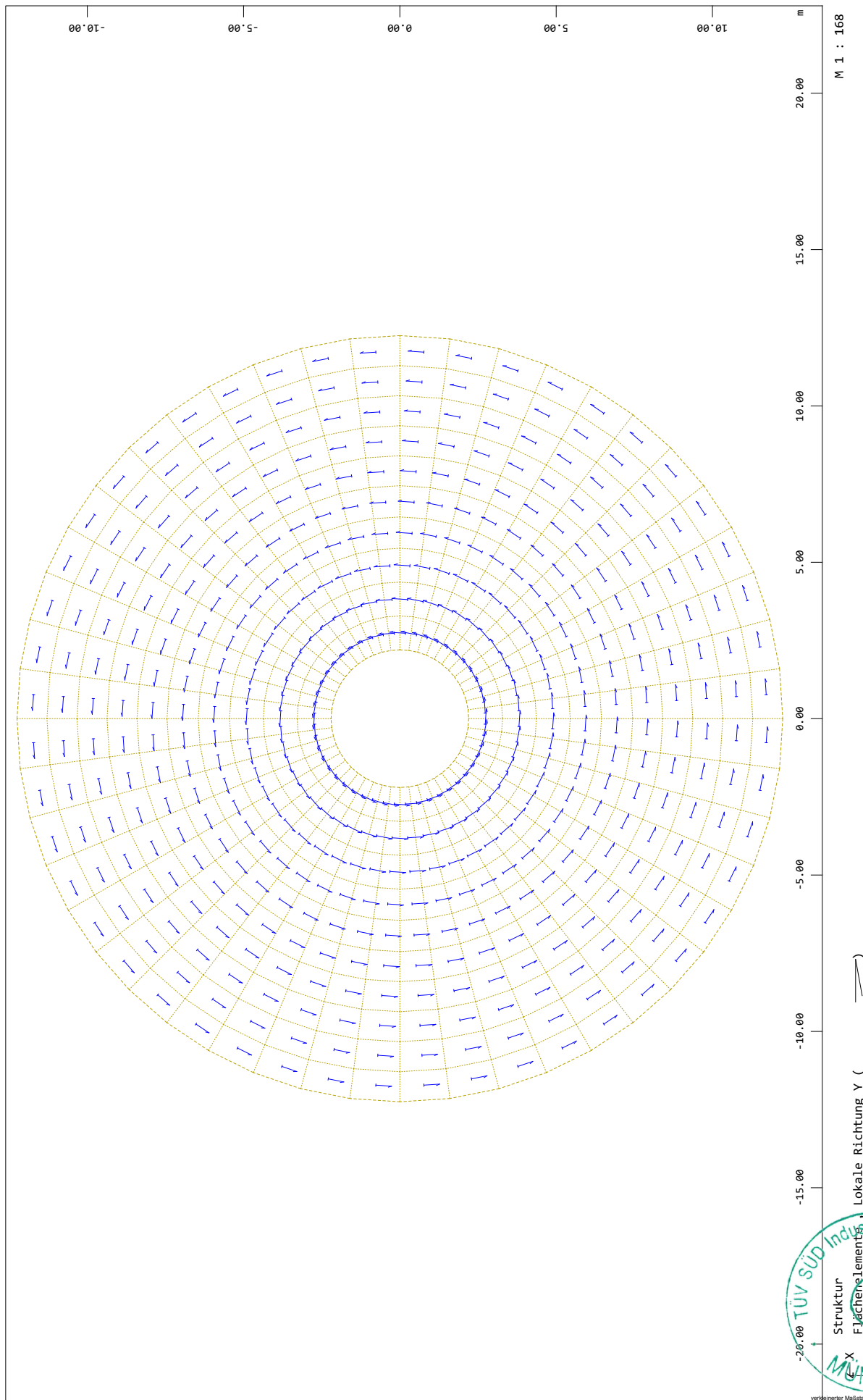
M 1 : 168

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

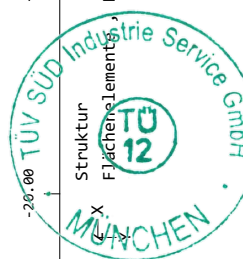


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System



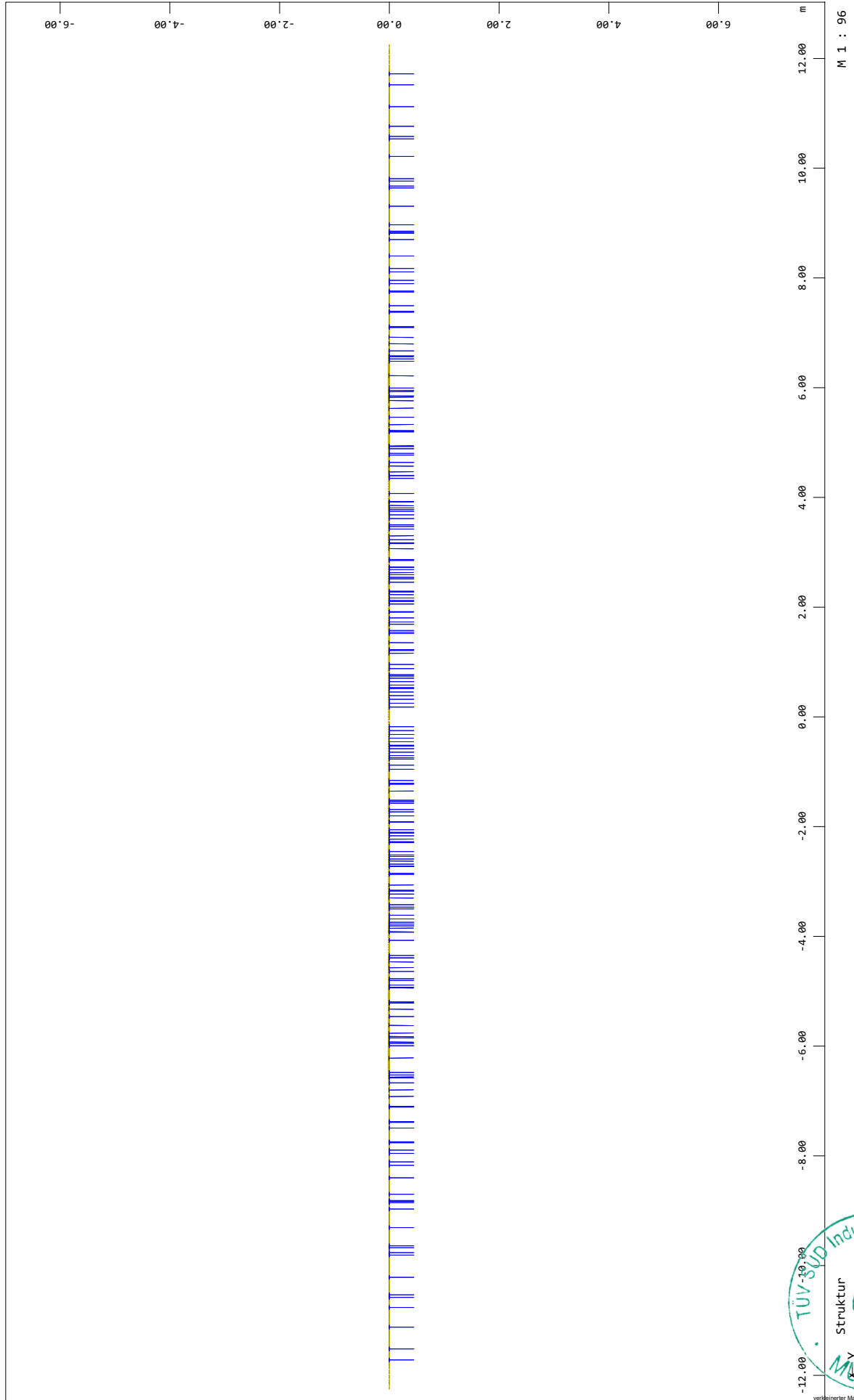
SOFiSTiK AG - www.sofistik.de



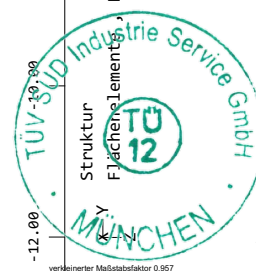
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System

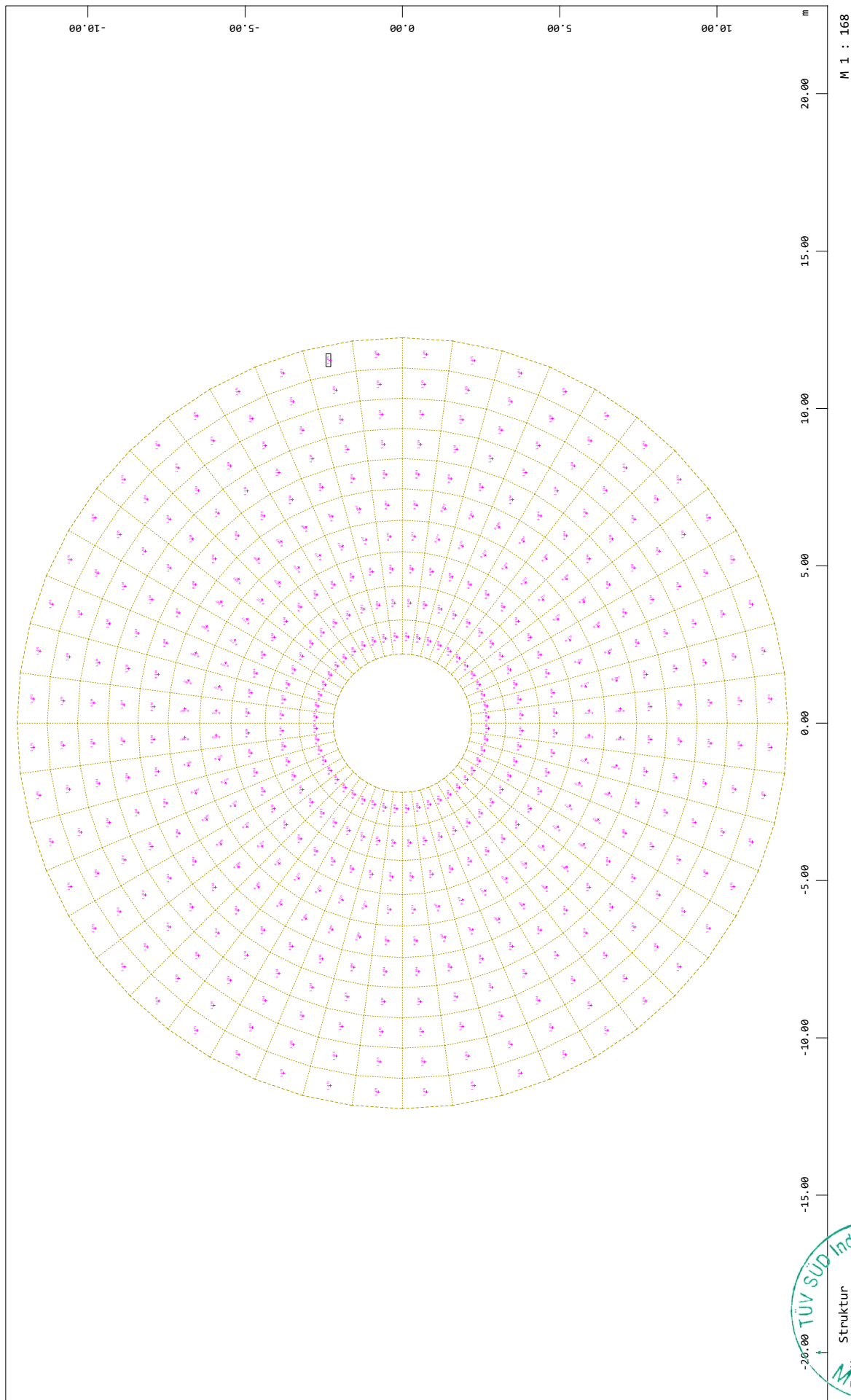


SOFISTIK AG - www.sofistik.de



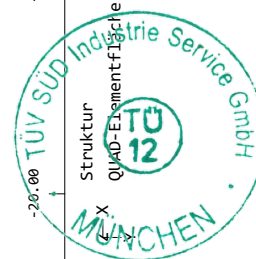
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System



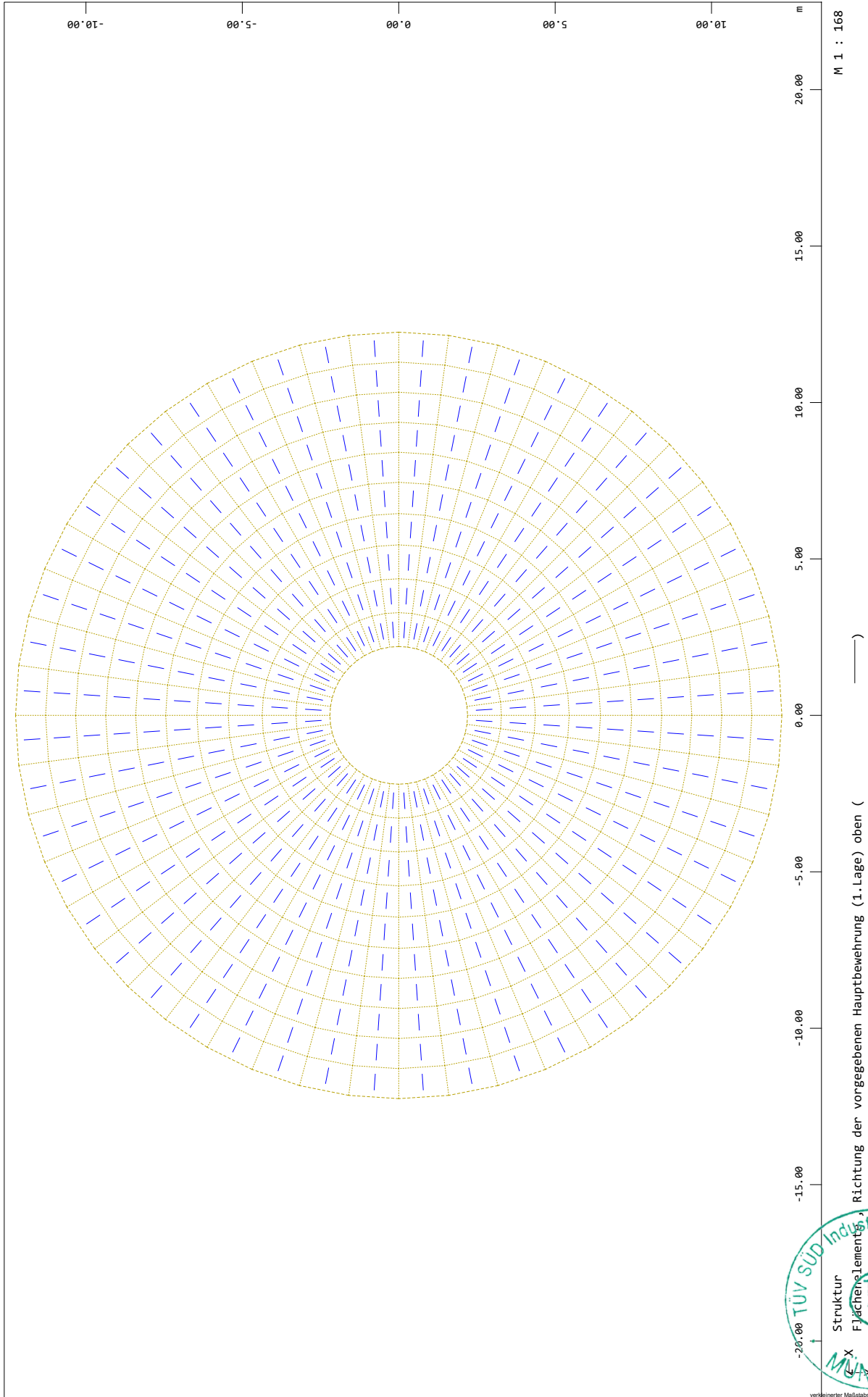
SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Struktur
QUAD-Elementfläche in m2 (Max=1.47) (Summe: 454.9)

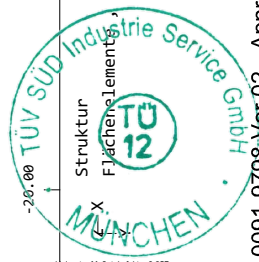


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

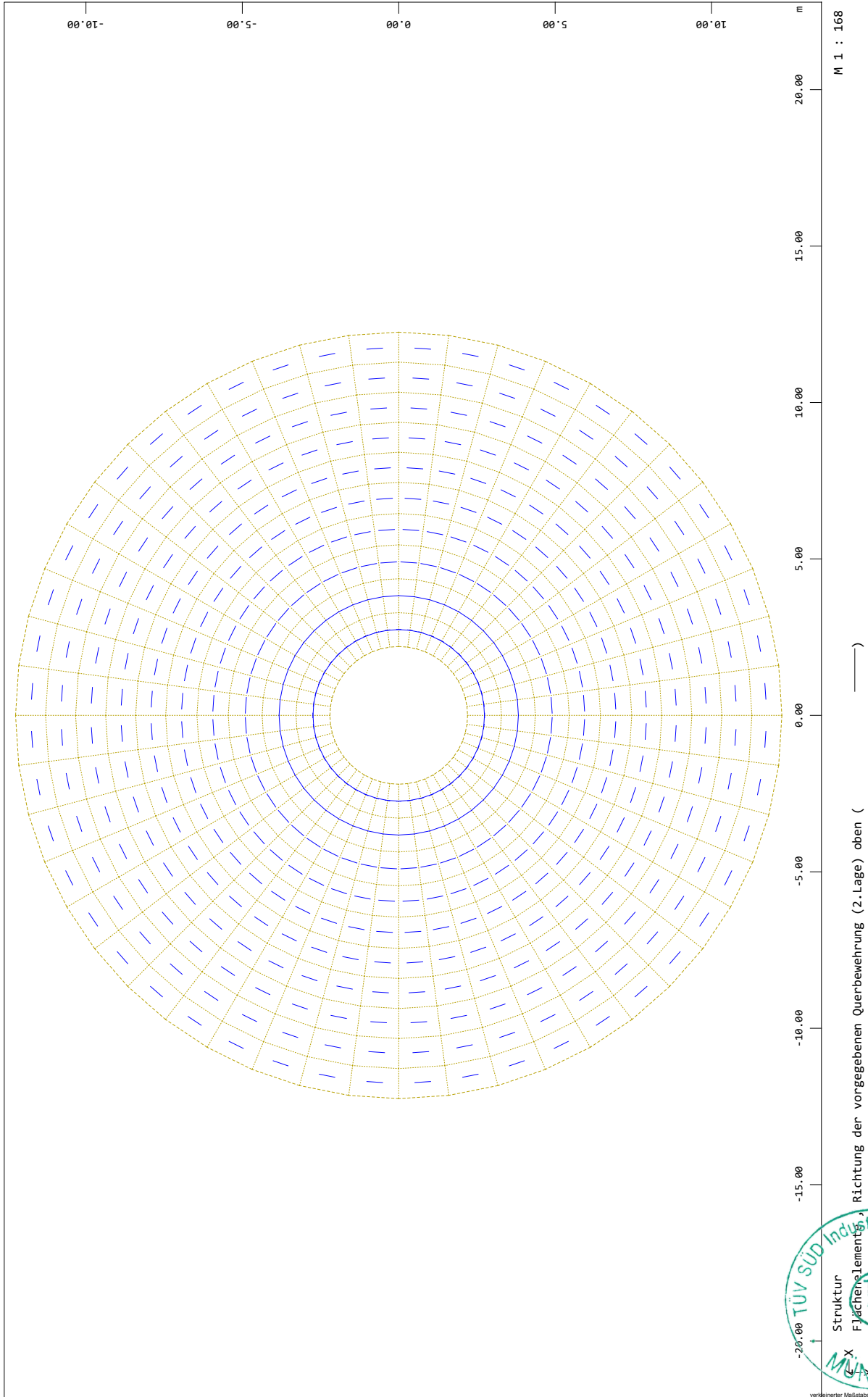


SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

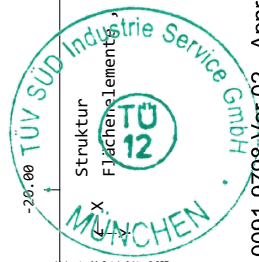
System



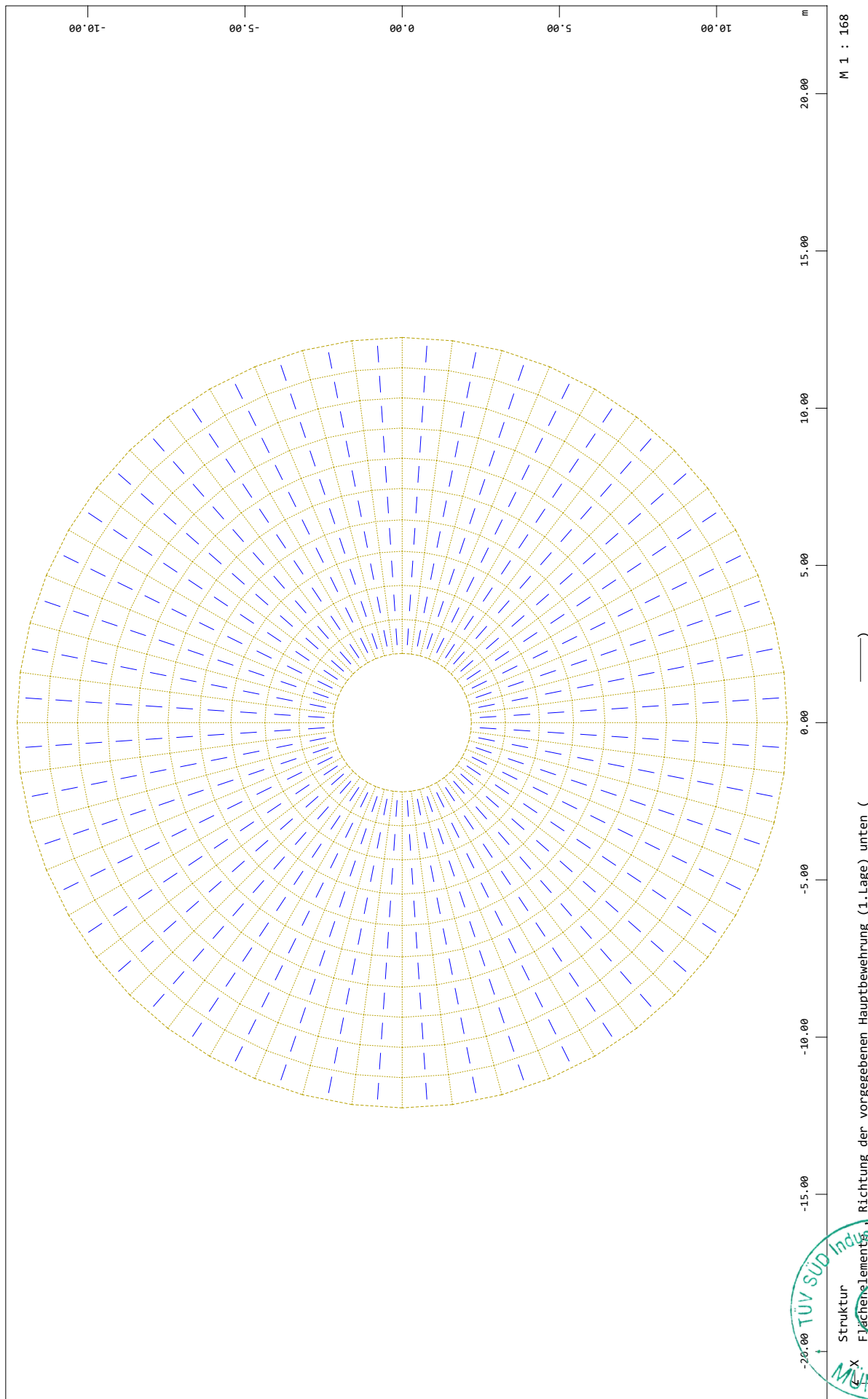
SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

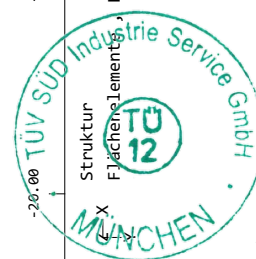
VESTAS PROPRIETARY NOTICE



System

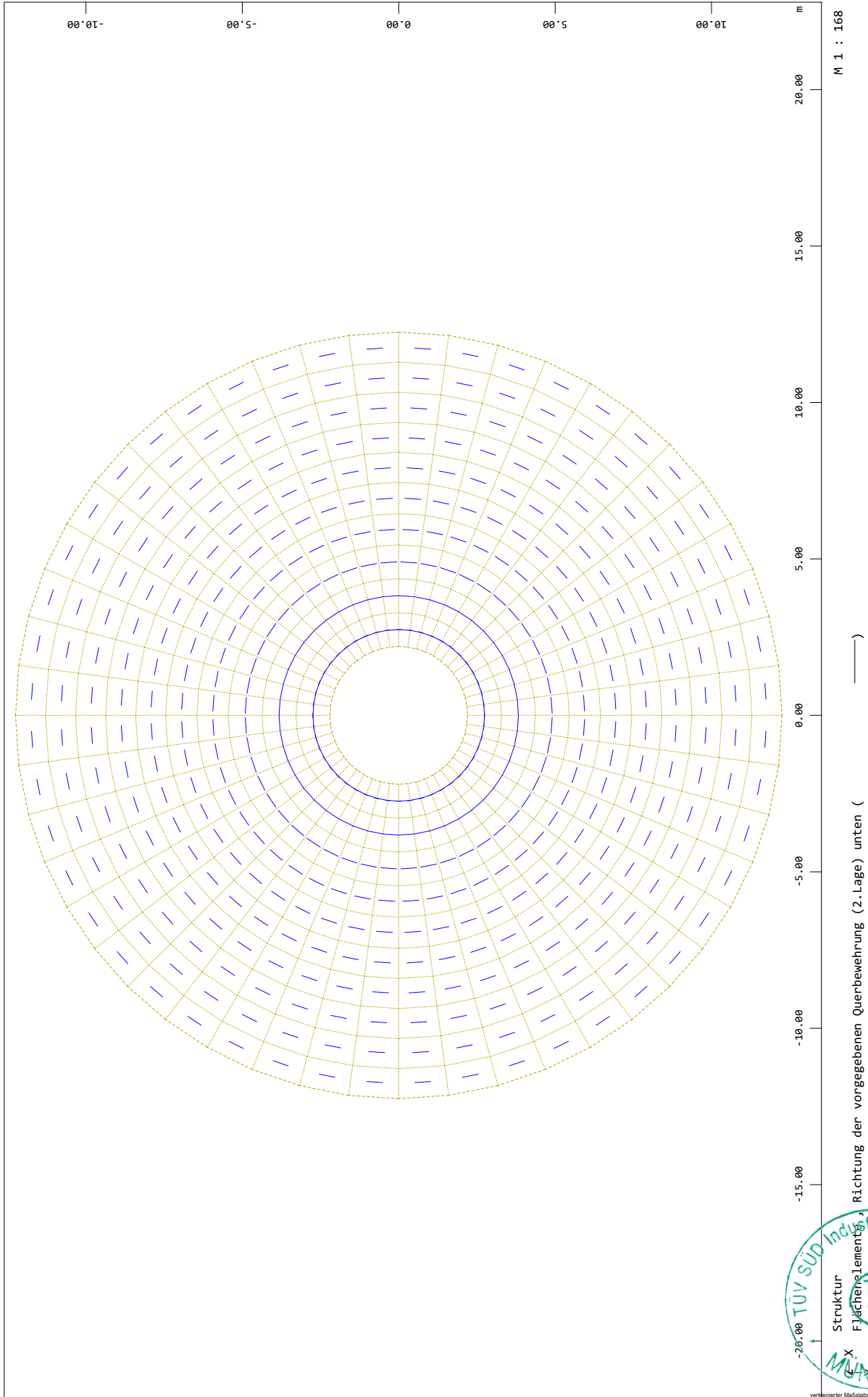


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

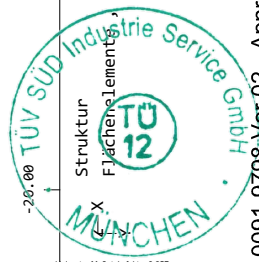


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System



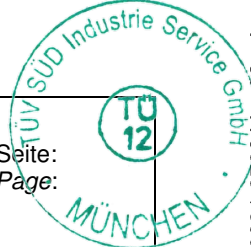
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

Anhang C: Lasteingabe / Appendix C: Load Input

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: Page:
Block:	Anhang C: Lasteingabe / Appendix C: Load Input	
Vorgang:		



System

Inhaltsverzeichnis

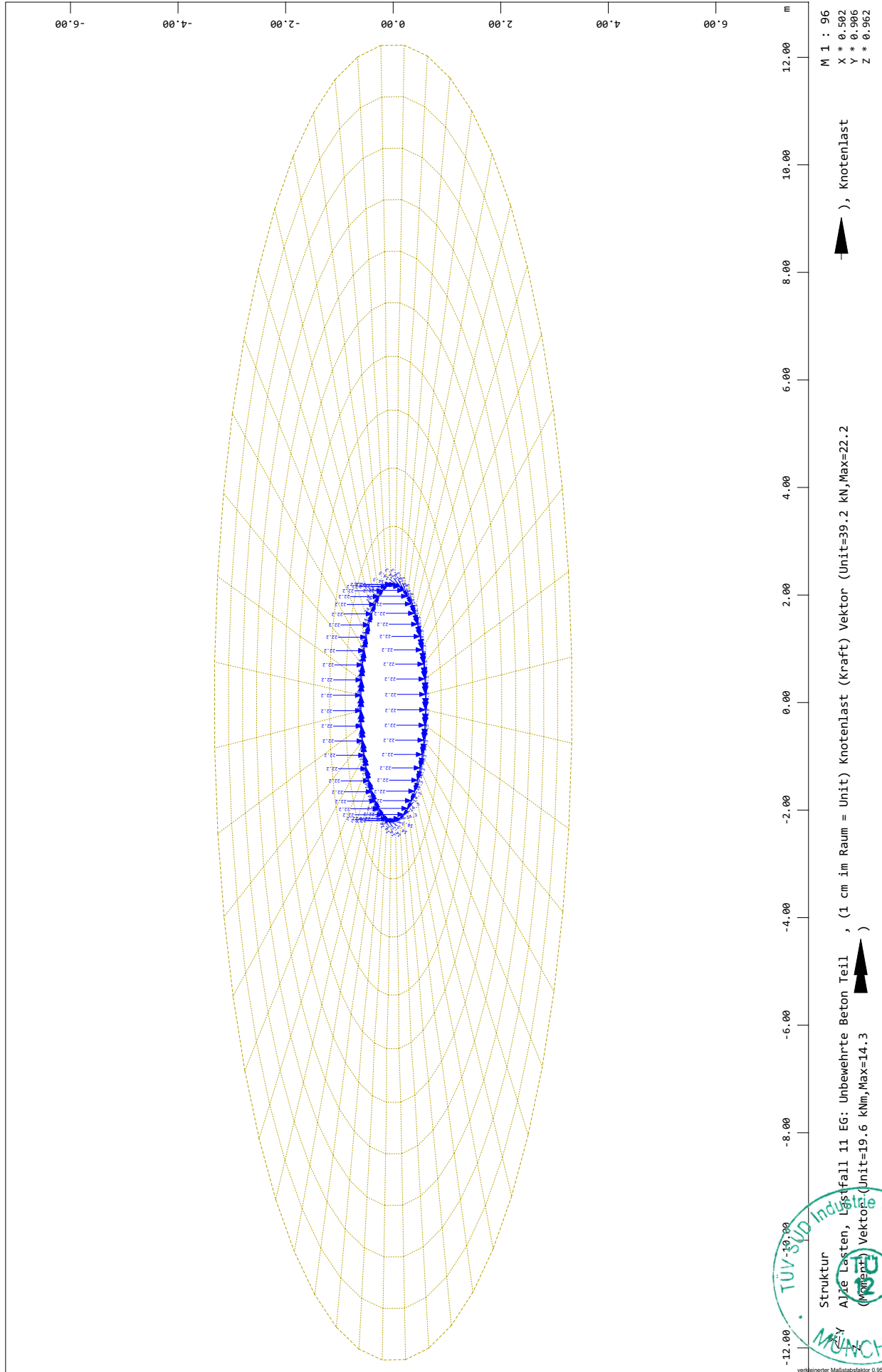
WINGRAF - GRAFIK FUER FINITE ELEMENTE

Struktur ; Alle Lasten LF: 11
 Struktur ; Alle Lasten LF: 41
 Struktur ; Alle Lasten LF: 42
 Struktur ; Alle Lasten LF: 51
 Struktur ; Alle Lasten LF: 52
 Struktur ; Alle Lasten LF: 60
 Struktur ; Alle Lasten LF: 70
 Struktur ; Alle Lasten LF: 101
 Struktur ; Alle Lasten LF: 102
 Struktur ; Alle Lasten LF: 103
 Struktur ; Alle Lasten LF: 104
 Struktur ; Alle Lasten LF: 105
 Struktur ; Alle Lasten LF: 106
 Struktur ; Alle Lasten LF: 107
 Struktur ; Alle Lasten LF: 108
 Struktur ; Alle Lasten LF: 301
 Struktur ; Alle Lasten LF: 302

SOFiSTiK AG - www.sofistik.de



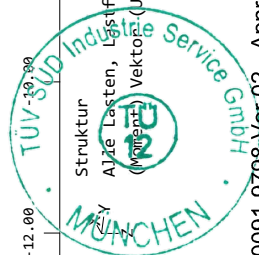
System



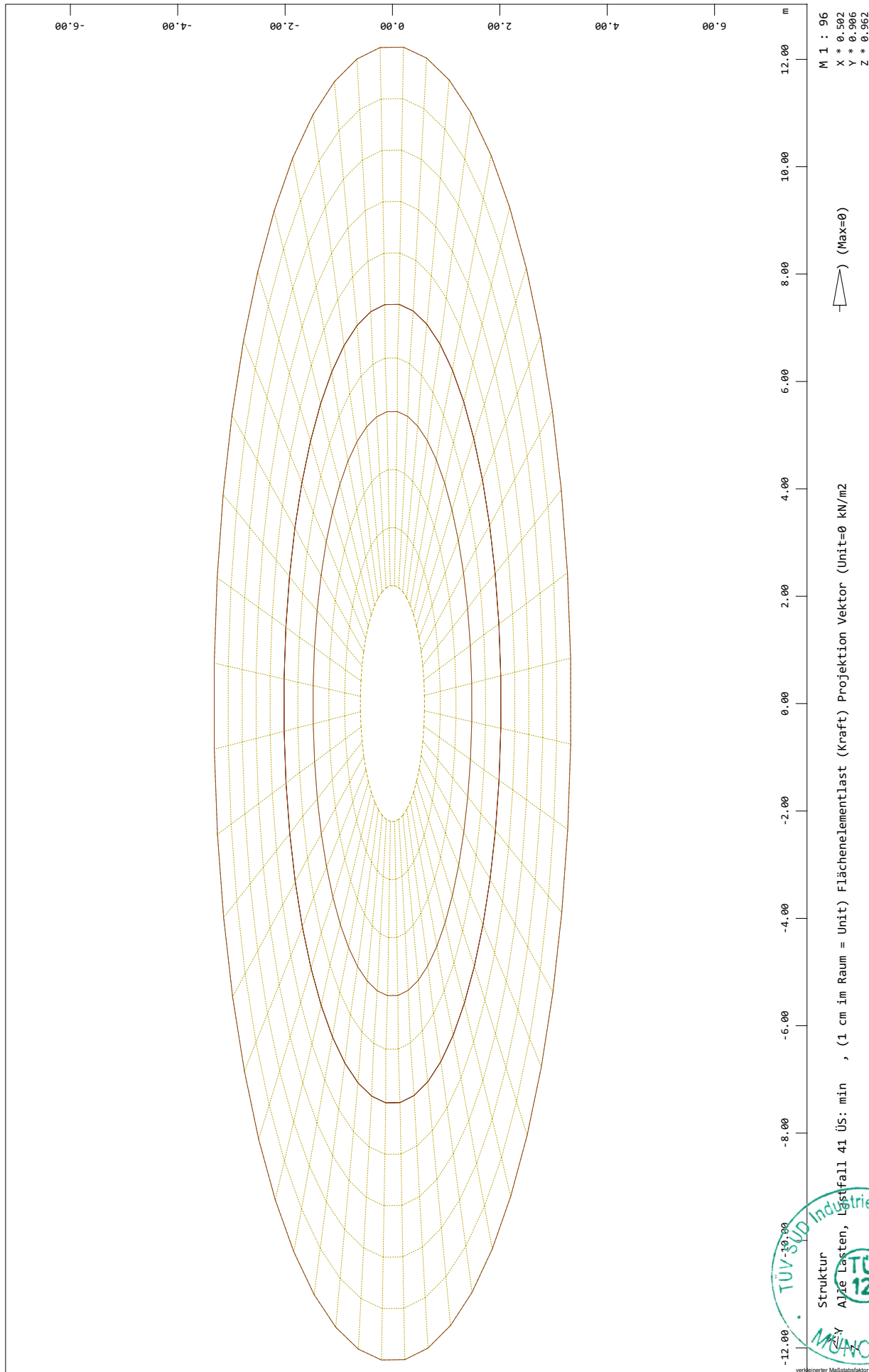
SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE



