

# Freistehende stählerne Masten für Mobilfunknetze



D-5-44/2014

**Hanmehmet Emin Tolga**  
Institut für Stahlbau  
Technische Universität Graz



**TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ**

**2050 Institut für Stahlbau**

Institutsvorstand Univ. Prof. Dipl. –Ing. Dr.techn. Harald Unterweger

**FREISTEHENDE STÄHLERNE MASTEN FÜR  
MOBILFUNKNETZE**

**MASTERARBEIT**

zur Erlangung des Akademischen Grades

**Diplom –Ingenieur (Dipl. –Ing.)**

der Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften -  
Konstruktiver Ingenieurbau

eingereicht von

**BSc. Emin T. HANMEHMET**

Matrikelnr: 0231072

Studien ID: F 066 465

Betreuer: Univ. Prof. Dr.techn. Dipl.-Ing. Harald Unterweger

Mitbetreuender Assistent: Dipl. –Ing. Bmst. Andreas Kampleitner

Graz, im September 2014

## Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung .....	3
Danksagung .....	4
Zusammenfassung .....	5
Abstract .....	6
0 Einleitung .....	7
1. Analyse ausgeführter Masten .....	8
1.1 Vorgehensweise .....	8
1.2 Gittermasten .....	8
1.2.1 Analyse der wesentlichen geometrischen Parameter .....	8
a) Schlankheit des Mastes .....	12
b) Verjüngung des Mastes mit zunehmender Höhe .....	14
c) Diagonalenneigungen .....	19
d) Verwendete Rohrquerschnitte .....	20
1.2.2 Zusammenfassung .....	21
1.3 Rohrmasten .....	24
1.3.1 Analyse der wesentlichen geometrischen Parameter .....	24
a) Schlankheit des Mastes .....	28
b) Verjüngung des Mastes mit zunehmender Höhe .....	30
c) Verwendete Rohrquerschnitte .....	34
1.3.2 Zusammenfassung .....	34
Schlußfolgerung für Masten .....	37
2. Berechnungsmodelle bei Masten .....	39
2.1 Allgemein .....	39
2.2 Grenzzustände für die Auslegung der Masten .....	41
2.2.1 Allgemeines .....	41
2.2.2 Eigengewichte der Antennen und Tragkonstruktion .....	42
2.2.3 Statische Windlasten .....	42
2.2.4 Teilsicherheitsfaktoren seitens der Einwirkungen .....	44
Zusammenfassung für Handymasten .....	45

2.3	Grenzkriterien für statische Windersatzlasten .....	46
2.3.1	Dynamische Wirkung des Windes .....	46
2.3.2	Statische Ersatzlast Methode für Gittermasten .....	51
2.4.	Statische Windbelastung .....	53
2.4.1	Geländekategorie und Geländeparameter .....	53
2.4.2	Statische Windbelastung für Gittermasten .....	57
2.5	Beiwert $k$ für den effektiven Schlankheitsgrad bei Gittermasten .....	61
2.6	Statische Windbelastung für Rohrmasten .....	63
2.6.1	Aerodynamischer Beiwert für Einbauten und Antennenausrüstungen ..	67
Anhang 1	.....	68
Zusammenstellung ausgeführter Handymasten	.....	68
A.1	Wesentliche geometrische Parameter .....	69
A.1.1	Gittermasten .....	69
A.1.2	Rohrmasten .....	88
Anhang 2	.....	104
Überprüfung des Grenzkriteriums für die Windbelastung	.....	104
A.2	Überprüfung der Holme und Diagonalen, welche in .....	
	unterkritischem / überkritischem Bereich sind. ....	105
A.2.1	Windkraftbeiwerte für einzelne Tragwerke .....	105
A.2.2.	Kontrolle der Bedingungen für die Anwendung der statischen .....	
	Ersatzlast - Methode .....	119
Anhang 3	.....	150
Vereinfachter statischer Windlastansatz für Gittermasten	.....	150
A.3	Berechnung der Windlasten auf Holme .....	151
Literaturverzeichnis	.....	154
Normen	.....	156

### Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....  
(Unterschrift)

### STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....

date

.....

(signature)

## Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.techn. Dipl.-Ing. Harald Unterweger für die Möglichkeit bedanken, diese Arbeit an seinem Institut durchführen zu können.

Ein besonderer Dank gilt außerdem Herrn Dipl.-Ing. BSc. Bmstr. Andreas Kamleitner vor allem für seine kostbare Zeit, seine Aufmerksamkeit, seine hilfreichen Ratschläge bei fachlichen Unklarheiten und bei Korrekturen. Ohne seine Hilfe wäre diese Arbeit nicht in der vorliegenden Form möglich gewesen.

Der größte und besonders herzliche Dank gilt an meine liebe Verlobte Nuray, die die Höhen und Tiefen bei der Abfassung dieser Arbeit miterleben musste jedoch mich stets moralisch unterstützt hat.

Ein besonderer Dank gilt schließlich an meine liebe Mutter, die mich auf meinem bisherigen Lebensweg stets unterstützt hat und immer für mich da war.

## Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit behandelt die Auslegung und Bemessung von in Österreich stationierten Telekommunikationsmasten. Auf Basis von 18 Gittermasten und 15 Rohrmasten, welche von der Firma Telekom Austria A1 bereits ausgeführt wurden, erfolgte eine Analyse der konstruktiven Abmessungen und der verwendeten Querschnitte. Das Ergebnis der Untersuchungen war die Darstellung der wesentlichen geometrischen Konstruktionsparameter in anschaulichen Diagrammen. Diese Ergebnisse können für die erste Annahme der konstruktiven Abmessungen bei Auslegung eines Mastes für übliche Höhen (12-48 m) verwendet werden.

Im zweiten Teil erfolgte eine Aufbereitung der maßgebenden Einwirkungen für Handymasten. Diese bestehen hauptsächlich aus dem Eigengewicht der Konstruktion und der Aufbauten (Antennen) sowie der Windlast. In der Masterarbeit wird ein vereinfachter Windlastansatz für Handymasten vorgestellt, welcher auf den aktuell in Österreich gültigen Europäischen Normen Eurocode 1991-1-4 (Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten) und 1993-3-1 (Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 3-1: Türme, Maste und Schornsteine –Türme Maste) basiert.

Zuletzt erfolgte eine Untersuchung der ausgeführten Masten hinsichtlich eines Grenzkriteriums um festzustellen, ob eine Annahme der dynamischen Windeinwirkung als rein statische Ersatzlast zulässig ist.

Ziel der Arbeit ist es einem Konstrukteur mit wenig Erfahrungswerten auf dem Gebiet der Mastauslegung als Bemessungsbehelf für die Konstruktionen zu dienen. Mit den gezeigten Diagrammen können die Mastabmessungen rasch und einfach festgelegt werden. Mit dem vereinfachten Windlastansatz ist eine statische Bemessung ohne den Einsatz von aufwendigen Softwarelösungen möglich. Somit vereint diese Masterarbeit die aktuelle Normung mit aufbereiteten Ergebnissen der Analyse ausgeführter Masten und bietet einen groben Überblick über die Konstruktion von Rohr- und Gittermasten.

## Abstract

The main topic of the following master thesis is dimensioning of telecommunication masts stationed in Austria. Based on 18 latticed masts and 15 tubing masts, which are already implemented by the company called Telekom Austria A1, an analysis was made of the constructional dimensions and the used sections. The result of the research was the representation of the substantial geometrical construction parameters in descriptive diagrams. These results can be used for the first acceptance of the constructional dimensions during design of a mast for usual heights (12-48 m).

In the second part took a preparation of the relevant effects for cell phone masts place. These consist mainly of the own weight of the construction and superstructures (antennas) as well as the wind load. The master thesis introduces a simplified wind load for cell phone masts, which is valid in Austria based to the European standards Eurocode 1991-1-4 (Eurocode 1: Effects on wind units, part of 1-4: General effects - wind loads) and 1993-3-1 (Eurocode 3: Calculation and construction of steel structures, part of 3-1: Towers, masts and chimneys - towers of masts).

At last a research of the implemented masts with regard to limiting criterion took place to see whether an acceptance of the dynamic wind effect is permissible as purely static substitute load.

The goal of this master thesis is to give a technical designer with few experiences in this field an aid for the calculations of constructions. With the shown diagrams the mast dimensions can be specified rapidly and simply. A static calculation without using complex software solutions is possible by using a simplified wind load. The following master thesis combines the current engineering standards with prepared results of the analysis of implemented masts and offers a rough overview of the construction of tubing and latticed masts.



## 0 Einleitung

Moderne Mobilkommunikationssysteme haben heutzutage eine sehr große Bedeutung. Für die Errichtung von Mobilnetze werden spezielle Konstruktionen (Masten), auf welche Antennenaufbauten montiert sind, verwendet. Bei der Telekom Austria A1 werden für die Mobilfunknetze am häufigsten 2 Typen von Masten verwendet: Gittermasten und Rohrmasten.

Bei der Telekom Austria A1 werden am häufigsten 3 stielige Gittermasten verwendet. Die maximale Höhe von 3 stieligen Gittermasten kann bis zu 50 m betragen. Die Konstruktionen von diesen Gittermasten bestehen aus standardisierten Sektionen welche 6 m lang sind. Diese Sektionen können in Form einer Pyramide oder prismatisch sein.

Die Konstruktionen von Rohrmasten bestehen aus Rohrprofile. Die Länge von jeder Sektion beträgt 6 m.

Die wesentlichen Punkte dieser Arbeit sind:

- a) Analyse ausgeführter Handymasten
  - Darstellung der wesentlichen geometrischen Konstruktionsparameter für Gitter- und Rohrmasten (z.B. Abstände der Holme bei Gittermasten, Rohrdurchmesser in Abhängigkeit der Masthöhe).
- b) Aufbereitung der maßgebenden Einwirkungen für Handymasten.
  - Vereinfachter Windlastansatz
- c) Grenzkriterien, sodass die Windbelastung als statische Ersatzlast angesetzt werden kann

# 1. ANALYSE AUSGEFÜHRTER MASTEN

---

## 1.1 Vorgehensweise

Es wurde die Analyse geometrischer Konstruktionsparameter für 18 Gittermasten und 15 Rohrmasten durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Form von Tabellen und Diagrammen dargestellt.

## 1.2 Gittermasten

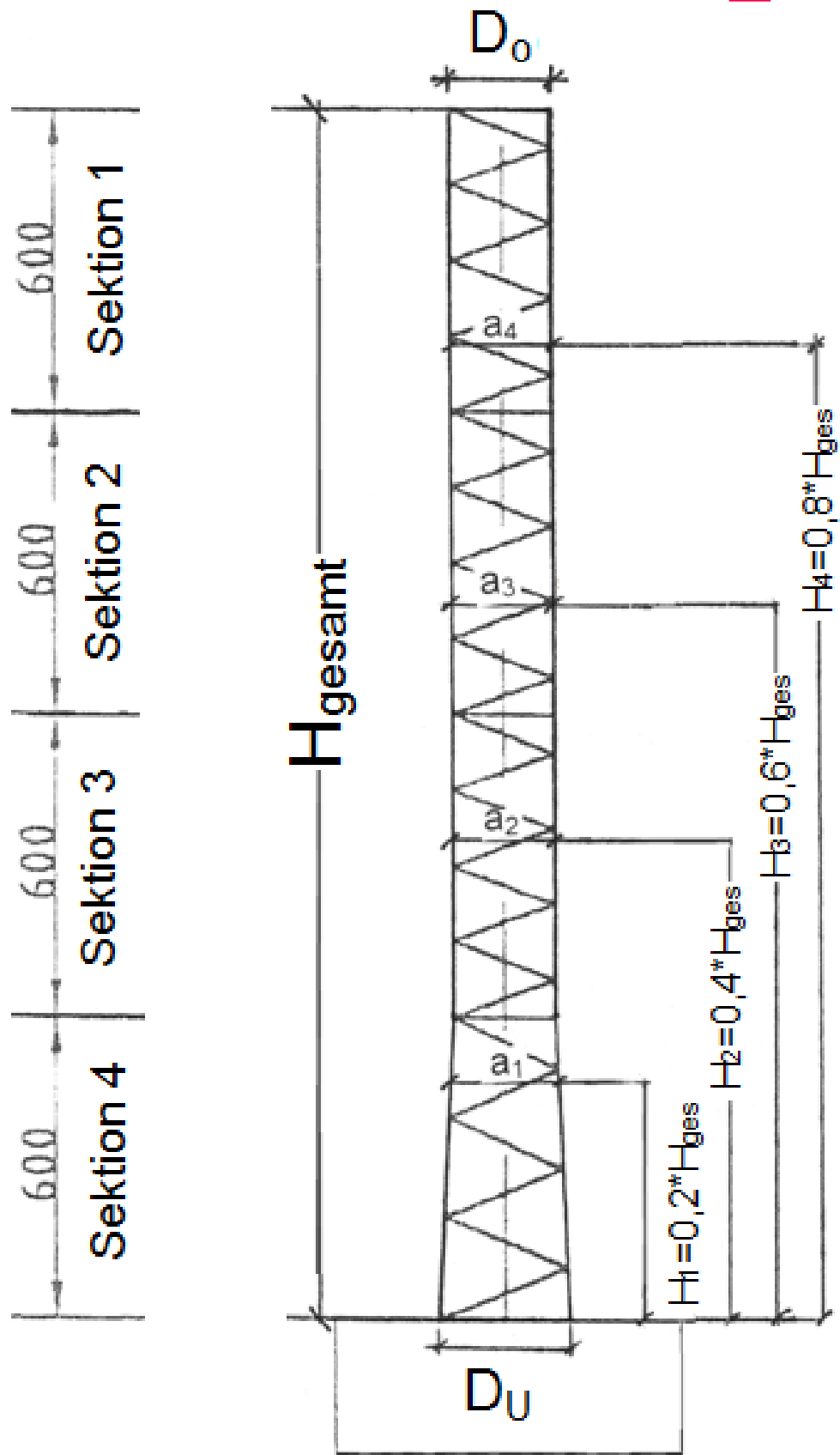
### 1.2.1 Analyse der wesentlichen geometrischen Parameter

Für alle Gittermasten (von Mast Nr.1 bis Mast Nr.18) wurden die geometrischen Parameter und Verhältnisse in der Tabelle 1 dargestellt.

Die Verhältnisse der geometrischen Parameter  $a_i/D_u$  und  $H_i/H_{ges}$  (siehe Bild 1) sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Zur Veranschaulichung wurden diese Werte in Bild 4 für alle Gittermasten grafisch dargestellt. Die folgenden Bilder 5 bis 10 zeigen die vorher genannten Verhältnisse für je drei Masten derselben Höhe  $H_{ges}$ .

Außerdem wurde für jeden untersuchten Gittermast, basierend auf ausgeführten Werten, die Tabelle 2 erstellt, in welcher Antennenaufbauten sowie auch die Parameter für Antennenaufbauten (Name, Anzahl, Abmessungen, Gewicht) zu sehen sind. In dieser Tabelle sind auch die Standorte, Basisgeschwindigkeiten und Basisgeschwindigkeitsdruckwerte angegeben.

Nachfolgend zeigt Bild 1 die wesentlichen Bezeichnungen der Parameter für Gittermasten, sowie sie in der vorliegenden Arbeit weiterführend verwendet werden, am Beispiel eines aus 4 Sektionen bestehenden Mastes.