System

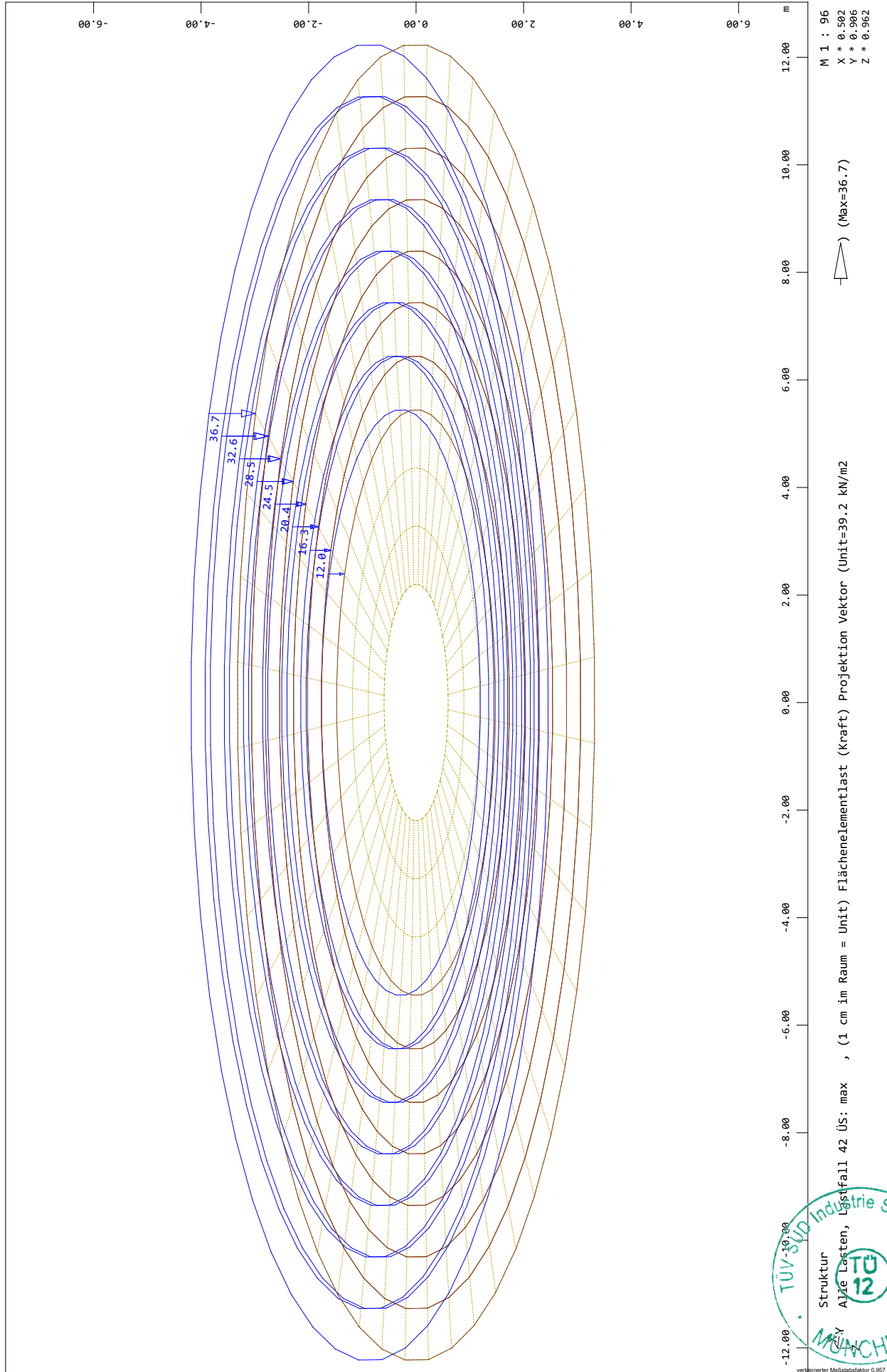


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System

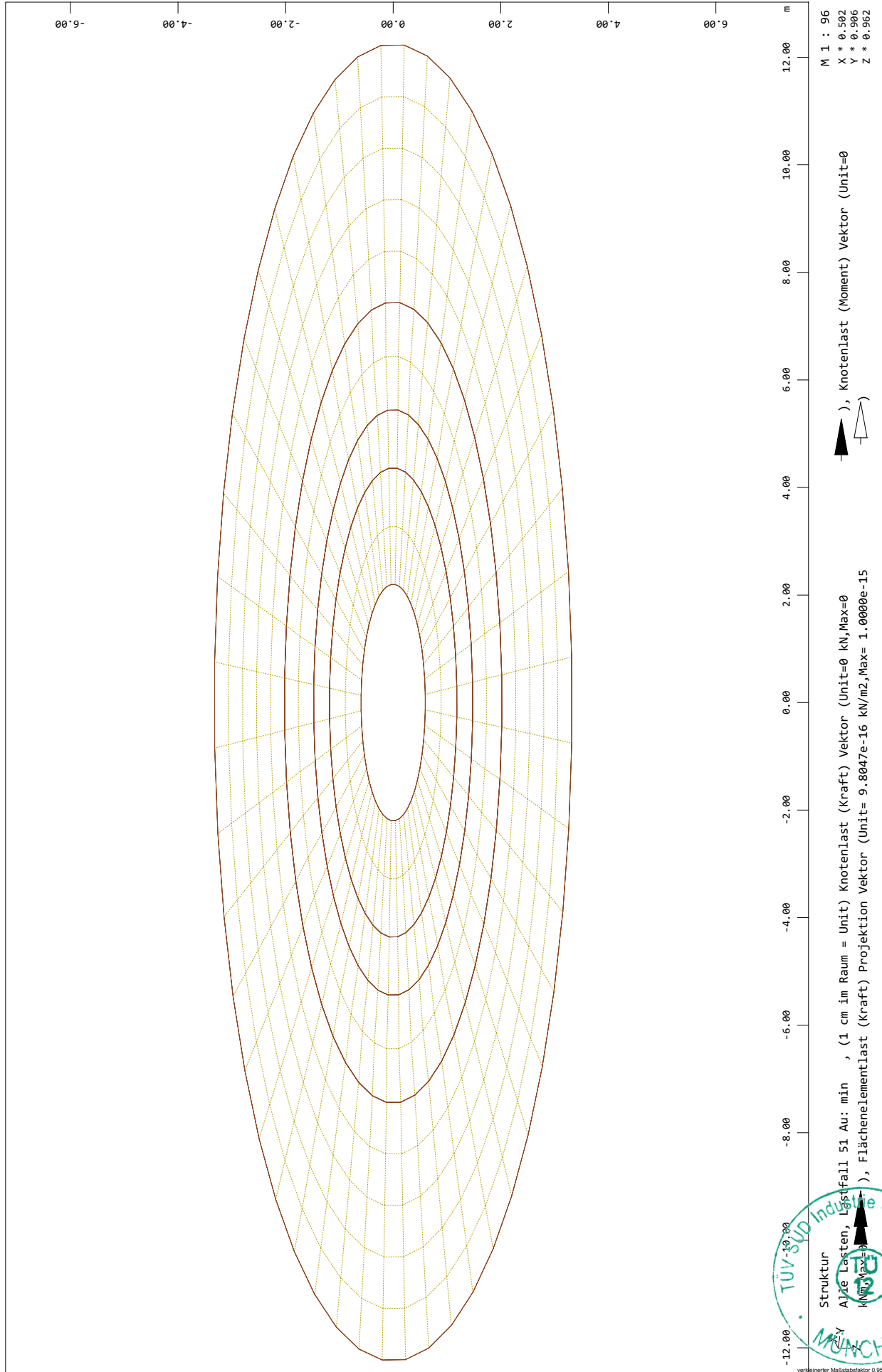


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System

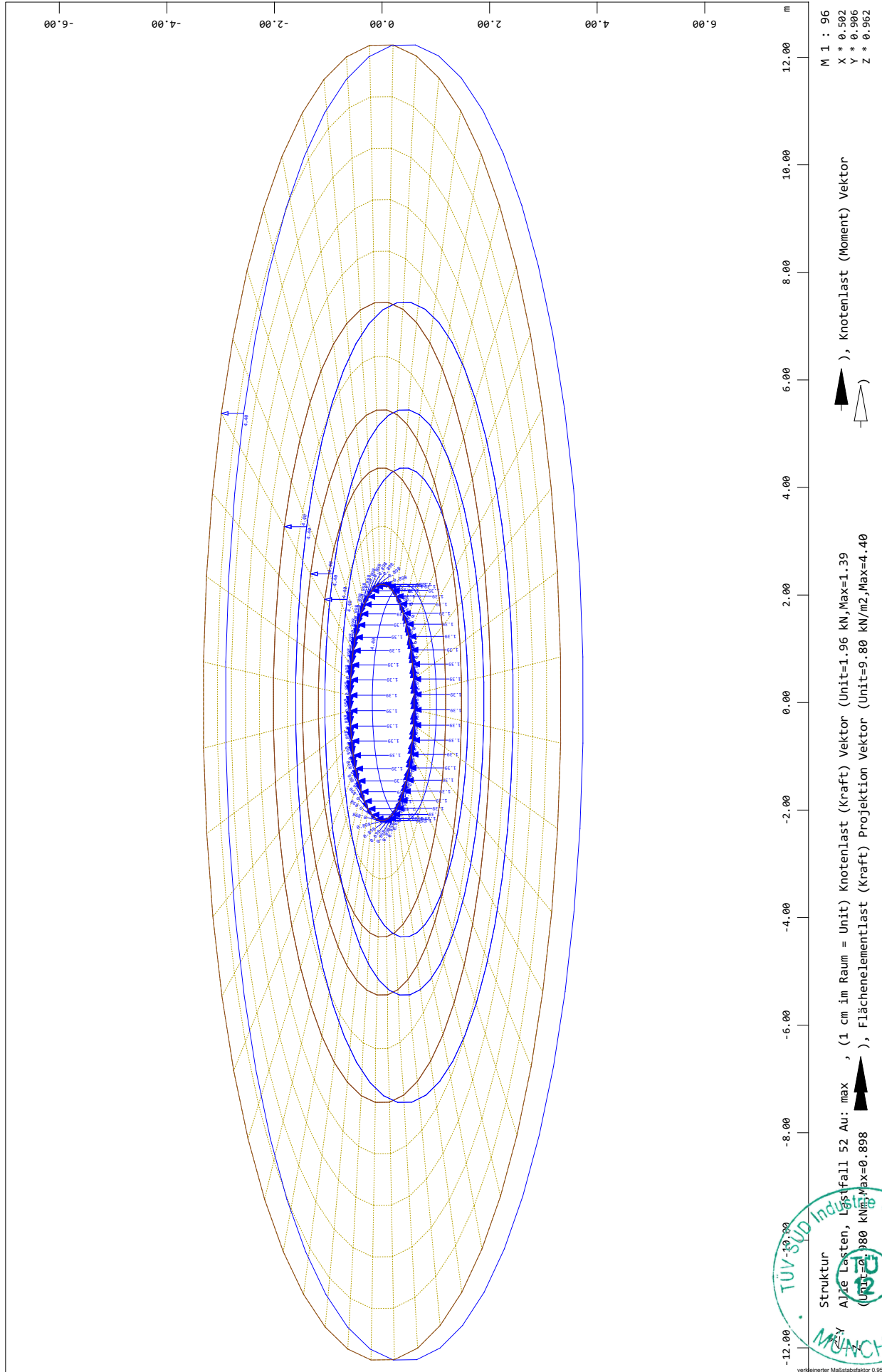


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System

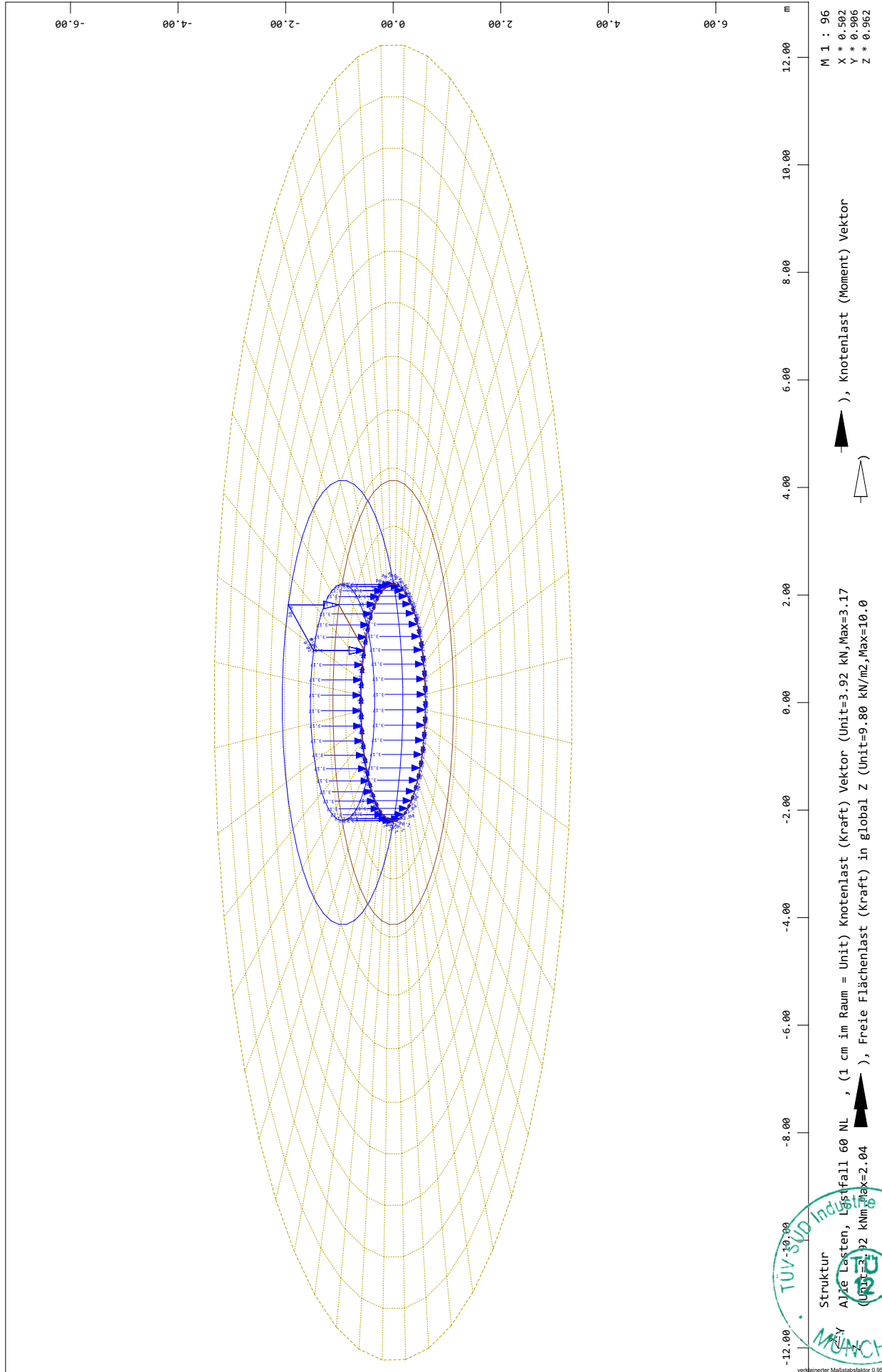


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System



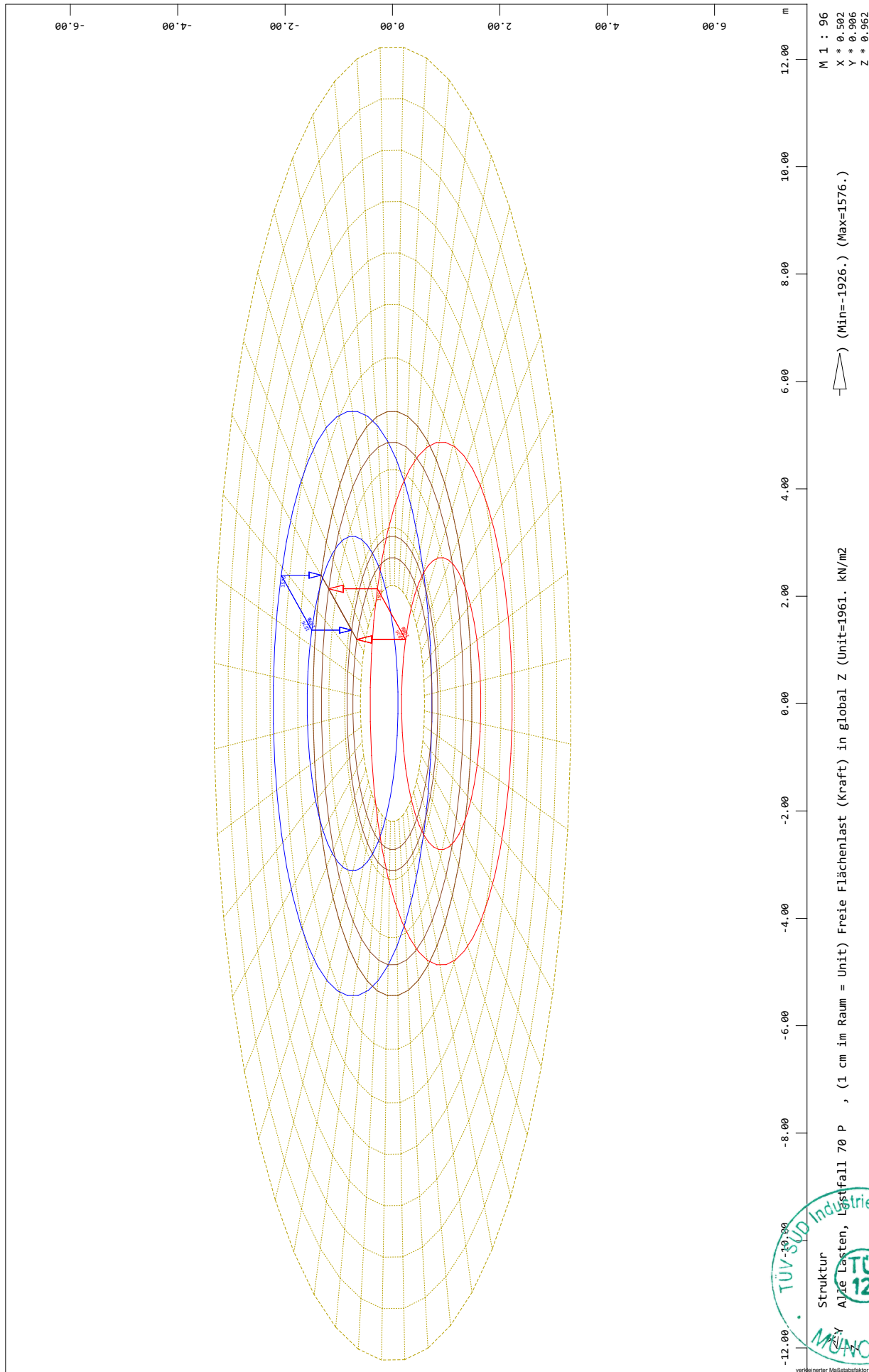
SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

T04_0091-9798-Ver.02 - Approved- Exported from DMS: 2021-01-26 by INVOL

System

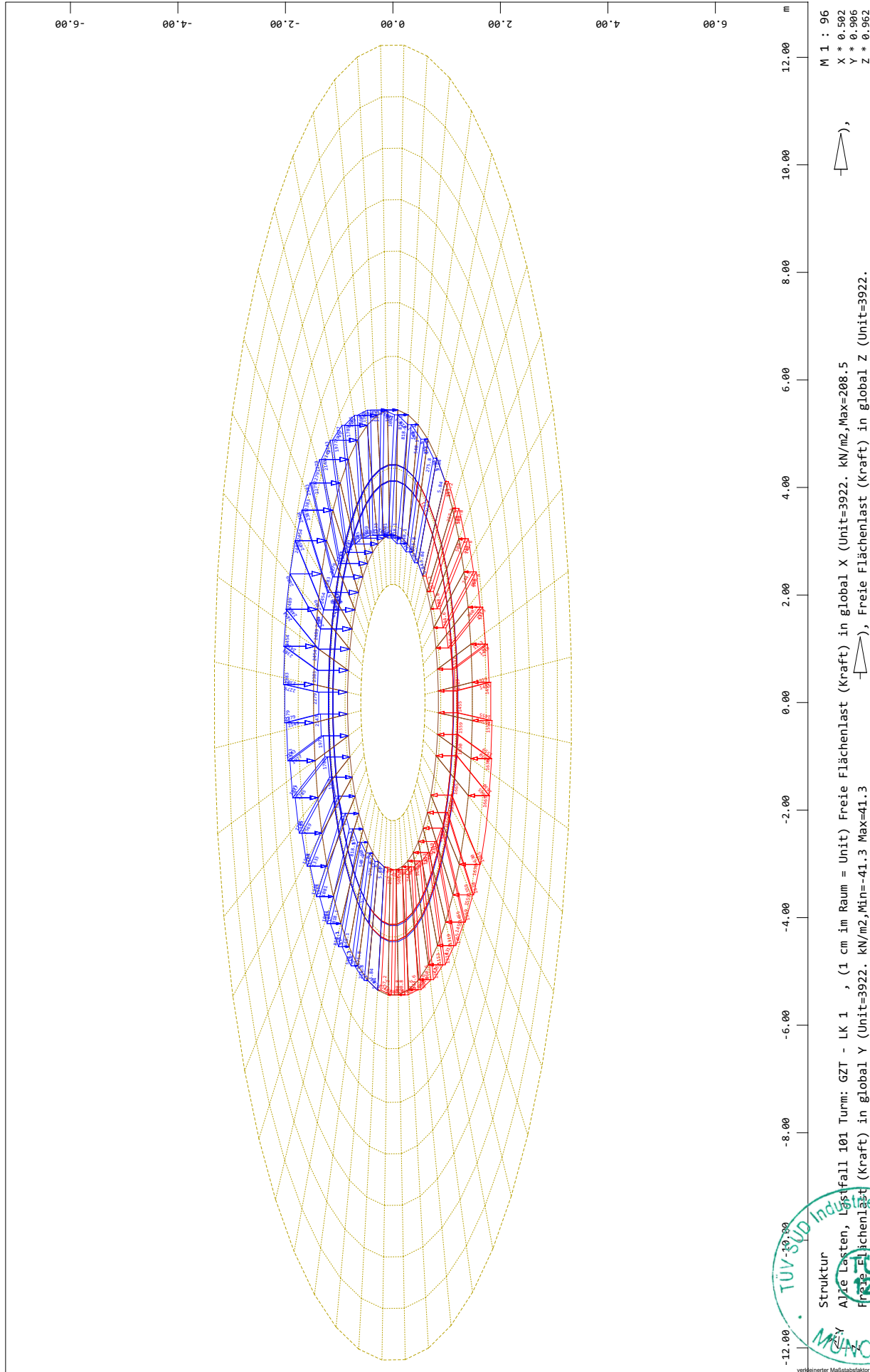


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

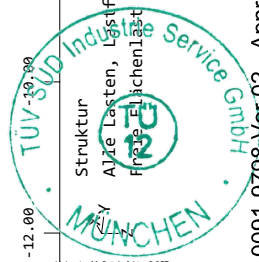
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System

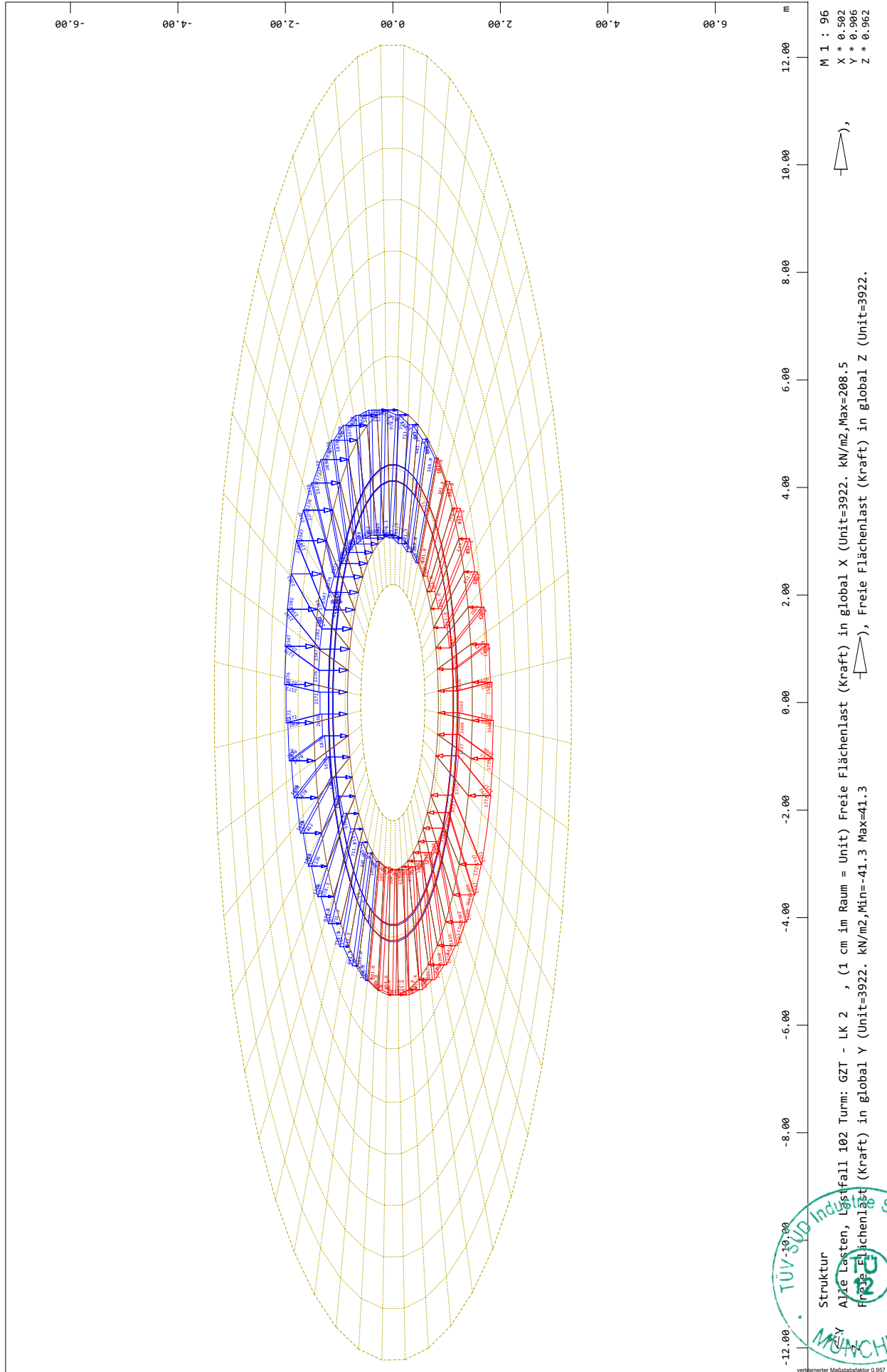


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

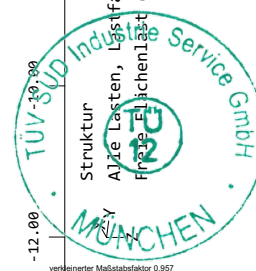


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

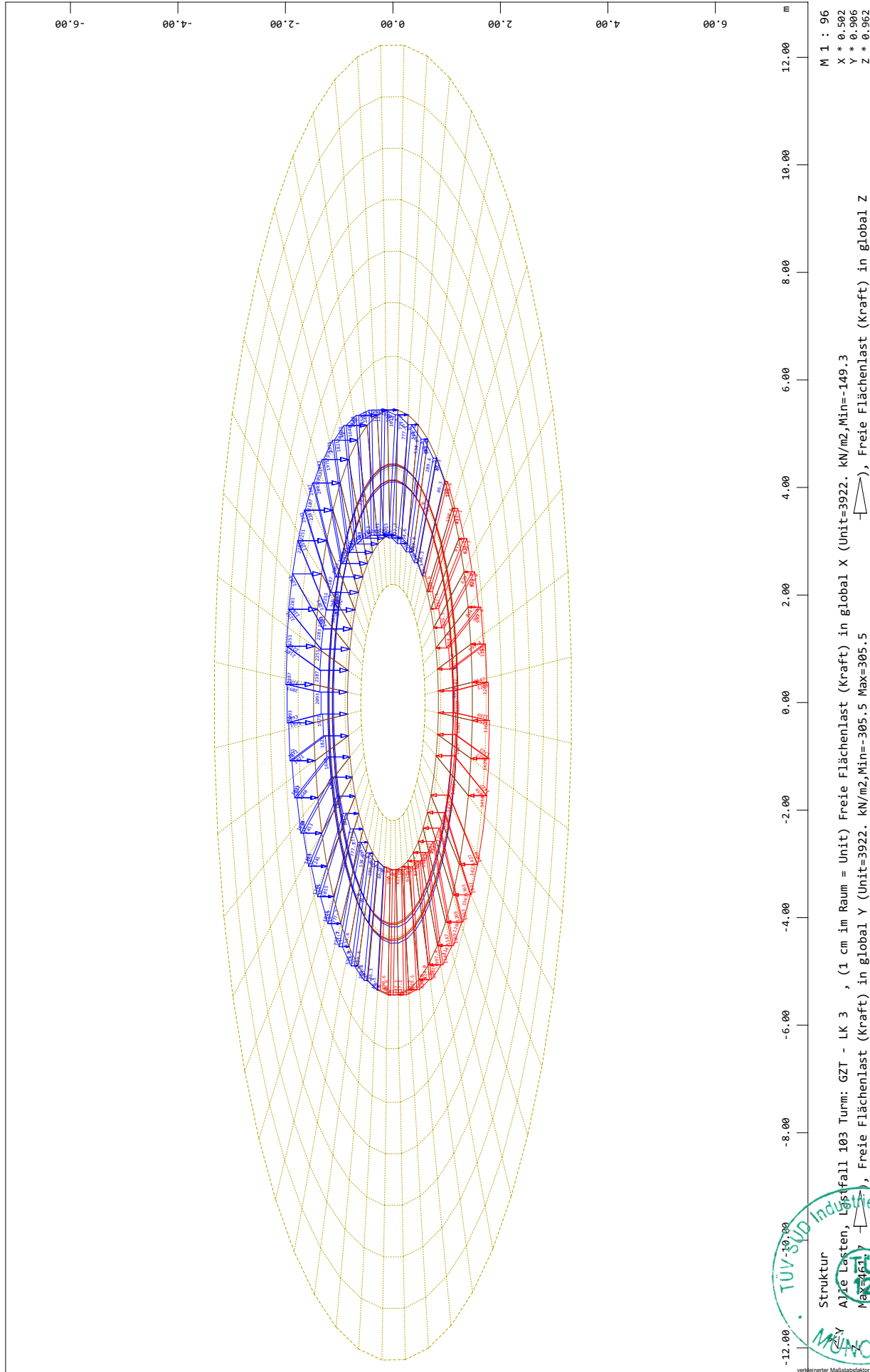


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

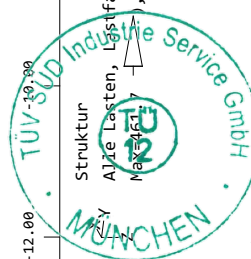


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

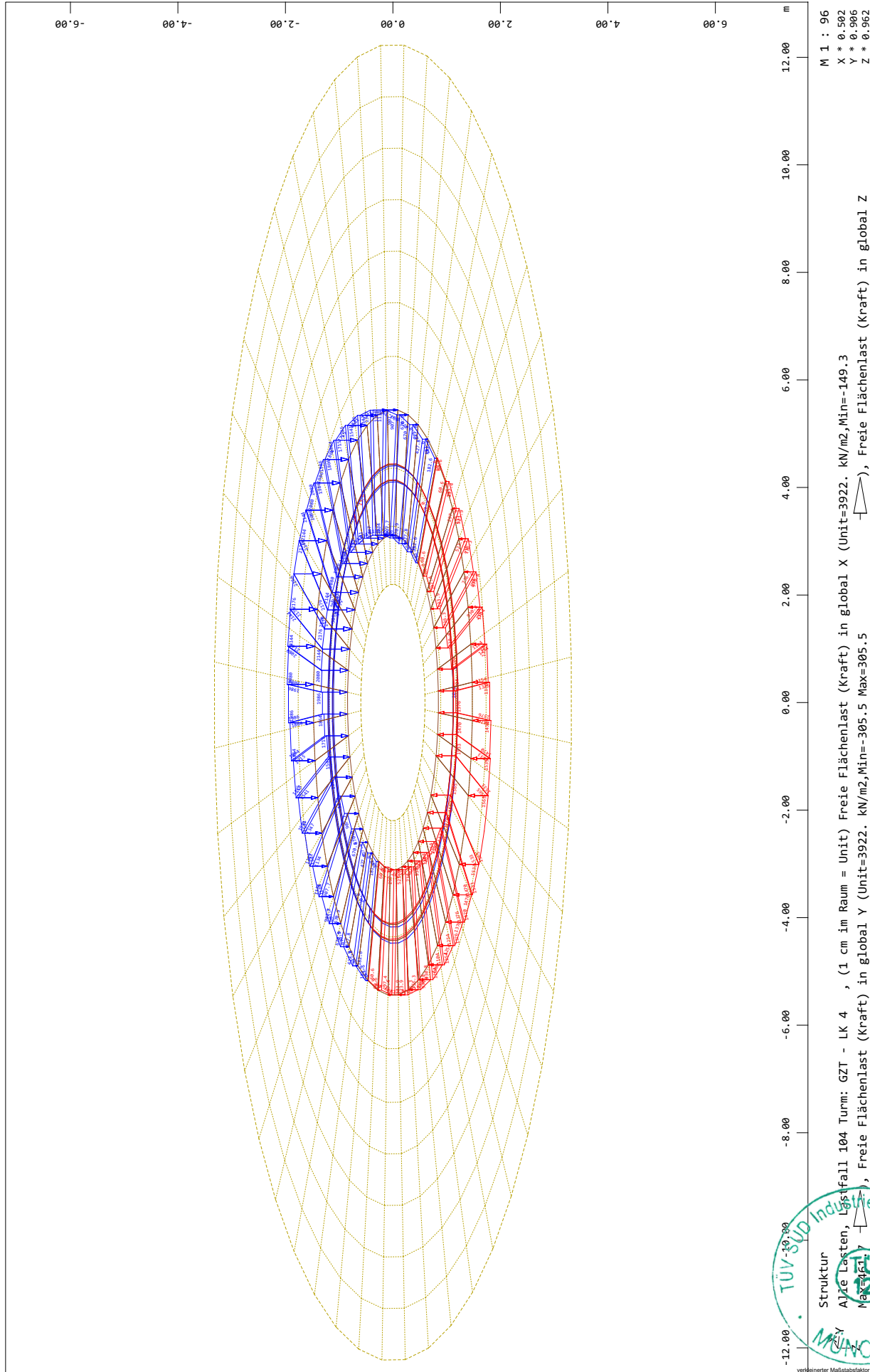


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

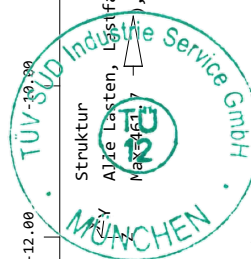


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

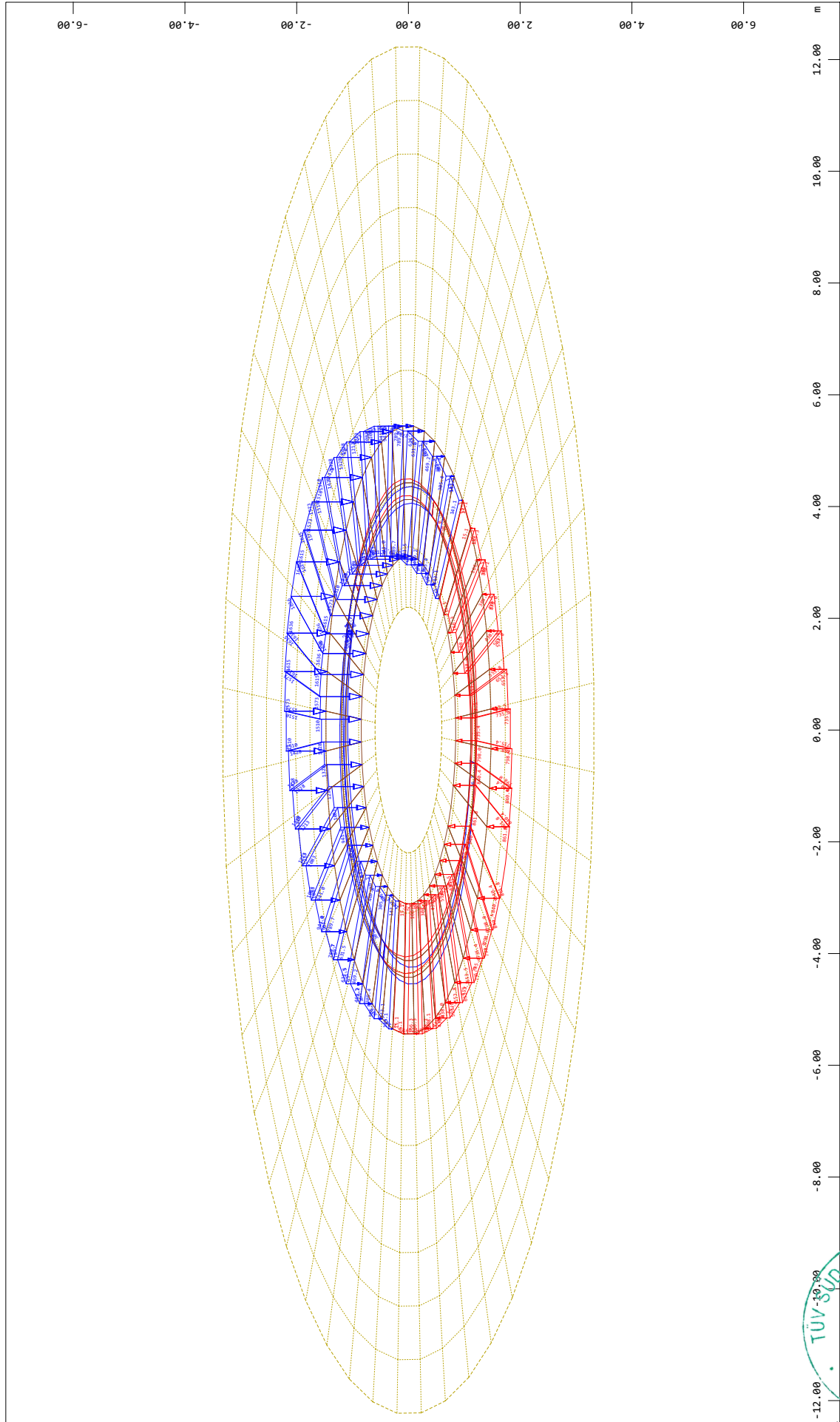


SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

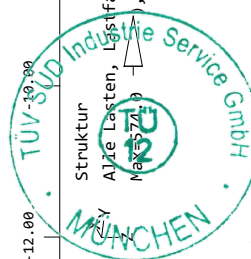
System



M 1 : 96
X * 0.592
Y * 0.996
Z * 0.962

Freie Flächenlast (Kraft) in global X (Unit=1961. kN/m2,Min=-342.4
) , Freie Flächenlast (Kraft) in global Z