**Bild 1**

Wesentliche Bezeichnung geometrischer Konstruktionsparameter für Gittermasten

Mast Nr.	H <sub>ges</sub>	D <sub>u</sub> (mm)		H <sub>1</sub> (m)	H <sub>2</sub> (m)	H <sub>3</sub> (m)	H <sub>4</sub> (m)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	D <sub>0</sub>	a <sub>1</sub> /D <sub>u</sub>	a <sub>2</sub> /D <sub>u</sub>	a <sub>3</sub> /D <sub>u</sub>	a <sub>4</sub> /D <sub>u</sub>	D <sub>0</sub> /D <sub>u</sub>	D <sub>u</sub> /H <sub>ges</sub>	H <sub>1</sub> /H <sub>ges</sub>	H <sub>2</sub> /H <sub>ges</sub>	H <sub>3</sub> /H <sub>ges</sub>	H <sub>4</sub> /H <sub>ges</sub>	
		0,2 H <sub>ges</sub>	0,4 H <sub>ges</sub>	0,6 H <sub>ges</sub>	0,8 H <sub>ges</sub>	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	48 m	2	2220	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
2		3650	9,6	19,2	28,8	38,4	1944	1644	1356	1068	960	0,876	0,741	0,61	0,481	0,432	1/22		0,2	0,4	0,6	0,8	
3		4000						3296,5	2592,9	1889	1800	1800	0,824	0,648	0,472	0,45	0,45	1/12					
4	42 m	2220						1968	1716	1464	1212	960	0,886	0,773	0,659	0,546	0,432	1/13					
5		2940	8,4	16,8	25,2	33,6	2436	1932	1428	1140	1140	0,829	0,657	0,486	0,388	0,388	1/14		0,2	0,4	0,6	0,8	
6		3560						2942,2	2327	1800	1800	1800	0,826	0,654	0,506	0,506	0,506	1/12					
7	36 m	2950						2528	2107	1688	1268	1200	0,857	0,714	0,572	0,43	0,407	1/12					
8		2222	7,2	14,4	21,6	28,8	1788	1346	1140	1140	1140	0,804	0,606	0,513	0,513	0,513	1/16		0,2	0,4	0,6	0,8	
9		2580						2140	1715	1283	1140	1140	0,829	0,665	0,497	0,442	0,442	1/14					
10	30 m	1860						1500	1140	1140	1140	960	0,806	0,613	0,613	0,613	0,516	1/16					
11		2040	6	12	18	24	1500	1320	1140	1140	1140	1140	0,735	0,647	0,559	0,559	0,559	1/15		0,2	0,4	0,6	0,8
12		2220						1860	1500	1140	1140	1140	0,838	0,676	0,514	0,514	0,514	1/14					
13	24 m	1320						1176	1140	1140	1104	960	0,891	0,864	0,836	0,836	0,727	1/18					
14		1500	4,8	9,6	14,4	19,2	1223	1140	1140	1140	1140	1140	0,815	0,76	0,76	0,76	0,76	1/16		0,2	0,4	0,6	0,8
15		1860						1571	1283	1140	1140	1140	1140	0,845	0,69	0,613	0,613	0,613	1/13				
16	18 m	1140						1115	911	707	503	300	0,845	0,69	0,536	0,381	0,227	1/16					
17		1500	3,6	7,2	10,8	14,4	1212	1140	1140	1068	960	0,918	0,864	0,864	0,809	0,727	1/12		0,2	0,4	0,6	0,8	
18		1500						1284	1140	1140	1140	1140	1140	0,856	0,76	0,76	0,76	0,76	1/12				

**Tabelle 1.**

Geometrische Werte für Gittermasten

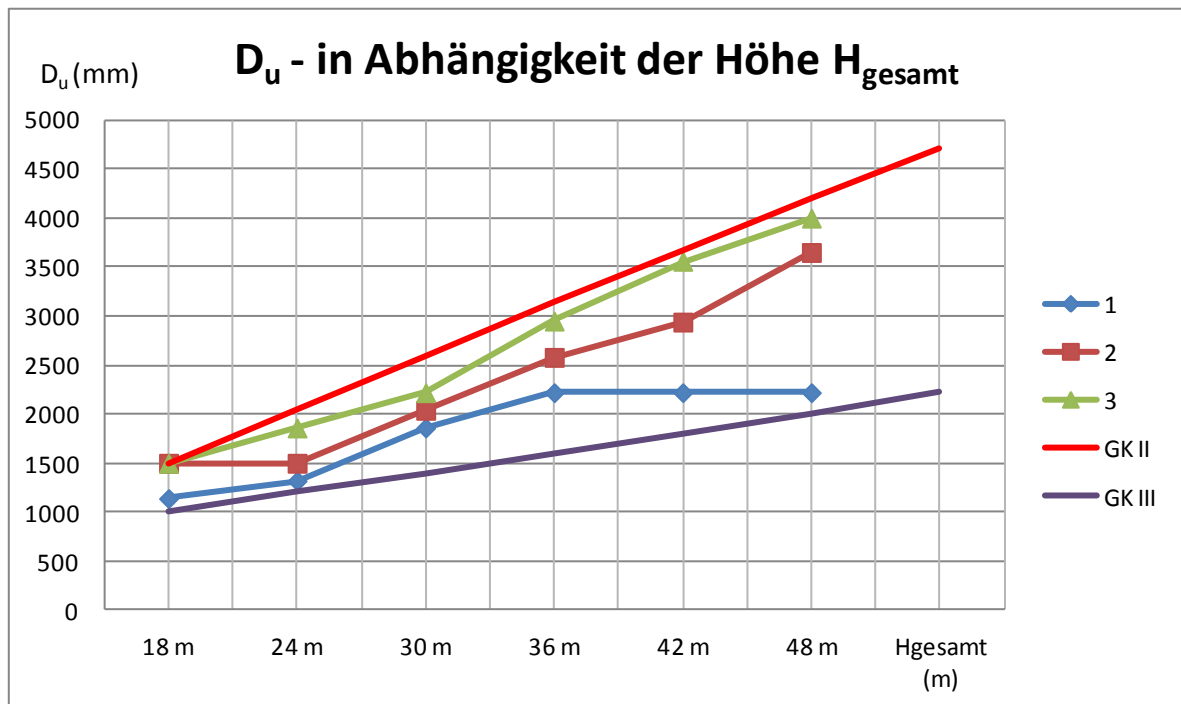
Mast Nr.	H <sub>ges</sub> (m)	Du (mm)	Do (mm)	Antennenaufbau	Gewicht	Abmessungen (H x B x T)	Standort	V <sub>bo</sub>		q <sub>bo</sub> kN/m <sup>2</sup>
								m/s		
1	48	2220	960	3 x K80010622 LTE, 1x K742212 UMTS	3x0,18 kN + 1x0,075 kN	3 x (1415/323/86 mm); 1x(1302/155/49 mm)	Gänserndorf	27		0,46
2		3650	1200	6 x K80010622 LTE	6x0,18kN	6 x (1415/323/86 mm)	Birkfeld	19,4		0,24
3		4000	1800	3 x K80010669, 3 x K739622, 3 x K 739635	3x 0,20 kN+3x 0,11 kN+3x 0,16 kN	3x(2574/303/99 mm); 3x(1296/262/199 mm)	Wien	27		0,46
4	42	2220	960	3 x K80010306 LTE, 3 x K739636 GSM	3 x 0,16 kN + 3 x 0,19 kN	3 x (2574/259/99 mm); 3 x (2580/262/99)	Graz - Seiersberg	20,4		0,26
5		2940	1140	3 x K742215 UMTS	3 x 0,075 kN	3 x (1302/155/49 mm)	Stübing	20,4		0,26
6		3560	1800	3 x K80010310 LTE, 3 x K739650 GSM, 1 x K742215	3 x 0,16kN + 3 x 0,19kN + 0,075kN	3x(2574/259/99 mm); 3x(2580/262/99) 1 x (1302/155/49 mm)	Wettmannstätten	21,3		0,28
7	36	2950	1200	6 x K 80010306, 3xK742212	6 x 0,14 kN + 3 x 0,075 kN	6x(2574/259/99 mm); 3x(1302/155/49 mm)	Fürstenfeld	22,2		0,31
8		2220	1140	3xK80010669, 6xK742211	3x0,20kN+6x0,05kN	3x(2574/303/99 mm); 6x(0,662/155/55 mm)	Leutschach	21,3		0,28
9		2580	1140	3xK80010669, 3xK742215, 3xK742211	3x0,20kN+3x0,075kN+3x0,05kN	3x(2574/303/99 mm); 3x(1302/155/49 mm) 3x(0,662/155/55 mm)	Gnas	21,6		0,29
10	30	1860	960	3xK80010306v02 LTE, 3xK742212 UMTS,	3x0,16 kN + 3x0,075 kN	3x(2574/259/99 mm); 3x(1302/155/49 mm)	Wörthersee	17,6		0,19
11		2040	1140	3xK80010306v02 LTE, 3xK742212 UMTS,	3x0,16 kN + 3x0,075 kN	3x(2574/259/99 mm); 3x(1302/155/49 mm)	Millstatt	20		0,26
12		2220	1140	3xK80010306v02, 3xK739624	3x0,16 kN + 3x0,19kN	3x(2574/259/99 mm); 3x(2580/262/116 mm)	Zettling	20,4		0,26
13	24	1320	960	3xK80010669, 3xK739632	3x0,20kN + 3x0,11kN	3x(2574/303/99 mm); 3x(1296/262/116 mm)	Gleisdorf	21,5		0,29
14		1500	1140	3xK80010669, 3xK739630	3x0,20 kN + 3x0,19kN	3x(2574/303/99 mm); 3x(2580/262/116 mm)	Klagenfurt	17,6		0,19
15		1860	1140	3xK80010669, 3xK742215	3x0,20 kN + 3x0,075 kN	3x(2574/303/99 mm); 3x(1302/155/99 mm)	Hofstätten a.d. Raab	21,5		0,29
16	18	1320	300	3xK742215	3x0,075kN	3x(1302/155/49 mm)	Graz	20,4		0,26
17		1320	960	3xK742215, 3xK742211	3x0,075kN + 3x0,05kN	3x(1302/155/49 mm); 3x(0,662/155/55 mm)	Völkermarkt	18		0,2
18		1500	1140	3xK80010306	3x0,14kN	3x(2574/259/99 mm)	Sebersdorf	21,6		0,29

**Tabelle 2.**

Antennenaufbauten  
für Gittermasten

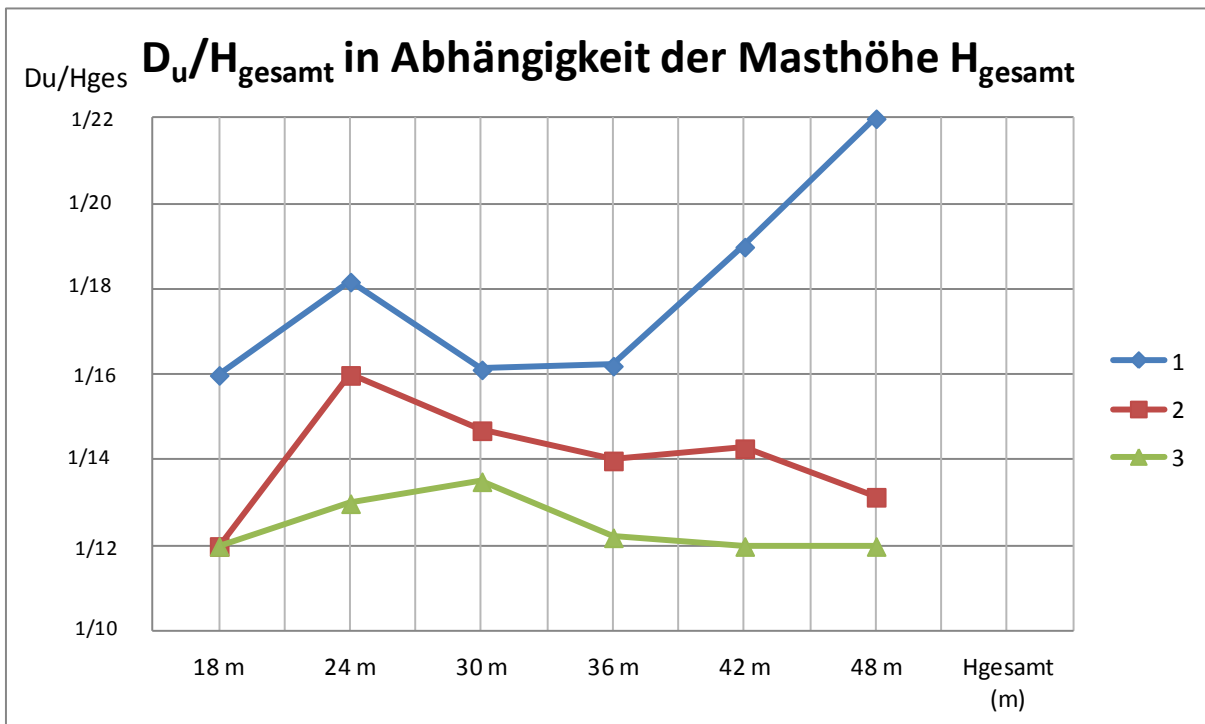
### a) Schlankheit des Mastes

Bild 2 zeigt die Abhängigkeit der Basisabmessung  $D_u$  von der Masthöhe  $H_{ges}$ . Es wurden je drei Masten einer Höhe untersucht. Somit kann eine obere Grenzgerade (Empfehlung für GK II) und eine untere Grenzgerade (GK III) als Schlußfolgerung der Untersuchung der 18 Gittermasten erstellt werden.



**Bild 2** Verhältnis zwischen  $D_u$  und  $H_{ges}$  für Gittermasten

Der nachfolgenden Abbildung 3 können die Schlankheiten der untersuchten Gittermasten entnommen werden. Es liegen wieder drei Kurven für je drei gleiche Masthöhen vor.



**Bild 3** Schlankheit des Gittermastes in Abhängigkeit der Höhe ( $H_{\text{gesamt}}$ )

Wie im Bild 2 zu sehen ist, steigt mit zunehmender Höhe ( $H_{ges}$ ) die untere Sektionsbreite ( $D_u$ ). Für Gittermasten  $H_{ges} = 18$  m (niedrigste untersuchte Höhe für Gittermasten) ist  $D_{u,min}=1140$  mm und  $D_{u,max}=1500$  mm, für Gittermasten  $H_{ges} = 48$  m (größte untersuchte Höhe) ist  $D_{u,min}=2220$  mm und  $D_{u,max}=4000$  mm.

Im Bild 3 sind die Änderungen der Verhältnisse  $D_u / H_{ges}$  in Abhängigkeit der Höhe des Gittermastes ( $H_{ges}$ ) zu sehen. Für 18 Gittermasten welche eine  $H_{ges}$  von 18 m bis 48 m aufweisen sind die Verhältnisse für  $D_u/H_{ges}$  zwischen  $1/12$  und  $1/16$  ( $H_{ges}=18$  m) und  $D_u/H_{ges}$  zwischen  $1/16$  und  $1/22$  ( $H_{ges}=48$  m).

Diese Ergebnisse können für die erste Annahme der Konstruktion des 3 stieligen Gittermastes für eine Höhe zwischen 18 m und 48 m verwendet werden.

### **b) Verjüngung des Mastes mit zunehmender Höhe**

Im Bild 4 sind die Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  in Abhängigkeit von  $a_i/D_u$  für Gittermasten  $H_{ges}= 18 - 48$  m (Tabelle 1, Mast Nr. 1-18) zu sehen.

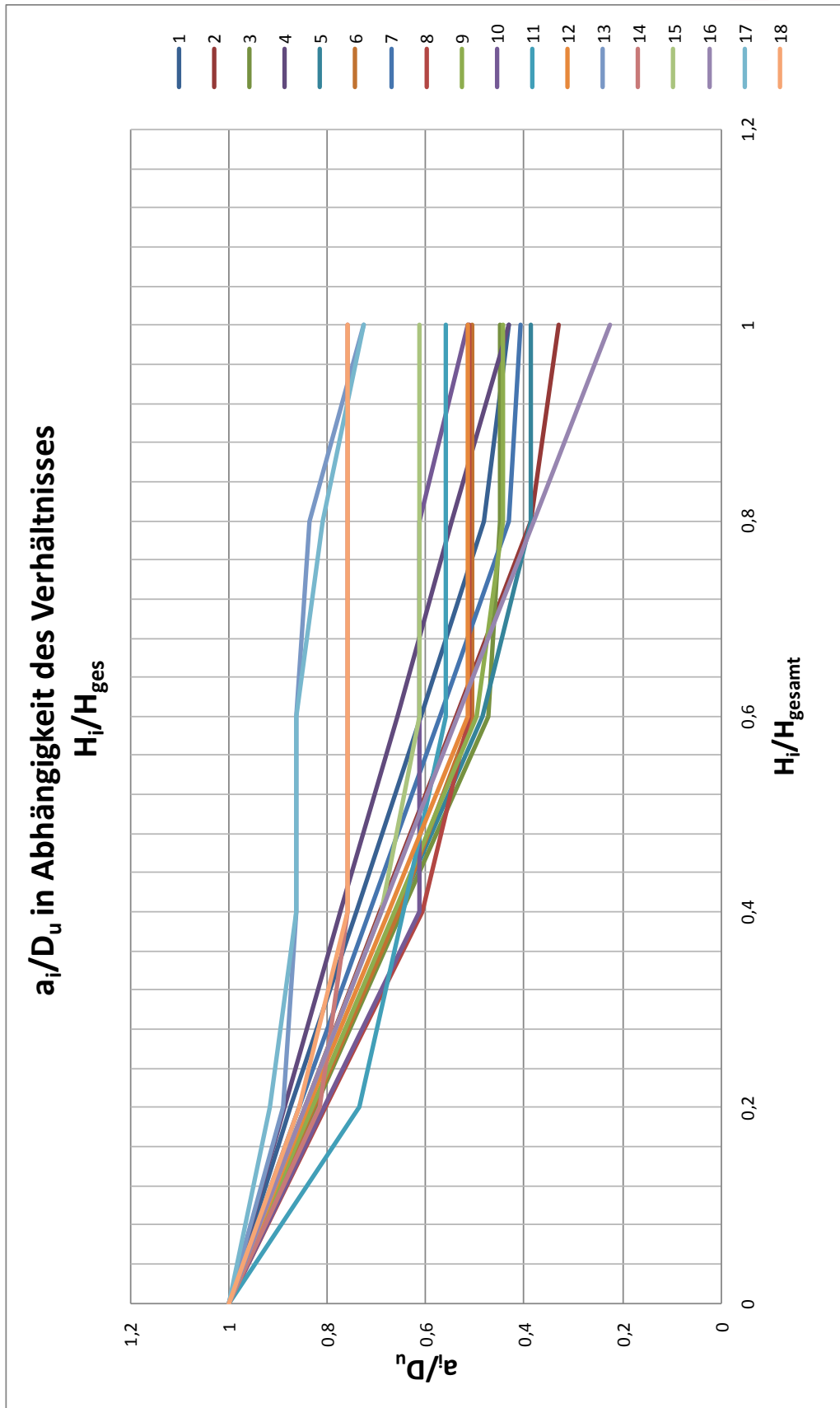
In den Bildern 5 bis 10 sind die Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  und  $a_i/D_u$  für jede analysierte Masthöhe (drei Masten pro Höhe) einzeln angegeben.