Freie Flächenlast (Kraft) in global Y (Unit=1961. kN/m2,Min=-458.2
Max=458.2

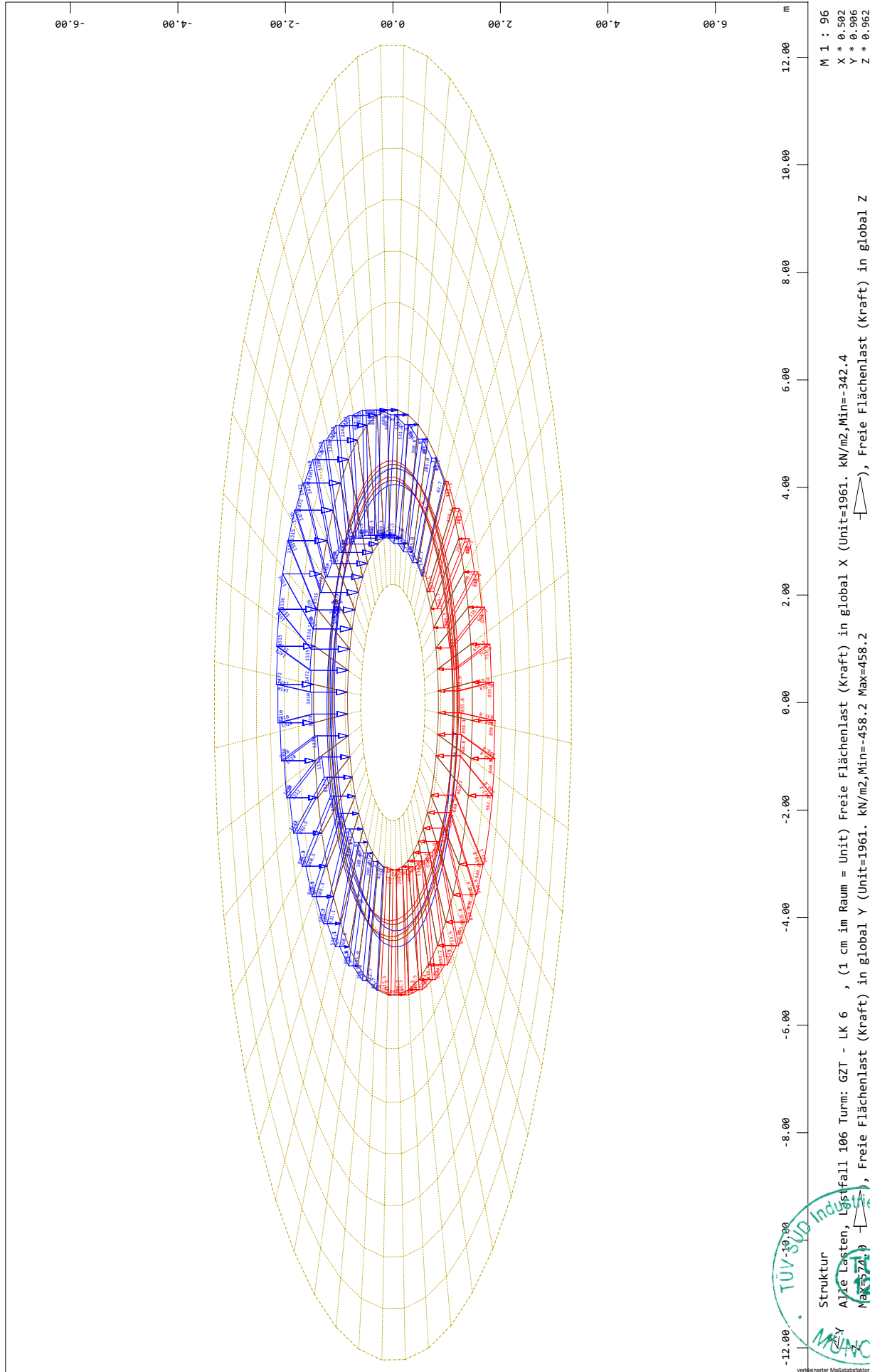


verkleinerter Maßstabfaktor 0.957

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

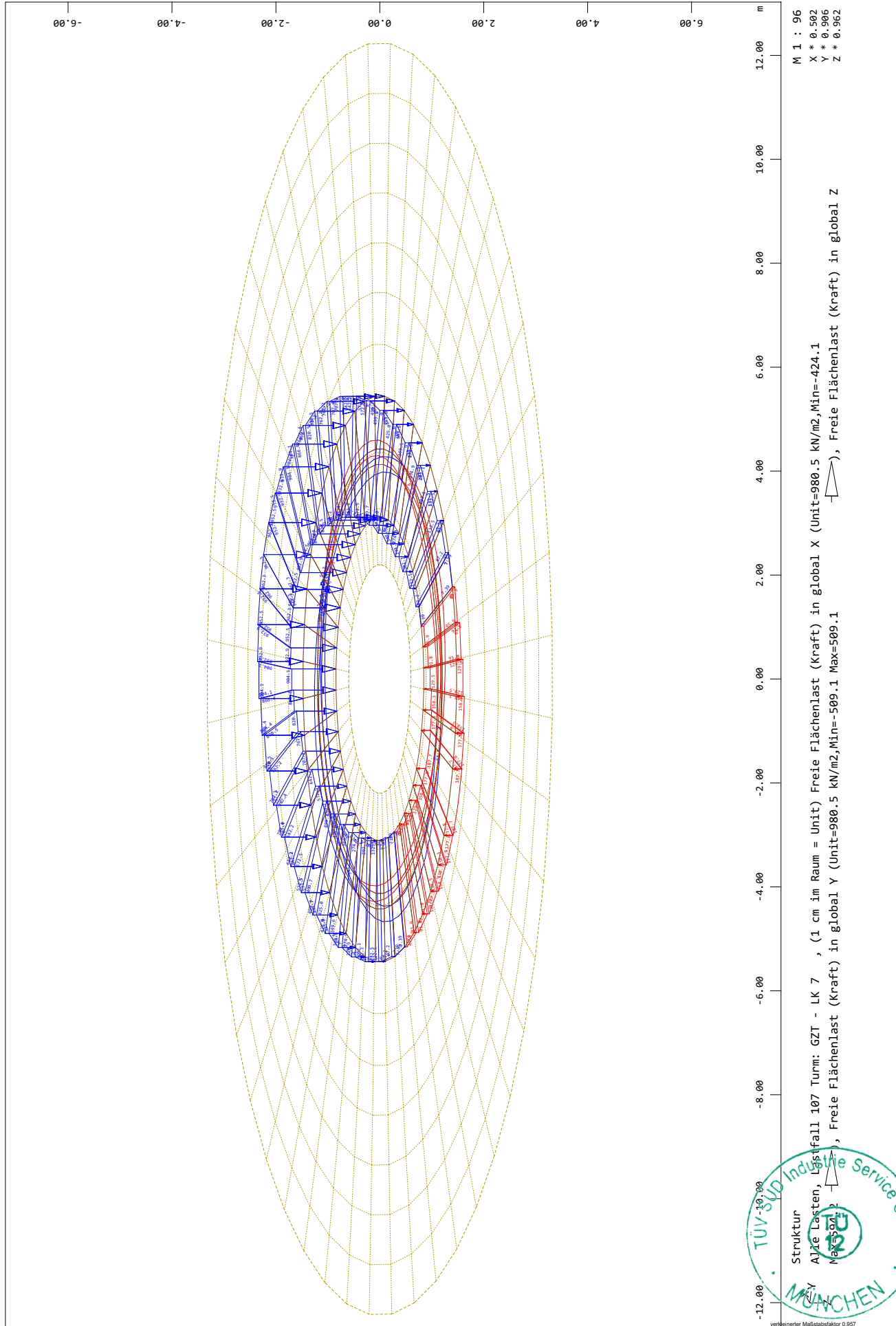


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System

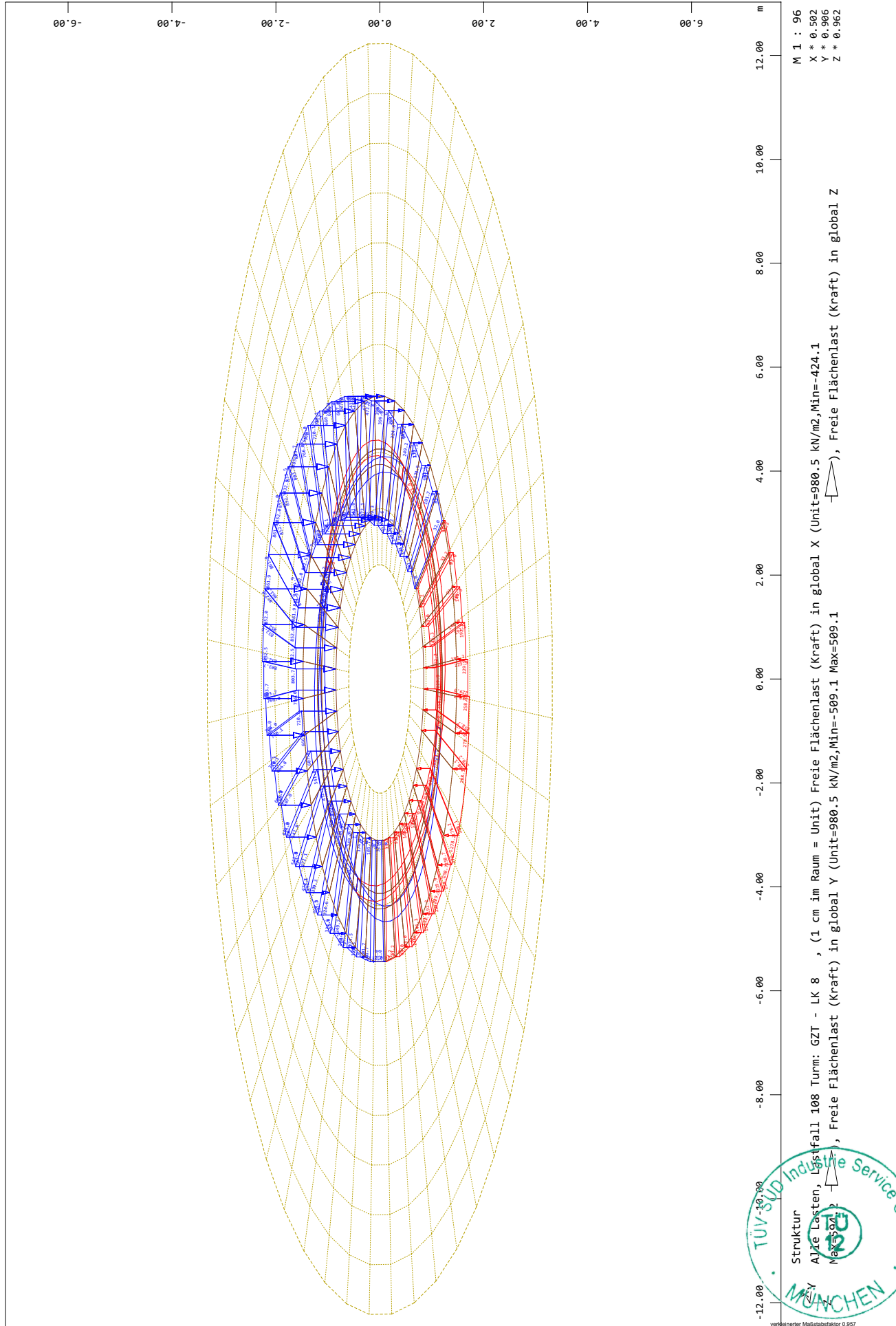


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System

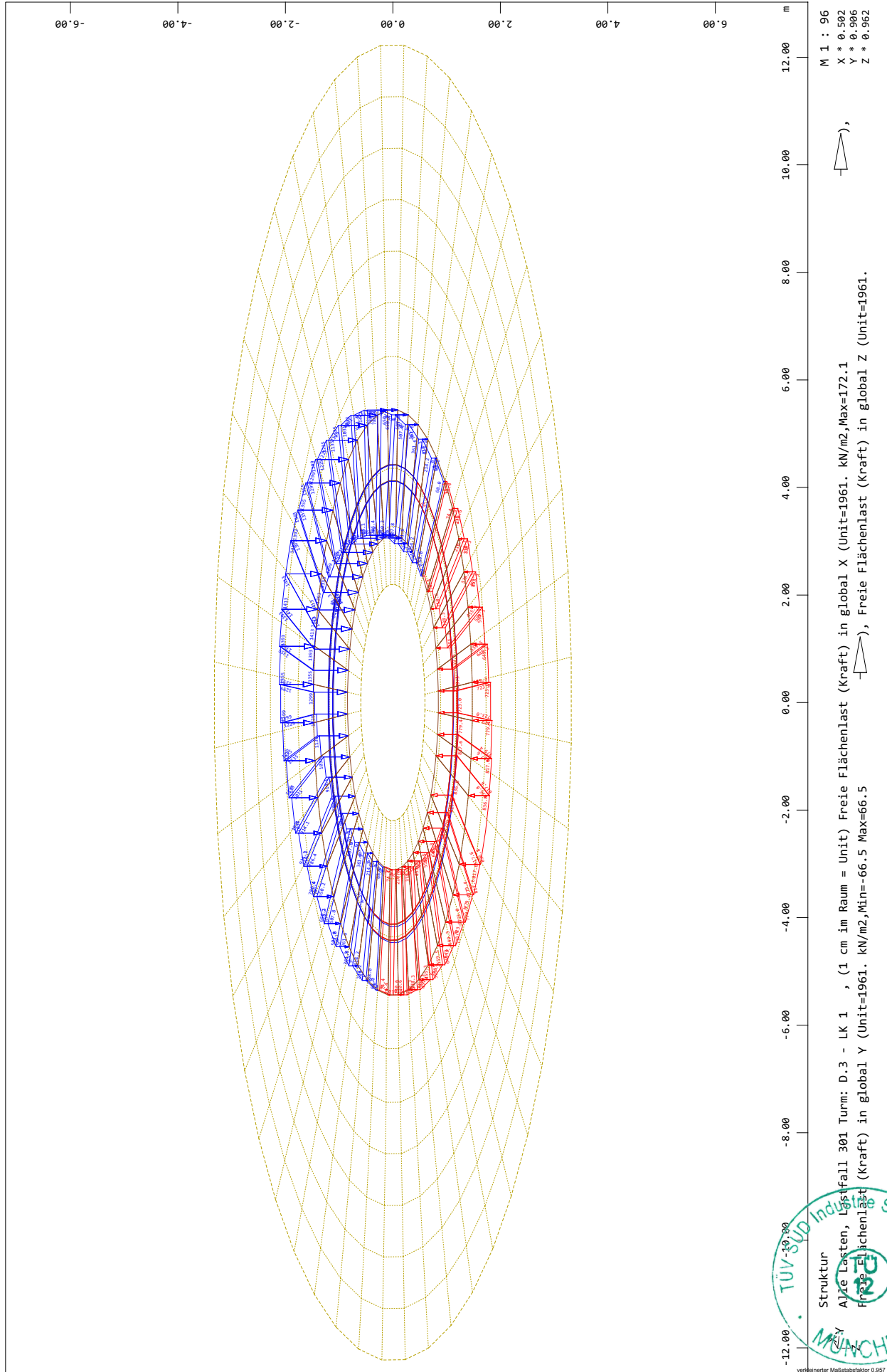


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System

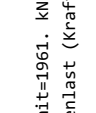


M 1 : 96
X * 0.592
Y * 0.906
Z * 0.962

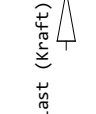


Freie Flächenlast (Kraft) in global X (Unit=1961. kN/m2,Max=172.1
Freie Flächenlast (Kraft) in global Y (Unit=1961. kN/m2,Min=-66.5 Max=66.5

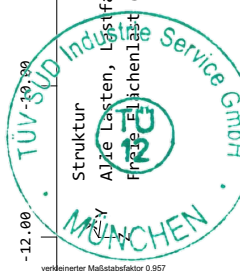
Freie Flächenlast (Kraft) in global X (Unit=1961. kN/m2,Max=172.1
Freie Flächenlast (Kraft) in global Z (Unit=1961.



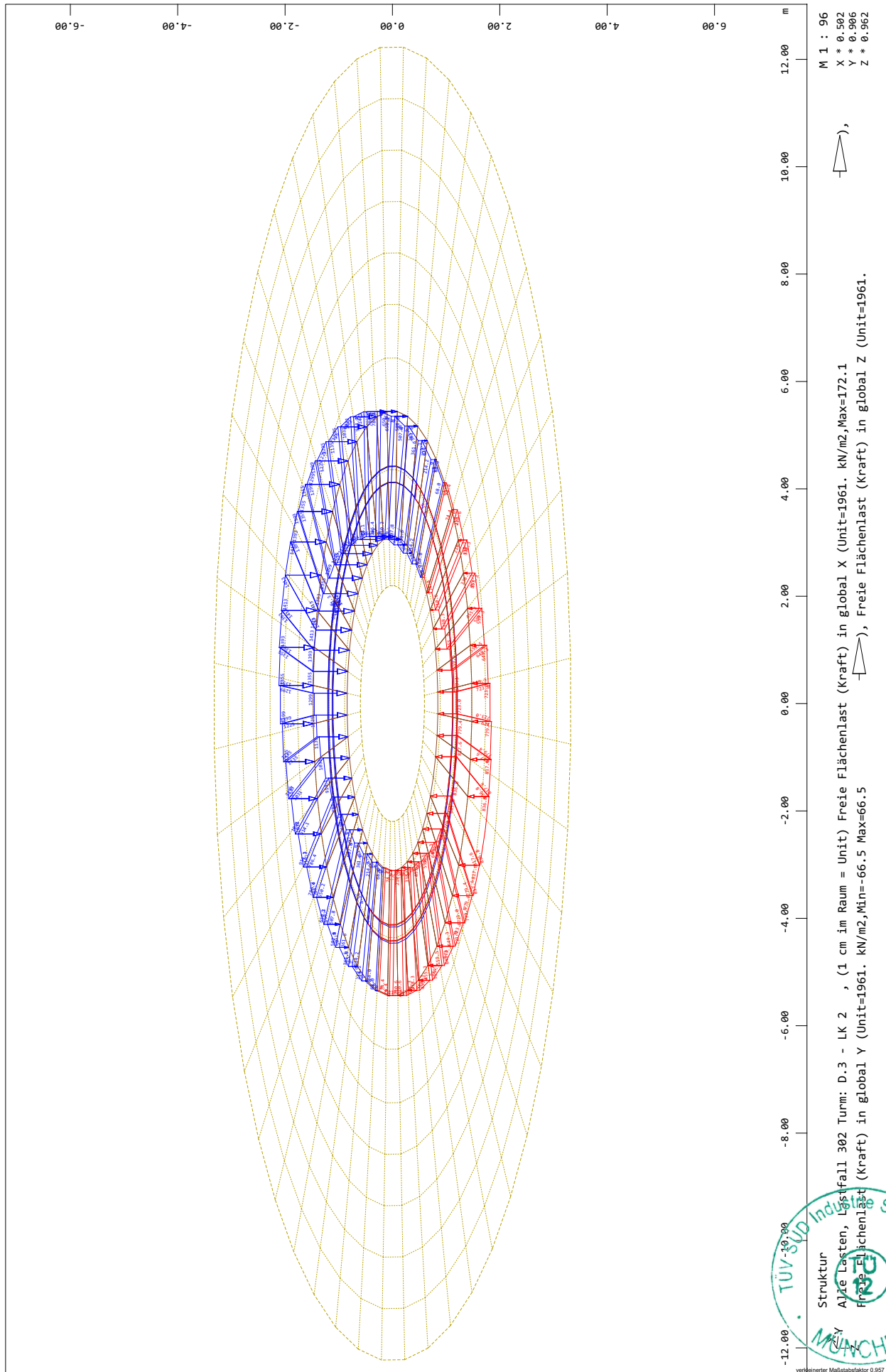
Freie Flächenlast (Kraft) in global Y (Unit=1961. kN/m2,Min=-66.5 Max=66.5



Freie Flächenlast (Kraft) in global Z (Unit=1961.



System



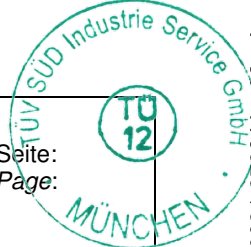
SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

Verfasser:		 <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

Anhang D: Schnittgrößen / Appendix D: Internal forces

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: Page:
Block:	Anhang D: Schnittgrößen / Appendix D: Internal forces	
Vorgang:		



System

Inhaltsverzeichnis

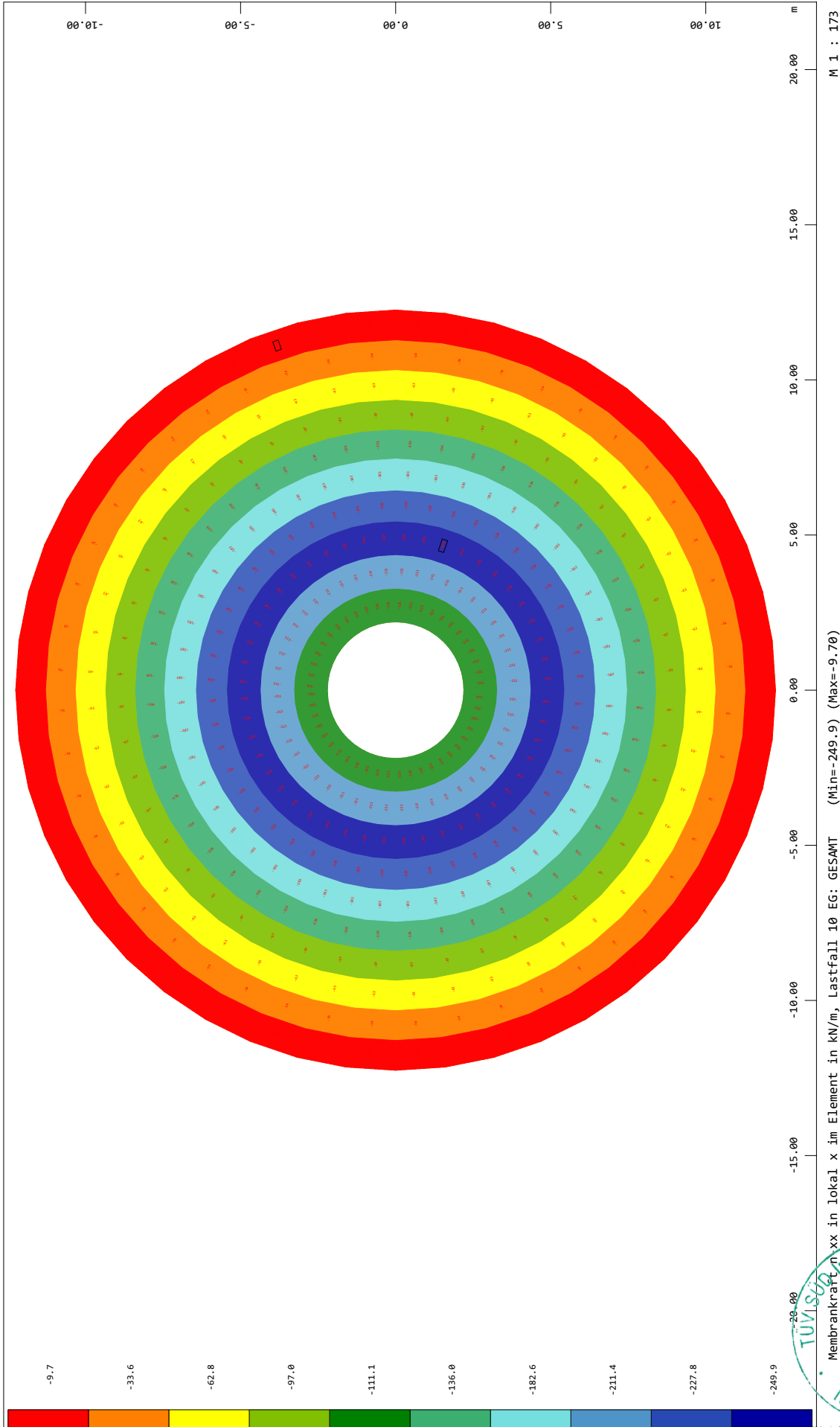
WINGRAF - GRAFIK FUER FINITE ELEMENTE

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

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

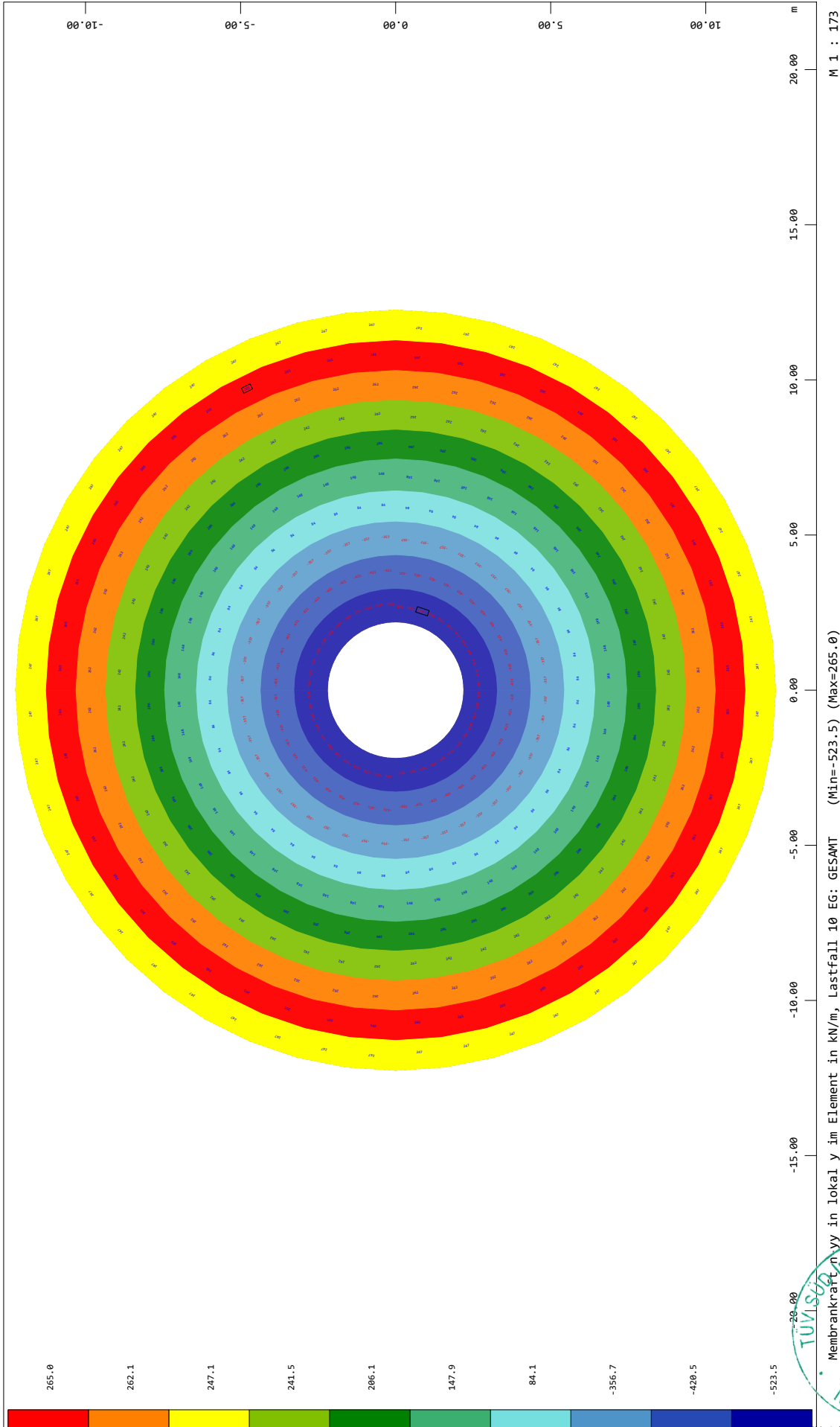


System



Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

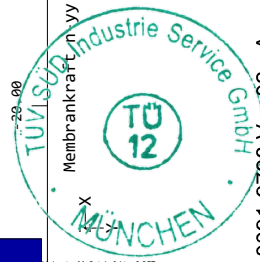
System



SOFISTIK AG - www.sofistik.de

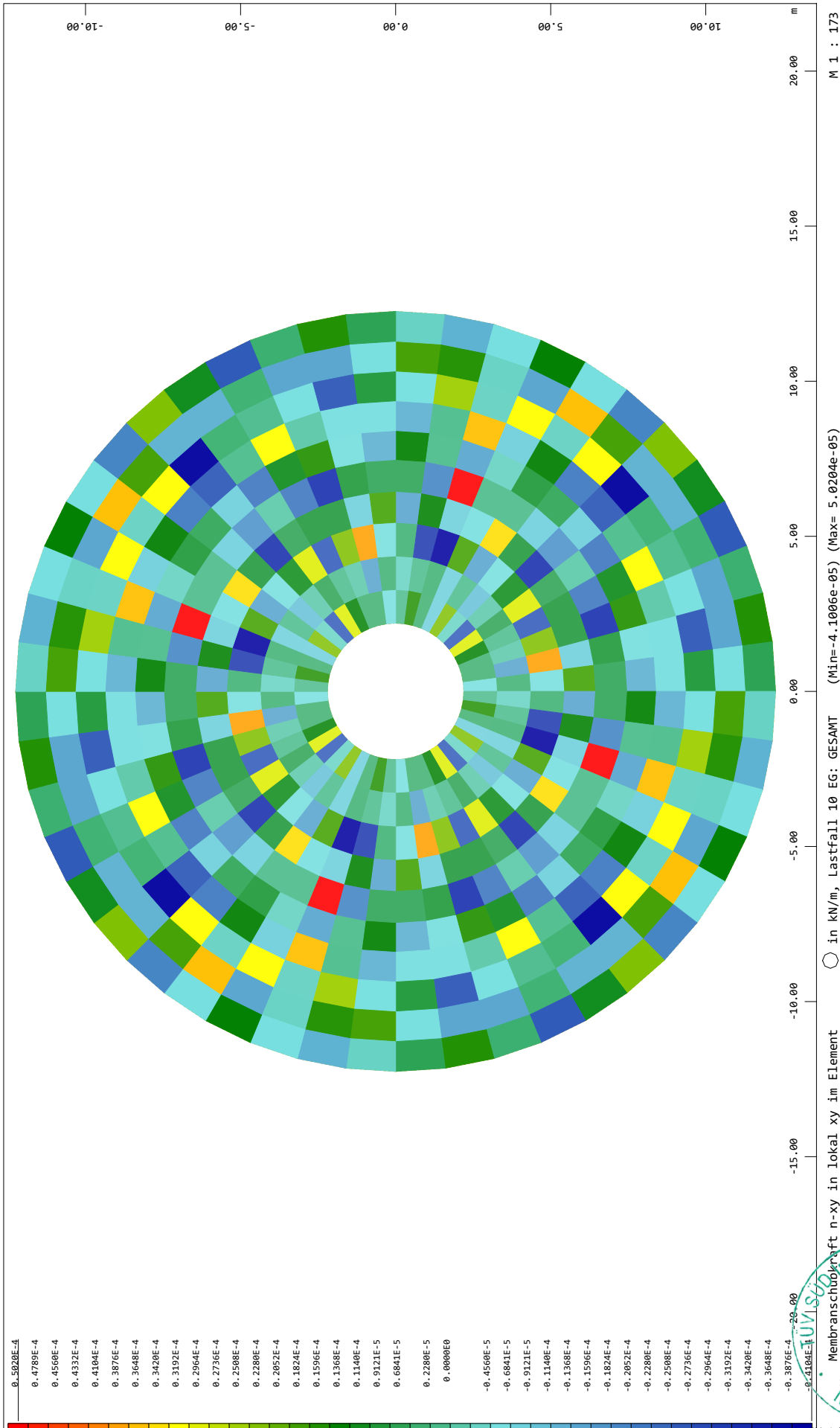
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE



System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



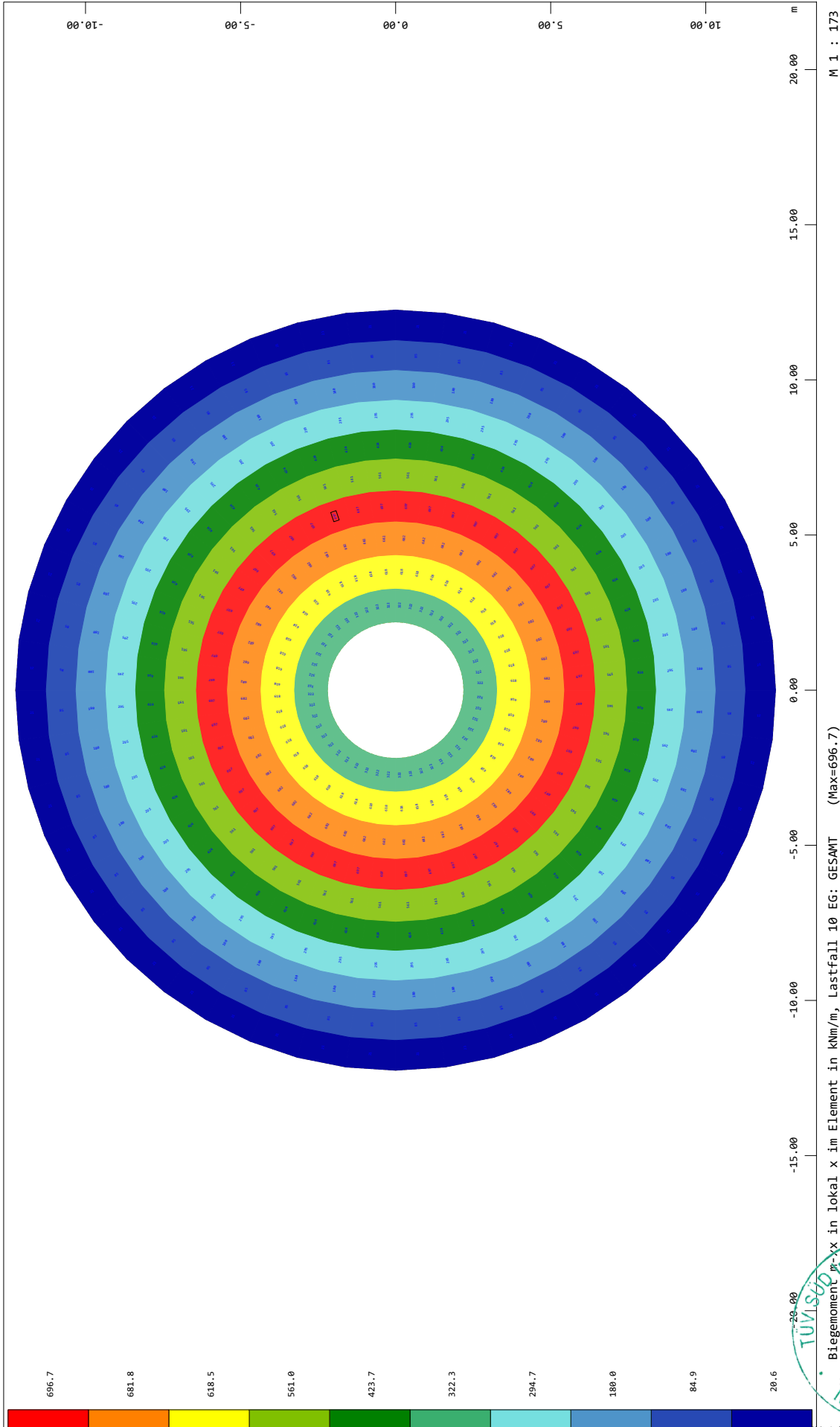
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE



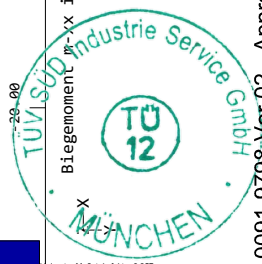
System

SOFiSTiK AG - www.sofistik.de

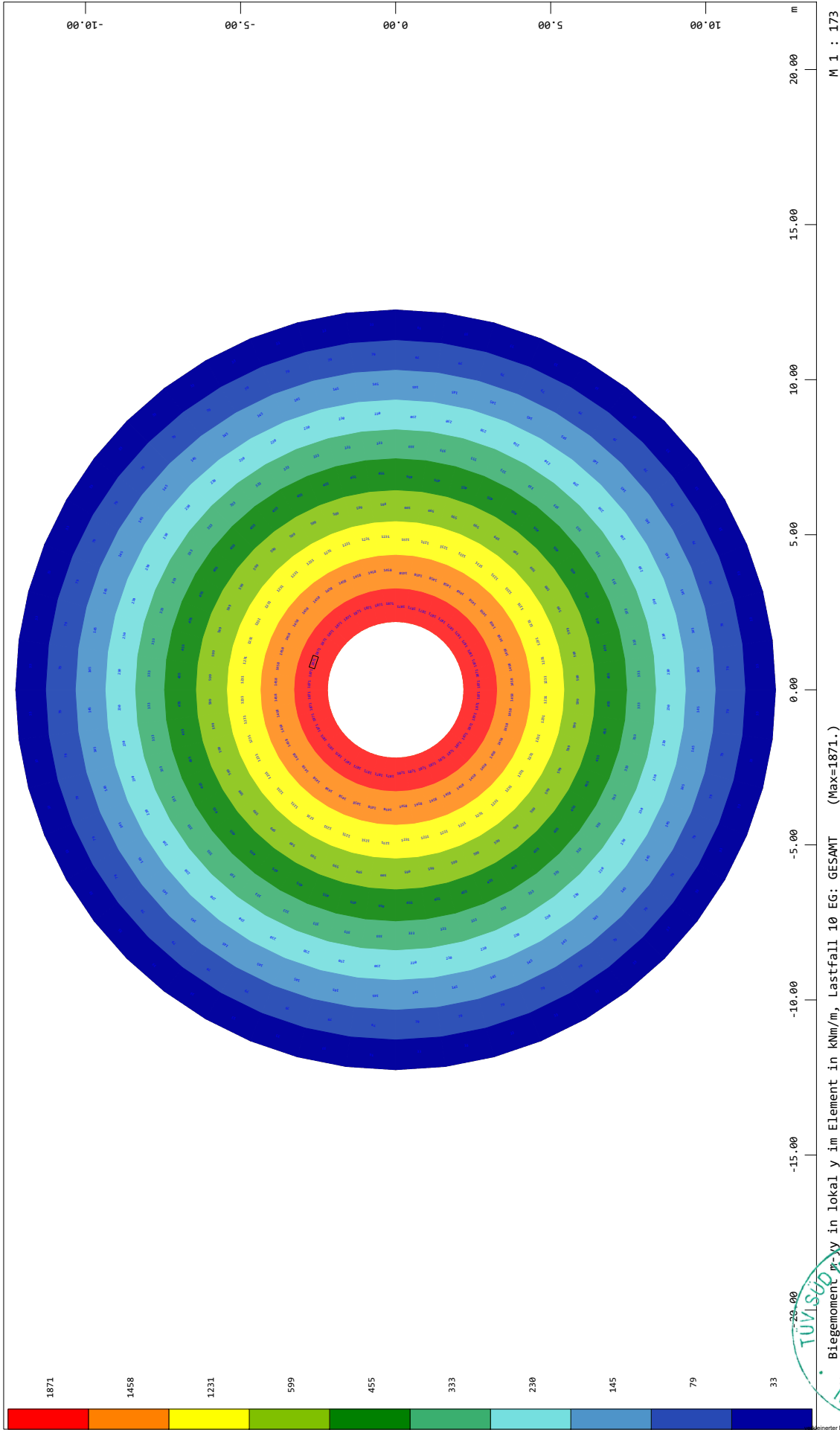


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

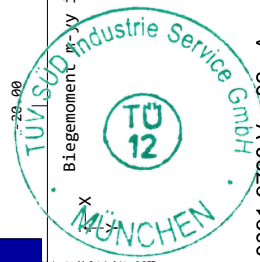
VESTAS PROPRIETARY NOTICE



System



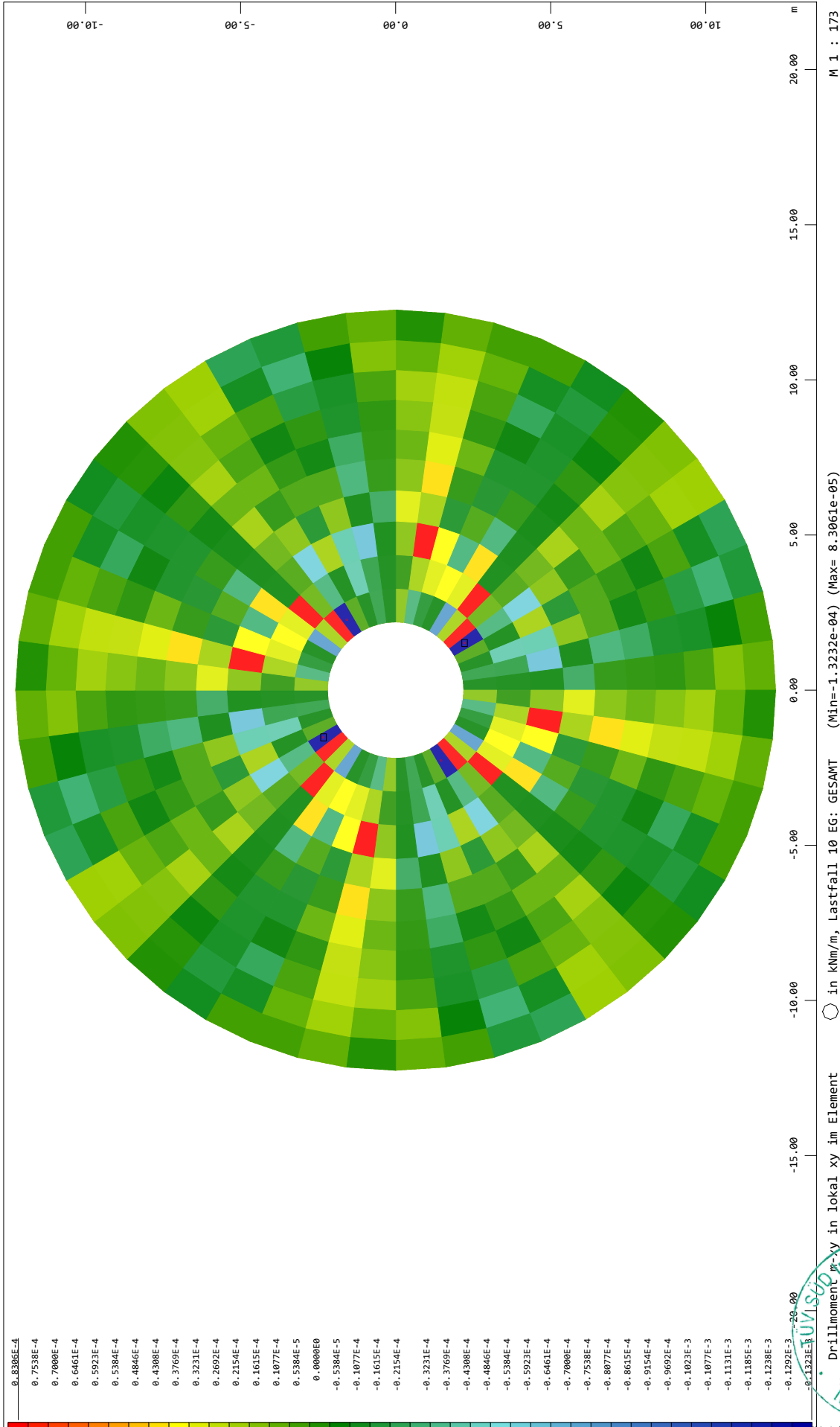
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

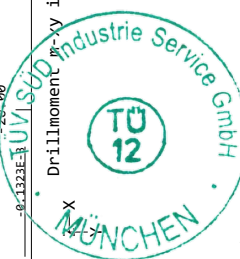
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



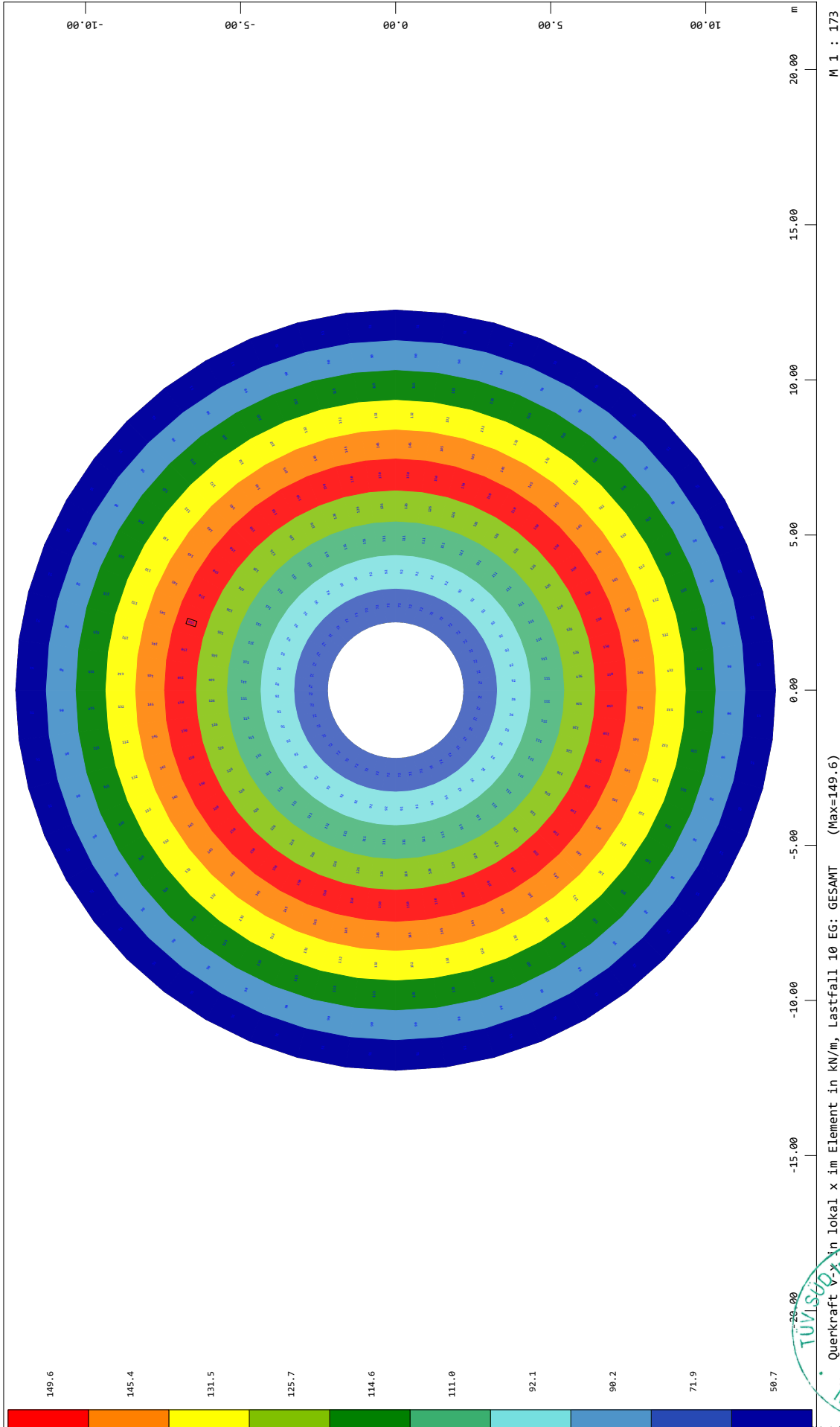
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE



System

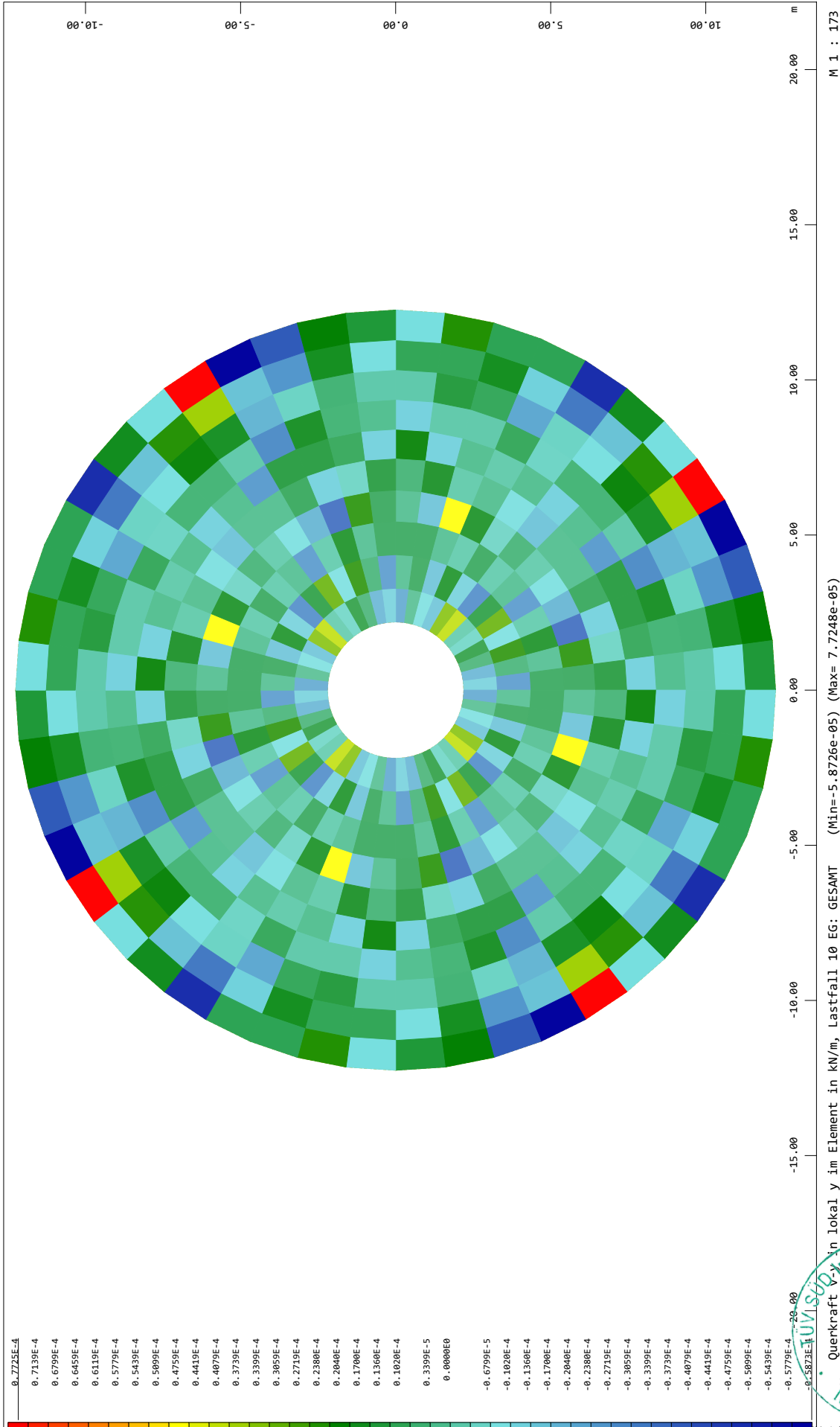
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

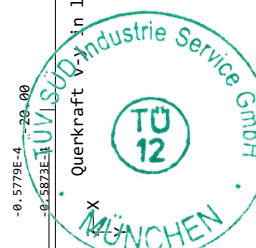
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

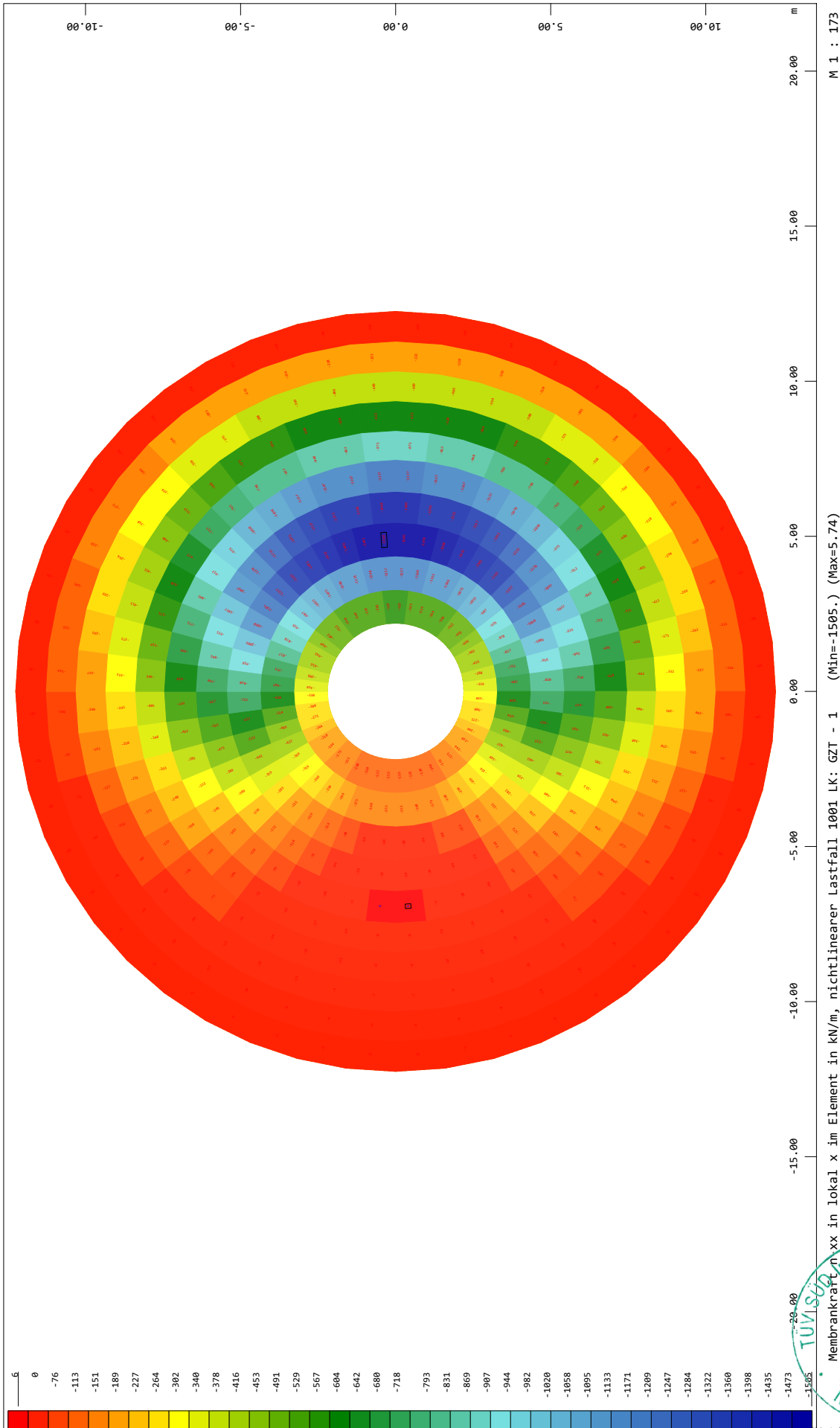


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE



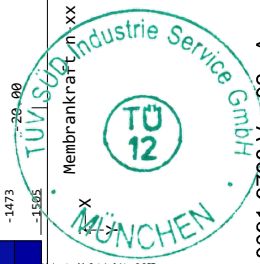
System



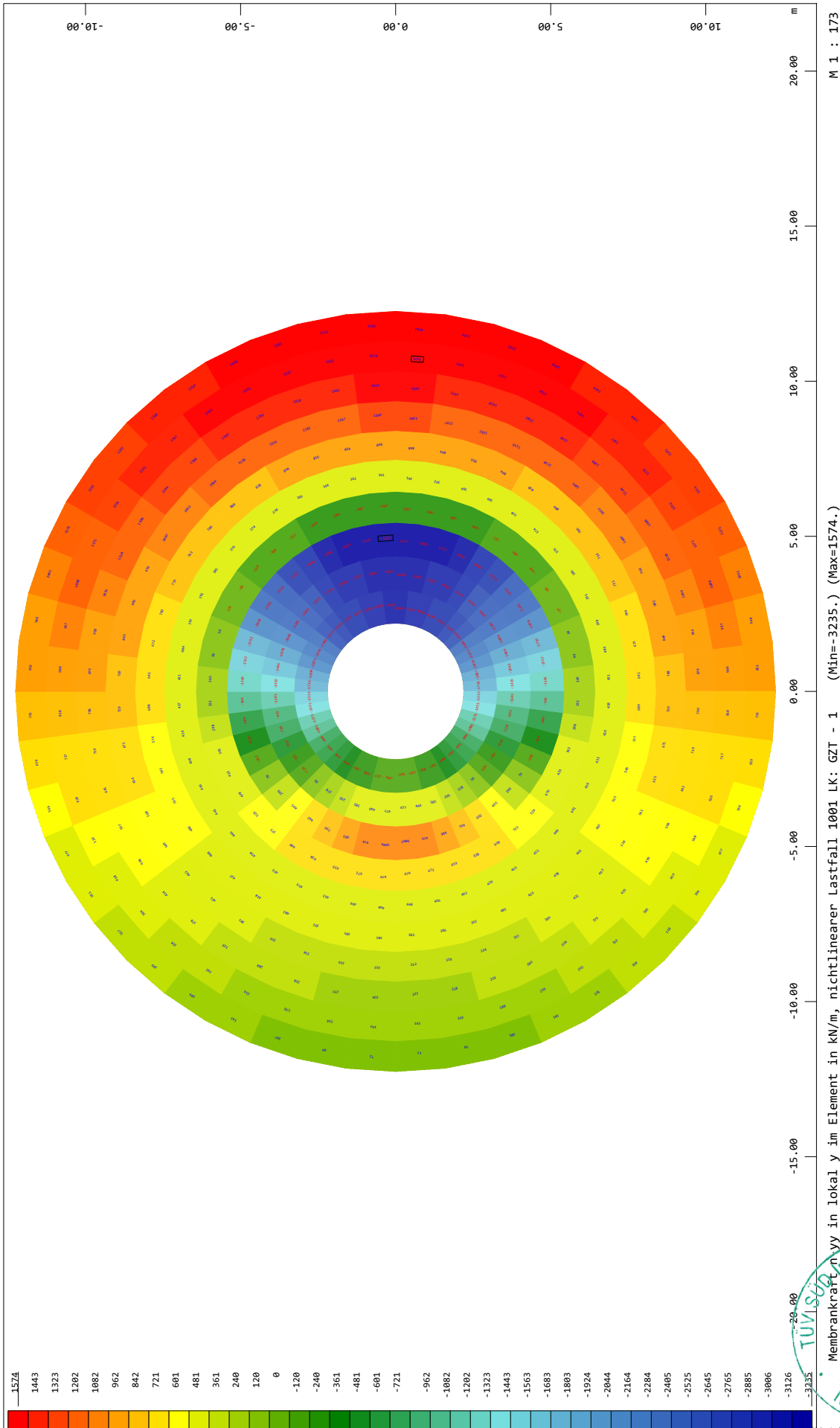
SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

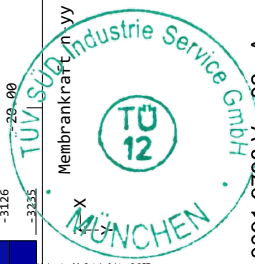


System



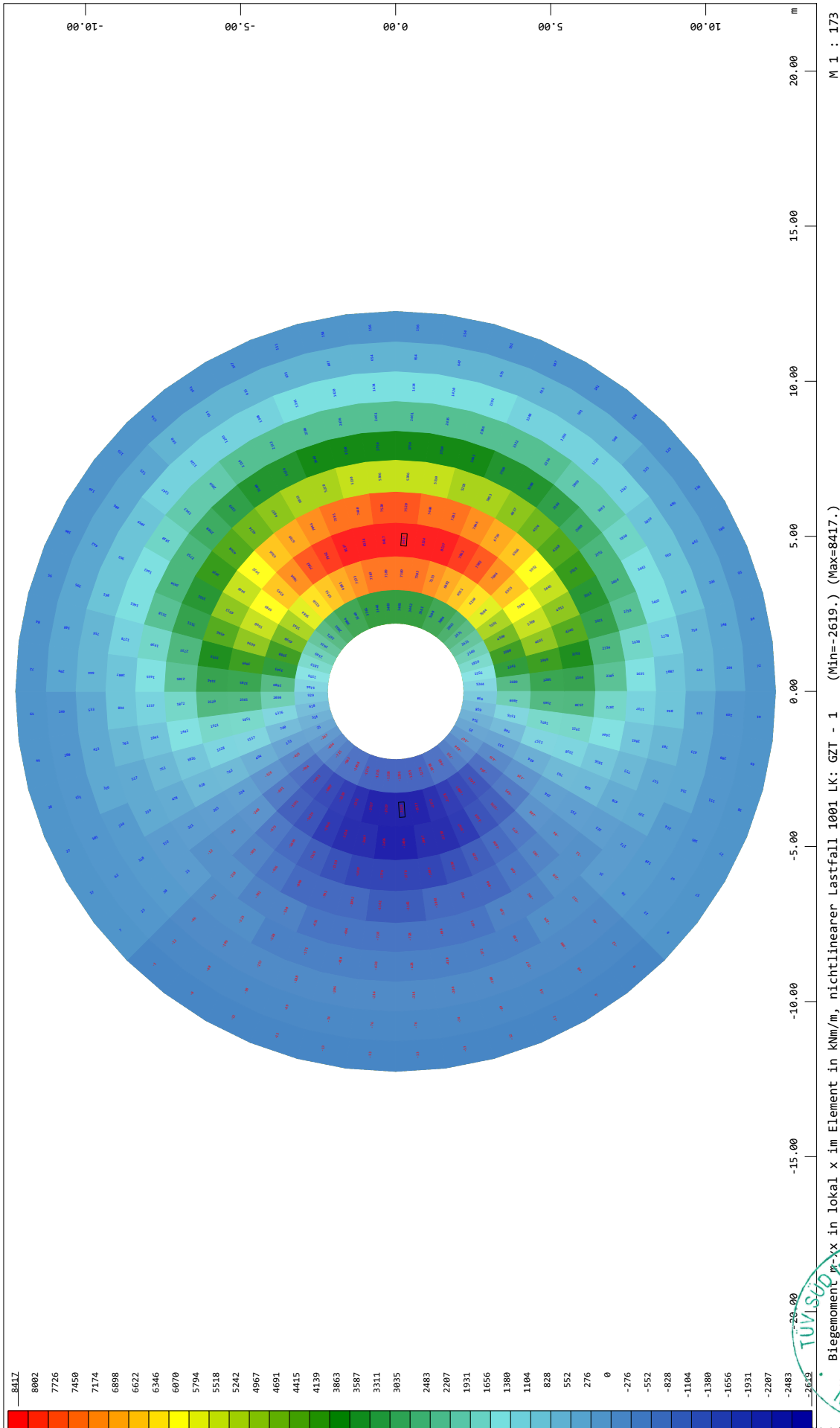
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE



System

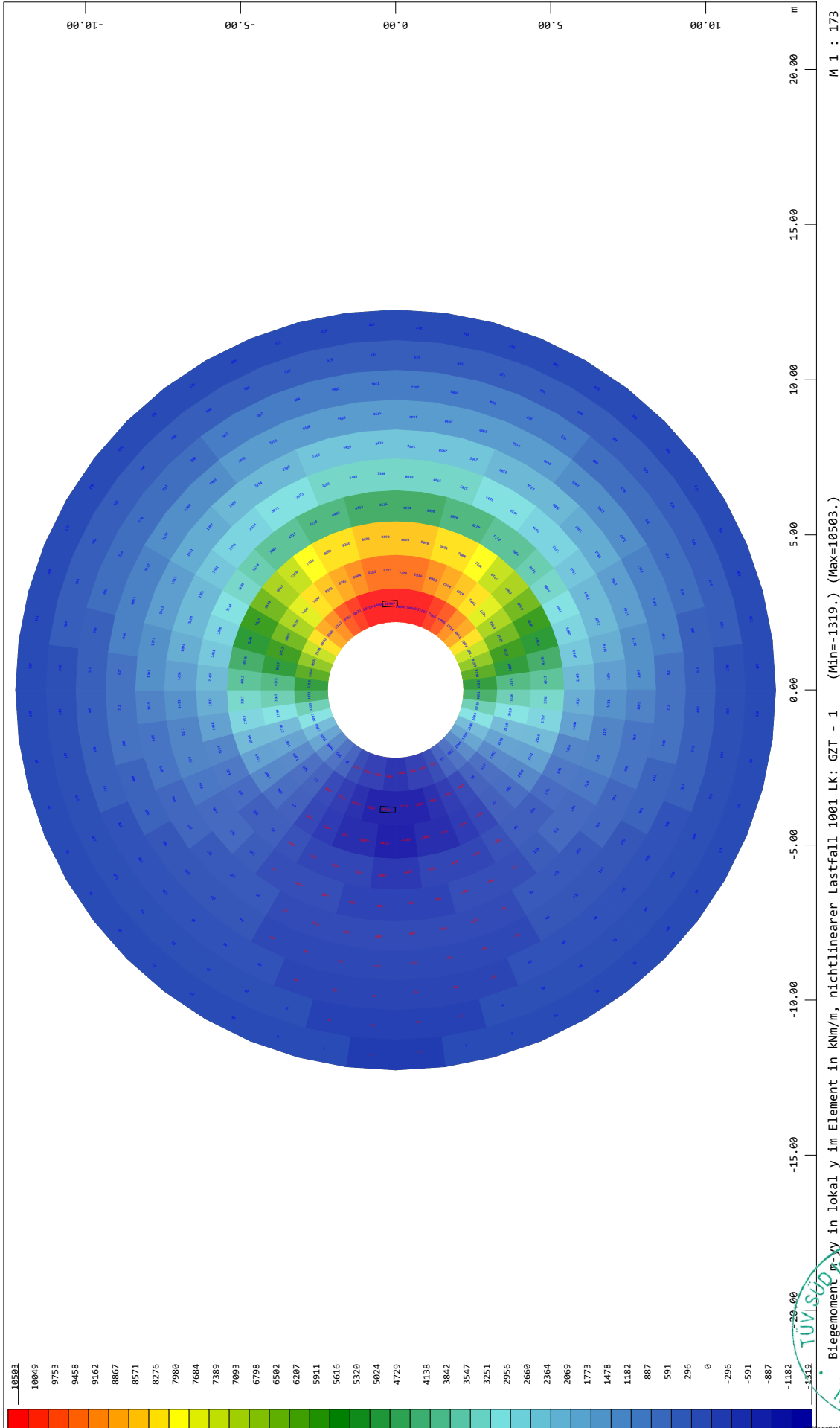
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



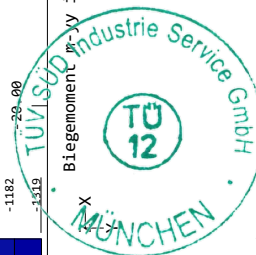
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

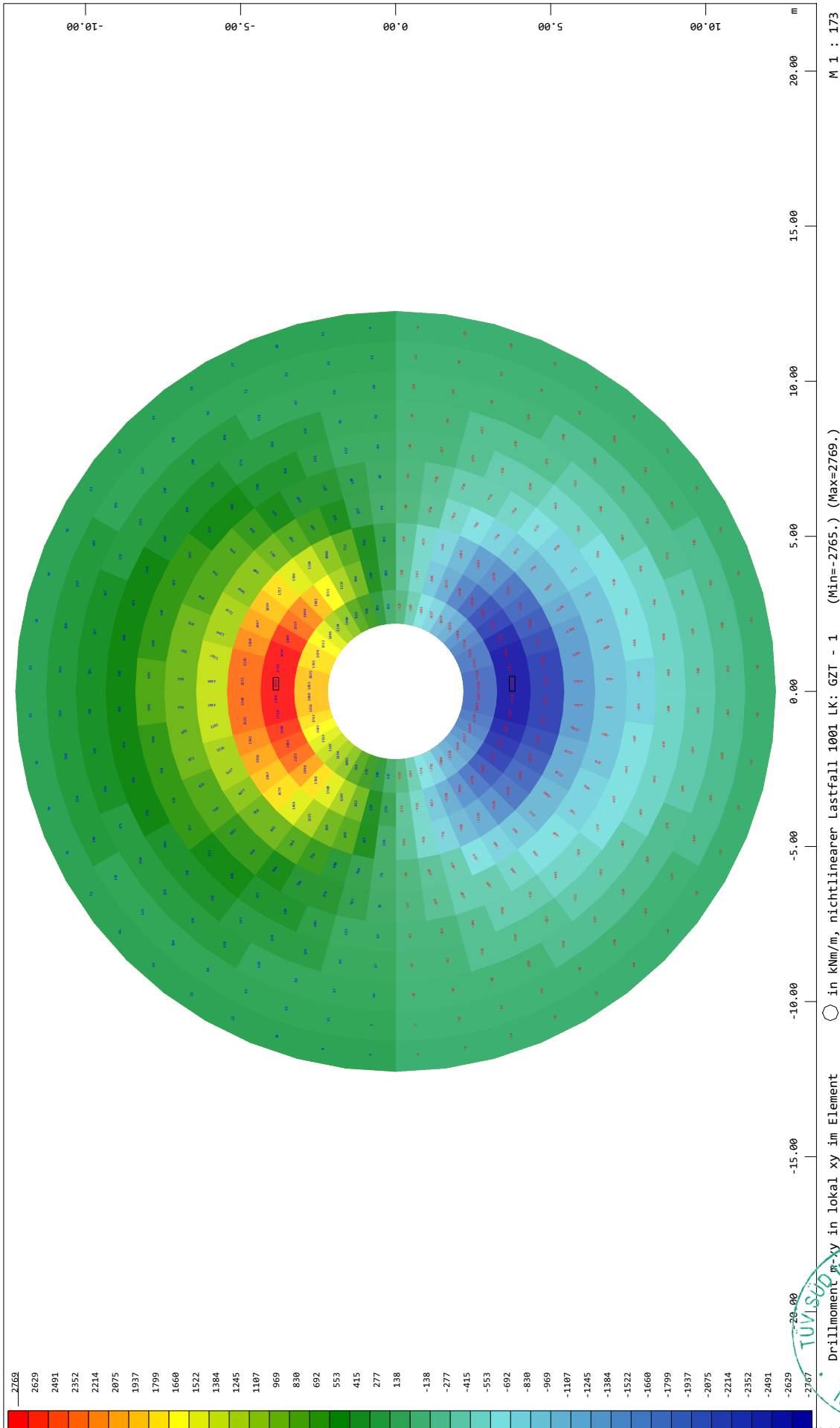


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

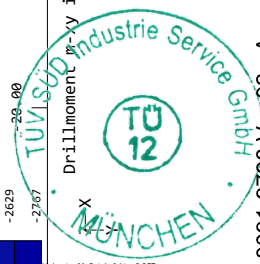


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

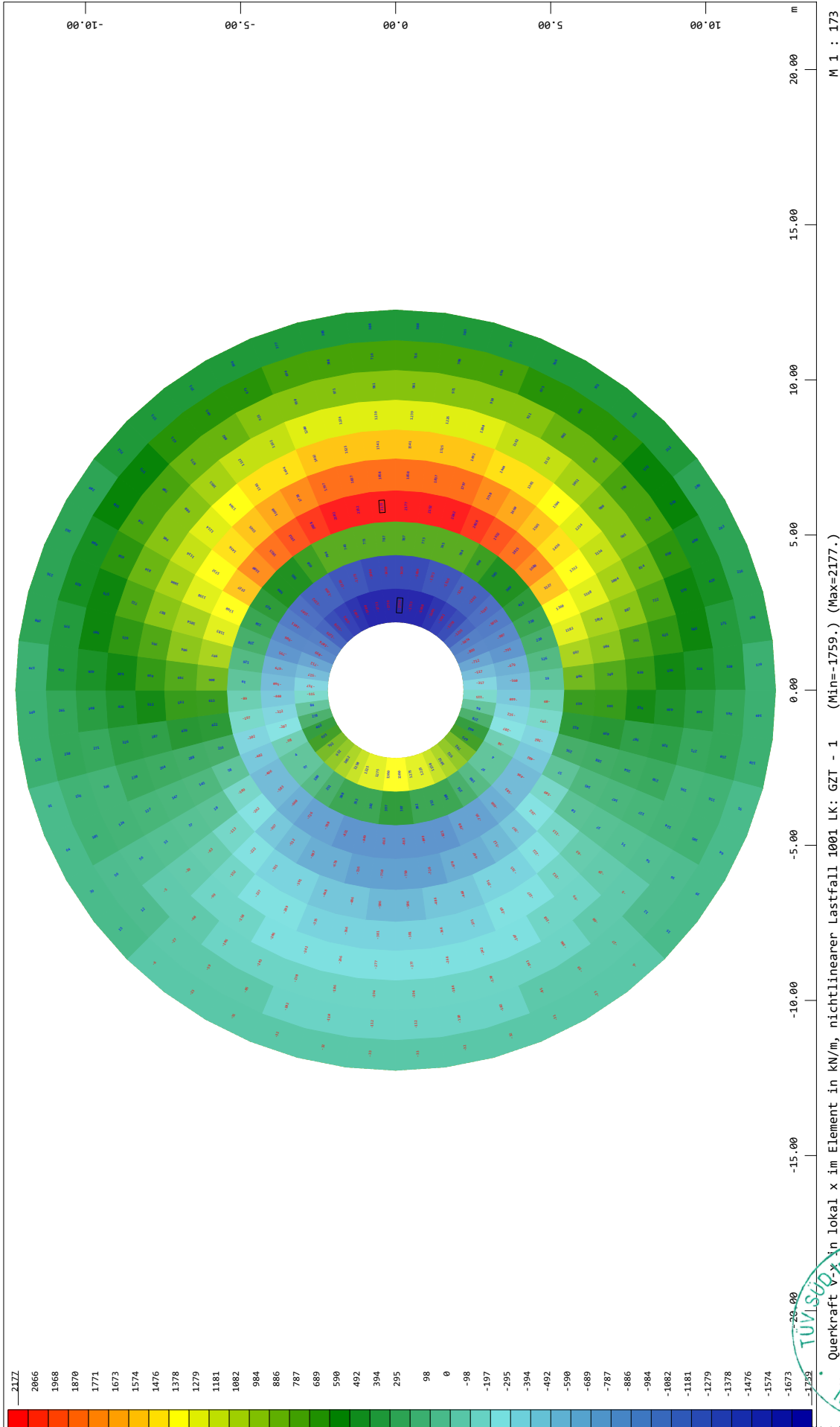


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m



System

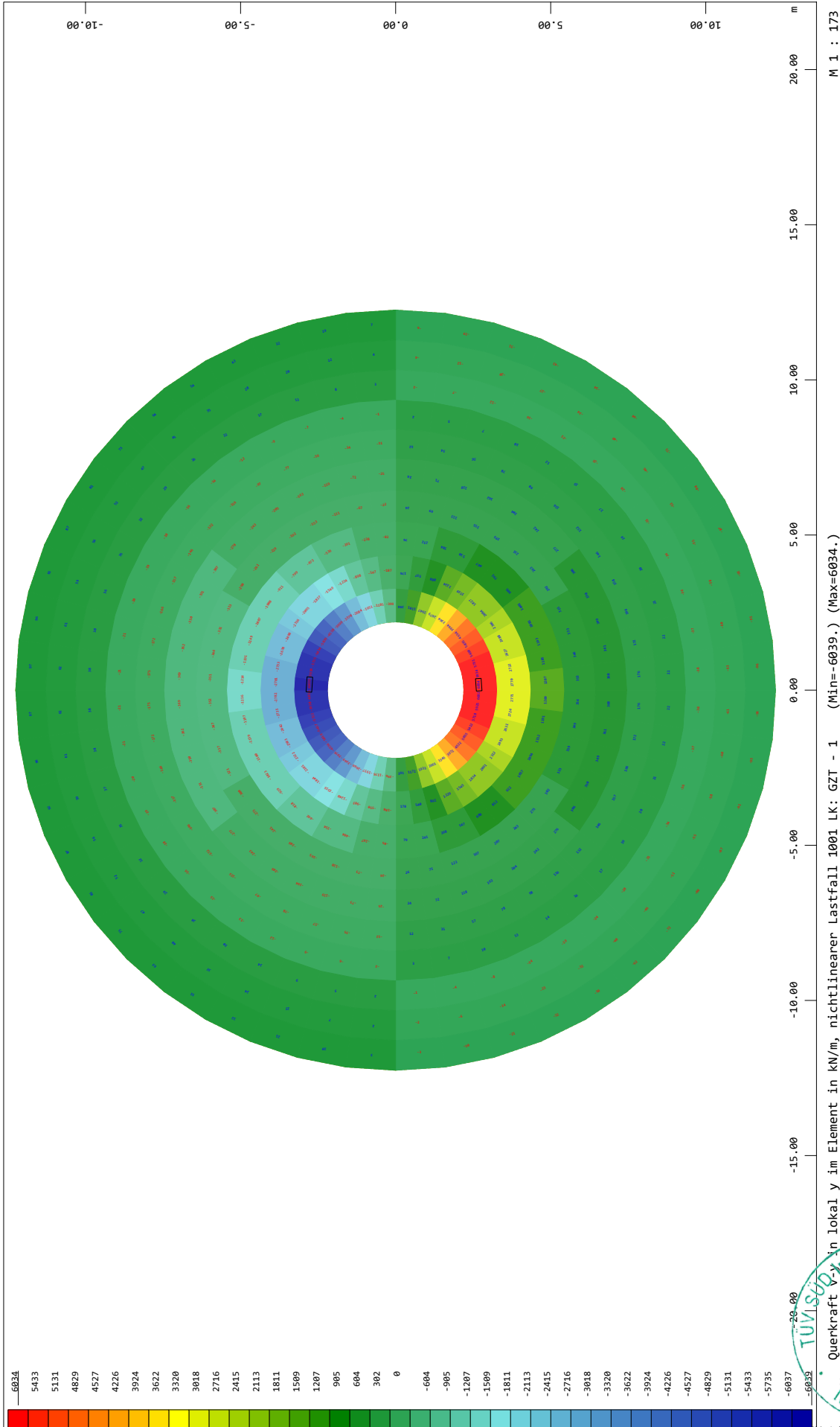
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