Die Projektierung der Konstruktion des Gittermastes wird im Allgemeinen in Form eines Pyramidenstumpfes entworfen. Das heißt, die Breite ( $a_i$ ) des Gittermastes verjüngt sich mit zunehmender Höhe ( $H_i$ ). Um das Verhältnis  $a_i/D_u$  untersuchen zu können, in Abhängigkeit des Verhältnisses  $H_i/H_{ges}$  darzustellen, wurde für jeden Gittermast eine Grafik (siehe Bilder 5 – 10) erstellt.

Diese Werte  $a_i/D_u$  wurden für alle 18 untersuchten Gittermasten in den Höhen  $0,2 H_{ges}$ ,  $0,4 H_{ges}$ ,  $0,6 H_{ges}$  und  $0,8 H_{ges}$  bestimmt. Die Auswertungen haben gezeigt, dass die Verhältnisse  $a_i/D_u$  sich wie folgt ändert:

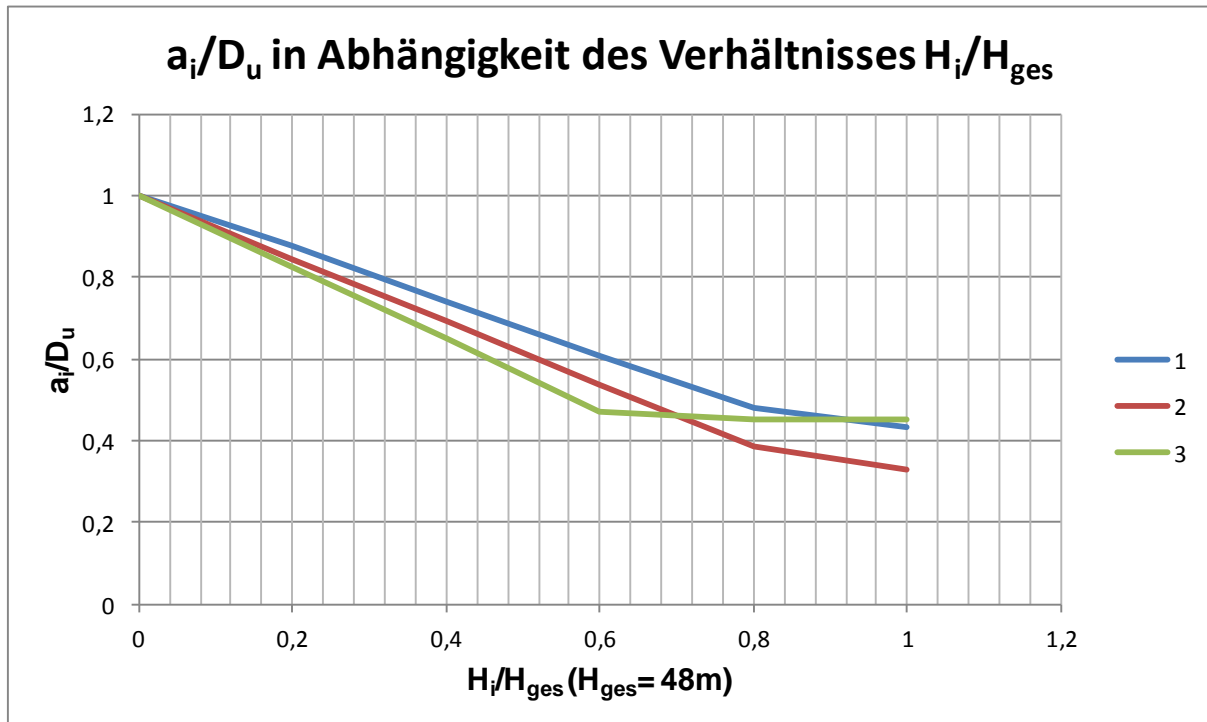
So wie aus dem Bild 4 ersichtlich ist variiert für  $H_i/H_{ges}=0,2$  das Verhältnis  $a_i/D_u=$  von 0,735 bis 0,876. Für  $H_i/H_{ges}=0,4$  variiert das Verhältnis  $a_i/D_u=$  von 0,613 bis 0,864. Für  $H_i/H_{ges}=0,6$  variiert das Verhältnis  $a_i/D_u=$  von 0,472 bis 0,864. Für  $H_i/H_{ges}=0,8$  variiert das Verhältnis  $a_i/D_u=$  von 0,381 bis 0,836. Für  $H_i/H_{ges}=1$  variiert das Verhältnis  $a_i/D_u=$  von 0,227 bis 0,76.



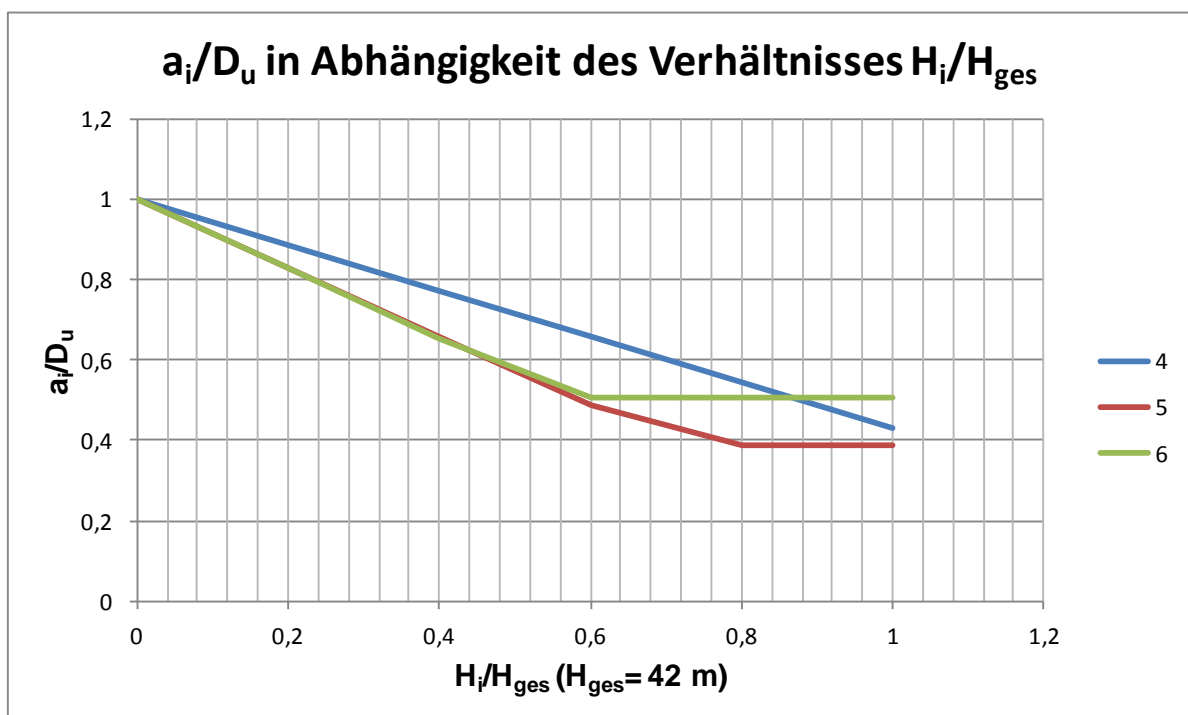


**Bild 4** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  -  $a_i/D_u$

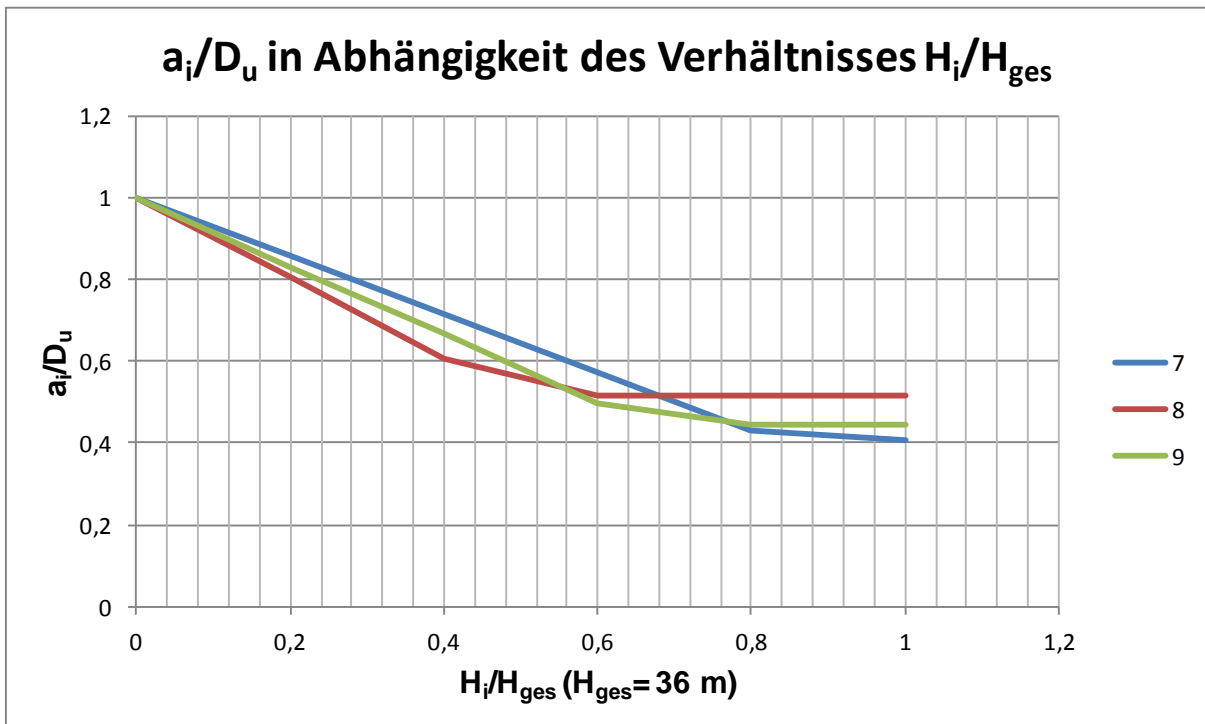
Die Ergebniskurven  $a_i/D_u$  in Abhängigkeit der Verhältnisse  $H_i/H_{ges}$  der 18 untersuchten Masten aus Bild 4 werden auf den nachfolgenden Bildern 5-10 einzeln gruppiert nach den jeweiligen Gesamthöhen dargestellt.



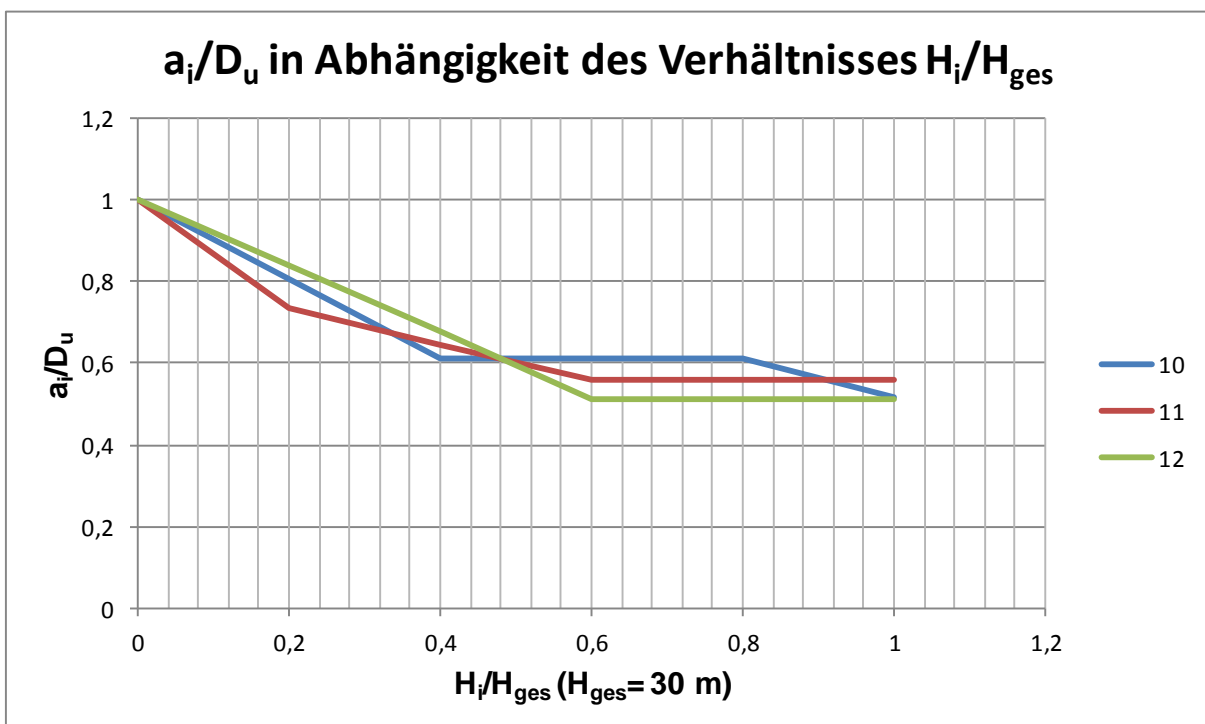
**Bild 5** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  -  $a_i/D_u$   
(Tab.1 Mast Nr.1, 2, 3,  $H_{ges}=48$  m)



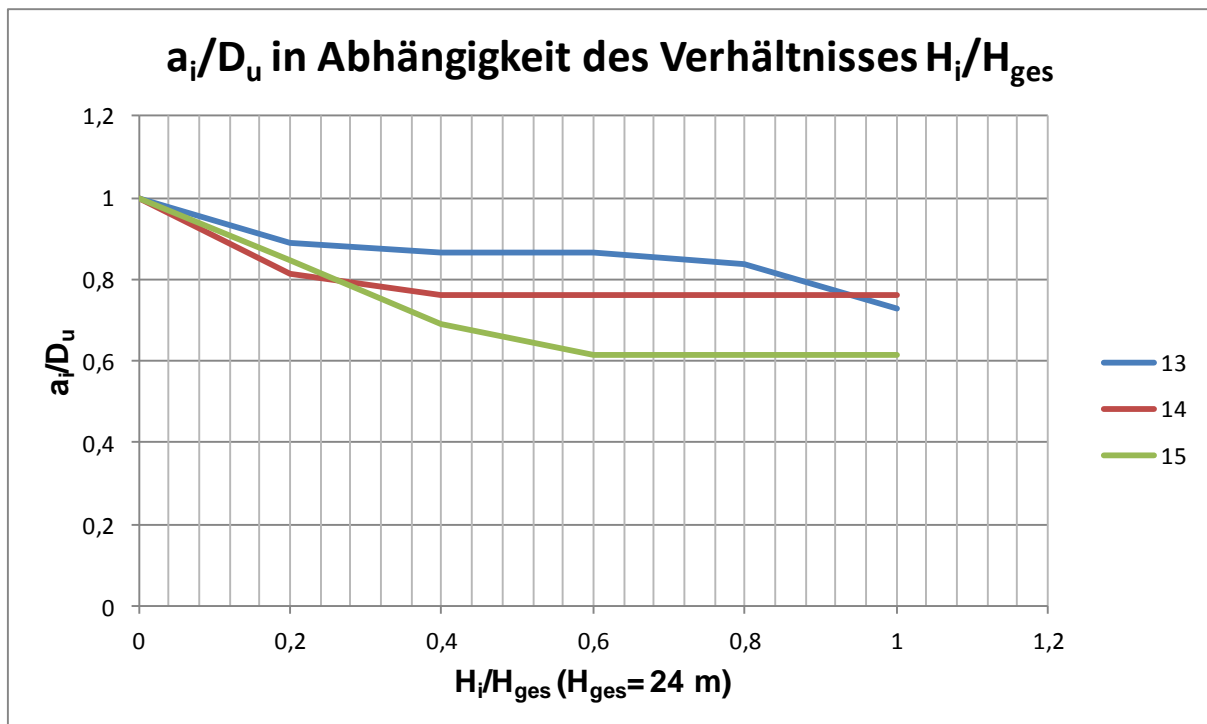
**Bild 6** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  -  $a_i/D_u$   
(Tab.1 Mast Nr.4, 5, 6,  $H_{ges}=42$  m)



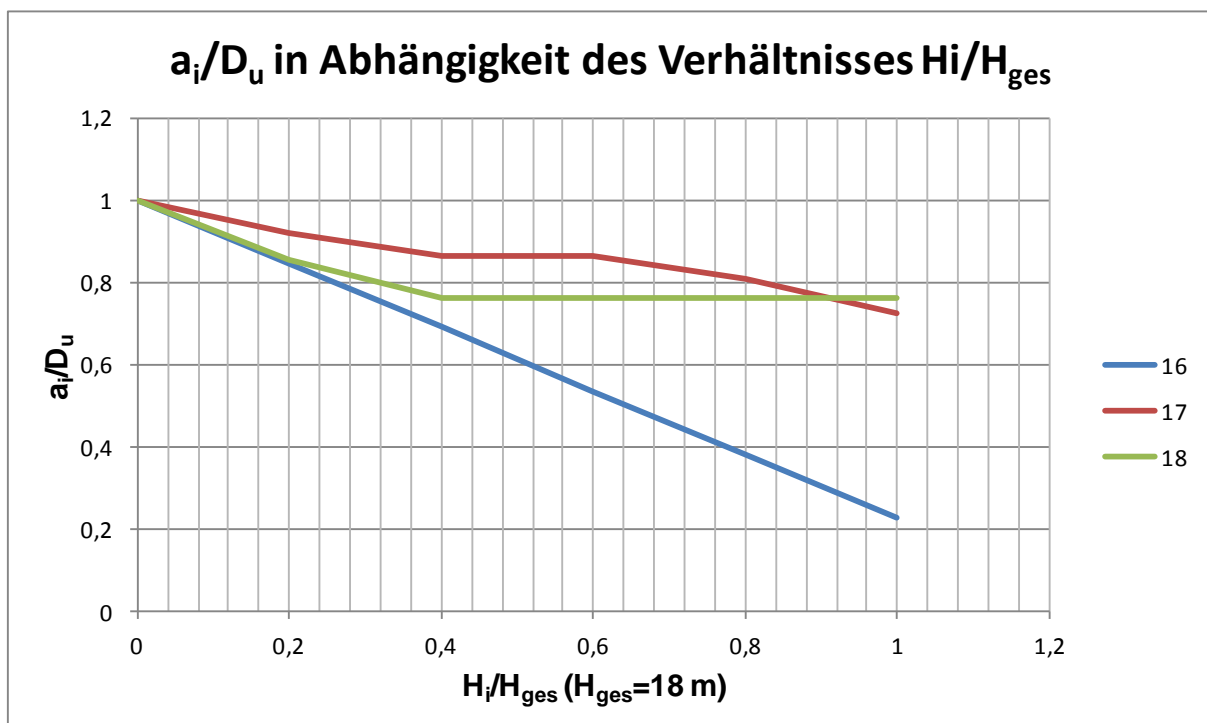
**Bild 7** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  -  $a_i/D_u$   
(Tab.1 Mast Nr. 7, 8, 9,  $H_{ges}=36$  m)



**Bild 8** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  -  $a_i/D_u$   
(Tab.1 Mast Nr.10, 11, 12,  $H_{ges}=30$  m)



**Bild 9** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  -  $a_i/D_u$   
(Tab.1 Mast Nr.13, 14, 15,  $H_{ges}=24$  m)



**Bild 10** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  -  $a_i/D_u$   
(Tab.1 Mast Nr.16, 17, 18  $H_{ges}=18$  m)

c) Diagonalenleigungen

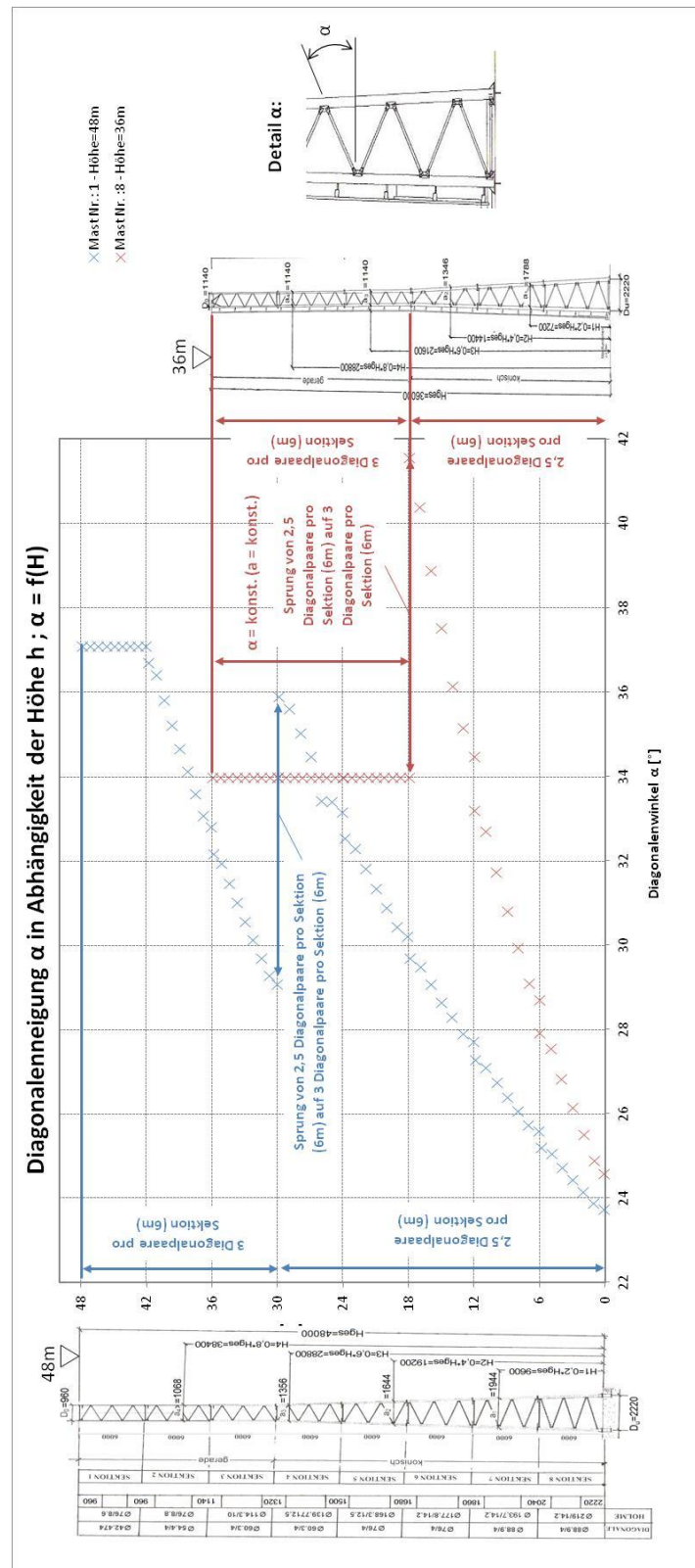


Bild 11 Diagonalenleigung  $\alpha$  in Abhängigkeit der Höhe  $h$ ;  $\alpha = f(H)$

Bei den Gittermastkonstruktionen ändert sich die Diagonalenneigung mit zunehmender Höhe aufgrund der schmaler werdenden Abmessung  $a_i$ . In Bild 11 ist eine Grafik der Diagonalenneigung in Abhängigkeit der Höhe zweier Gittermasten zu sehen. Das Bild 11 wurde für die Gittermasten 1 mit  $H_{ges}=48$  m und 8 mit  $H_{ges}=36$  m erstellt.

Die vertikalen Bereiche der Grafik zeigen die Sektionen mit parallelen Holmen - hier bleibt die Diagonalenneigung konstant über diesen Bereich.

Die veränderlichen Bereiche der Diagonalenneigung gehören zu pyramidenartigen Sektionen, wo die Diagonalenneigung in Abhängigkeit der Höhe variiert. So wie aus dem Bild 11 ersichtlich variiert die Diagonalenneigung  $\alpha$  zwischen  $24^\circ - 37^\circ$ .

Um die Diagonalenneigung in einem annähernd gleich bleibenden Rahmen zu halten, werden in breiteren Sektionen 2,5 Diagonalenpaare pro 6 m angeordnet, während es bei schmalere Breiten (kleiner rund 1100 mm) 3 Diagonalenpaare pro Sektion gibt. Dieser Übergang äußert sich im Diagramm als plötzlicher Sprung in der Neigung (Mast mit  $H_{ges}=48$  m bei  $H_i=30$  m und  $a_i=1068$  mm und bei Mast mit  $H_{ges}=36$  m bei  $H_i=18$  m und  $a_i=1140$  mm).

#### **d) Verwendete Rohrquerschnitte**

Die verwendeten Rohrquerschnitte der untersuchten Gittermasten sind im Anhang A.1.1 (siehe Bilder A.1 – A.18) aufgelistet. Die Analyse der strukturcharakteristischen und konstruktiven Elemente der Gittermasten zeigen, dass folgende Rohrquerschnitte verwendet werden:

Für Holme variieren folgende Rohrdurchmesser: von maximal  $\varnothing 219$  mm bis minimal  $\varnothing 38$  mm.

Die Wandstärke der Holme beträgt bei der oberen Sektion  $H_{ges}=18$  m maximal 5,6 mm und bei der unteren Sektion  $H_{ges}=18$  m maximal 6,3 mm.

Die Wandstärke der Holme beträgt bei der oberen Sektion  $H_{ges}=48$  m maximal 8,6 mm und bei der unteren Sektion  $H_{ges}=48$  m maximal 14,2 mm.

Für Diagonale variieren folgende Rohrdurchmesser: von maximal  $\text{Ø}88,9$  mm bis minimal  $\text{Ø}38$  mm.

Die Wandstärke der Diagonalen beträgt bei der oberen Sektion  $H_{\text{ges}}=18$  m maximal 2,6 mm und bei der unteren Sektion  $H_{\text{ges}}=18$  m maximal 2,8 mm.

Die Wandstärke der Diagonalen beträgt bei oberen sowohl auch bei unteren Sektionen  $H_{\text{ges}}=48$  m maximal 4,0 mm.

Die endgültige Bestimmung der Rohrdimension für Holme und Diagonale erfolgt nach statischen und konstruktiven Gesichtspunkten.

### 1.2.2 Zusammenfassung

Für die untere Sektionsbreite sind folgende Faktoren entscheidend:

Die vorhandene Grundfläche, die Wünsche vom Auftraggeber (Anzahl der Antennen, Aufbauten etc.) und die bevorzugte Materialliste vom Auftragnehmer. Unter Berücksichtigung der oben genannten Faktoren und der vorherrschenden Windbelastung wird die statische Berechnung erstellt.

In der Tabelle 1 sind Struktur und geometrische Werte für Gittermasten angegeben.

Der Untersuchung von 3-stieligen Gittermasten wurden 18 bereitsgebaute Ausführungen zugrunde gelegt, welche in Abhängigkeit von  $H_{\text{gesamt}}$  18 m, 24 m, 30 m, 36 m, 42 m und 48 m gruppiert wurden. Für jede Gruppe wurden 3 Gittermasten mit gleicher Höhe, Ober und unterschiedlichen Parameter  $D_u$  und  $D_o$  ausgewählt (siehe Bild 1). Hierbei ist  $D_u$  die untere Sektionsbreite und  $D_o$  die obere Sektionsbreite. Die Auswahl der untersuchten Masten basiert auf häufig verwendeten Abmessungen in der Praxis.

Die Untersuchung wurde für 3-stielige Gittermasten mit kreisförmigen Profilen durchgeführt.

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse dieser Untersuchung zusammengestellt. Als wichtigsten Kenngrößen wurden die Breiten ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  und  $a_4$ ) auf verschiedene Höhen des Mastes ( $0,2H_{ges}$ ,  $0,4H_{ges}$ ,  $0,6H_{ges}$  und  $0,8H_{ges}$ ) bezogen. Desweiteren wurden auch die Verhältnisse  $a_i/D_u$ ,  $D_o/D_u$ ,  $H_i/H_{ges}$  für jeden Gittermast berechnet. Als Ergebnis dieser Analysen wurden Grafiken (siehe Bilder 4 – 11) erstellt.

In Tabelle 2 finden sich für alle untersuchten Gittermasten Informationen bezüglich Anntennenaufbauten, welche auf den jeweiligen Gittermast montiert sind. In dieser Tabelle sind die Abmessungen, Stückanzahl und Gewichte der Antennen sowie die Standorte und zugehörige Böengeschwindigkeiten und Böengeschwindigkeitsdruckwerte zusammengefasst.

Als Schlußfolgerung der durchgeführten Analyse der wesentlichen geometrischen Parameter für 3- stielige Gittermasten kann folgendes zusammengefasst werden:

Min. Höhe:  $H_{ges} = 18 \text{ m}$  (darunter finden Rohrmasten Anwendung)

Max. Höhe:  $H_{ges} = 48 \text{ m}$

$D_u/H_{ges} = 1/12$  (für  $H_{ges}=18 \text{ m}$ ) -  $D_u/H_{ges} = 1/22$  (für  $H_{ges}=48 \text{ m}$ )

Verlauf:  $D_{u,min}$  für  $H_{ges}=48 \text{ m}$ : 2220 mm

$D_{u,max}$  für  $H_{ges}=48 \text{ m}$ : 4000 mm

$D_{u,min}$  für  $H_{ges}=18 \text{ m}$ : 1320 mm

$D_{u,max}$  für  $H_{ges}=18 \text{ m}$ : 1500 mm



## Für Gittermasten wurden folgende Strukturwerte zusammengefasst:

Wie in der Tabelle 1 und den Bildern A.1 – A.18 im Anhang A-1.1 zu sehen ist, können die Hauptparameter für Gittermasten wie folgt zusammengefasst werden:

1. Alle Sektionen sind 6 m hoch
2. Die Bedingungen von  $D_u/H_{ges}$  beträgt  $1/12 - 1/22$
3. Die untere Sektionsbreite  $D_u$  ist nicht ausschließlich von  $H_{ges}$  Abhängig, sie variiert in Abhängigkeit der vorherrschenden Windbelastung und der Aufbaute

Gittermasten die eine Höhe von 48 m haben, können sowohl eine  $D_u$  von 4 m als auch eine  $D_u$  von 2,220 m haben. Ähnliches gilt auch für Gittermasten mit einer Höhe von 42 m und 36 m

4. Wie aus dem Bild 1 und der Tabelle 3 ersichtlich, kann die untere Sektionsbreite  $D_u$  bei  $H_{ges}=48$  m bis zu 4 m erreichen
5. Bei Gittermasten mit einer Höhe zwischen 18 und 30 m varriert die untere Sektionsbreite  $D_u$  zwischen 1,5 m – 2,22 m
6. Gittermasten unter 18 m werden für den Mobilfunk nicht verwendet
7. Generell werden in dem Mobilfunk 3- Stielige Gittermastkonstruktionen für Höhen von 18 m bis 48 m verwendet, darunter finden die Rohrmasten Anwendung

## 1.3 Rohrmasten

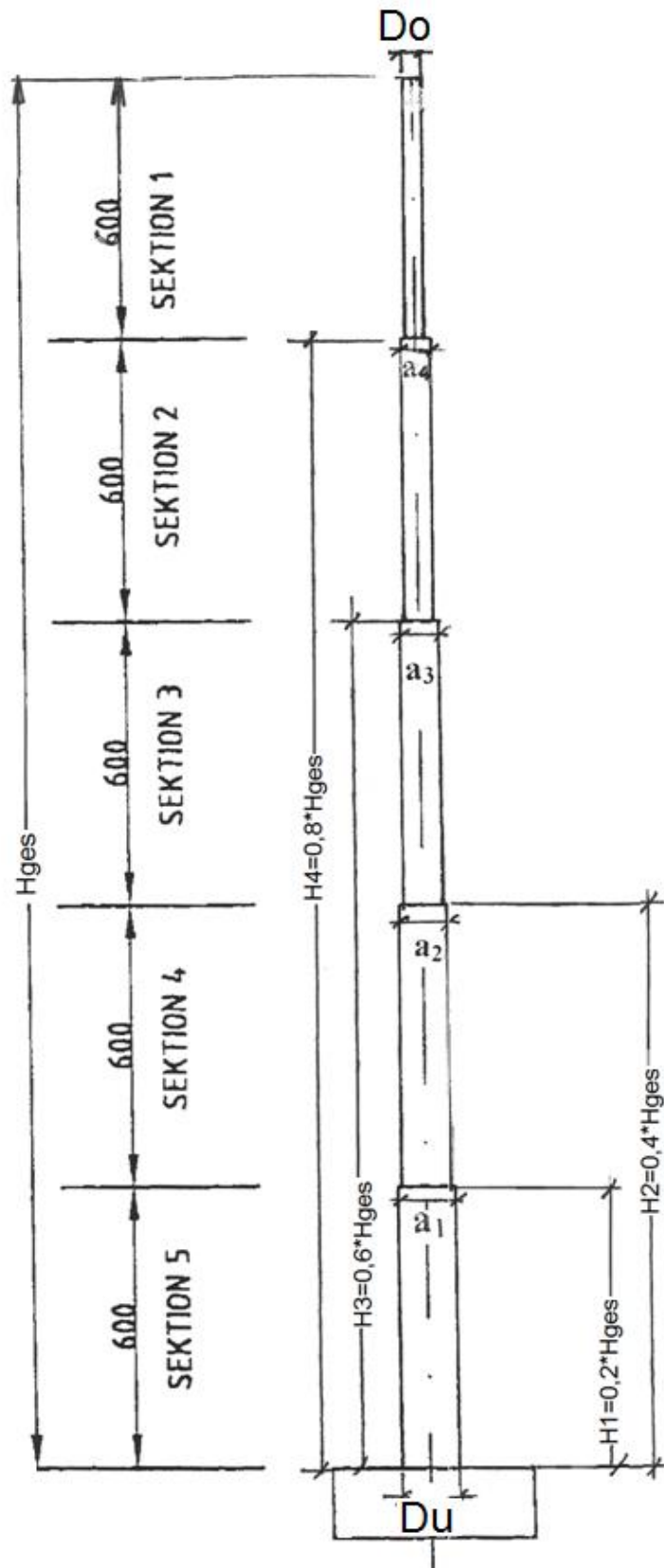
### 1.3.1 Analyse der wesentlichen geometrischen Parameter

Für alle Rohrmasten (von Mast Nr.1 bis Mast Nr.15) wurden die geometrische Parameter und Verhältnisse in der Tabelle 3 dargestellt.