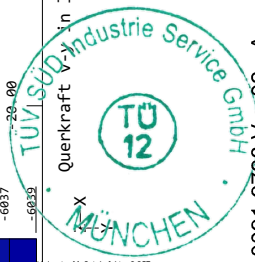
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

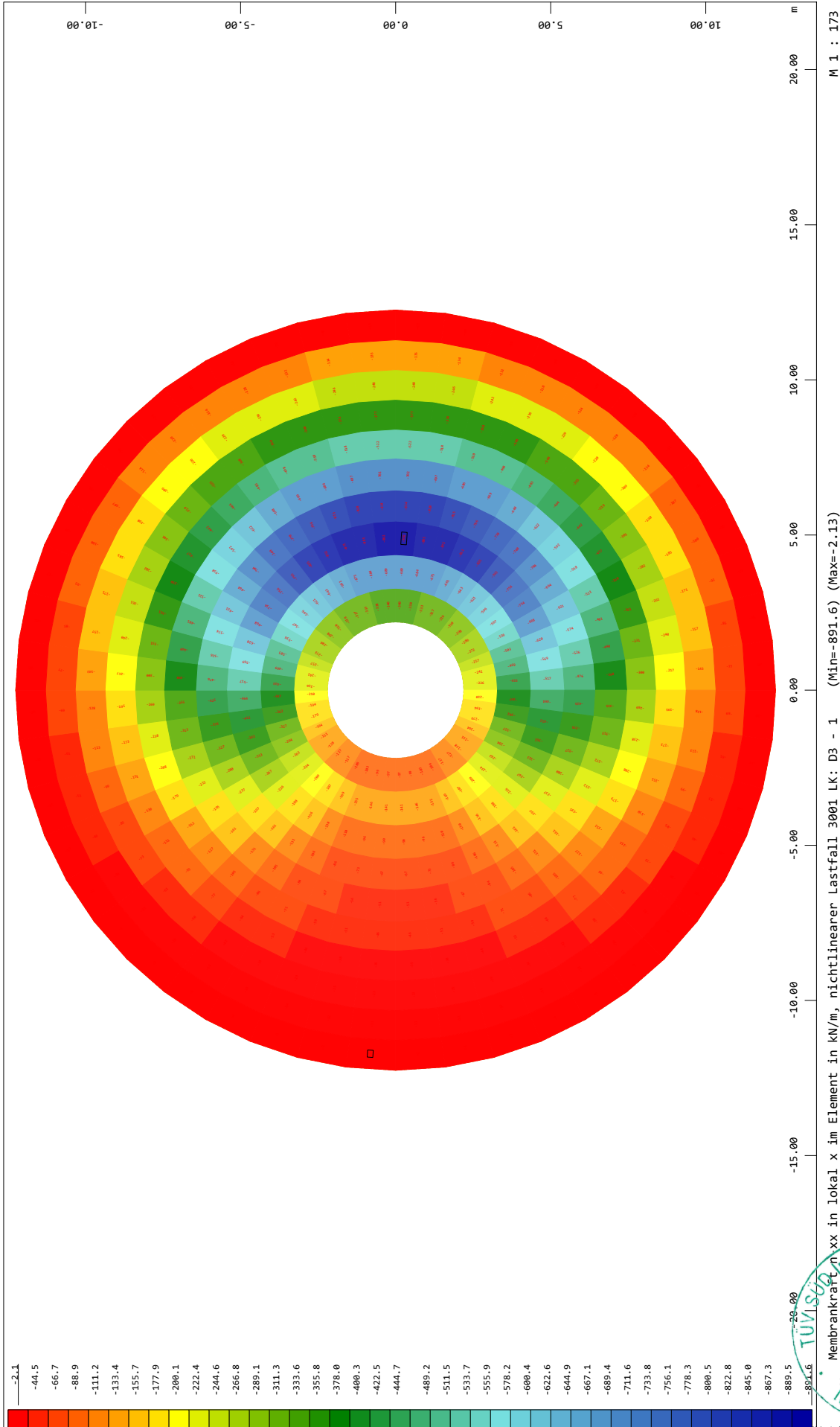
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m



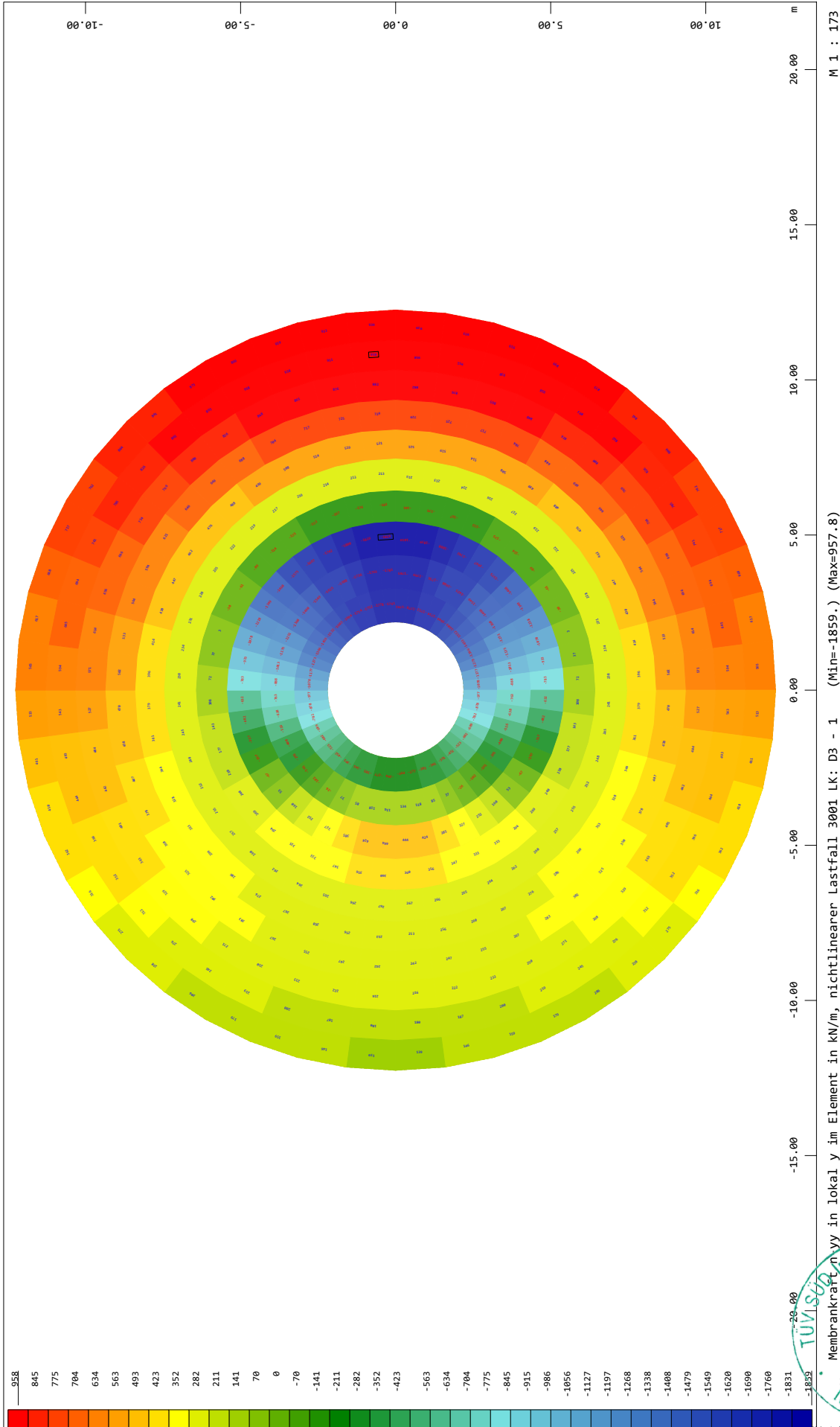
System



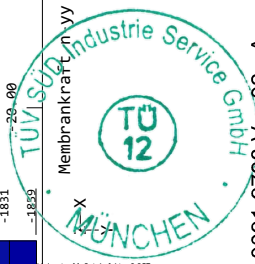
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

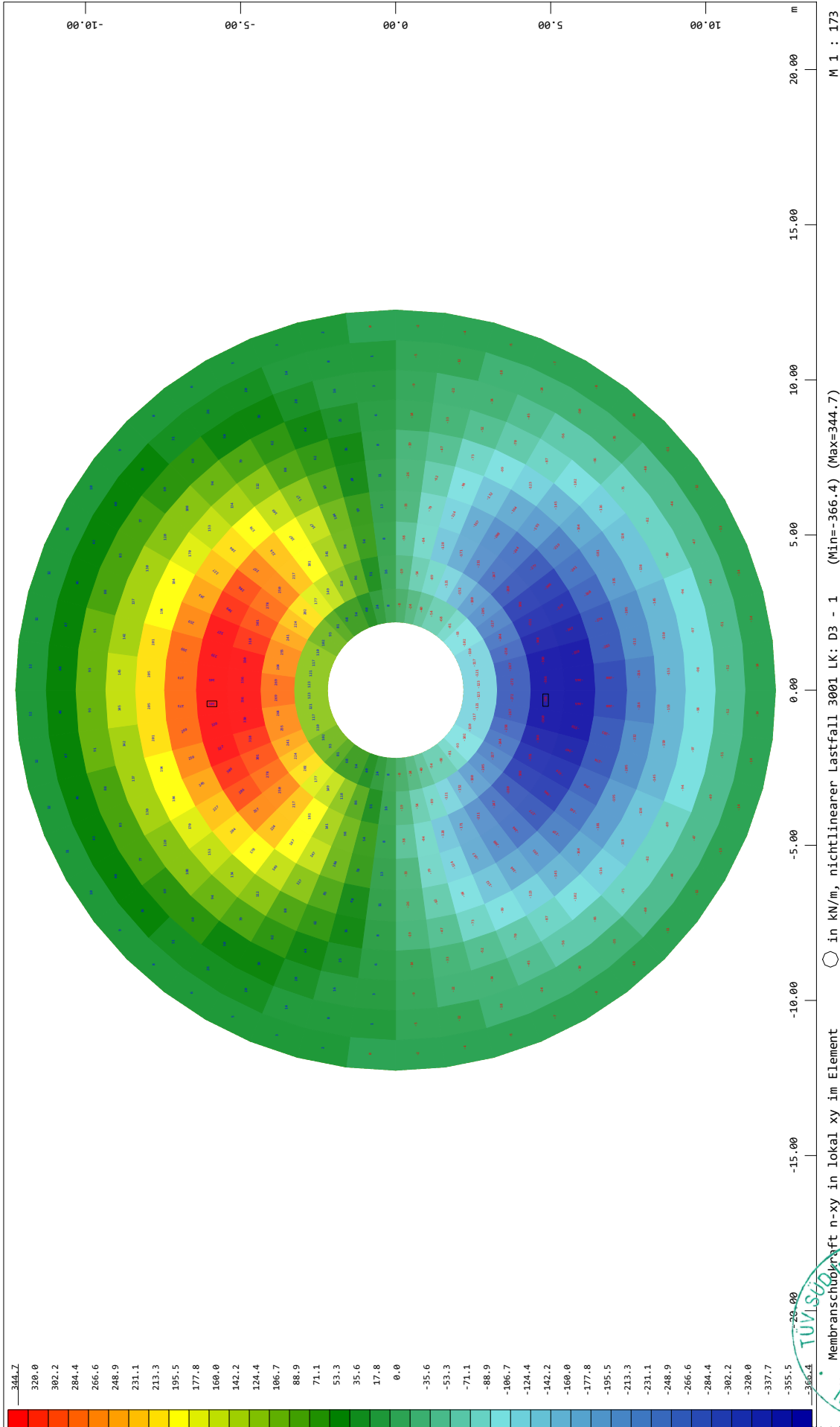


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m



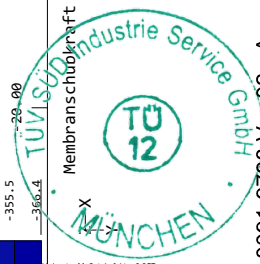
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



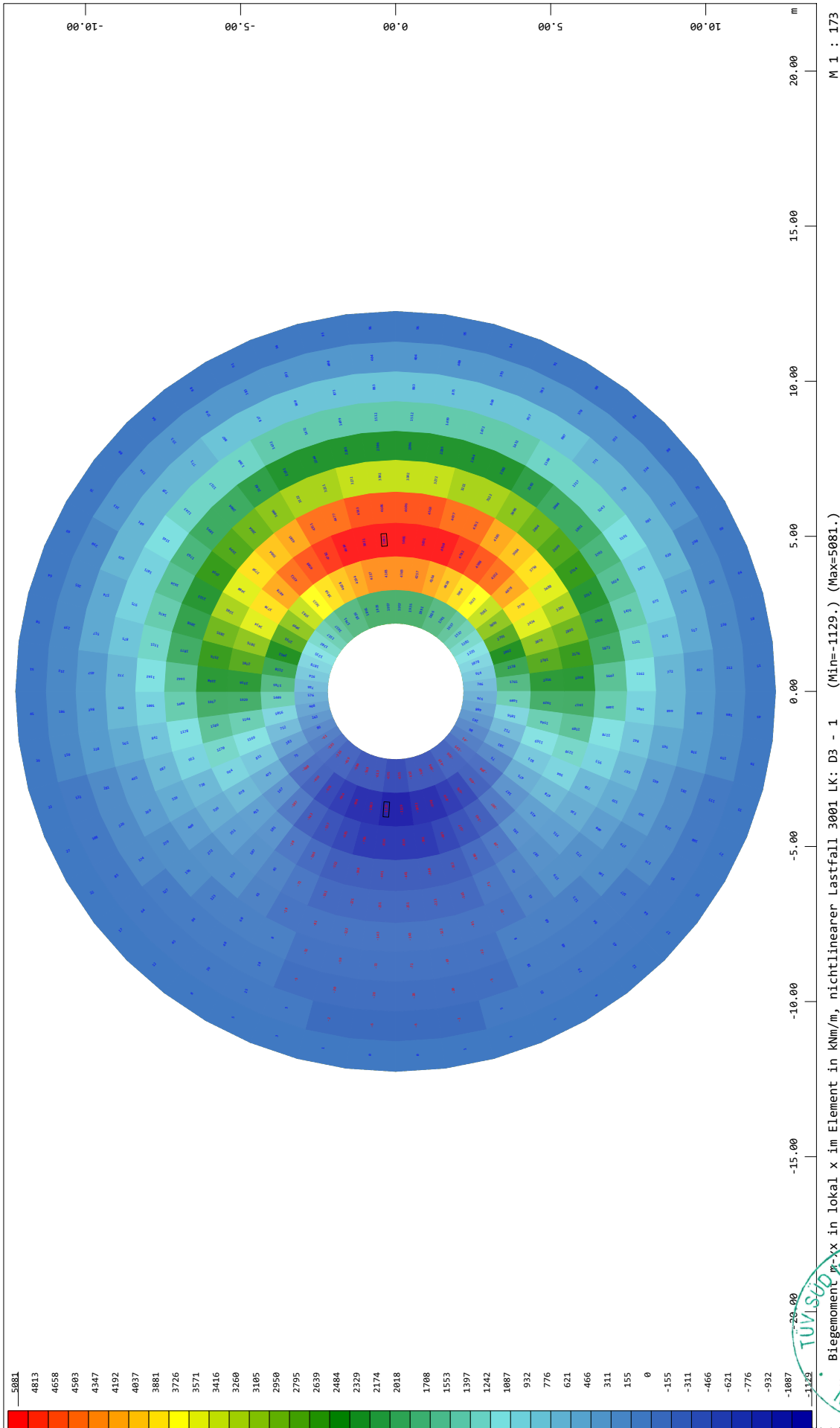
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

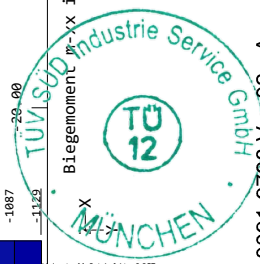


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

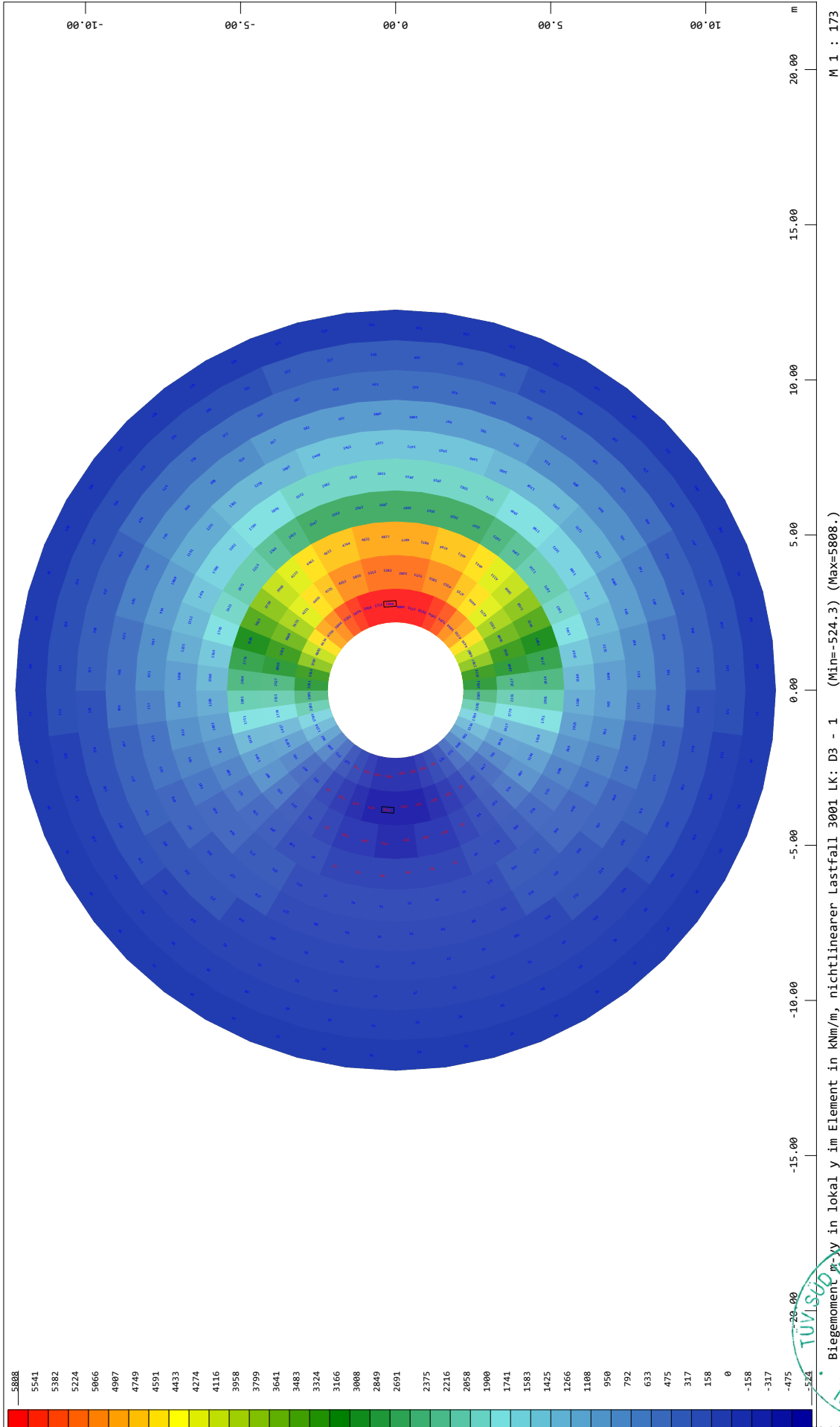


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m



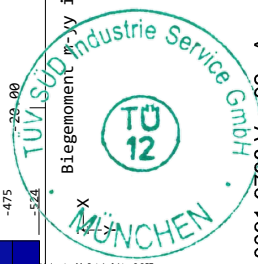
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



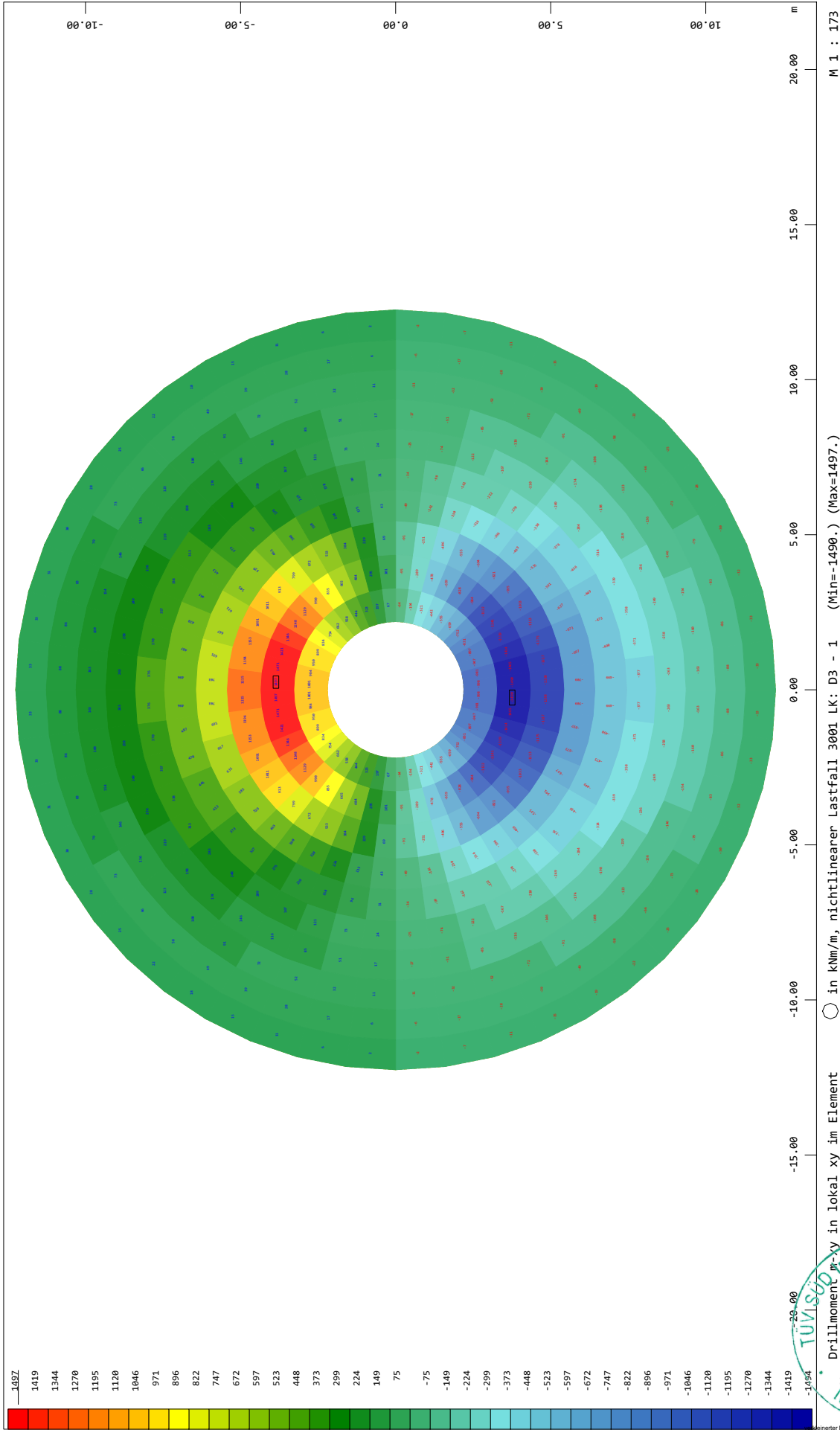
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

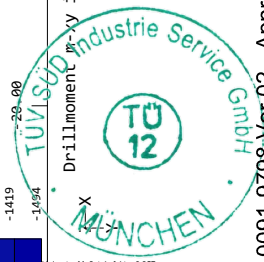


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

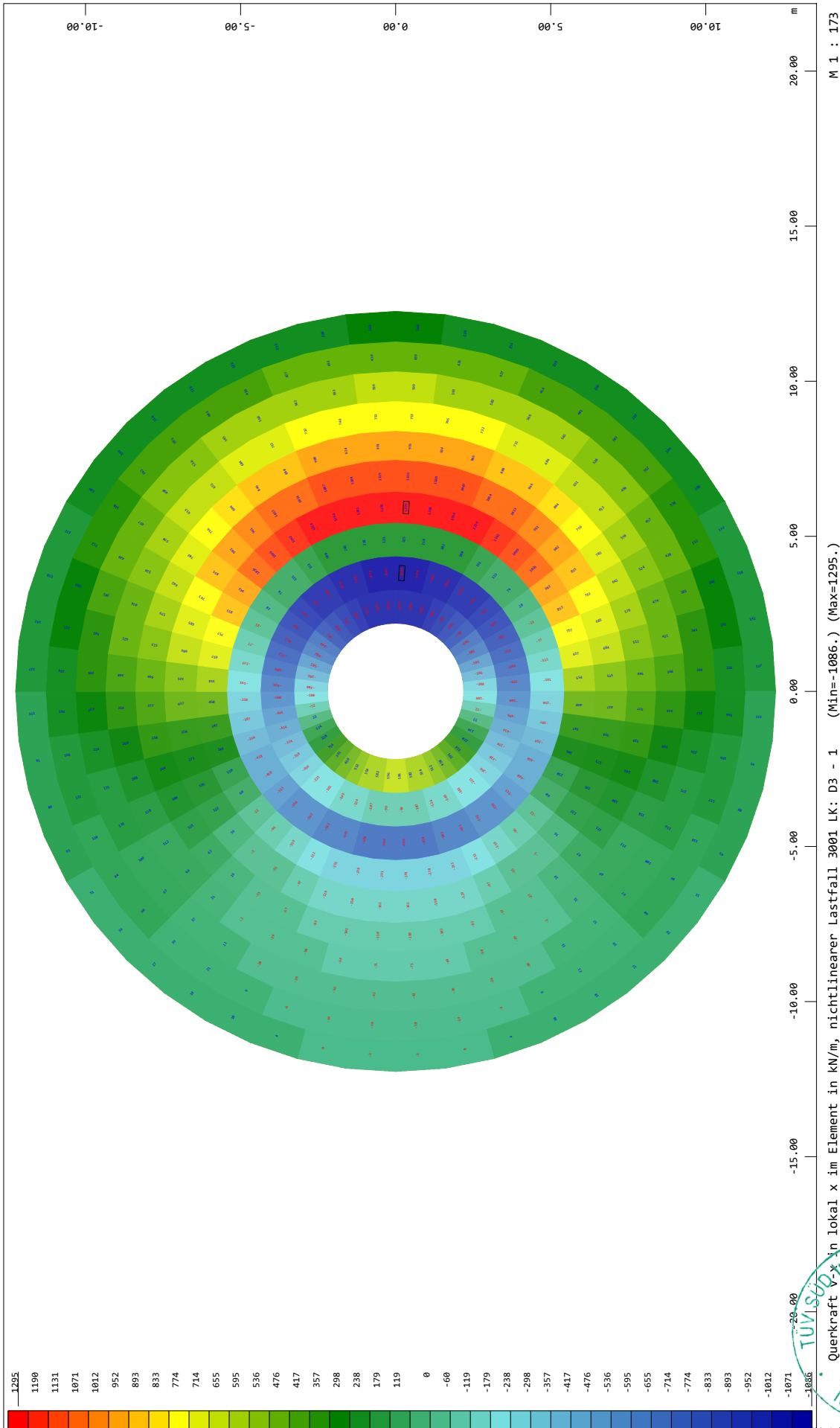


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

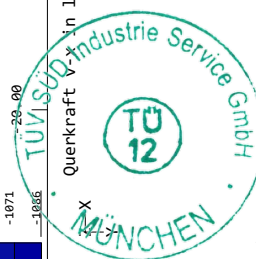


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

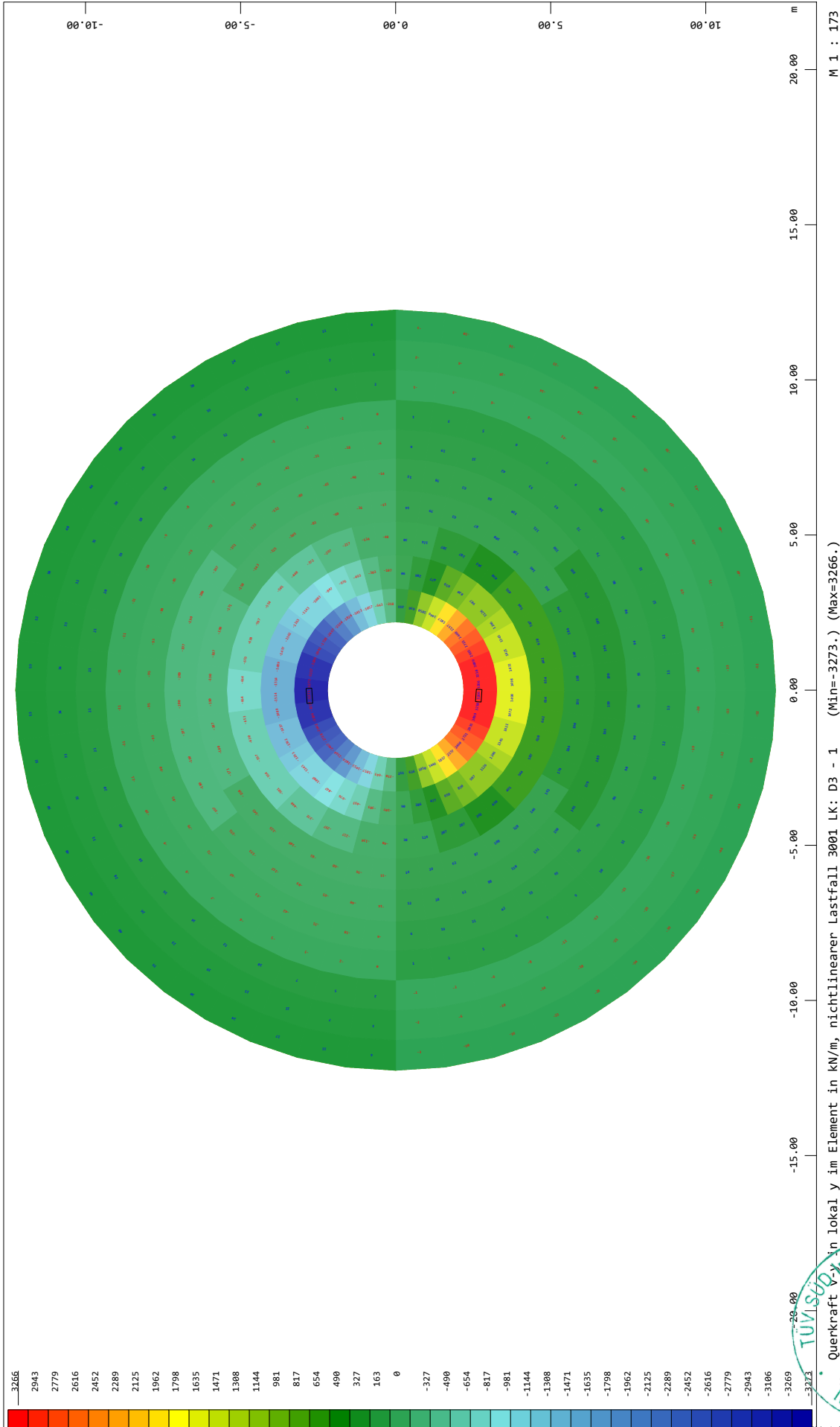


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

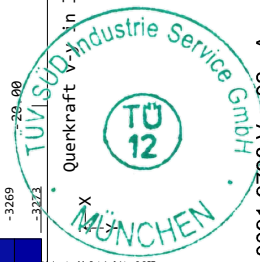


System

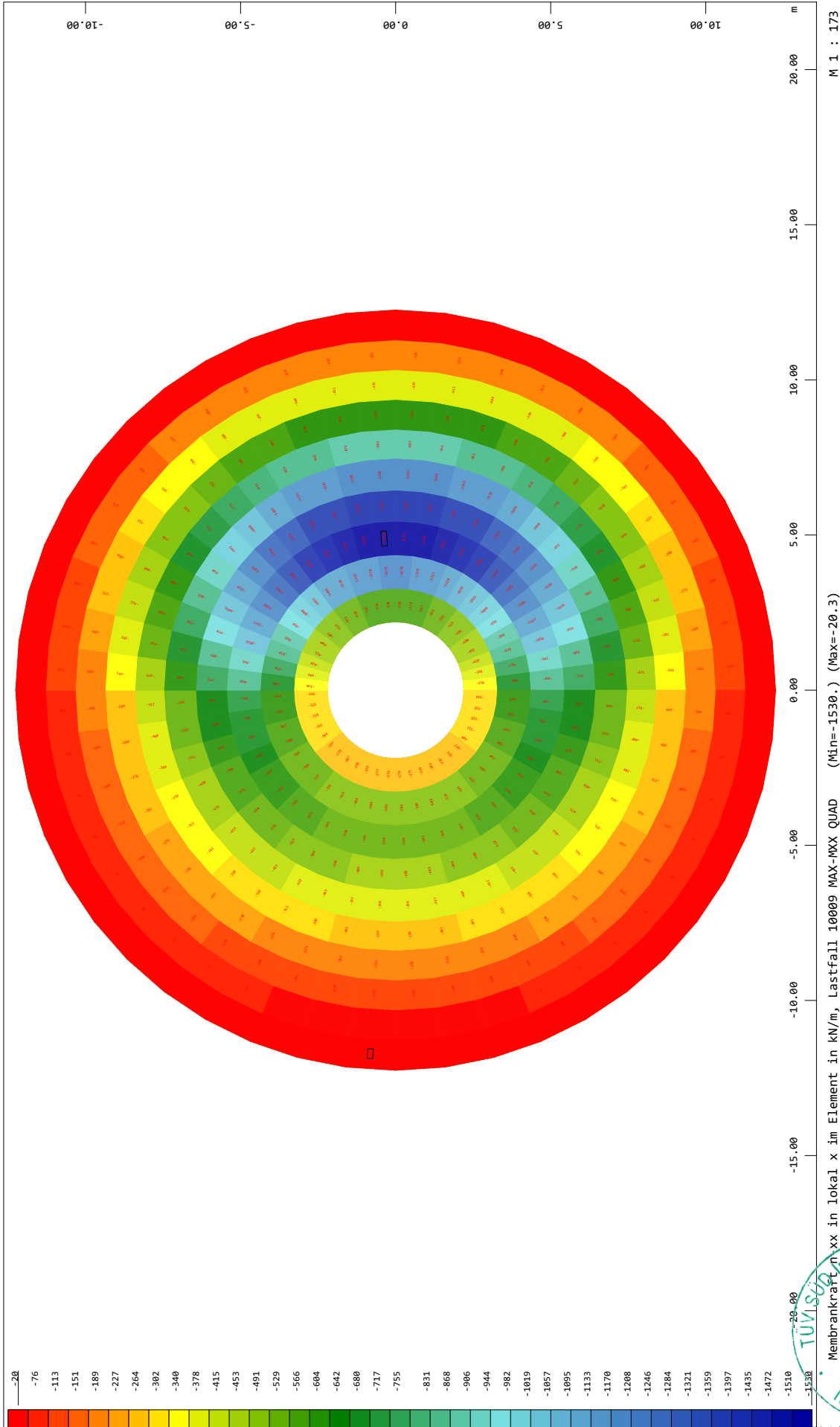
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