Die Verhältnisse der geometrischen Parameter  $a_i/D_u$  und  $H_i/H_{ges}$  (siehe Bild 12) sind der Tabelle 3 zu entnehmen. Zur Veranschaulichung wurden diese Werte in Bild 15 für alle Rohrmasten grafisch dargestellt. Die folgenden Bilder 16-20 zeigen die vorher genannten Verhältnisse für je drei Masten derselben Höhe.

Außerdem wurde für jeden untersuchten Rohrmast, basierend auf Werte ausgeführter Masten, die Tabelle 4 erstellt, in welcher Antennenaufbauten sowie auch die Parameter für Antennenaufbauten (Name, Anzahl, Abmessungen, Gewicht) zu sehen sind. In dieser Tabelle sind auch die Standorte, Basisgeschwindigkeiten und Basisgeschwindigkeitsdruckwerte angegeben.

Bild 12 zeigt die wesentlichen Bezeichnungen der Parameter für Rohrmasten, sowie sie in der vorliegenden Arbeit weiterführend verwendet werden. Als Beispiel dient ein aus fünf Sektionen bestehender Rohrmast.



**Bild 12** Wesentliche Bezeichnung geometrischer Konstruktionsparameter für Rohrmasten

Mast Nr.	H <sub>ges</sub> (mm)	H <sub>1</sub> (m)	H <sub>2</sub> (m)	H <sub>3</sub> (m)	H <sub>4</sub> (m)	a <sub>1</sub> (mm)	a <sub>2</sub> (mm)	a <sub>3</sub> (mm)	a <sub>4</sub> (mm)	D <sub>0</sub> (mm)	D <sub>u</sub> /D <sub>0</sub>	a <sub>1</sub> /D <sub>0</sub>	a <sub>2</sub> /D <sub>0</sub>	a <sub>3</sub> /D <sub>0</sub>	a <sub>4</sub> /D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub> /D <sub>0</sub>	D <sub>2</sub> /D <sub>0</sub>	D <sub>3</sub> /D <sub>0</sub>	D <sub>4</sub> /D <sub>0</sub>	H <sub>1</sub> /H <sub>ges</sub>	H <sub>2</sub> /H <sub>ges</sub>	H <sub>3</sub> /H <sub>ges</sub>	H <sub>4</sub> /H <sub>ges</sub>		
		0,2 H <sub>ges</sub>	0,4 H <sub>ges</sub>	0,6 H <sub>ges</sub>	0,8 H <sub>ges</sub>																				
1	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22				
1	36 m	7,2	14,4	21,6	28,8	864	711	559	406	244	1	1	0,823	0,65	0,47	0,282	1/42								
2						1016	813	610	457	323	1	1	0,8	0,6	0,45	0,32	1/35			0,2	0,4	0,6	0,8		
3						1168	813	610	457	323	1	0,87	0,696	0,522	0,39	0,276	1/31								
4	30 m	6	12	18	24	762	610	457	323	193	1	1	0,8	0,6	0,424	0,253	1/39								
5						864	610	457	323	244	1	1	0,706	0,53	0,374	0,282	1/35			0,2	0,4	0,6	0,8		
6						1016	813	610	457	323	1	1	0,8	0,6	0,45	0,318	1/29								
7	24 m	4,8	9,6	14,4	19,2	610	457	323	193	193	1	1	0,749	0,53	0,32	0,316	1/39								
8						813	610	457	323	323	1	1	0,75	0,56	0,397	0,29	1/29			0,2	0,4	0,6	0,8		
9						864	610	457	244	244	1	1	0,71	0,53	0,28	0,282	1/28								
10	18 m	3,6	7,2	10,8	14,4	457	323	323	193	193	1	1	0,706	0,706	0,422	0,422	1/39								
11						559	406	406	244	244	1	1	0,726	0,726	0,436	0,436	1/32			0,2	0,4	0,6	0,8		
12						610	457	457	323	323	1	1	0,749	0,749	0,529	0,529	1/30								
13	12 m	2,4	4,8	7,2	9,6	323	323	193	193	193	1	1	1	1	0,597	0,597	1/37								
14						406	406	244	244	244	1	1	1	1	0,6	0,6	1/30			0,2	0,4	0,6	0,8		
15						457	457	323	323	323	1	1	1	1	0,706	0,706	1/26								

**Tabelle 3.**

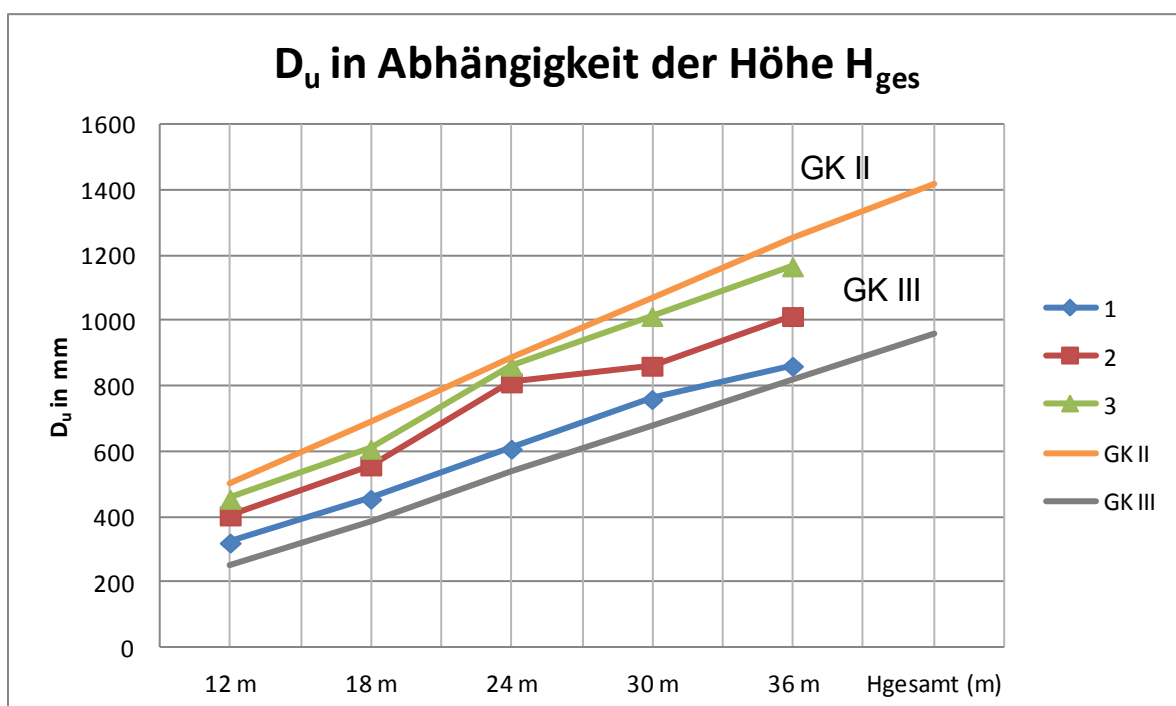
Struktur und geometrische Werte für Rohrmasten

Mast Nr.	H <sub>ges</sub> (m)	D <sub>u</sub> (mm)	D <sub>o</sub> (mm)	Antennenaufbau	Gewicht	Abmessungen (H x B x T)	Standort	V <sub>b,0</sub> m/s	q <sub>ho</sub> kN/m <sup>2</sup>
1		864	960	3 x K 742 215 v01 UMTS	3 x 0,085 kN	3 x (1314 / 155 / 70 mm)	Graz	20,4	0,26
2	36	1016	1200	2xK80010669GSM/LTE, 3xK742212 UMTS	2 x 0,016 kN + 3 x 0,075 kN	2 x (2574 / 259 / 99 mm) + 3 x (1302 / 155 / 69 mm)	Klagenfurt	17,6	0,19
3		1168	1800	3 x CMA BDL/6520/E0-8 LTE	3 x 0,22 kN	3 x (1298 / 403 / 146 mm)	Villach	17,6	0,19
4		762	193	3 x K 800 106 69 GSM/LTE, 3 x K742 212	3 x 0,016 kN + 3 x 0,075 kN	3 x (2574 / 259 / 99 mm) + 3 x (1302 / 155 / 69 mm)	Völkermarkt	18	0,2
5	30	864	244	4 x K 800 106 69 GSM/LTE, 3 x K742 212	4 x 0,016 kN + 3 x 0,075 kN	4 x (2574 / 259 / 99 mm) + 3 x (1302 / 155 / 69 mm)	Hausmannstätten	20,4	0,26
6		1016	323	6 x PW-65-18-XW2-R	6 x 0,1 kN	6 x (1219 / 167 / 89,5 mm)	Graz	20,4	0,26
7		610	193	GSM 1800 3 x K739496, 2 x K741989 UMTS 3xK739636	3 x 0,06 kN + 2 x 0,075 kN	3 x (1302 / 155 / 49 mm) + 2 (1302 / 155 / 69 mm)	Graz	20,4	0,26
8	24	813	323	3 x K80010669 GSM/UMTS	3 x 0,2 kN	3 x (2574 / 303 / 99 mm)	St.Martin am Wöllmißberg	21,1	0,28
9		864	244	3 x K 800 106 22 v01 LTE	3 x 0,15 kN	3 x (1471 / 275 / 86 mm)	Villach	17,6	0,19
10		457	193	6 x PW-65-18-XW2-R LTE	6 x 0,1 kN	6 x (1219 / 167 / 89,5 mm)	Graz	20,4	0,26
11	18	559	244	6 x CMA L-6520-E0-8	6 x 0,08 kN	6 x (1298 / 196 / 122 mm)	Klagenfurt	17,6	0,19
12		610	323	6 x PW-65-18-XW2-R LTE	6 x 0,1 kN	6 x (1219 / 167 / 89,5 mm)	Wolfsberg	18	0,2
13		323	193	1 x K 742 271	1 x 0,26 kN	1 x (1933 / 261 / 146 mm)	Pöllauberg	17,6	0,19
14	12	406	244	3 x K 742 212 UMTS	3 x 0,075 kN	3 x (1302 / 155 / 69 mm)	Kalsdorf	20,4	0,26
15		457	323	3 x PW-65-18-XXW2-R LTE, 3 x K 742 212 UMTS	3 x 0,17 kN + 3 x 0,075 kN	3 x (1209 / 343 / 89 mm) + 3 x (1302 / 155 / 69 mm)	Graz	20,4	0,26

**Tabelle 4** Antennenaufbauten für Rohrmasten

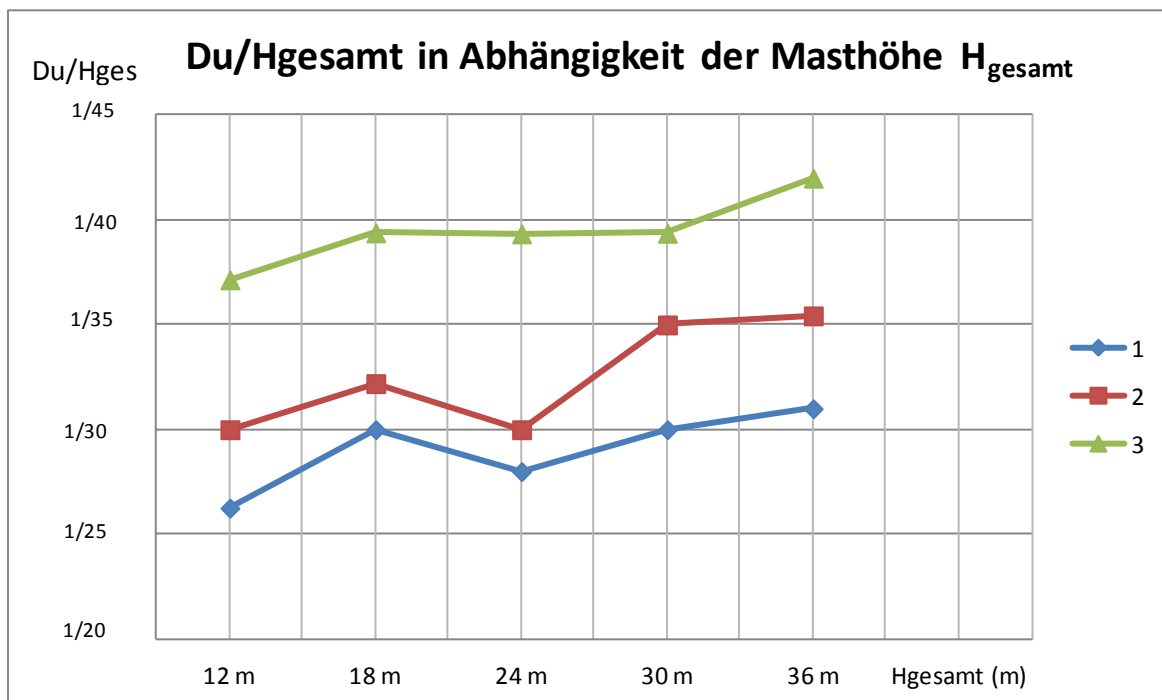
### a) Schlankheit des Mastes

Bild 13 zeigt die Abhängigkeit der Basisabmessung  $D_u$  von der Masthöhe  $H_{ges}$ . Es wurden je drei Masten einer Höhe (12 m, 18 m, 24 m, 30 m, 36 m) untersucht. Damit können zwei einhüllende Geraden gezogen werden, wobei die obere Grenzgerade als Empfehlung für die Geländekategorie II und die untere Grenzgerade als Empfehlung für die Geländekategorie III angesehen werden kann. Als Basis zur Erstellung dieses Diagrammes diente die Analyse von 15 ausgeführten Rohrmasten.



**Bild 13** Schlankheit des Rohrmastes in Abhängigkeit der Höhe ( $H_{ges}$ )

Der nachfolgenden Abbildung 14 können die Schlankheiten der untersuchten Rohrmasten entnommen werden. Es liegen drei Kurven für je drei gleiche Masthöhen vor; hohe, mittlere und geringe Schlankheit.



**Bild 14** Verhältnis zwischen  $D_u$  und  $H_{ges}$  für Rohrmasten

Wie im Bild 13 zu sehen ist, steigt mit zunehmender Höhe ( $H_{ges}$ ) die untere Sektionsbreite ( $D_u$ ). Für Rohrmasten  $H_{ges} = 12$  m (niedrigste untersuchte Höhe für Rohrmasten) ist  $D_{u,min}=323$  mm und  $D_{u,max}=457$  mm. Für Rohrmasten  $H_{ges} = 36$  m (größte untersuchte Höhe) ist  $D_{u,min}=864$  mm und  $D_{u,max}=1168$  mm.

Im Bild 14 sind die Änderungen der Verhältnisse  $D_u / H_{ges}$  in Abhängigkeit der Höhe des Rohrmastes ( $H_{ges}$ ) zu sehen. Für 15 Rohrmasten welche eine  $H_{ges}$  von 12 m bis 36 m aufweisen sind die kleinsten Verhältnisse für  $D_u/H_{ges} = 1/26$  ( $H_{ges}=12$  m) und die maximalen Verhältnisse für  $D_u/H_{ges} = 1/42$  ( $H_{ges}=36$  m).

Diese Ergebnisse können für die erste Annahme der Konstruktion des Rohrmastes für eine Höhe zwischen 12 m und 36 m verwendet werden.

## b) Verjüngung des Mastes mit zunehmender Höhe

Im Bild 15 sind die Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  in Abhängigkeit von  $a_i/D_u$  für Rohrmasten  $H_{ges} = 12 - 36$  m (Tabelle 3, Mast Nr. 1-15) zu sehen.

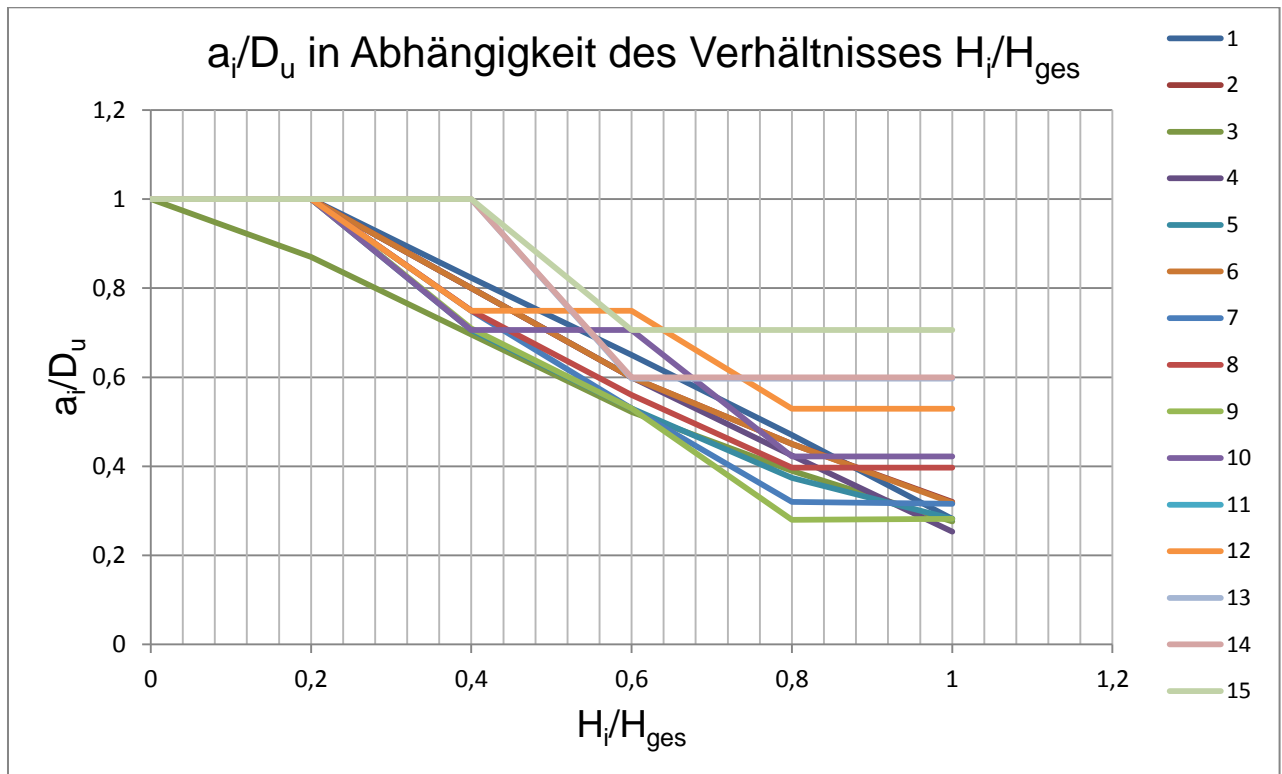
In den Bildern 16 bis 20 sind die Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  und  $a_i/D_u$  für jede analysierte Masthöhe (drei Masten pro Höhe) einzeln angegeben.

Die Konstruktion eines Rohrmastes erfolgt meist aus zusammengeflanschten Rohrschüssen deren Dimension mit zunehmender Höhe abnimmt. Das heißt die Breite  $a_i$  des Rohrmastes verringert sich mit zunehmender Höhe  $H_i$ . Um das Verhältnis  $a_i/D_u$  in Abhängigkeit der Höhe  $H_i/H_{ges}$  darzustellen, wurde für jeden Rohrmast eine Grafik (siehe Bilder 16 – 20) erstellt.

Diese Werte  $a_i/D_u$  wurden für alle 15 untersuchten Rohrmasten in den Höhen  $0,2 H_{ges}$ ,  $0,4 H_{ges}$ ,  $0,6 H_{ges}$  und  $0,8 H_{ges}$  bestimmt. Die Auswertungen haben gezeigt, dass die Verhältnis  $a_i/D_u$  sich wie folgt ändert:

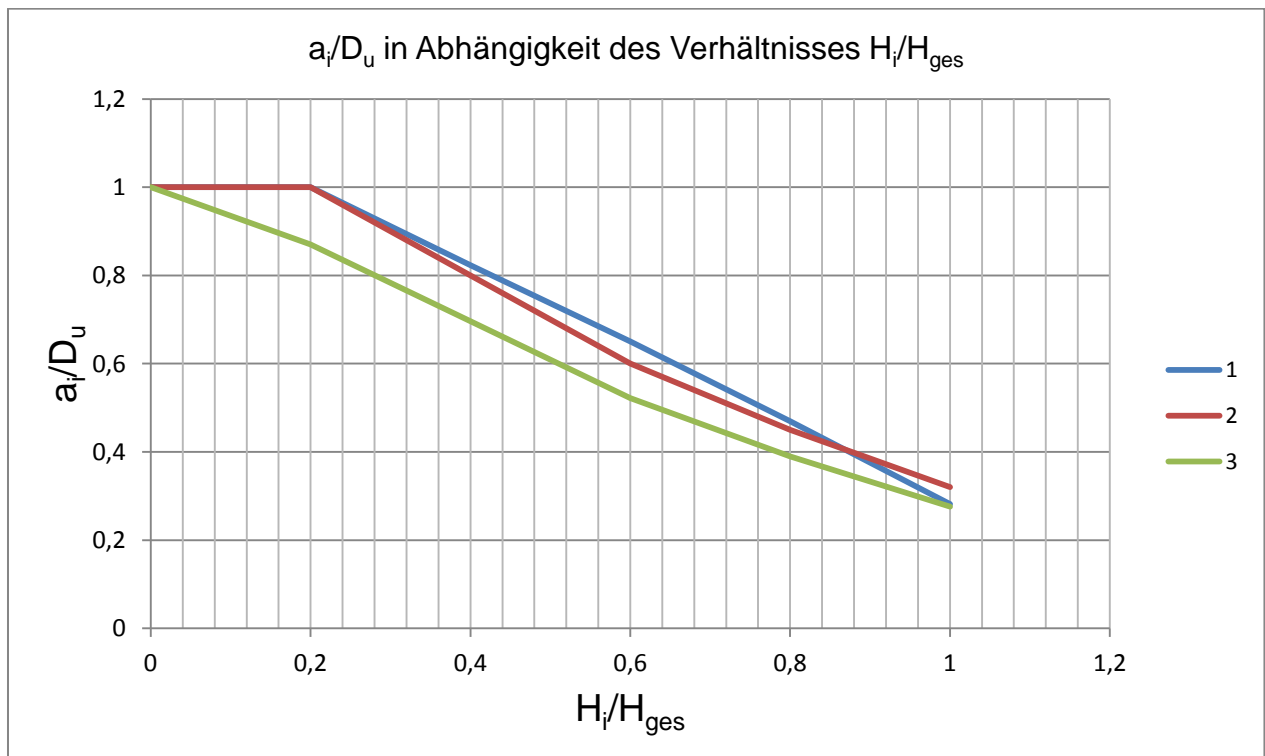
So wie aus dem Bild 15 ersichtlich variiert für  $H_i/H_{ges}=0,2$  das Verhältnis  $a_i/D_u$  von 0,87 bis 1. Für  $H_i/H_{ges}=0,4$  variiert das Verhältnis  $a_i/D_u$  von 0,706 bis 1. Für  $H_i/H_{ges}=0,6$  variiert das Verhältnis  $a_i/D_u$  von 0,53 bis 0,75. Für  $H_i/H_{ges}=0,8$  variiert das Verhältnis  $a_i/D_u$  von 0,28 bis 0,706. Für  $H_i/H_{ges}=1$  variiert das Verhältnis  $a_i/D_u$  von 0,253 bis 0,706.



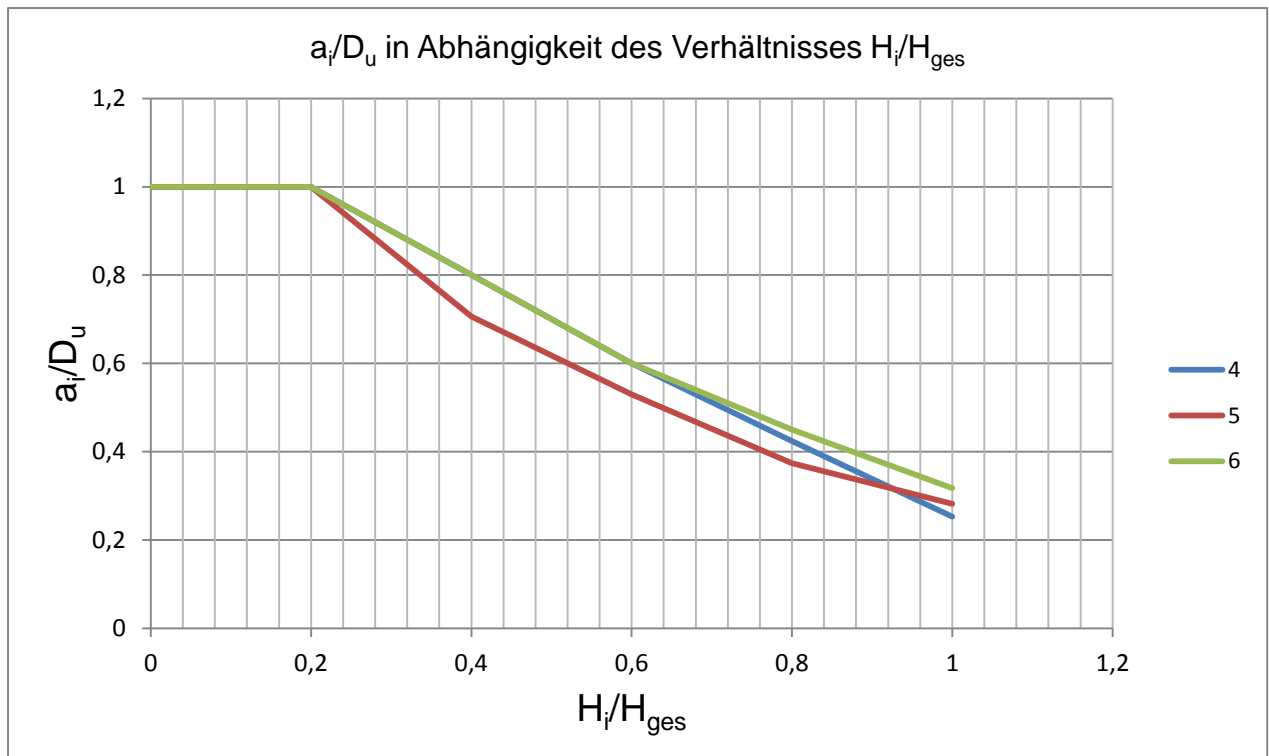


**Bild 15** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  -  $a_i/D_u$

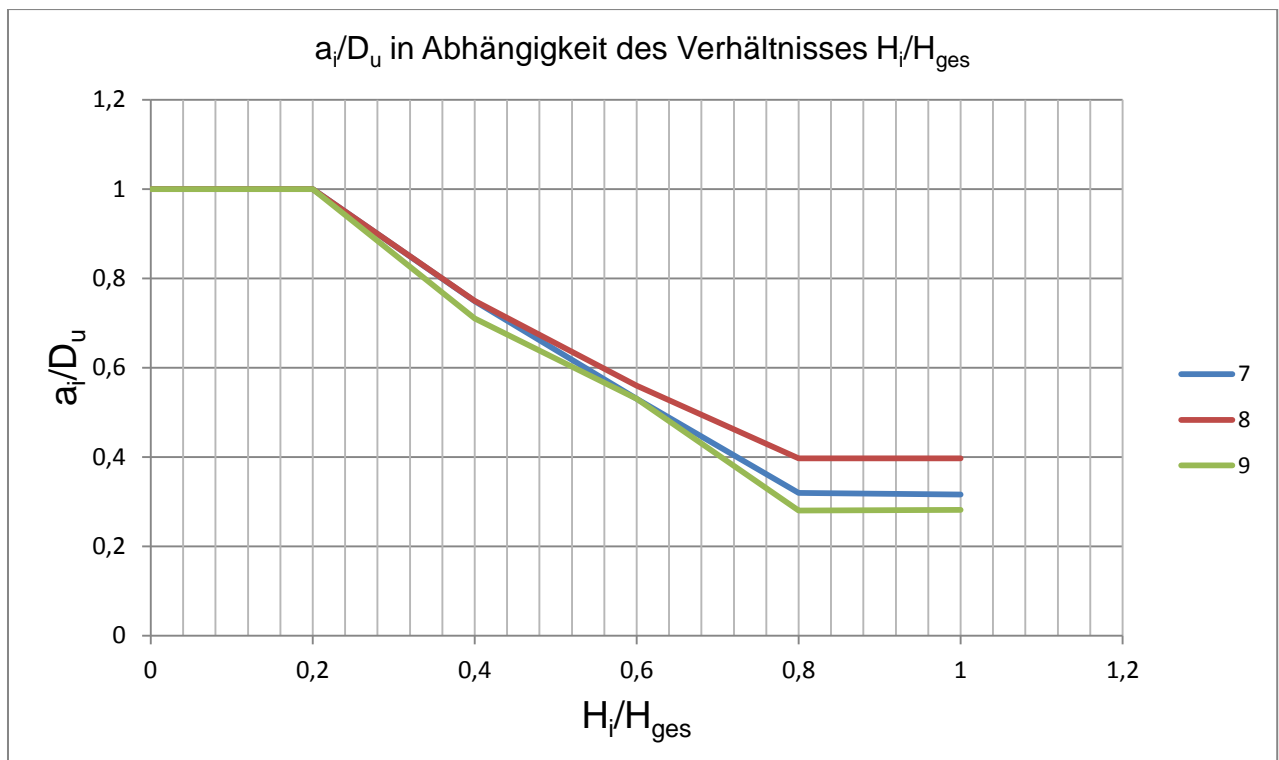
Im Bild 15 sind die Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}=f(a_i/D_u)$  für Rohrmasten  $H_{ges}= 12 - 36$  m (Tabelle 3, Mast Nr. 1-15) zu sehen.



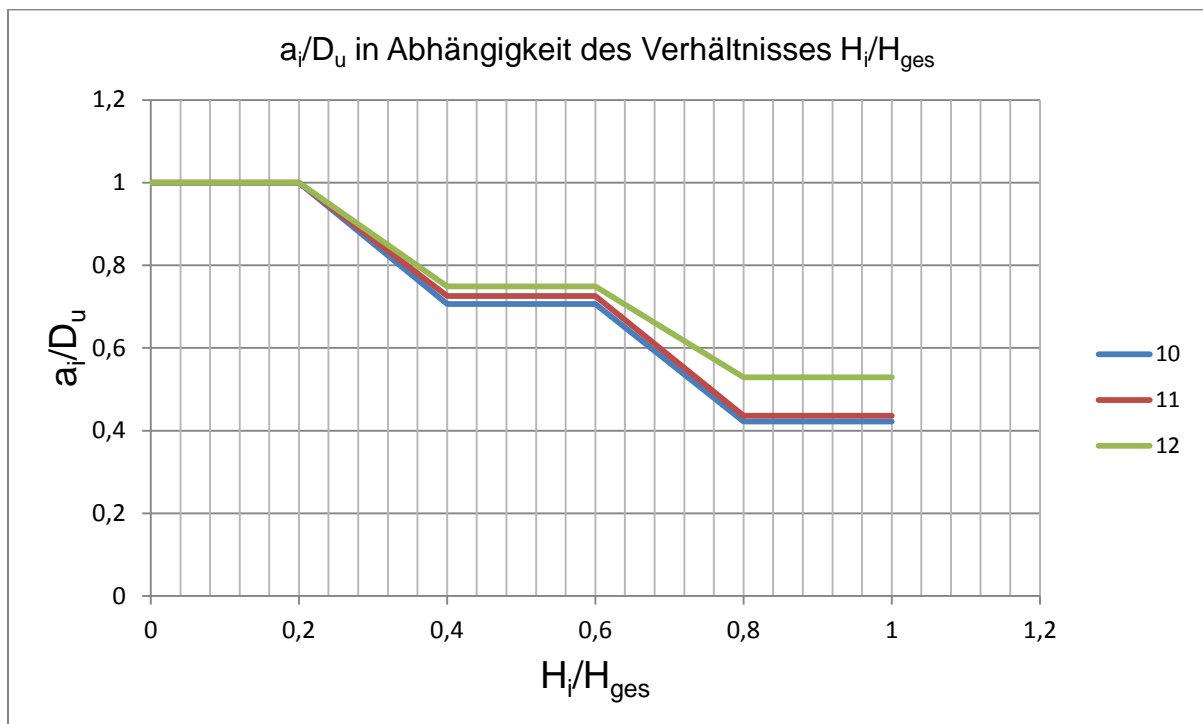
**Bild 16** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges} = a_i/D_u$   
(Tab.3 Mast Nr.1, 2, 3,  $H_{ges}=36$  m)