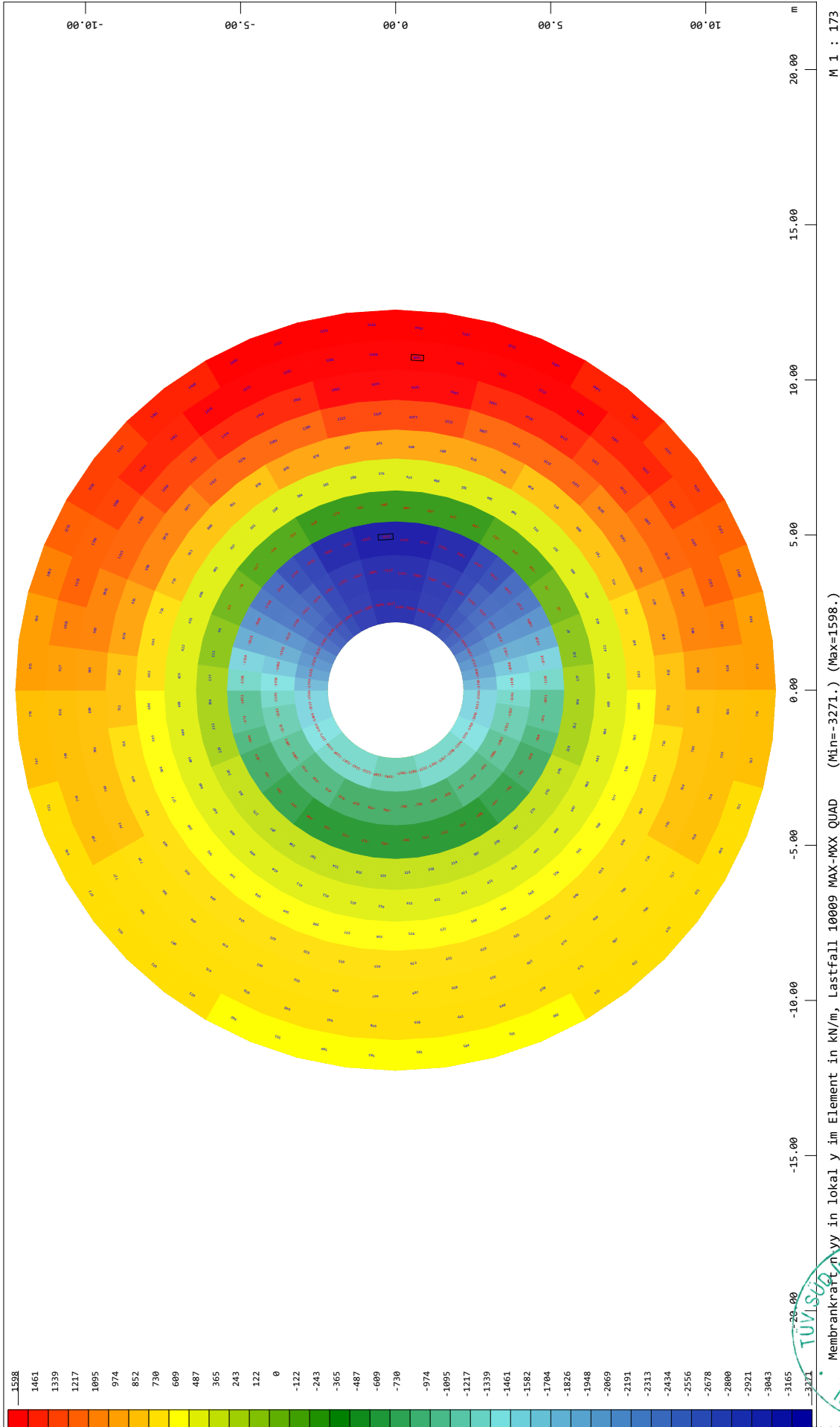


System



Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

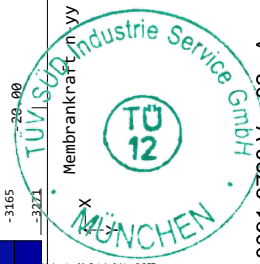
System



SOFISTIK AG - www.sofistik.de

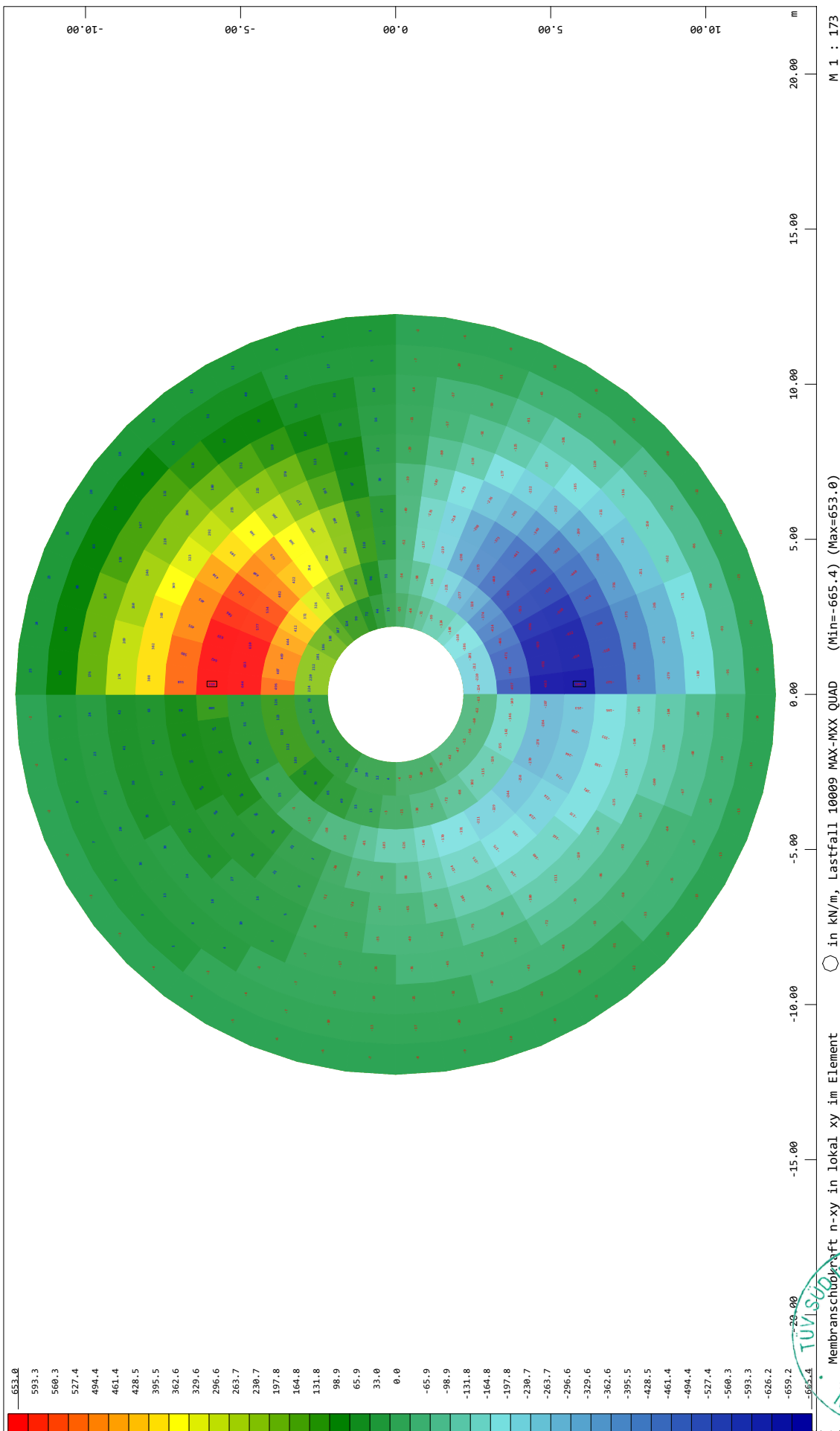
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

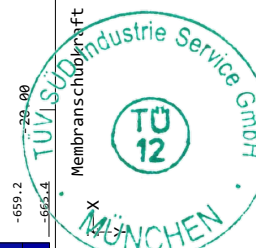


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

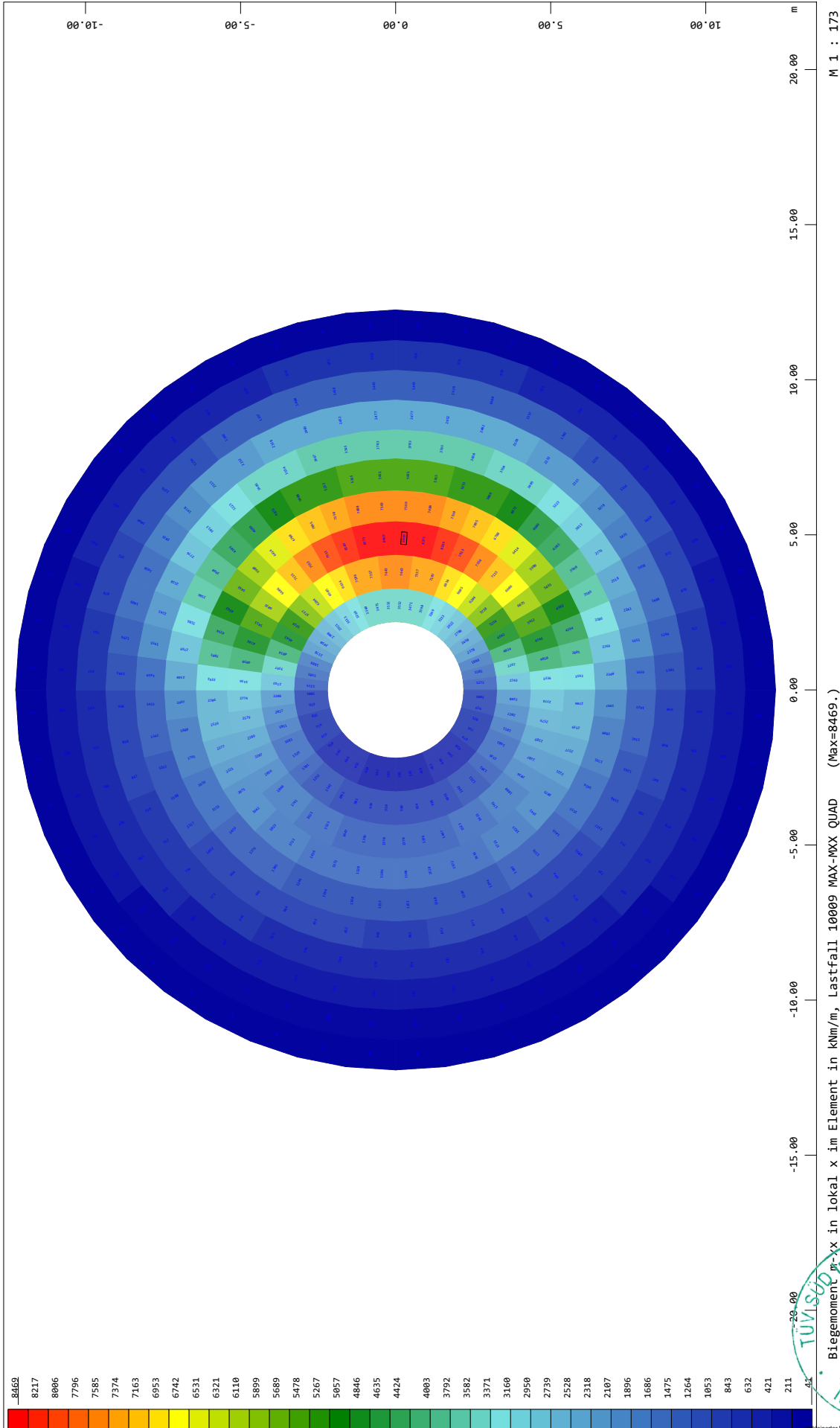


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m



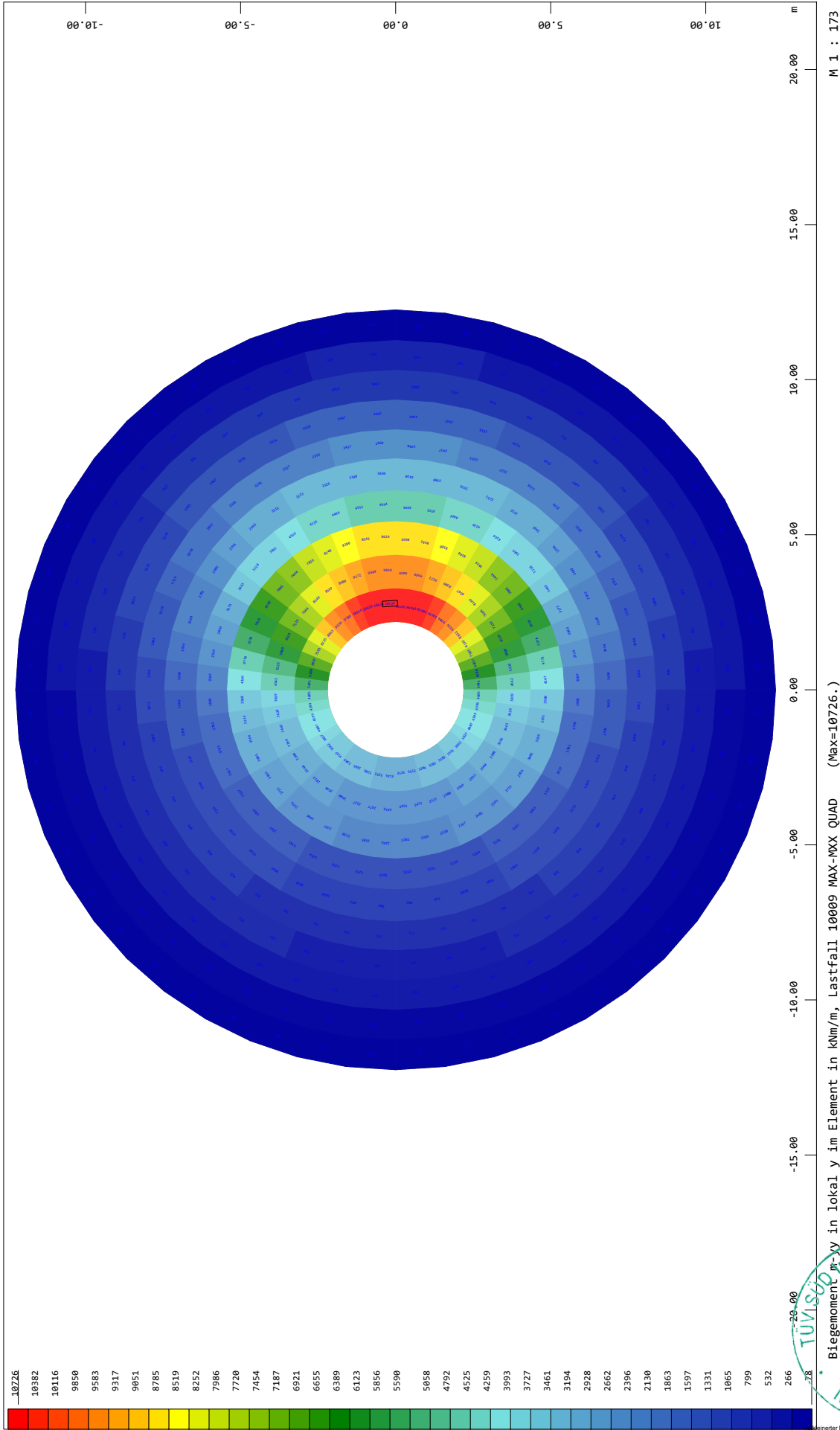
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

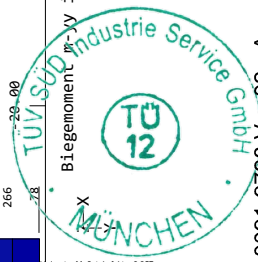


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

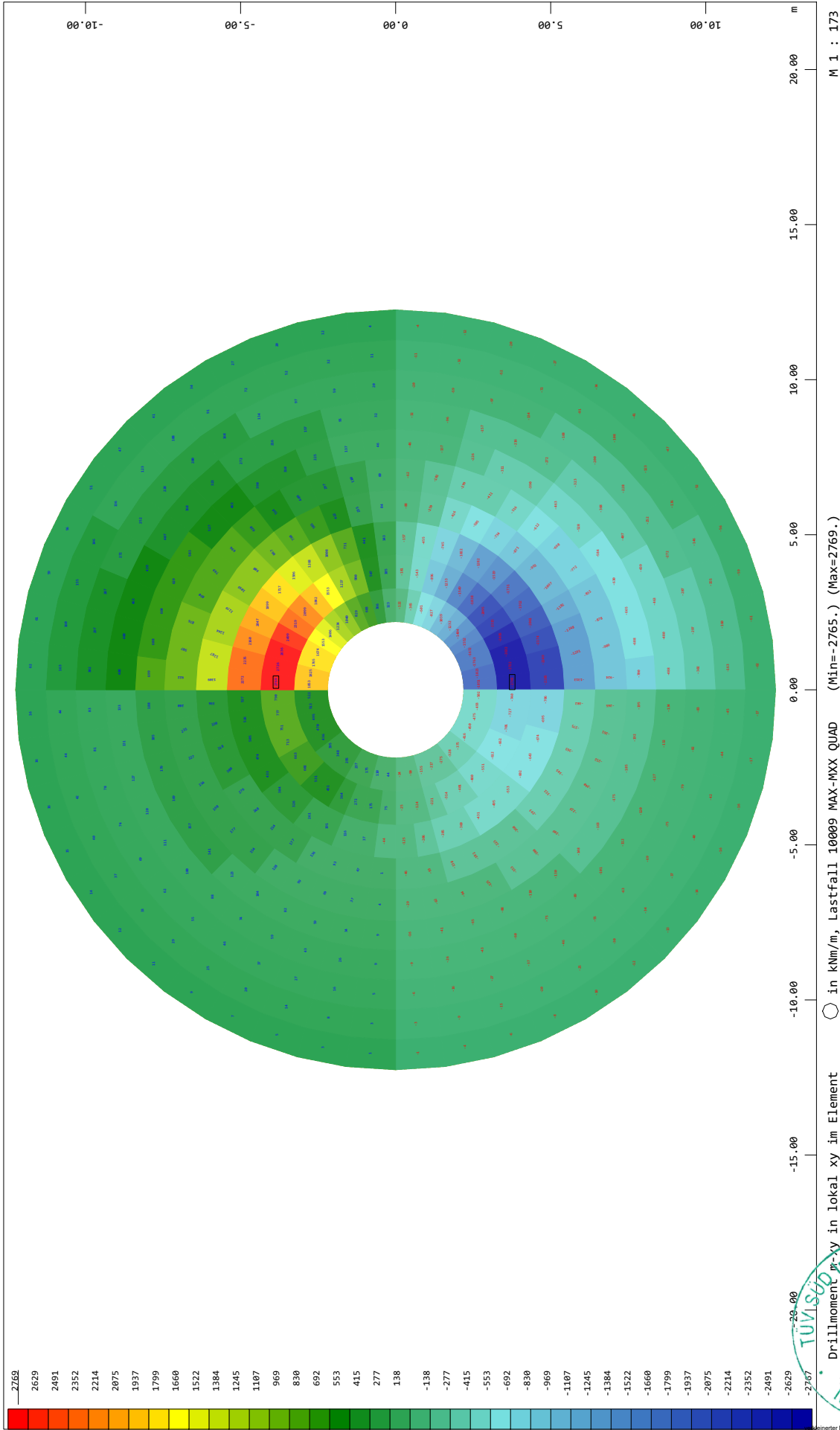


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m



System

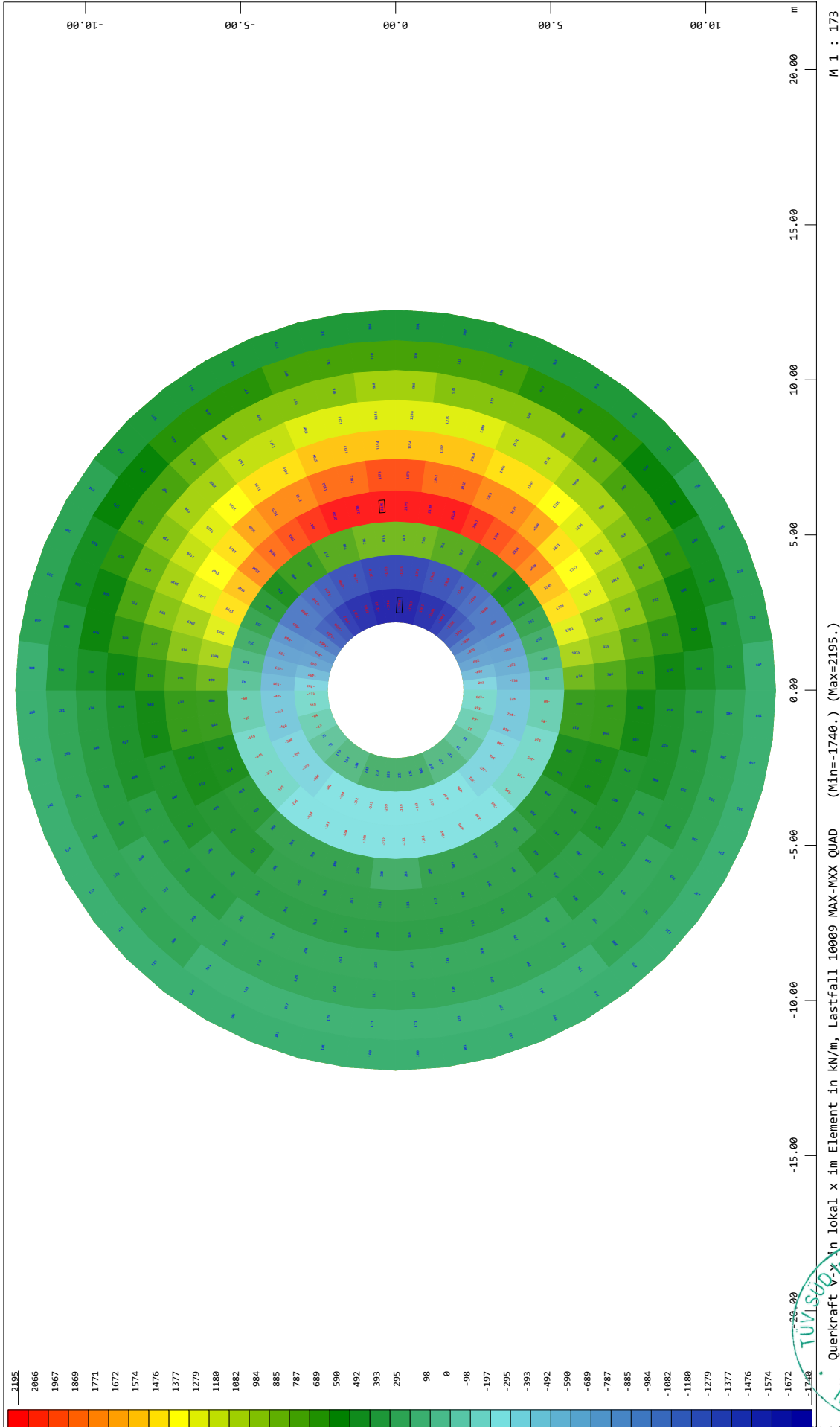
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



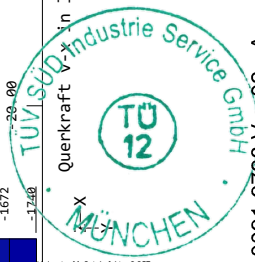
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

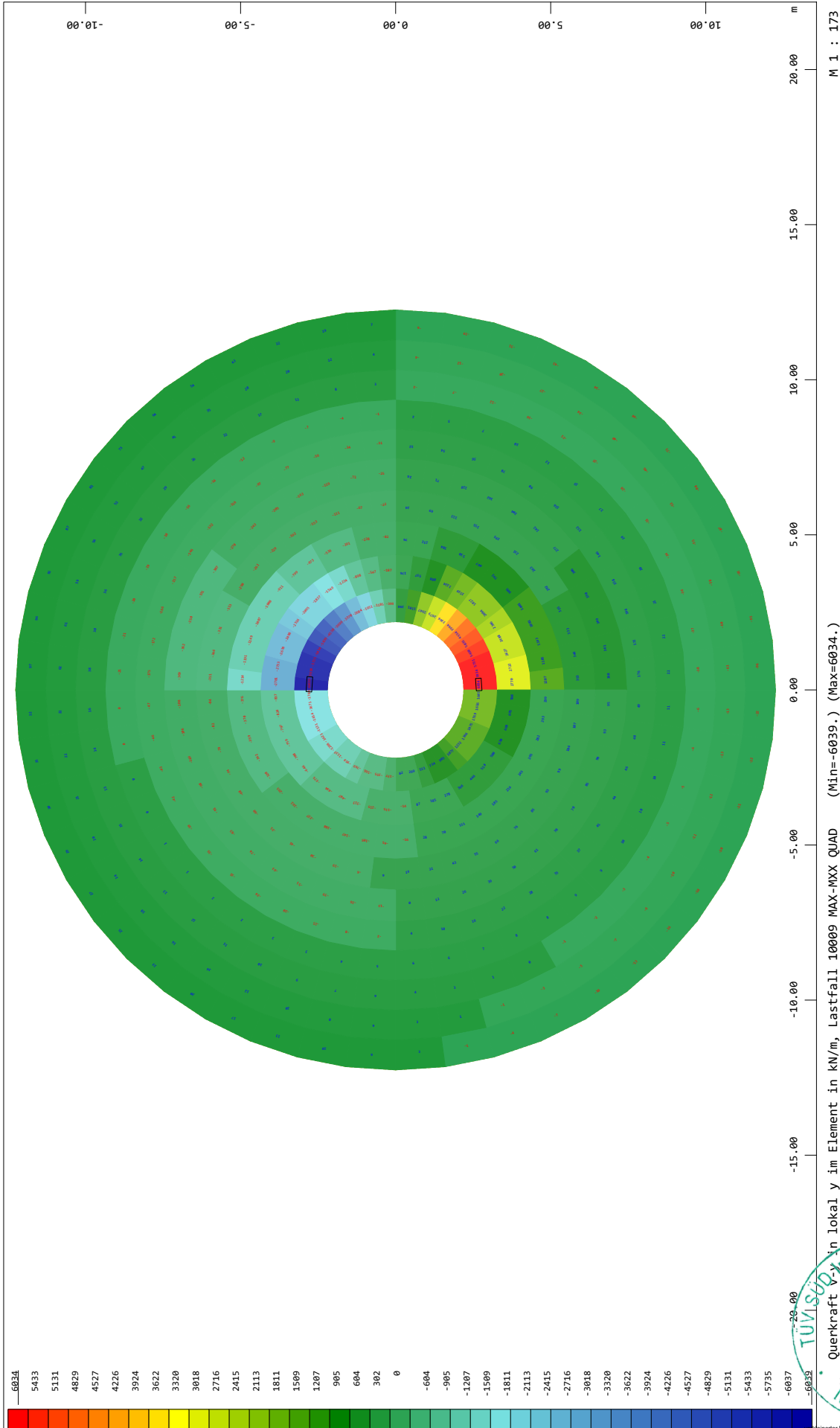


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m



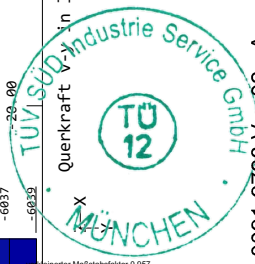
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

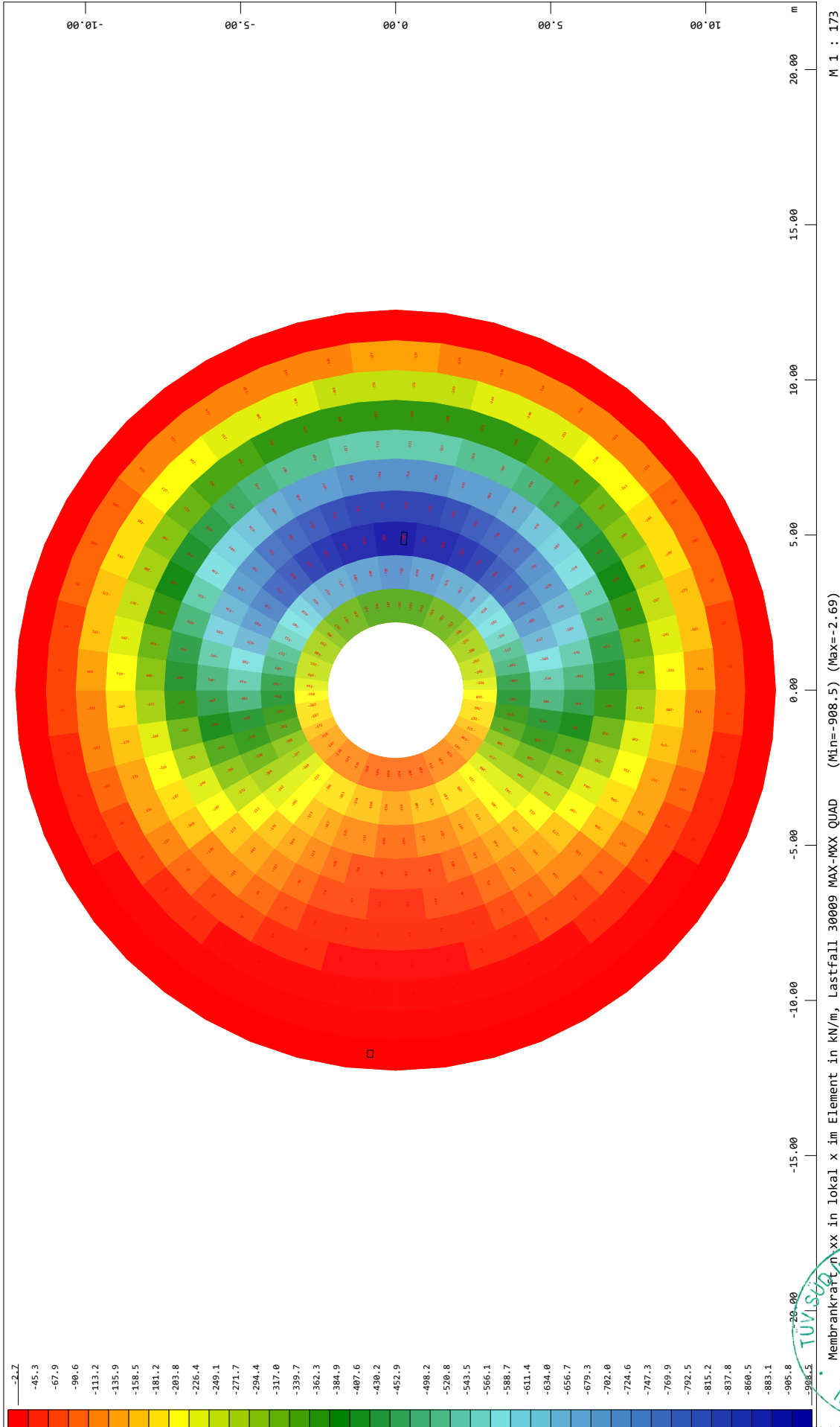


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE



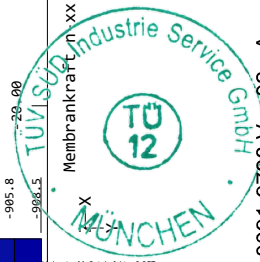
System



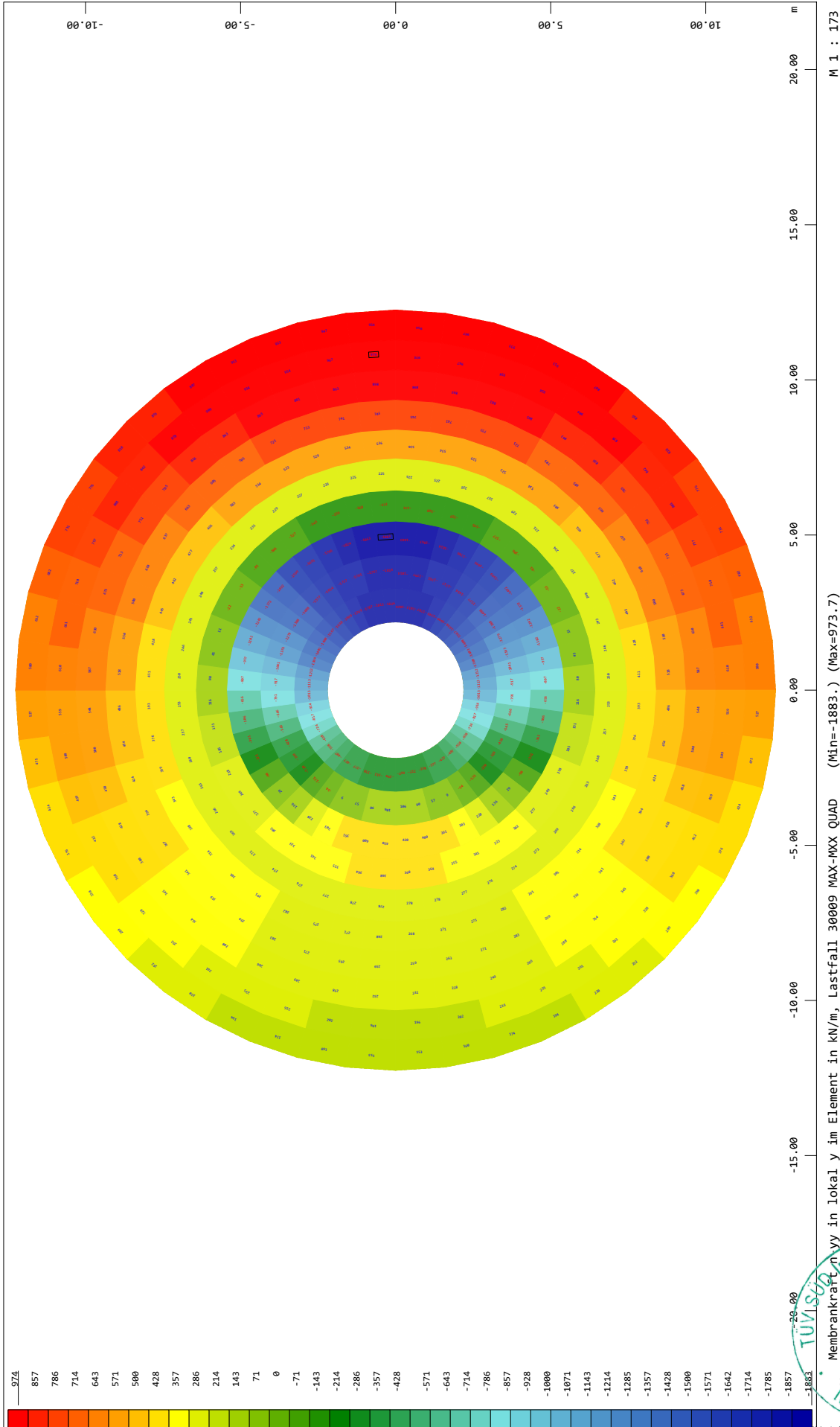
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



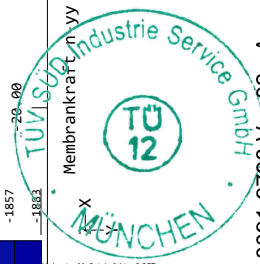
System



SOFISTIK AG - www.sofistik.de

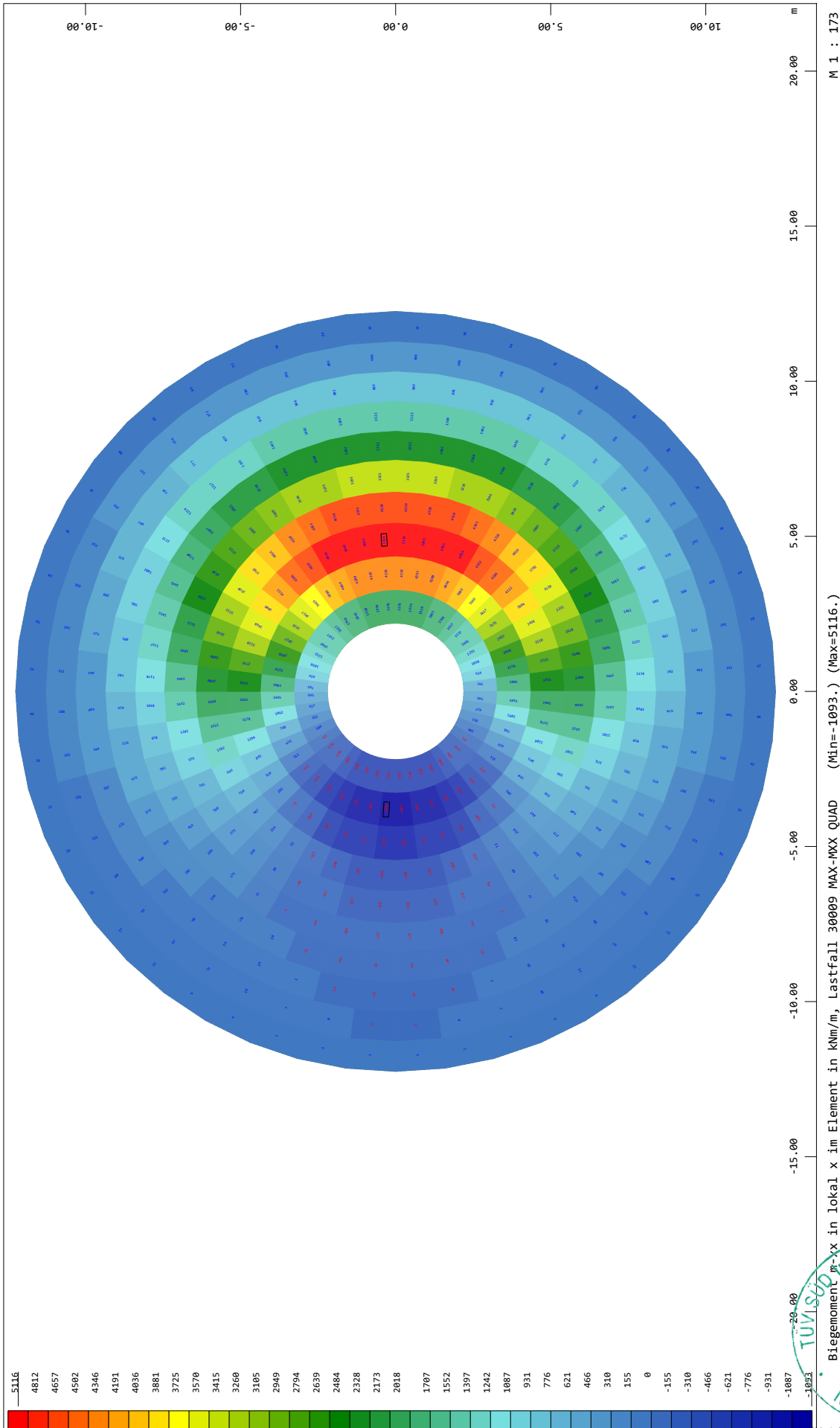
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