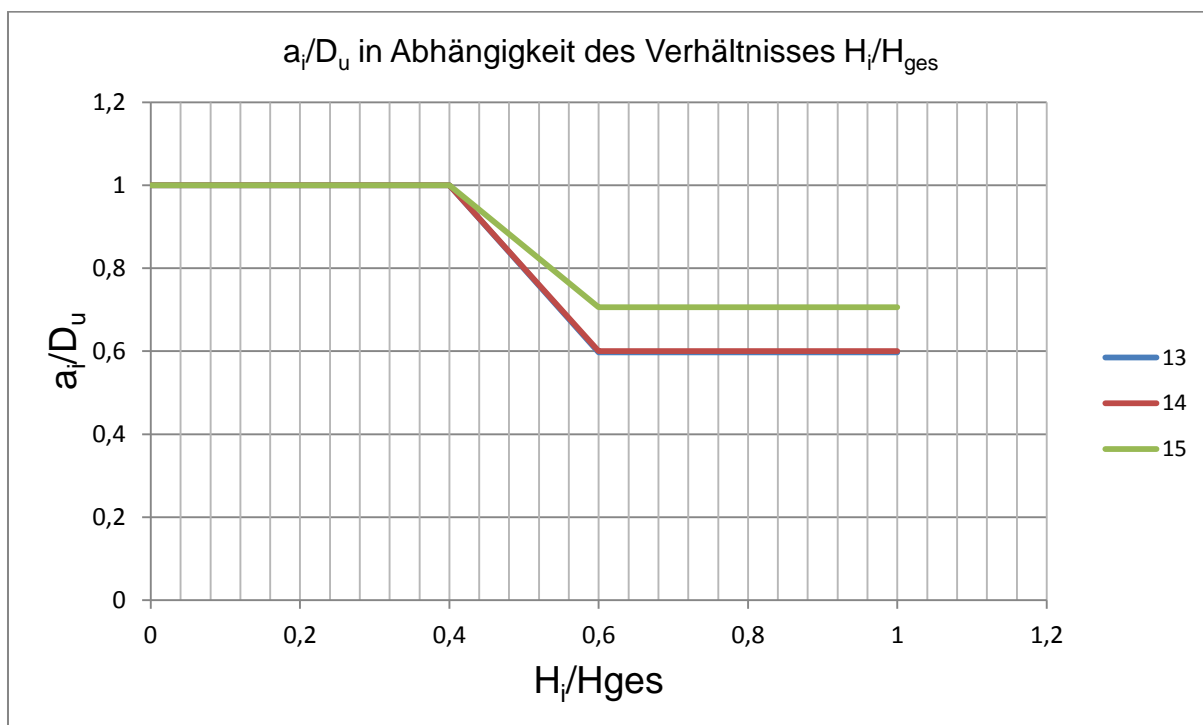
**Bild 17** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  -  $a_i/D_u$   
(Tab.3 Mast Nr.4, 5, 6,  $H_{ges}=30$  m)



**Bild 18** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  -  $a_i/D_u$   
(Tab.3 Mast Nr.7, 8, 9,  $H_{ges}=24$  m)



**Bild 19** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  -  $a_i/D_u$   
(Tab.3 Mast Nr.10, 11, 12,  $H_{ges}=18$  m)



**Bild 20** Verhältnisse zwischen  $H_i/H_{ges}$  -  $a_i/D_u$   
(Tab.3 Mast Nr.13, 14, 15,  $H_{ges}=12$  m)

### c) **Verwendete Rohrquerschnitte**

Die verwendeten Rohrdimensionen der untersuchten Rohrmasten sind im Anhang A.1.2 (siehe Bilder A.19 – A.33) zu sehen. Die Analyse der konstruktiven Elemente der 15 Rohrmasten zeigen, dass folgende Rohrquerschnitte ausgeführt wurden:

Die Rohrquerschnitte variieren von maximal  $\varnothing 1168$  mm (untere Sektion bei  $H_{ges}=36$  m) bis minimale  $\varnothing 323$  mm (obere Sektion bei  $H_{ges}=12$  m).

Die endgültige Bestimmung der Rohrdurchmesser für Rohrmasten werden durch statische Berechnung bestimmt.

### **1.3.2 Zusammenfassung**

In der Tabelle 3 sind Struktur und geometrische Werte für Rohrmasten angegeben.

Die Analyse von Rohrmasten erfolgte auf Basis von 15 Masten, welche in Abhängigkeit von  $H_{ges} = 12$  m, 18 m, 24 m, 30 m und 36 m gruppiert wurden. Innerhalb jeder Gruppe wurden 3 Rohrmasten mit gleicher Höhe, aber unterschiedlichen Parameter  $D_u$  und  $D_o$  untersucht. Hierbei ist  $D_u$  der untere Sektionsdurchmesser und  $D_o$  ist der obere Sektionsdurchmesser. Die Auswahl der untersuchten Masten basiert auf häufig verwendeten Abmessungen in der Praxis.

Die Untersuchung wurde für Rohrmasten bestehend aus Rohrprofile durchgeführt.

In der Tabelle 3 sind die Ergebnisse dieser Untersuchung, mit den diversen Breiten ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  und  $a_4$ ) und in verschiedenen Höhen des Mastes ( $0,2H_{ges}$ ,  $0,4H_{ges}$ ,  $0,6H_{ges}$  und  $0,8H_{ges}$ ) zu sehen. Es werden auch die Verhältnisse  $a_i/D_u$ ,  $D_o/D_u$ ,  $H_i/H_{ges}$  für jeden Rohrmast angegeben. Anhand dieser Werte wurden die Grafiken in den Bilder 15 – 20 erstellt.

Es wurde eine weitere Tabelle 4 für alle untersuchten Rohrmasten erstellt, die die Informationen bezüglich Anntennenaufbauten, welche auf jedem Rohrmast montiert sind, wiedergibt. In dieser Tabelle sind die Abmessungen, Stückanzahl, Gewichte, Standorte und dazugehörige Böengeschwindigkeiten, Böengeschwindigkeitsdruckwerte zu sehen.

Aufgrund der durchgeführten Analyse der 15 Rohrmasten können folgende Schlußfolgerungen für Rohrmasten zusammengefasst werden:

Die Grenzparameter für Rohrmasten sind unten angegeben:

Min. Höhe:  $H_{ges}=12$  m

Max. Höhe:  $H_{ges}=36$  m (darüber finden Gittermasten Anwendung)

$D_u/H_{gesamt} = 1/26$  für  $H_{ges}=12$  m –  $1/42$  für  $H_{ges}=36$  m)

Verlauf:  $D_{u,min}$  für  $H_{ges}=36$  m: 864 mm

$D_{u,max}$  für  $H_{ges}=36$  m: 1168 mm

$D_{u,min}$  für  $H_{ges}=12$  m: 323 mm

$D_{u,max}$  für  $H_{ges}=12$  m: 457 mm

### **Für Rohrmasten wurden folgende Strukturwerte zusammengefasst:**

Wie in der Tabelle 3 und den Bildern A.19 – A.33 im Anhang (A.1.2) zu sehen ist, können die Hauptparameter für Rohrmasten wie folgt zusammengefasst werden:

1. Alle Sektionen sind 6 m hoch
2. Die Bedingungen von  $D_u/H_{ges}$  beträgt  $1/26 - 1/42$
3. Rohrmasten über einer Höhe von 36 m werden für den Mobilfunk nicht bevorzugt. Für größeren Höhen werden Gittermasten verwendet
4. Die untere Sektionsbreite  $D_u$  ist nicht ausschließlich von  $H_{gesamt}$  abhängig, sie variiert in Abhängigkeit der vorherrschenden Windbelastung und den Aufbauten
5. Bei Rohrmasten mit einer Höhe zwischen  $H_{ges}=12$  m und  $H_{ges}=36$  m variiert die untere Sektionsbreite  $D_u$  zwischen 323 mm und 1168 mm. Die Wandstärke variiert zwischen 3,2 mm und 14,2 mm.

Für die untere Sektionsbreite sind folgende Faktoren entscheidend:

Die vorhandene Grundfläche, die Wünsche vom Auftraggeber (Anzahl der Antennen, Aufbauten etc.), und der bevorzugten Materialliste vom Auftragnehmer. Unter Berücksichtigung der oben genannten Faktoren sowie dem Wind, wird die statische Berechnung erstellt.

## Schlußfolgerung für Masten

1. Bei der durchgeführten Analyse konnten die maximalen und minimalen Struktur und Geometriewerte für 3 stielige Gittermasten und Rohrmasten bestimmt werden.
2. Die dargestellte Grafiken  $a_i/D_u$ , in Abhängigkeit der Höhe  $H_i/H_{ges}$  für 18 untersuchten Gittermasten, können für Vorbemessung verwendet werden. Die dargestellte Grafiken dienen als Bemessungsbeihilfe für die Annahme der Bemessungen  $D_u$  mit Berücksichtigung der geometrischen Parameter ( $H_i/H_{ges}$ ,  $a_i/D_u$ ) der Konstruktionen (siehe Bilder 4 – 10).
3. Laut Grafik, in Bild 2, mit bekannter Höhe des Gittermastes, kann die untere Sektionsbreite  $D_u$  in Abhängigkeit der Höhe  $H_{ges}$  bestimmt werden.
4. Gemäß dem Bild 11 kann die Diagonalenneigung in Abhängigkeit der Höhe des Gittermastes bestimmt werden. So wie aus dem Bild 11 ersichtlich, variiert für Gittermasten  $H_{ges}=48$  m und  $H_{ges}=36$  m die Diagonalenneigung  $\alpha$  zwischen  $24^\circ$ - $37^\circ$ .
5. Die dargestellte Grafiken  $a_i/D_u$  in Abhängigkeit der Höhe  $H_i/H_{ges}$  für 15 untersuchten Rohrmasten können für Vorbemessung verwendet werden. Die dargestellte Grafiken dienen als Bemessungsbeihilfe für die Annahme der Bemessungen  $D_u$  mit Berücksichtigung der geometrischen Parameter ( $H_i/H_{ges}$ ,  $a_i/D_u$ ) der Konstruktionen (siehe Bilder 15 – 20).
6. Laut Grafik, in Bild 13, mit bekannter Höhe des Rohrmastes, kann die untere Sektionsbreite  $D_u$  in Abhängigkeit der Höhe  $H_{ges}$  bestimmt werden.
7. Es wurde die Kontrolle der Bedingungen für die Anwendung von statischen Ersatzlastmethode für folgende Gittermasten  $H_{ges}=48$  m (Mast Nr.1),  $H_{ges}=48$  m (Mast Nr.2),  $H_{ges}=48$  m (Mast Nr.3),  $H_{ges}=36$  m (Mast Nr.9) und  $H_{ges}=24$  m (Mast Nr. 13) durchgeführt.

8. Das Ergebnis der Kriterien für Gittermast  $H_{ges}=48$  m mit  $D_u=2220$  mm beträgt  $0,283 < 1$ . Das Ergebnis der Kriterien für Gittermast  $H_{ges}=48$  m mit  $D_u=3650$  mm beträgt  $0,225 < 1$ . Das Ergebnis der Kriterien für Gittermast  $H_{ges}=48$  m mit  $D_u=4000$  mm beträgt  $0,215 < 1$ . Das Ergebnis der Kriterien für Gittermast  $H_{ges}=36$  m mit  $D_u=2580$  mm beträgt  $0,138 < 1$ . Das Ergebnis der Kriterien für Gittermast  $H_{ges}=24$  m mit  $D_u=1320$  mm beträgt  $0,084 < 1$ .

Diese Kontrollen haben gezeigt, dass bei den Berechnungen von untersuchten Gittermasten bis zu einer Höhe  $H_{ges}=48$  m eine voll-dynamische Windlastberechnung nicht notwendig ist. Windlastberechnung kann mit Verwendung von statischer Windlast durchgeführt werden.

9. Es wurde die Analyse der Holme und Diagonalen mit Berücksichtigung von überkritischen / unterkritischen Bereichen gemacht.

10. Die Grafiken auf dem Bild A.2.2 – A.2.7 können für die Bestimmung der überkritischen / unterkritischen Bereiche für Holme und Diagonale des Gittermastes verwendet werden.

11. Es wurde die Berechnung des Kraftbeiwertes  $c_f$  mit Berücksichtigung allen Aufbauten (Leiter, Kabel) sowie konstruktive Elemente (Holme, Diagonale) siehe Tabelle A.2.2 – A.2.11 gemacht.

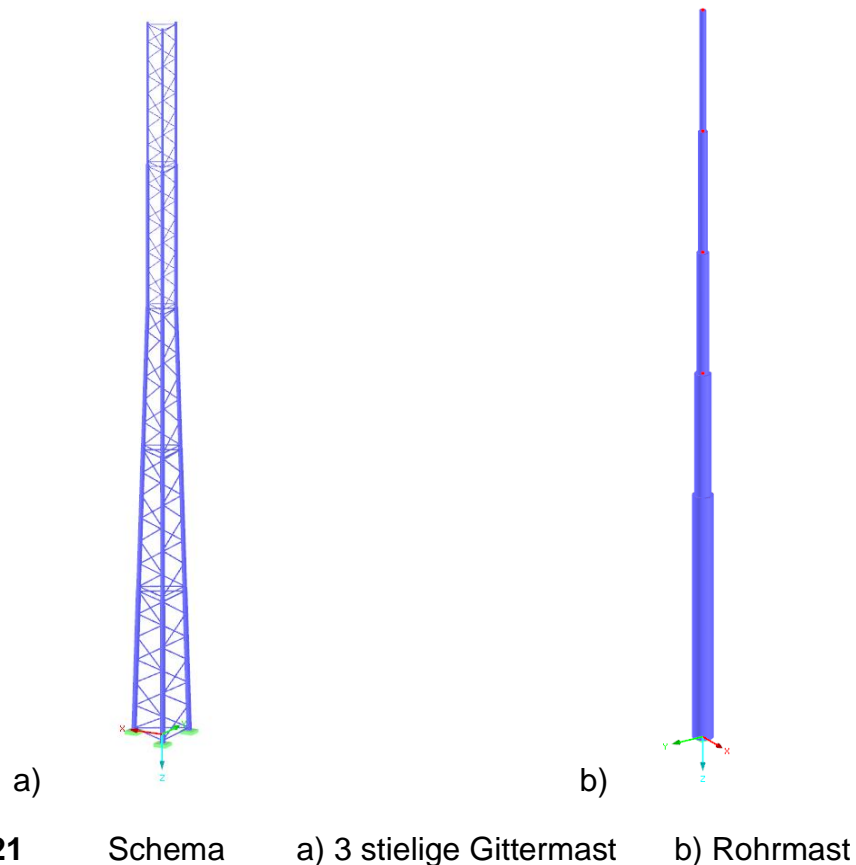


## 2. BERECHNUNGSMODELLE BEI MASTEN

### 2.1 Allgemein

Der Zweck der Untersuchung ist die Auswertung der relativen Leistung im Vergleich zu deren Antennenmasthöhe und Antennenkonstruktionen. Die Länge des Mastes ist variable bis zu 48 m. Laut ÖNORM B 1991-1-4 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, nach Anhang A maximale Basiswindgeschwindigkeit ist  $v_{b,0} = 28,3$  m/s. Im Allgemeinen werden in Österreich im Mobilkommunikationsbereich zwei Typen von Masten verwendet:

- a) 3-stielige Gittermasten
- b) Rohrmasten



Für die Mobilfunktechnik kommen auch Rohrmasten zum Einsatz, die entsprechend dem Stand der Technik einfach auszurüsten sind. Die Antennen können direkt an der tragenden Stahlkonstruktion befestigt werden. Die Kräfte, die auf einem Mast wirken, werden vom Fundament aufgenommen und in den Baugrund abgeleitet.

Die Gittermasten werden im Allgemeinen als dreieckige und viereckige gestaltet. Es werden im Allgemeinen von der Telekom Austria A1 3-Stielige Gittermasten bis zu einer Höhe von 48 m bevorzugt.

Die ÖNORM EN 1991-1-4:2011 gilt für Gebäude und Ingenieurtechnische Bauwerke mit einer Höhe bis 200 m und Brücken mit einer Spannweite bis zu 200 m, vorausgesetzt sie erfüllen die Abgrenzungskriterien hinsichtlich dynamischer Wirkungen.

Diese Norm dient zur Bestimmung der charakteristischen Windlasten auf Bauwerke an Land, sowie zur Bestimmung der Windlasten für Gittermasten mit parallelen Eckstielen und Rohrmasten deren Bauteile und Anbauten.

Diese Norm enthält keine Hinweise zu Windlasten auf Fachwerke und Türme mit nicht parallelen Eckstielen und Windlasten auf abgespannte Masten und abgespannte Kamine.

ÖNORM EN 1993-3-1 ist ein Teil der Berechnung der Windlasten nur für konische Gittermasten und Abspannseile.

Das Ziel ist eine rein statische Berechnung sowie die Bestimmung der einwirkenden Kräfte auf die Tragwerke mitunter ständige und veränderliche Belastungen. Anschließend danach wird eine Berechnung nach ULS und SLS durchgeführt.