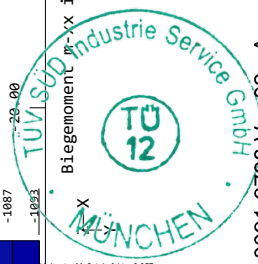


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

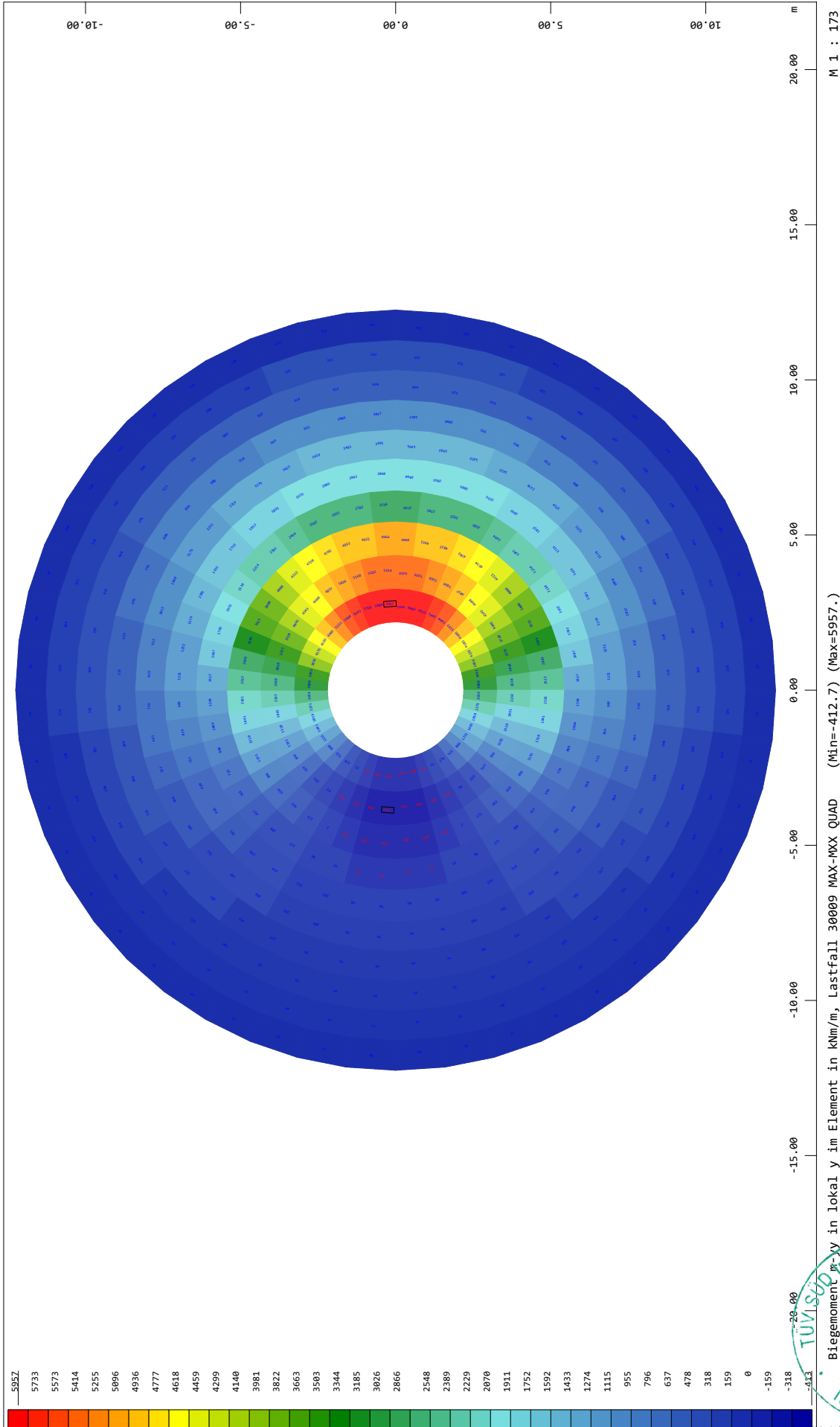


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

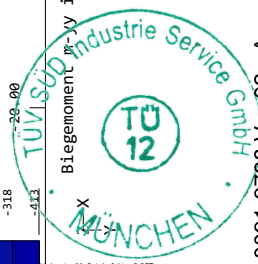


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

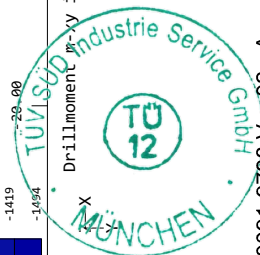
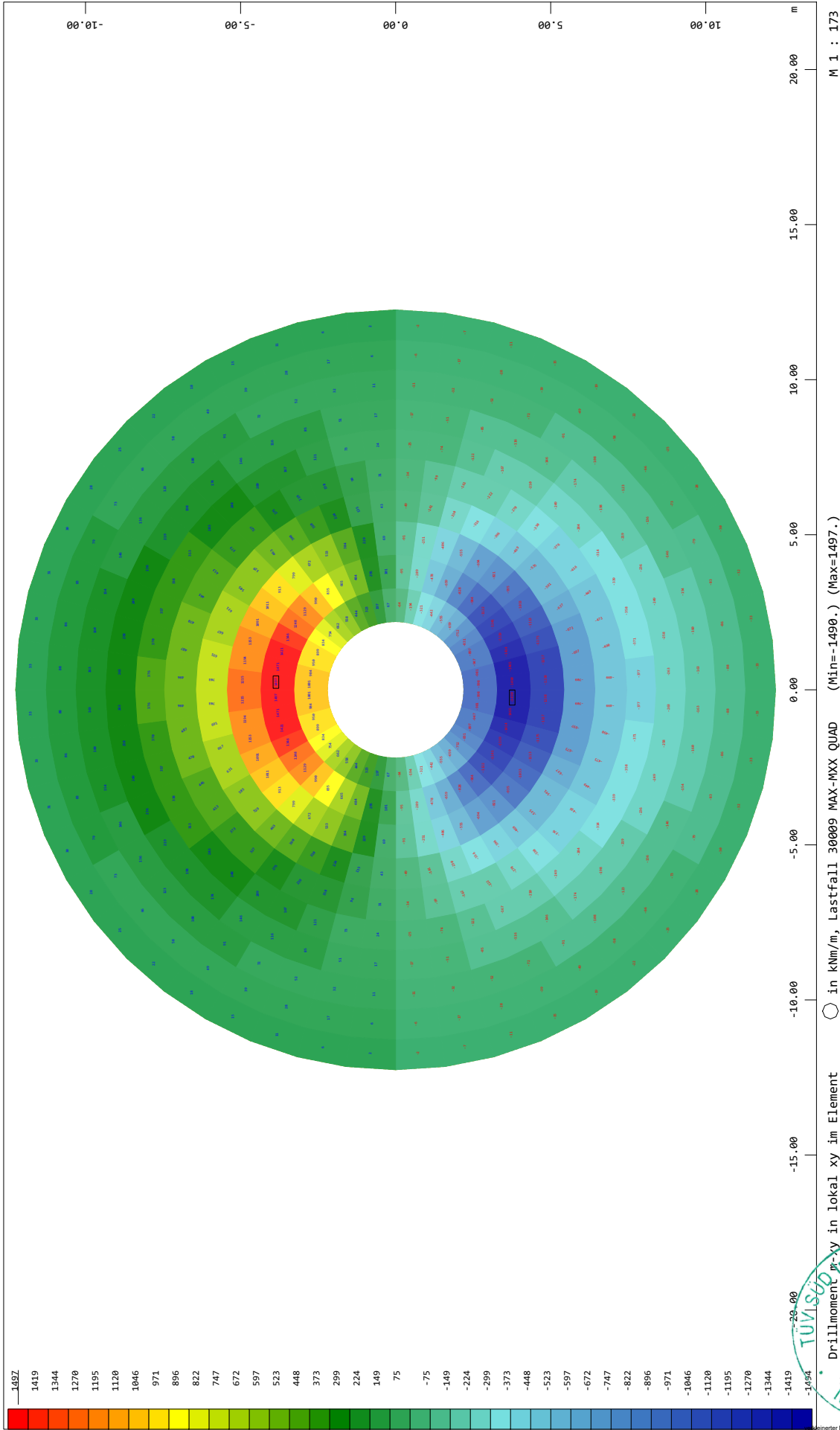


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m



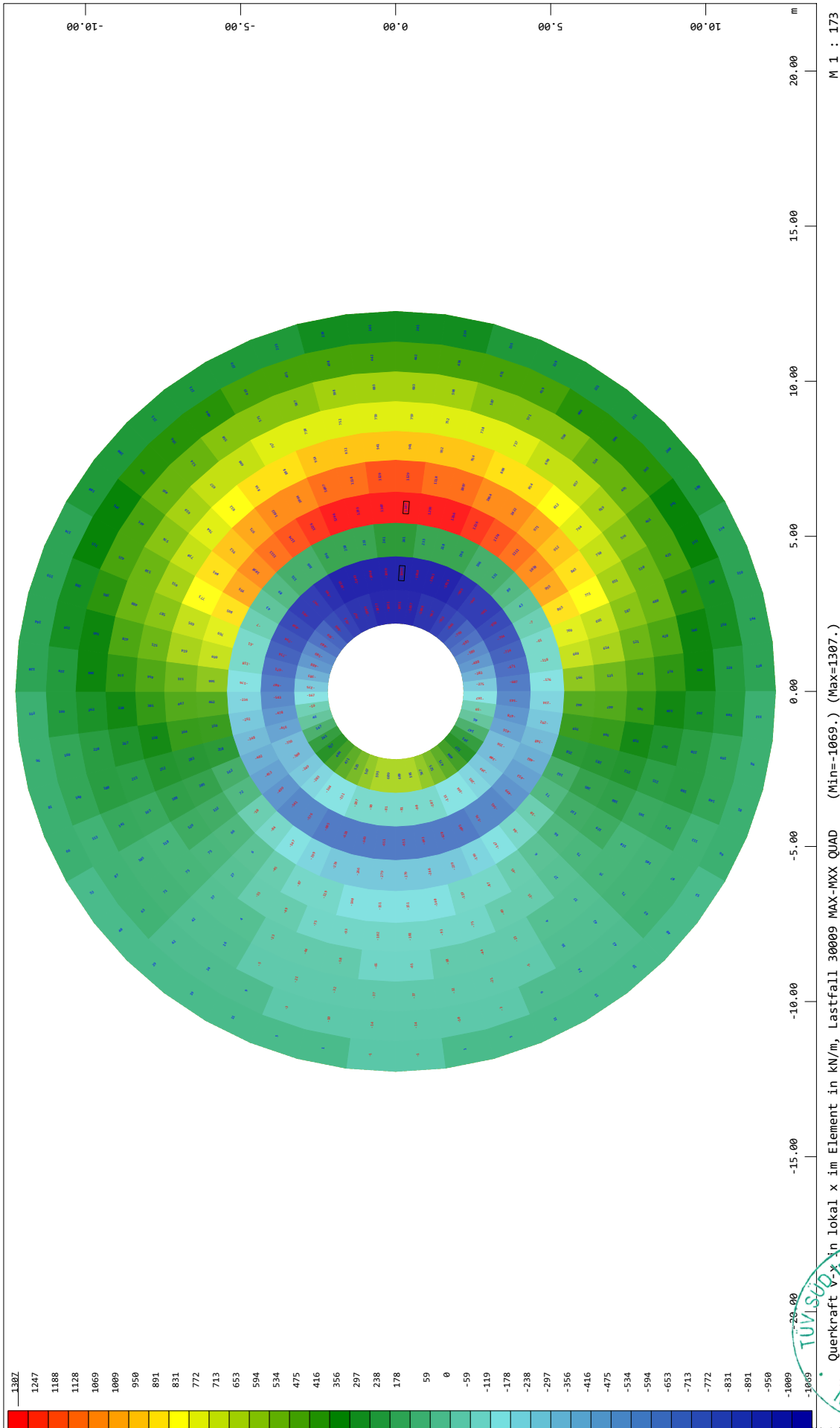
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

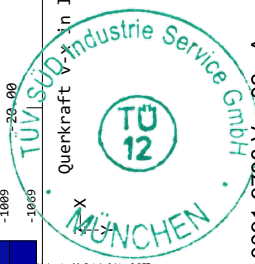


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

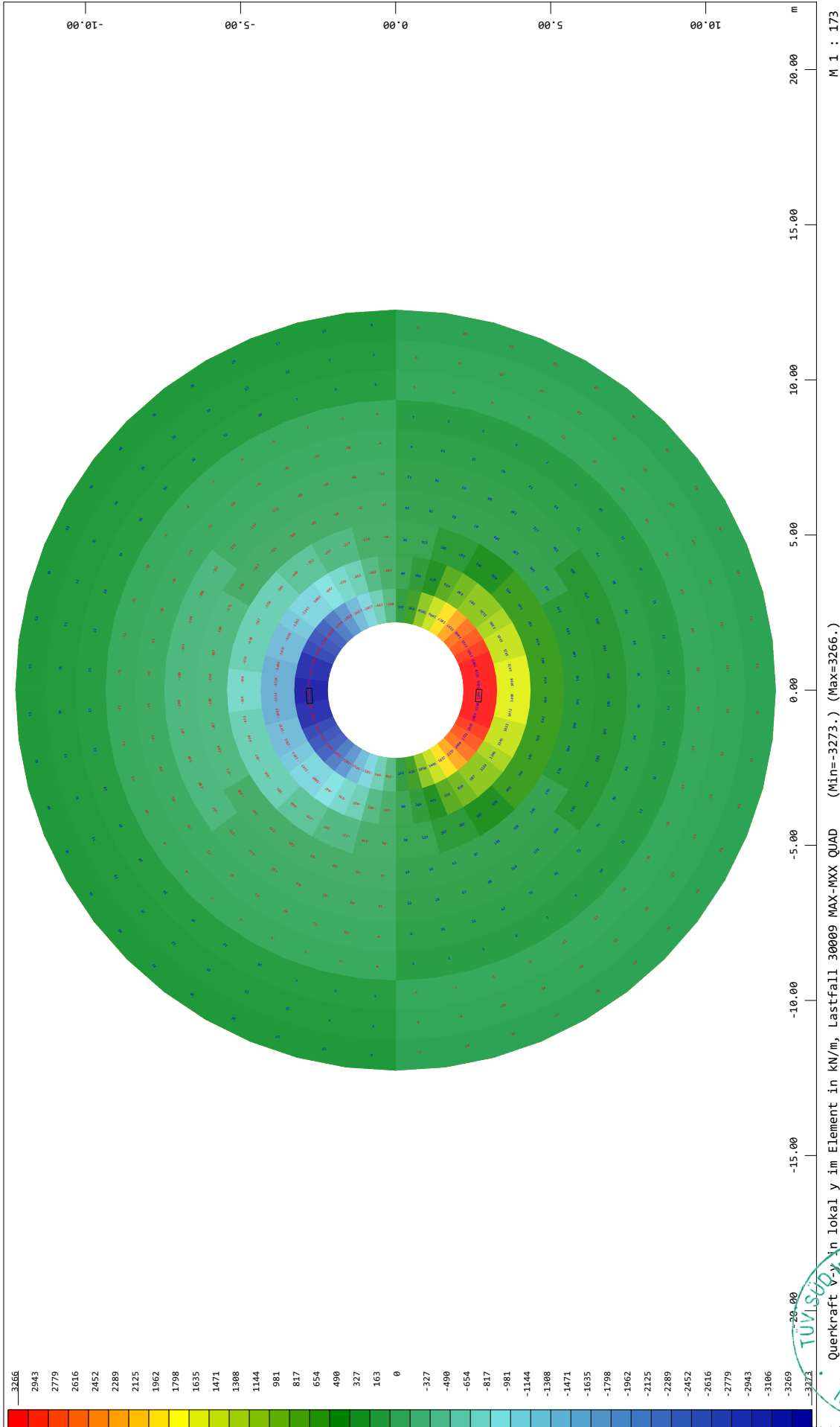


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

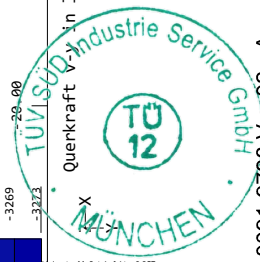


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

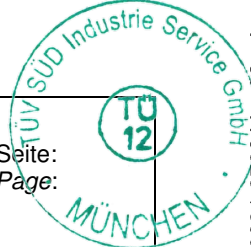


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m



Verfasser:		 Fortschritt baut man aus Ideen	Proj.-Nr.:
			21683-T20
WEA: Vestas V162-5.6	NH: 169 m + 166 m	Hybridturm: T20	Datum:
			01.12.2020

Anhang E: Erforderliche Bewehrung / Appendix E: Required reinforcement

Bauteil:	Fundament D = 24,5 m / <i>Foundation D = 24,5 m</i>	 Seite: Page:
Block:	Anhang E: Erforderliche Bewehrung / Appendix E: Required reinforcement	
Vorgang:		



System

Inhaltsverzeichnis

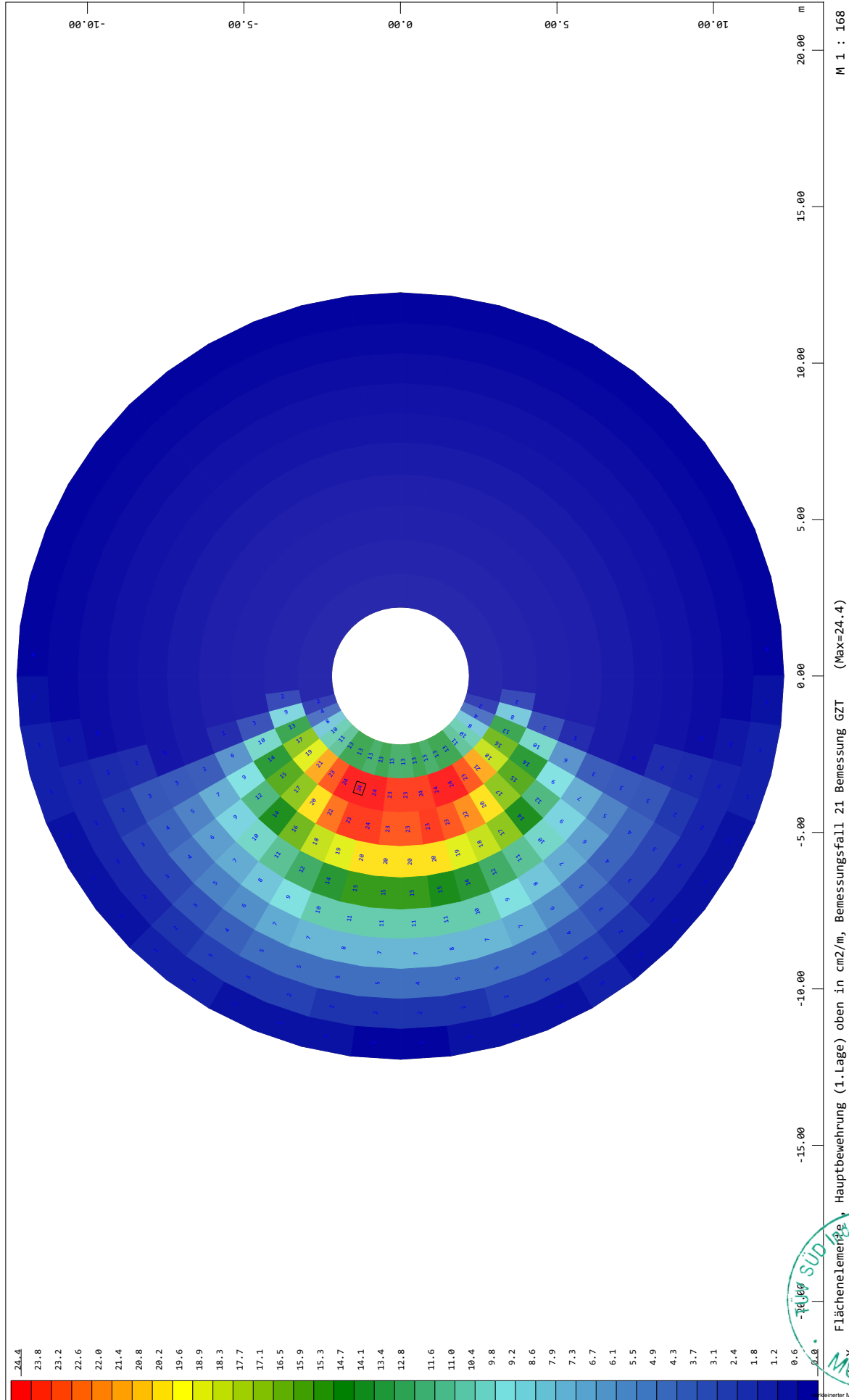
WINGRAF - GRAFIK FUER FINITE ELEMENTE

Flächenelemente , Hauptbewehrung (1.Lage) oben BF: 21
 Flächenelemente , Querbewehrung (2.Lage) oben BF: 21
 Flächenelemente , Querbewehrung (2.Lage) unten BF: 21
 Flächenelemente , Hauptbewehrung (1.Lage) unten BF: 21
 Flächenelemente , Bügelbewehrung BF: 21
 Flächenelemente , Hauptbewehrung (1.Lage) oben BF: 22
 Flächenelemente , Querbewehrung (2.Lage) oben BF: 22
 Flächenelemente , Querbewehrung (2.Lage) unten BF: 22
 Flächenelemente , Hauptbewehrung (1.Lage) unten BF: 22
 Flächenelemente , Bügelbewehrung BF: 22
 max.VED / VRDmax BF: 21
 Flächenelemente , Maßgebender Nachweis Hauptbewehrung (1.Lage) oben BF: 22
 Flächenelemente , Maßgebender Nachweis Querbewehrung (2.Lage) oben BF: 22
 Flächenelemente , Maßgebender Nachweis Querbewehrung (2.Lage) unten BF: 22
 Flächenelemente , Maßgebender Nachweis Hauptbewehrung (1.Lage) unten BF: 22

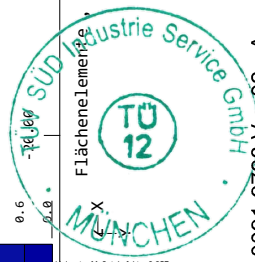
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



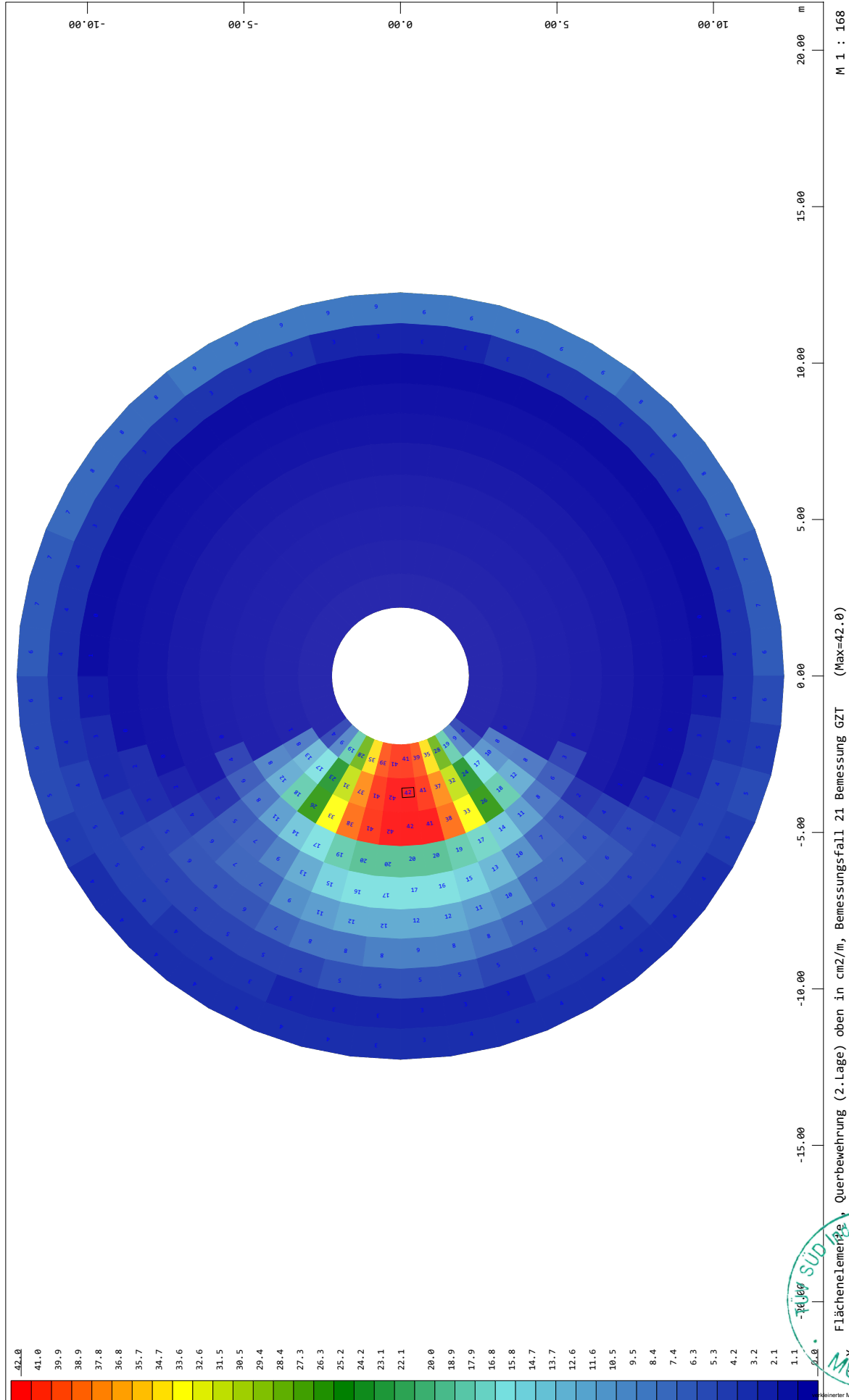
System



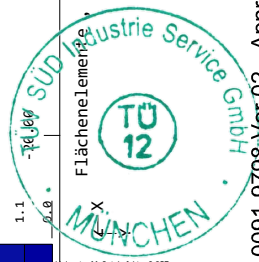
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



System

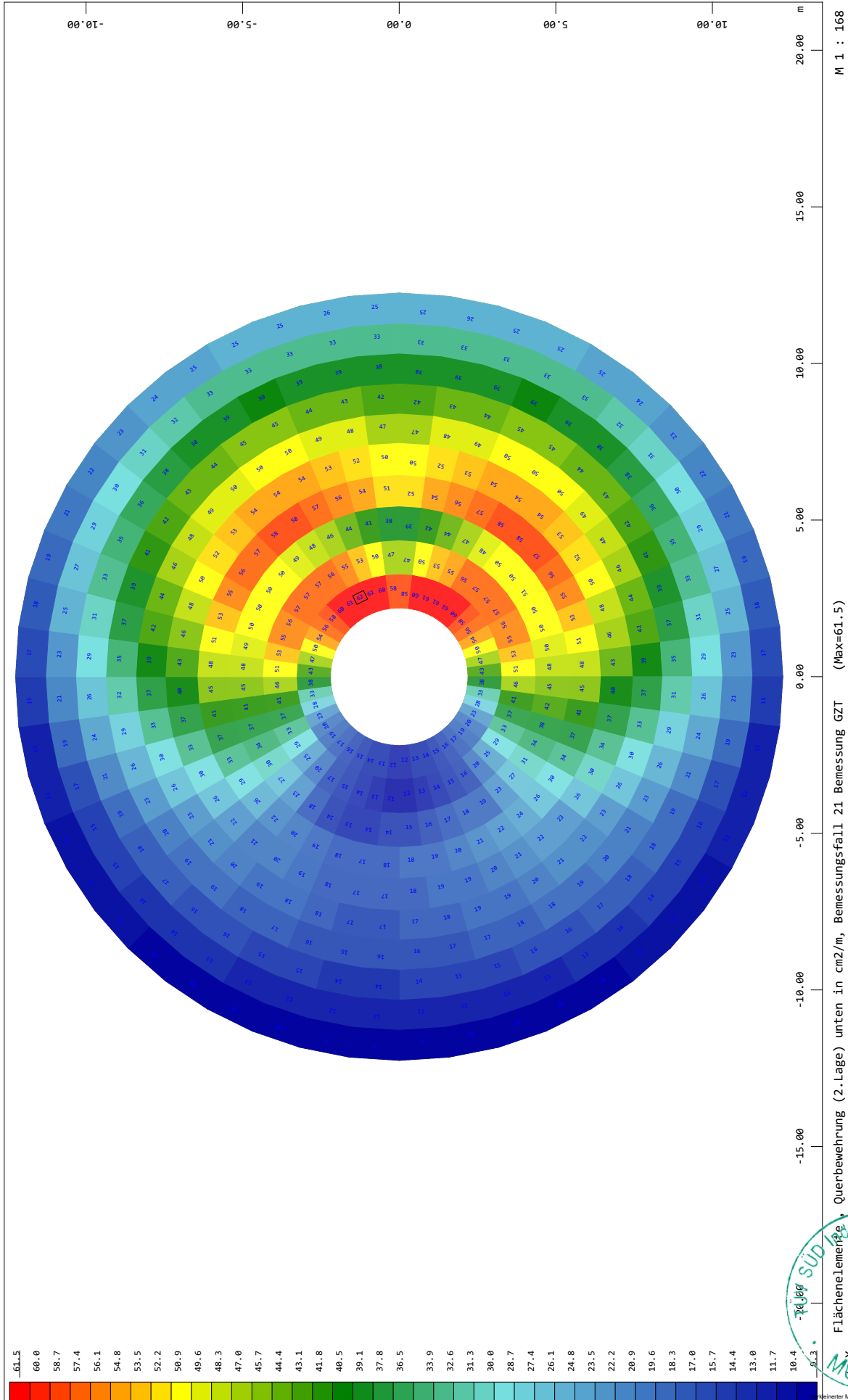


SOFISTIK AG - www.sofistik.de



System

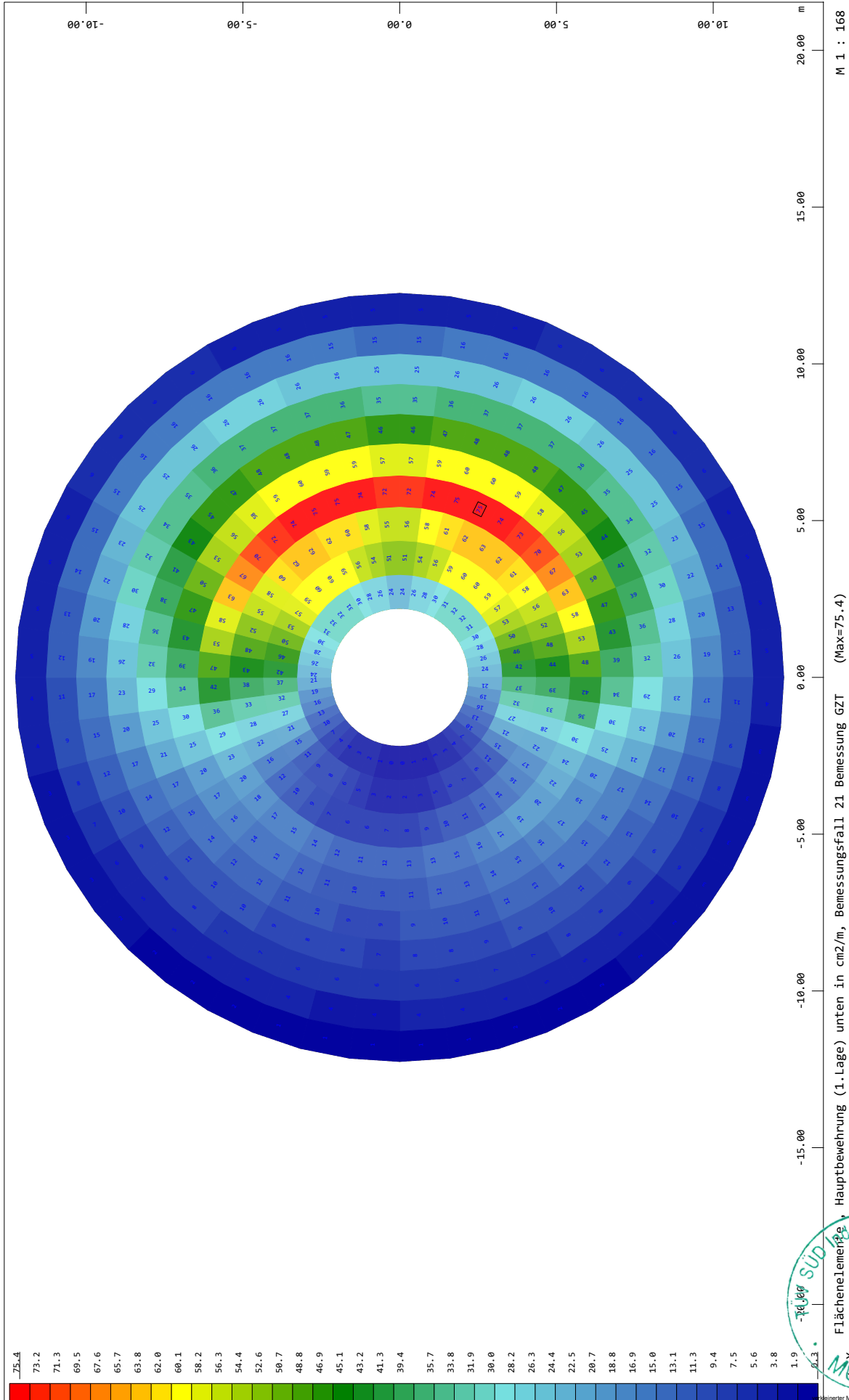
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



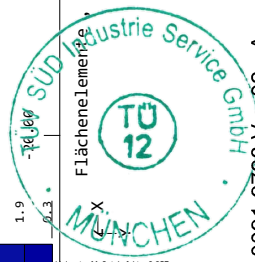
Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

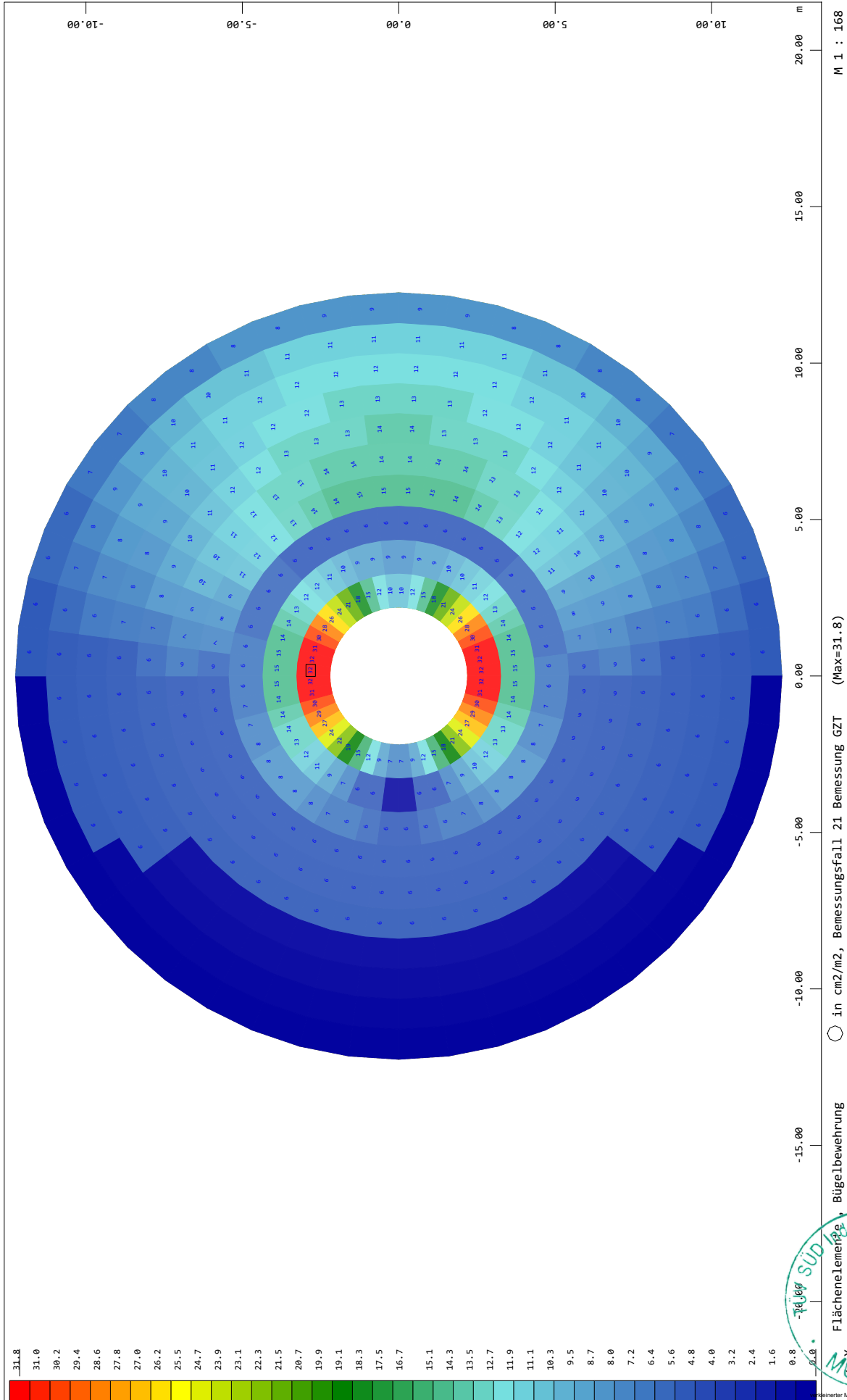


Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

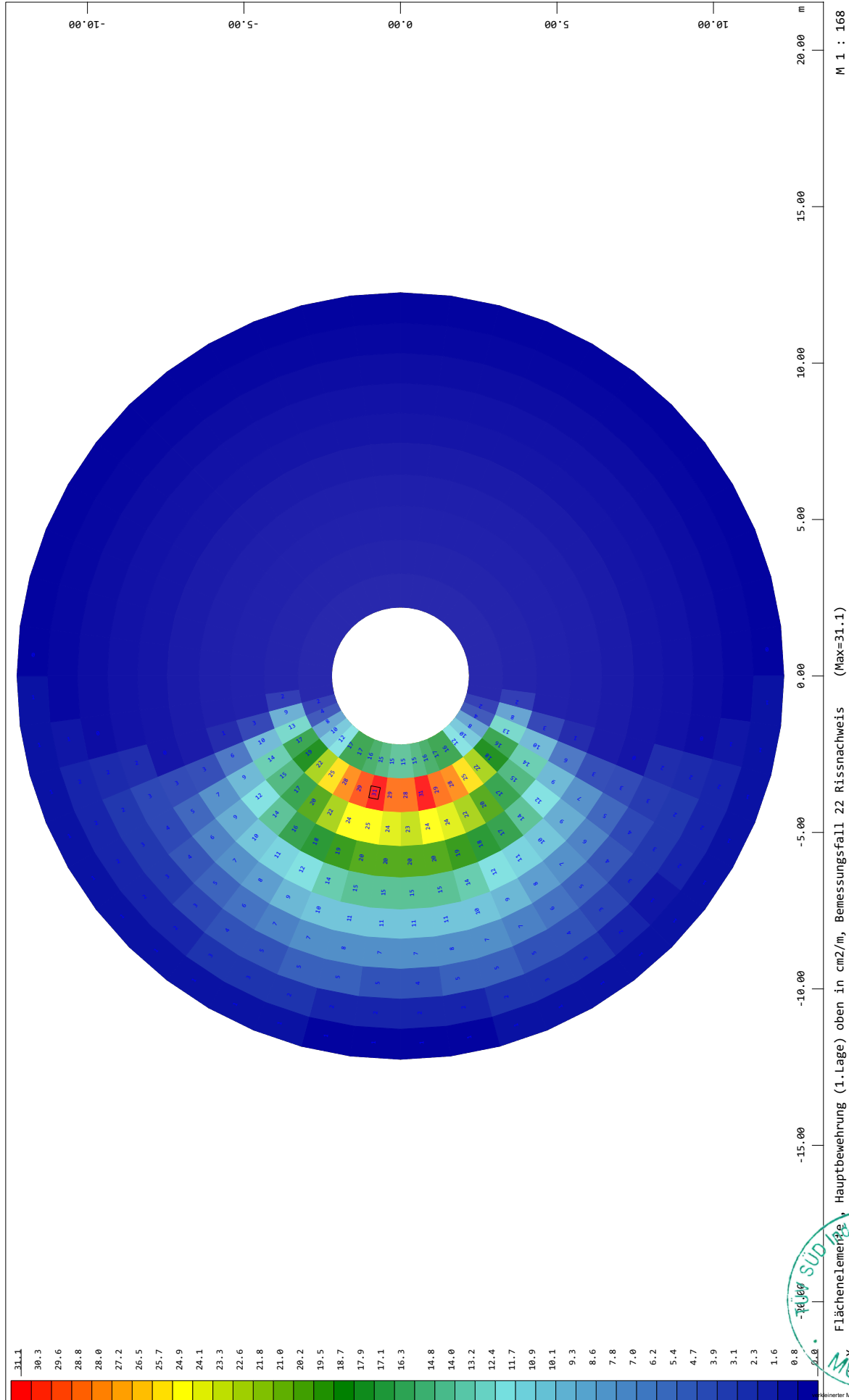


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

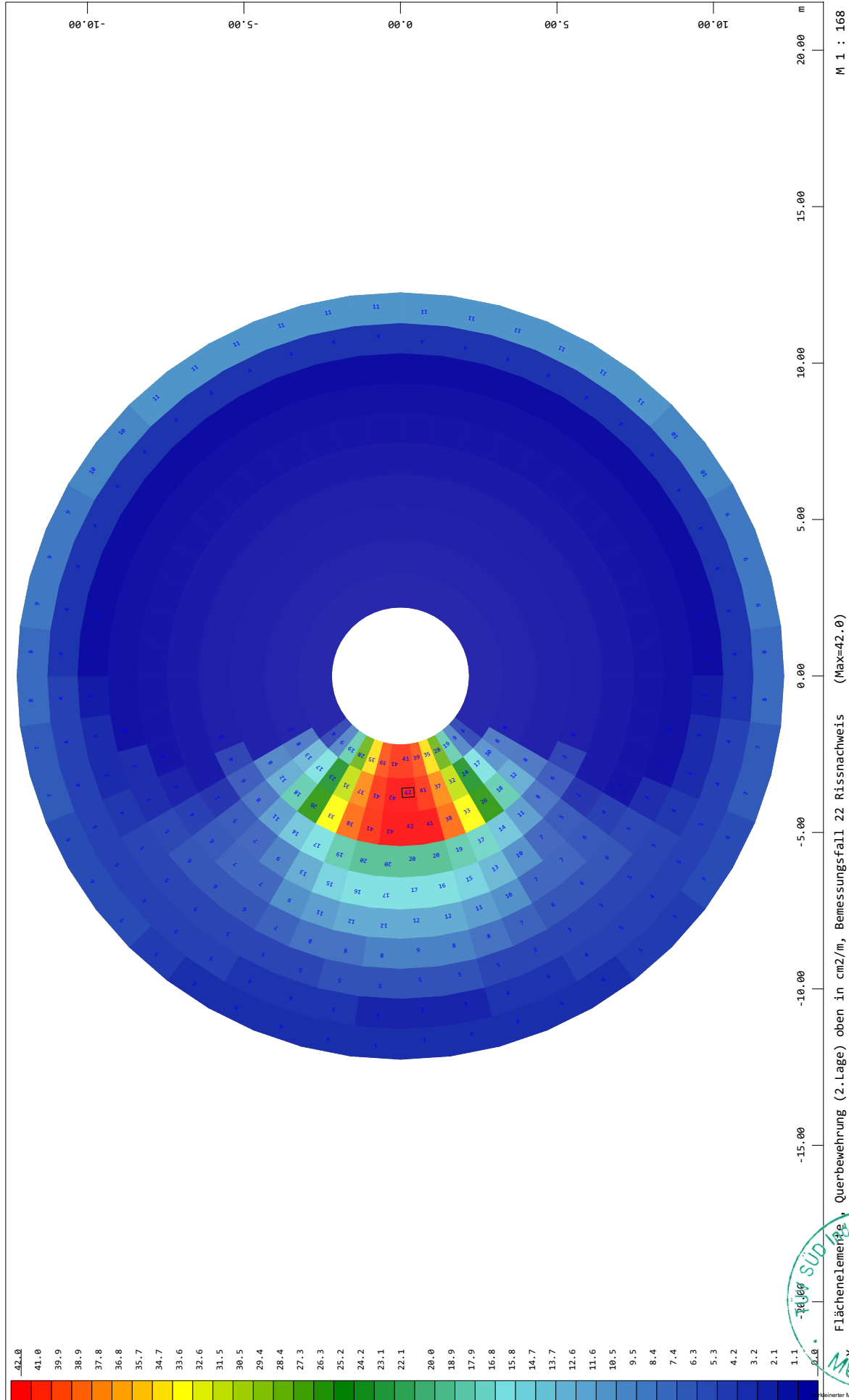


System



SOFISTIK AG - www.sofistik.de

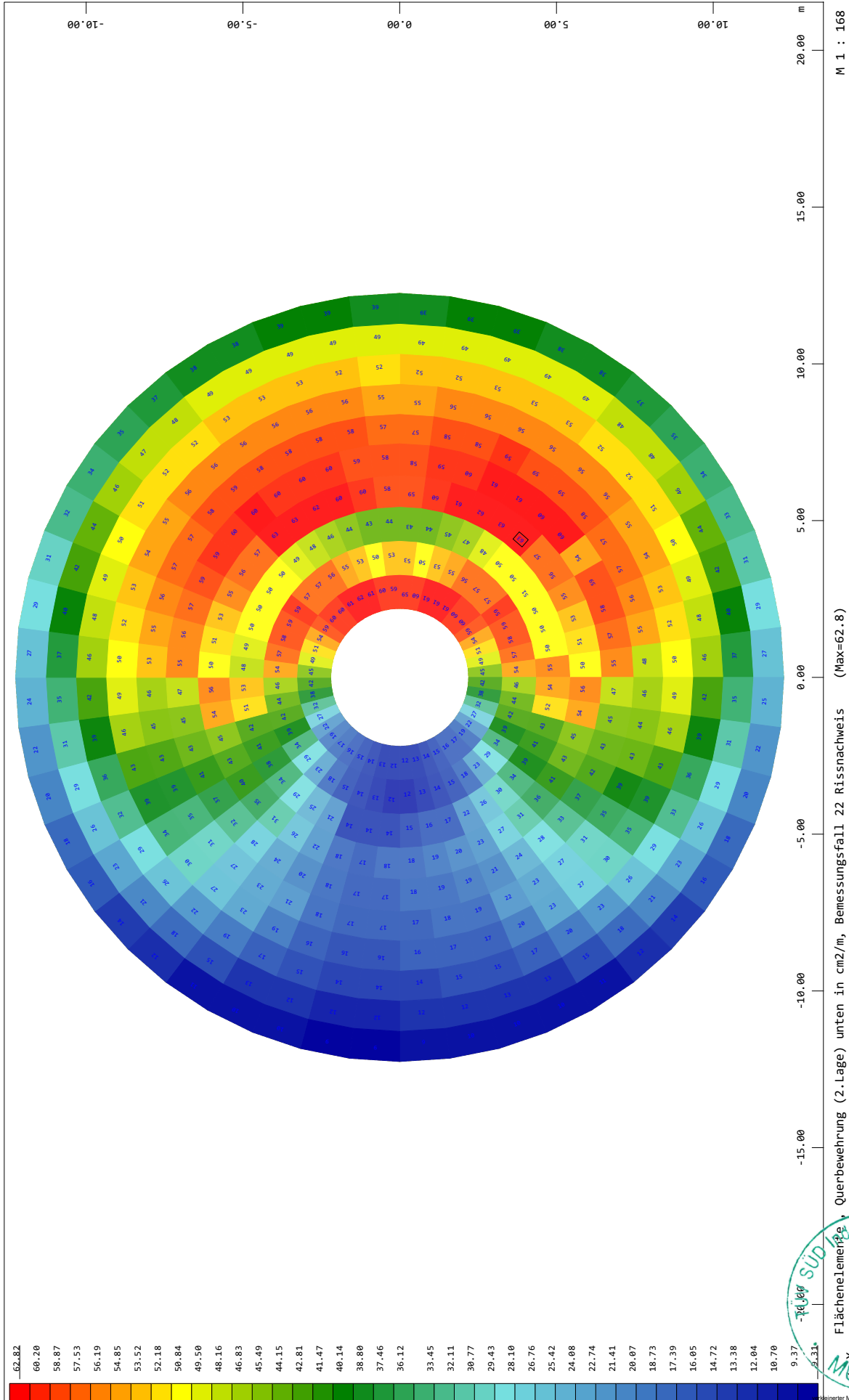
System



SOFISTIK AG - www.sofistik.de

System

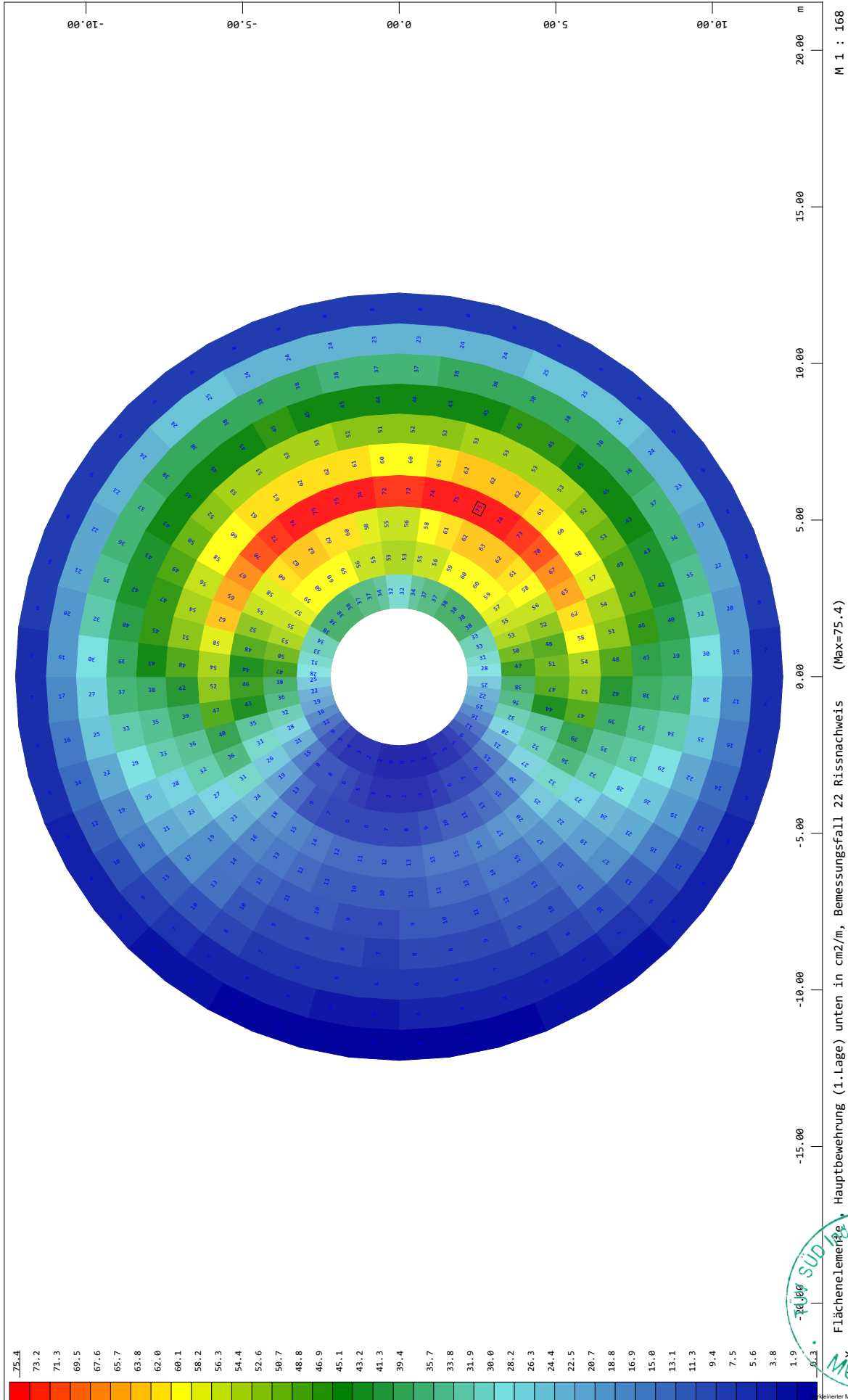
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

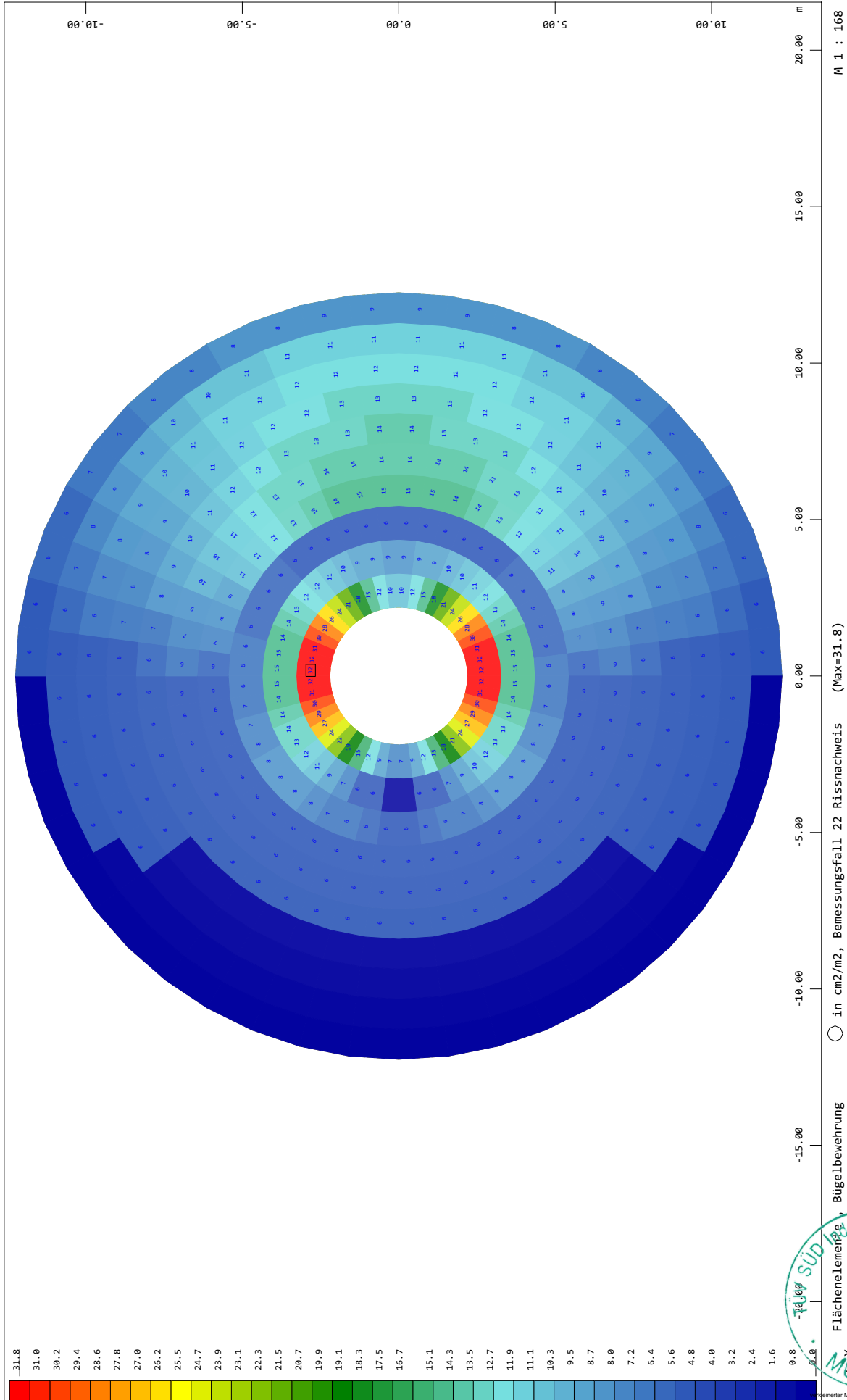
SOFISTIK AG - www.sofistik.de



M 1 : 168

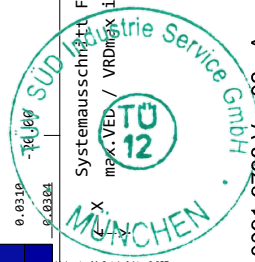
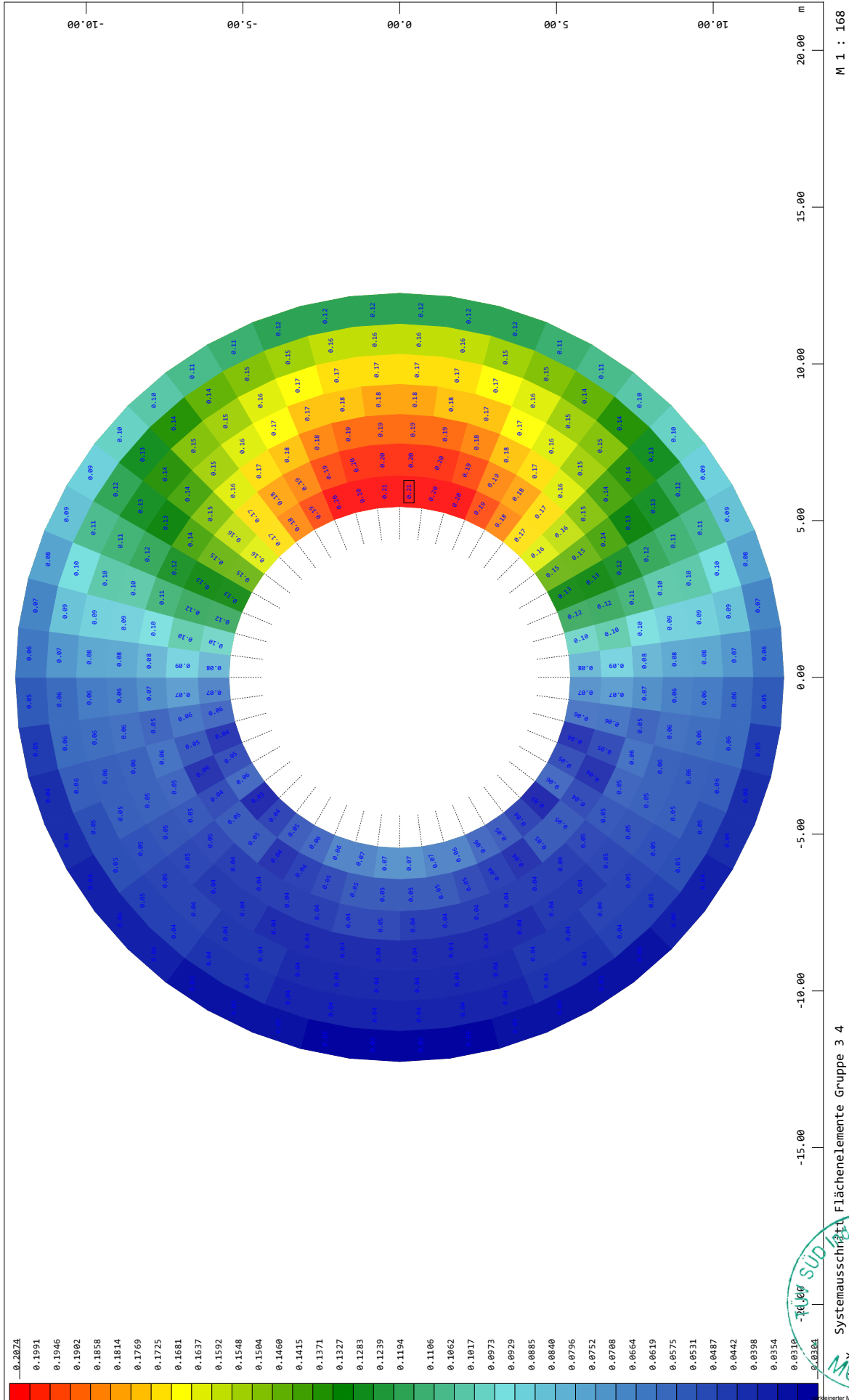
System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de

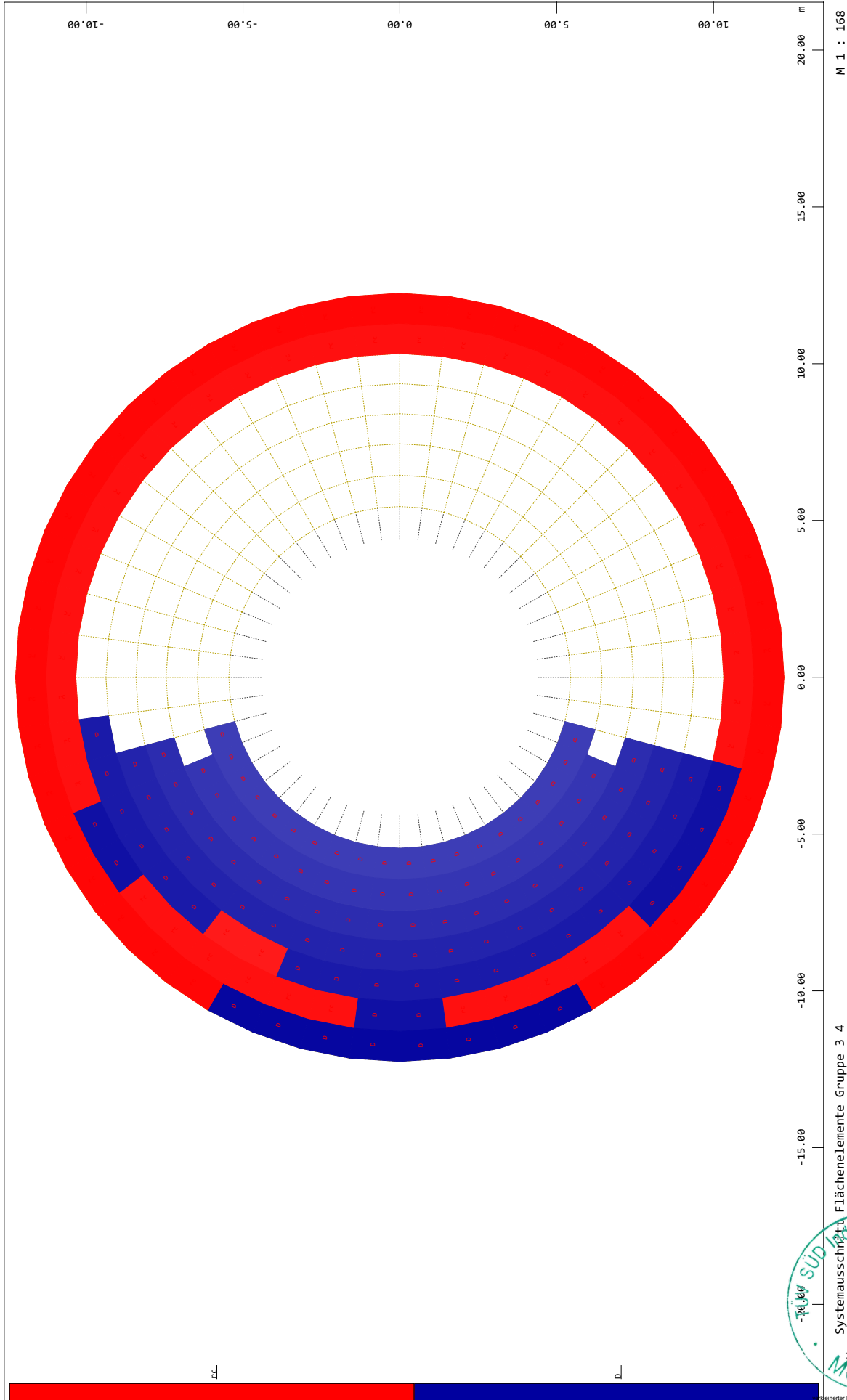


System

SOFISTIK AG - www.sofistik.de



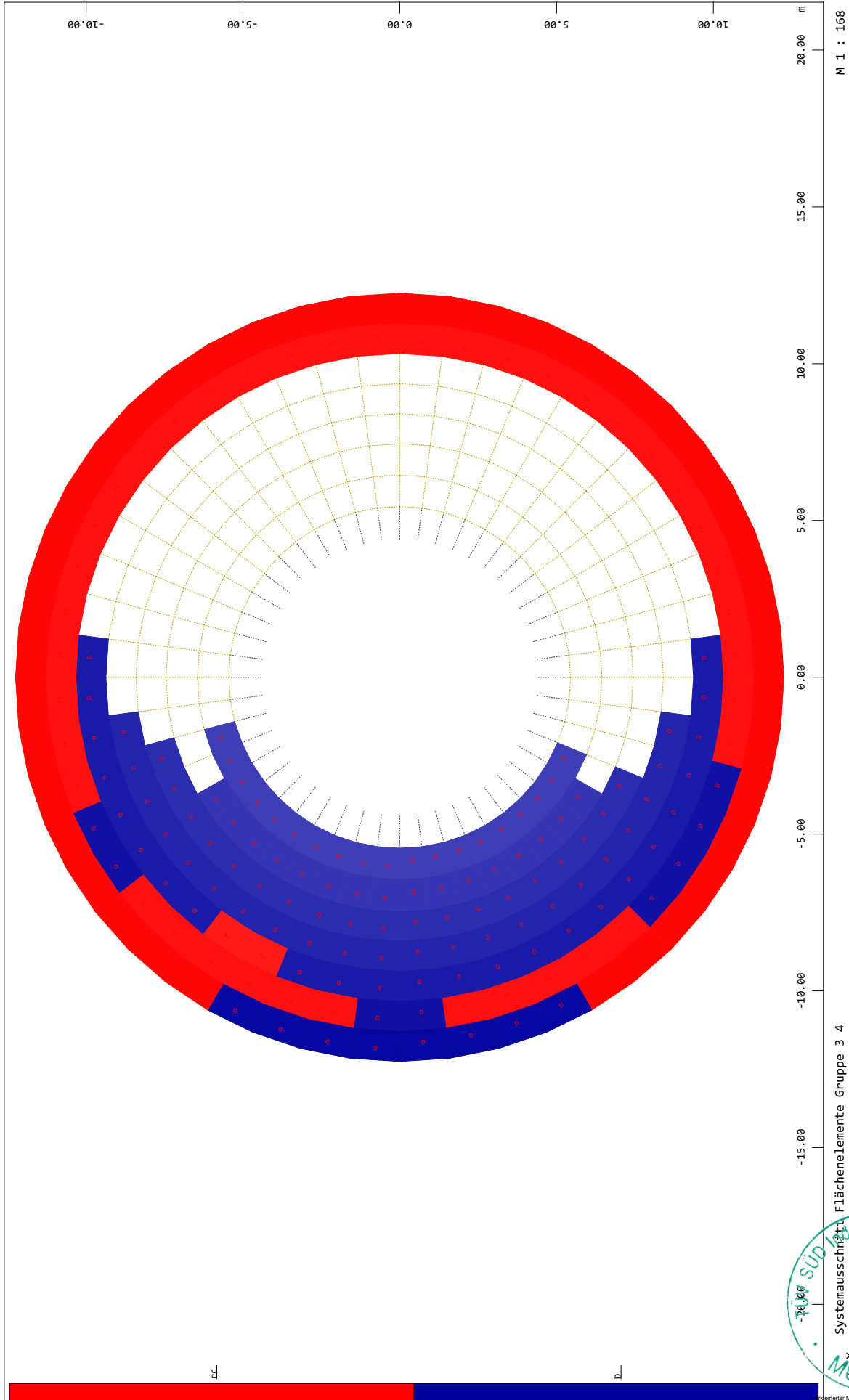
System



SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

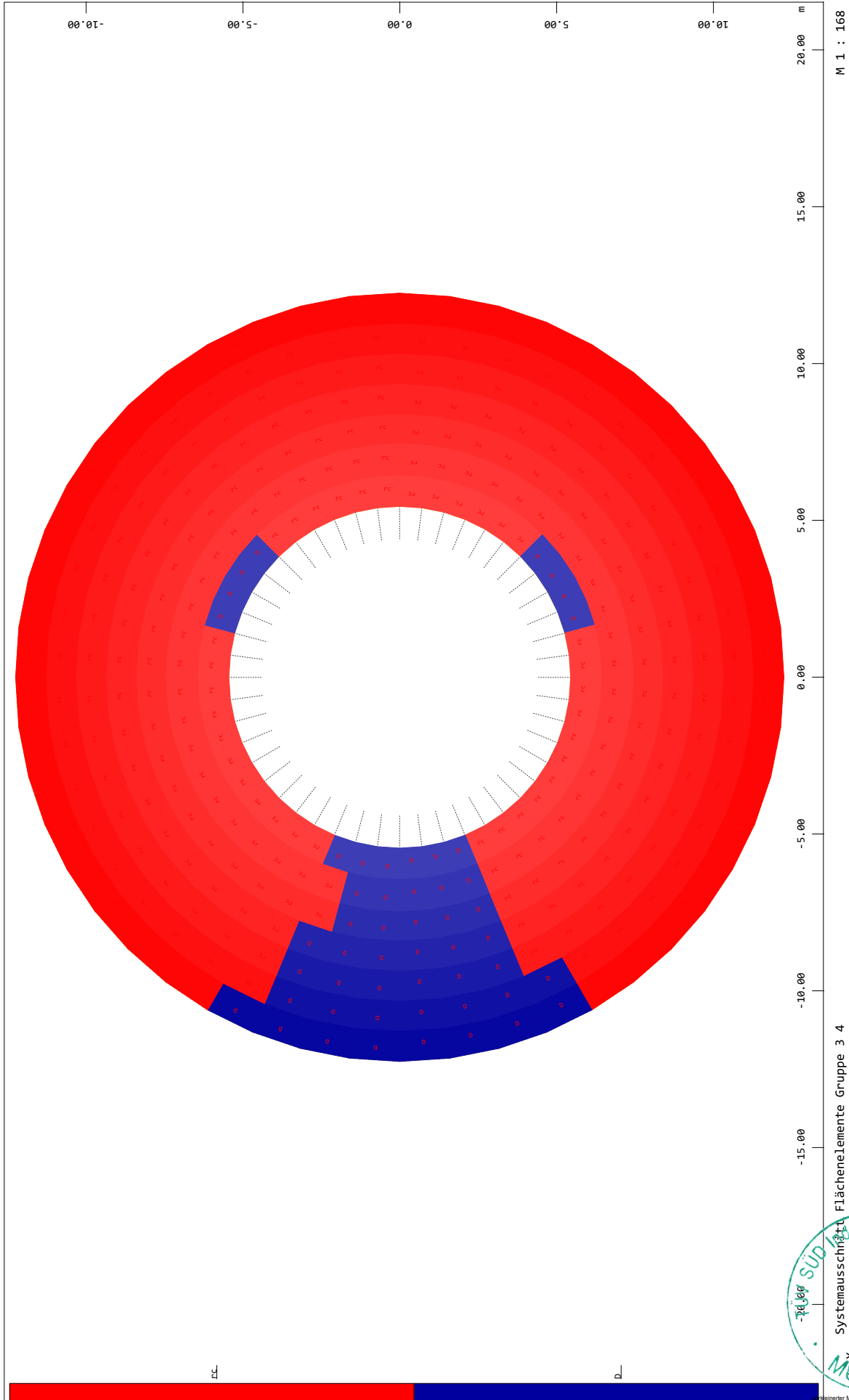
System



SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

System

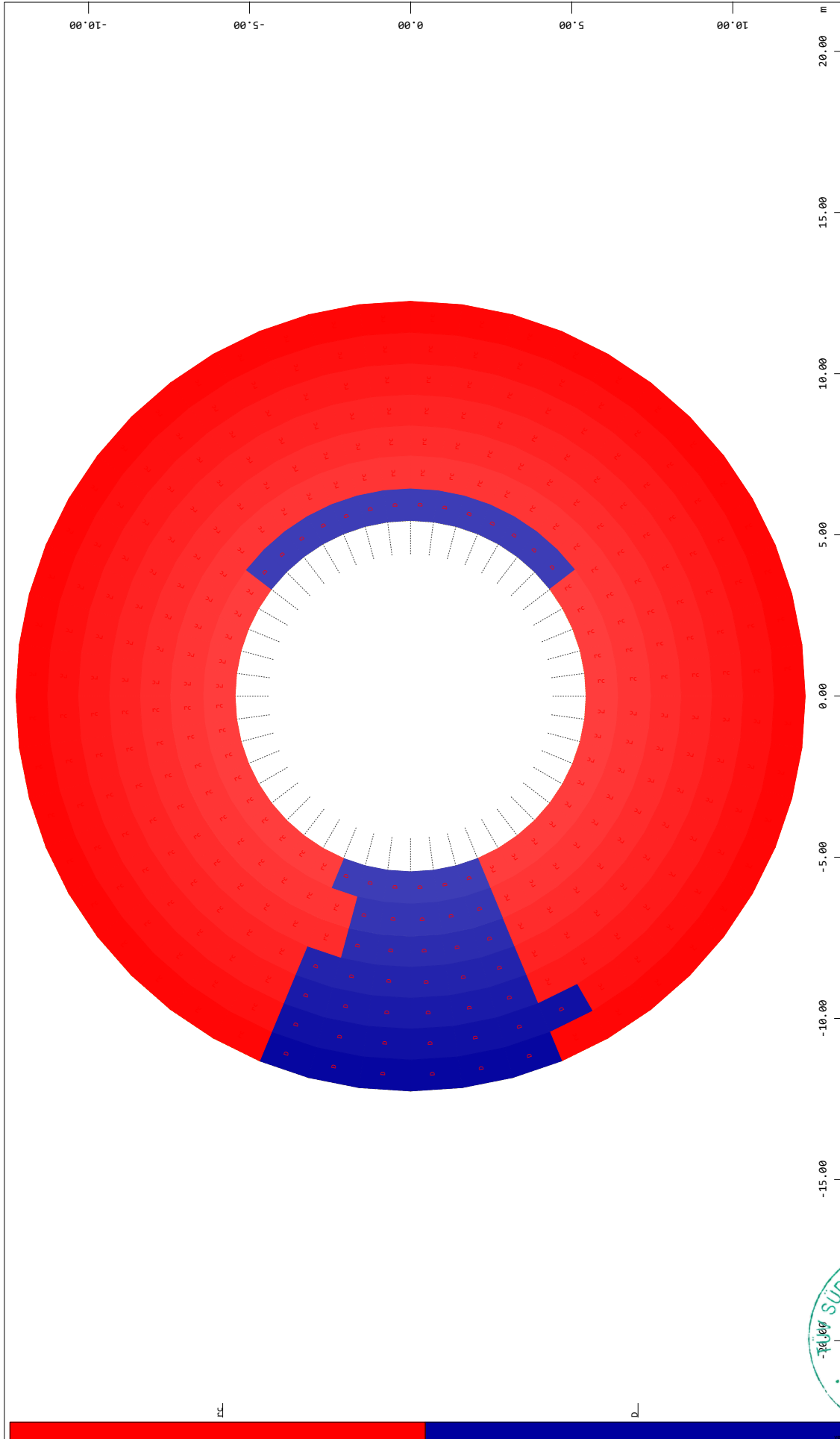


SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

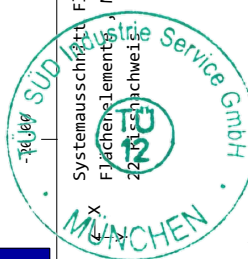
VESTAS PROPRIETARY NOTICE

System



M 1 : 168

Systemausschnitt Flächenelemente Gruppe 3 4
Flächenelemente Maßgebender Nachweis Hauptbewehrung (1.Lage) unten (D=DESI Bruchnachweis 6ZT, rc=Berechnung der Rissbreite), Bemessungsfall
22 Bruchnachweise



SOFISTIK AG - www.sofistik.de

Fundament / Foundation - D = 24,5 m - T20 - Vestas V162-5.6 - NH: 169 m + 166 m