## 2.2 Grenzzustände für die Auslegung der Masten

### 2.2.1 Allgemeines

Für die Berechnung der Stahlmasten (Gittermasten und Rohrmasten) werden ständige und veränderliche Einwirkungen berücksichtigt. Die statische Berechnung besteht aus 2 Stufen:

- a) ULS (Ultimate Limit State)
- b) SLS (Serviceability Limit State)

#### a) ULS (Ultimate Limit State) – Grenzzustände der Tragfähigkeiten

ULS auf Deutsch bedeutet die Berechnung nach Grenzzustand der Tragfähigkeiten. In dieser Berechnung werden folgende Kombinationen der Belastungen berücksichtigt: -ständige Einwirkungen + veränderliche Einwirkungen. Zu den ständigen Einwirkungen zählen das Eigengewicht und die Aufbauten. Diese Belastungen werden mit einem Kombinationsbeiwert (siehe Tabelle 6) welcher aus der ÖNORM zu entnehmen ist multipliziert.

Das Ziel der ULS ist die Bestimmung von Berechnungskräften der Holme und Diagonalen bei Gittermasten und der Rohrquerschnitten bei Rohrmasten. Die Spannungen in Querschnitten dürfen nicht die maximale Spannung des Materials (Stahl) überschreiten.

Die Stabilitätsnachweise der Einzelmaste, Knicklängen dürfen nach Euler Fälle berücksichtigt werden.

#### b) SLS (Serviceability Limit State) – Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Die maximalen Auslenkungen und Verdrehungen, Laut ÖNORM EN 1993-3-1, sind in der Regel für die charakteristische Lastkombination auf das Tragwerk und die Anbauten zu bestimmen.

Die Auslenkungen und Verdrehungen von Masten sollen, falls notwendig, nach Theorie II. Ordnung berechnet werden (siehe EN 1993-1-1).

Die maximale Verformung ( $u_{\max}$ ) des Mastes trifft am obersten Punkt. Die Grenzkriterien basiert nach DIN 4131 und der maximale Verdrehungswinkel von der Hauptachse muss  $\alpha \ll 5^\circ$  sein. Verformungen brauchen in der Regel nur den Gebrauchstauglichkeitsanforderungen zu genügen.

Die Gebrauchstauglichkeitskriterien sind vom Kunden in der Projektausschreibung zu definieren (ÖNORM EN 1993-3-1 Anhang B).

## 2.2.2 Eigengewichte der Antennen und Tragkonstruktion

Eigenlast einer Antenne wird aus Antennendatenblatt entnommen [18,19]. Zu den ständigen Einwirkungen zählen die Eigenlasten der gesamten Konstruktion. Für die Festlegung der Eigenlasten ist die ÖNORM EN 1991-1-1 anzuwenden.

Für die Tragwerksplanung von Masten gelten die Grundlagen in EN 1990. Die Eigenlast des Antennenträgers setzt sich aus dem Eigengewicht der Stahlkonstruktion, dem Gewicht der Anbauteile wie Steigleiter, Kabelhochführung. Diese Lasten werden aus den entsprechenden Normen gerechnet.

Die Berechnung des Eigengewichtes erfolgt von der Statik Programme. Zur Berücksichtigung der Befestigung und Verbindungsteile wird ein Zuschlag von 10% angesetzt. Eigenlast der Kabel wird als 0,1 kN/m angenommen und für den Leiter 0,05 kN/m inkl. Schellen [15]. Mannlast nach ÖNORM B/EN 1991-1-1: 1,0 kN.

## 2.2.3 Statische Windlasten

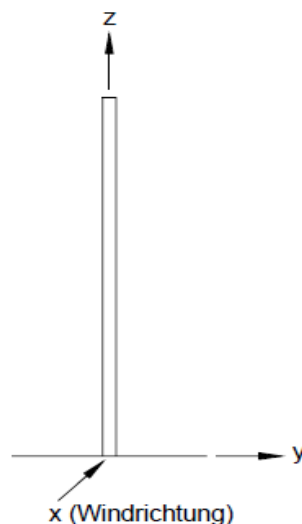
Windlasten sind zeitlich veränderliche Lasten, die das Bauwerk aufgrund natürlich vorkommender Luftturbulenzen zu Schwingungen anregen. Die durch die Schwingungen hervorgerufenen Auslenkungen des Mastkopfes bewegen sich auf einer nahezu elliptischen Bahn. Dabei kann die Amplitude der Auslenkung sowohl in Windrichtung, als auch senkrecht dazu liegen. Windlasten werden deshalb

entsprechend ihrer Richtung unterteilt in Windlasten Windrichtung sowie Windbelastung quer zur Windrichtung.

Windlasten, die das Bauwerk durch natürliche Turbulenzen in der ankommenden Luftströmung und Ablösevorgängen am Bauwerk zu Schwingungen anregen.

Die Windlast ist von der zeitlich und räumlich veränderlichen Windgeschwindigkeit abhängig. Aus dieser zeitlichen Abhängigkeit resultiert eine dynamische Wirkung der Windlast.

Statt einer volldynamischen Berechnung wird eine statische Ersatzlast eingeführt, die durch Multiplikation mit einem den dynamischen Einfluss berücksichtigenden Faktor (Böenreaktionsfaktor) gleich große Beanspruchungen erzeugt. Diese statische Ersatzlast wird auch als statische Referenzlast bezeichnet und als „... statistisch über einen bestimmten Zeitraum gemittelte Windlast..“ [8] definiert (Bild 22).



**Bild 22** Richtungsdefinitionen

Windlastermittlung zur Berücksichtigung der Schwingungswirkung auf das 5-Sekunden-Mittel. Antennentragwerke aus Stahl zählen jedoch in der Regel zu den schwingungsanfälligen Konstruktionen. Für diese Fälle wird in der Normen auf die verwiesen.

Für die Windlastberechnung werden in Österreich folgende Normen verwendet. Die zu treffenden Annahmen zur Windbelastung sind in der ÖNORM B 1991-1-4 (2006) (Eurocode 1) Wirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4; ÖNORM EN 1991-1-4:(2013) (D) (Eurocode 1) Wirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4 und in der EN 1993-3-1 (Eurocode 3): Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. Teil 3-1: Türme, Maste und Schornsteine, (2005).

In Eurocode 3, Teil 3-1, Anhang A werden Teilsicherheitsbeiwerte für ständige und veränderliche Einwirkungen je nach Zuverlässigkeitsklasse der Türme und Masten angegeben (Tabellen 5 und 6).

## 2.2.4 Teilsicherheitsfaktoren seitens der Einwirkungen

Die Zuverlässigkeitsklassen und Teilsicherheitsbeiwerte sind in den nachfolgenden Tabellen (siehe Tabelle 5 und 6) angegeben.

**Tabelle 5 Zuverlässigkeitsklasse (ÖNORM EN 1993-3-1;A)**

Zuverlässigkeitsklasse	
3	Türme und Maste, die an städtischen Standorten errichtet werden oder dort,wo ihr Versagen zu Verletzten oder Toten führen kann; Türme und Maste für wichtige zentrale Telekommunikationsanlagen; andere bedeutende Bauwerke, bei denen die Versagensfolgen sehr hoch sein können
2	Alle Türme und Maste, die nicht zu Klasse 1 oder 3 gehören
1	Türme und Maste, die auf unbewohnten Gebieten stehen; Türme und Maste, durch deren Versagen wahrscheinlich keine Verletzungen entstehen

**Tabelle 6 Teilsicherheitsbeiwerte (ÖNORM EN 1993-3-1;A)**

Wirkungen der Einwirkung	Zuverlässigkeitsklasse	Ständige Einwirkungen	Veränderliche Einwirkungen
ungünstig	3	1.2	1.6
	2	1.1	1.4
	1	1.0	1.2
günstig	Alle Zuverlässigkeitsklassen	1.0	0.0
Außergewöhnliche Situationen		1.0	1.0

Basisgeschwindigkeitswerte und Basisgeschwindigkeitsdruck sind abhängig von der Seehöhe des Ortschaftes. Grundwerte von Basisgeschwindigkeit  $v_{b,0}$  (m/s) und Basisgeschwindigkeitsdruck  $q_{b,0}$  (kN/m<sup>2</sup>) sind in der ÖNORM B 1991-1-4 Anhang A gegeben.

### Zusammenfassung für Handymasten

Für die Berechnung der Masten nach ULS laut ÖNORM EN 1993-3-1;A werden am meisten folgende Sicherheitsbeiwerte verwendet (siehe Tabelle 5 und 6):

Bebautes Gebiet:

Ungünstig:  $\gamma_G = 1,2$ ,  $\gamma_Q = 1,6$

Unbebautes Gebiet:

Ungünstig  $\gamma_G = 1,0$   $\gamma_Q = 1,2$

Günstig:  $\gamma_G = 1,0$   $\gamma_Q = 0$

(für alle Gebiete)

Für die Berechnung der Masten nach SLS laut ÖNORM EN 1993-3-1 werden folgende Sicherheitsbeiwerte empfohlen:  $\gamma_G = \gamma_Q = 1,0$  (ungünstig)

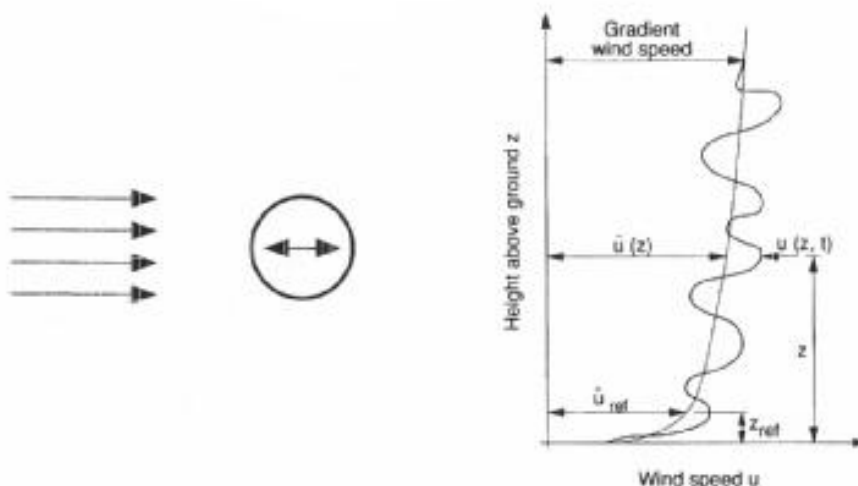
## 2.3 Grenzkriterien für statische Windersatzlasten

### 2.3.1 Dynamische Wirkung des Windes

Insbesondere sind Rohrmasten für die Auswirkungen von Windlasten anfällig. Bei Windlasten welche auf Strukturen des Rohrmastes wirken, bestehen Gefahren.

Einige wichtige Windeffekte auf Antennenmaste können wir nach [9] definieren. Winderregte Schwingungen sind ein sehr anspruchsvolles und breites Gebiet. Eine ausführliche Behandlung durchzuführen ist hier nicht möglich. Es wird auf die entsprechende Literatur verwiesen. Mögliche Effekte sind: Böen, Wirbelablösung und Puffern.

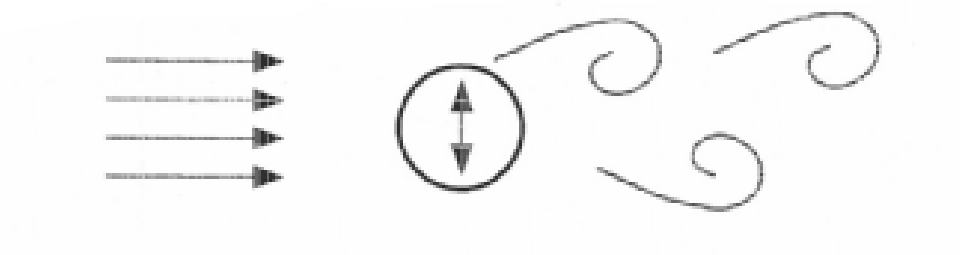
**Böen** -Turbulenter Wind mit örtlich und zeitlich variabler Windgeschwindigkeit.



**Bild 23** Stochastische Einwirkungen in Windrichtung [9]

**Wirbelablösung** - Wirbel links und rechts lösen sich nicht gleichzeitig ab. Wenn der zeitliche Abstand der Wirbelablösungen gleich der Schwingzeit des Bauwerks ist, herrscht Resonanzanregung.





**Bild 24** Periodische Einwirkungen quer zur Windrichtung [9]

Kritische Windgeschwindigkeit nach Formel [9] ist:

$$u_{\text{crit}} = \frac{f_c d}{S}$$

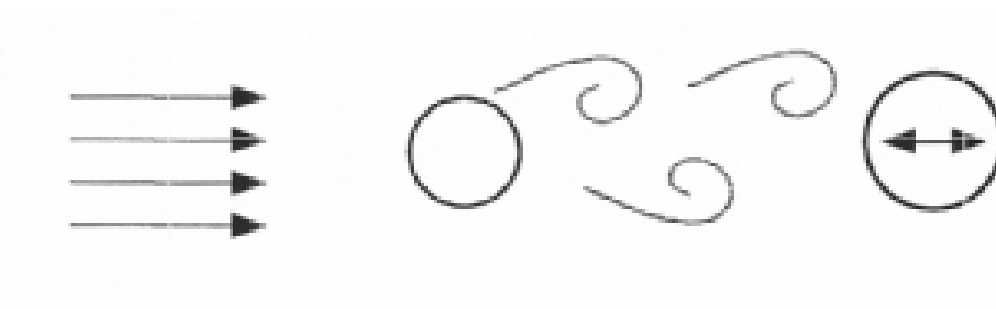
Worin:

$f_c$  Eigenfrequenz des Bauwerks quer zur Windrichtung

$d$  Durchmesser des Bauwerkes

$S$  Strouhalzahl ( für Kreisquerschnitte = 0.2)

**Puffern** -An einen Hindernis abgelöste Wirbel treffen auf das Bauwerk.



**Bild 25** Periodische Einwirkungen in Windrichtung [9]

Für die Analyse von Grenzkraften, so dass rein statische Berechnung für die Rohrmasten ermöglichen, gelten:

Wirbelerregte Querschwingungen treten auf, wenn sich Wirbel alternierend von gegenüberliegenden Seiten einer Bauwerksstruktur ablösen.

Hierdurch entsteht eine alternierende Belastung quer zum Wind. Das Bauwerk kann zu Schwingungen angeregt werden, wenn die Frequenz der Wirbelablösung gleich einer Bauwerkseigenfrequenz ist. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die Windgeschwindigkeit der kritischen Windgeschwindigkeit, die  $v_{crit}$  entspricht. Üblicherweise ist die kritische Windgeschwindigkeit eine häufig auftretende Geschwindigkeit, so dass die Ermüdungsbeanspruchung und die damit verbundene Anzahl der Spannungsschwingspiele bemessungsrelevant werden kann (ÖNORM EN 1991-1-4 2011-05-15 Anhang E).

Wirbelerregte Querschwingungen sind zu untersuchen, wenn das Verhältnis der größten zur kleinsten Bauwerkabmessung in der Ebene senkrecht zur Windrichtung den Wert 6 überschreitet.

Laut ÖNORM B 1991-1-4, Anhang C (C.1) Wirbelinduzierte Querschwingungen brauchen nicht untersucht werden, wenn:

$$v_{crit,i} > 1,25 v_m$$

Dabei ist:

$v_{crit,i}$  die kritische Windgeschwindigkeit für die i. Eigenform

$v_m$  die mittlere 10-Minuten Windgeschwindigkeit am Querschnittsbereich, an dem Wirbelerregung auftritt.

Laut ÖNORM EN 1991-1-4, nach Formel 4.3 kann die mittlere Windgeschwindigkeit  $v_m(z)$  in der Höhe  $z$  über Grund welche hängt von der Geländerauhigkeit, der Topographie und der Basisgeschwindigkeit  $v_b$  ab berechnet werden.

$$v_m(z) = c_e(z) * c_0(z) * v_b$$

Dabei sind:

$c_e(z)$  Rauigkeitsbeiwert nach Abschnitt 4.3.2 lt. Önorm EN 1991-1-4

$c_0(z)$  Topographiebeiwert nach Abschnitt 4.3.3 lt. Önorm EN 1991-1-4

Die Basisgeschwindigkeit  $v_b$  in Formel (4.1) EN 1991-1-4; 2005 D errechnet sich aus:

$$V_b = C_{dir} C_{season} V_{b,0}$$

$$v_b = v_{b,0} \text{ (lt. ÖNORM B 1991-1-4)}$$

Worin:

$C_{dir}$	Richtungsfaktor der empfohlenen werte werden $c_{dir} = 1.0$
$C_{season}$	Jahreszeitenbeiwert, empfohlenen werte werden $c_{season} = 1.0$
$V_{b,0}$	Grundwert der Basisgeschwindigkeit, die (ÖNORM B 1991-1-4 Anhang A Tabelle A.1)

Die kritische Windgeschwindigkeit einer Biegeschwingsform  $i$  ist definiert als die Windgeschwindigkeit, bei der die Frequenz der Wirbelablösung gleich der Eigenfrequenz (Schwingsform  $i$ ) des Tragwerks bzw. des Bauteils ist. Sie wird gemäß ÖNORM B 1991-1-4; Anhang C, Formel C.2 wie unten berechnet.

$$v_{crit,i} = \frac{b * n_{i,y}}{St}$$

Dabei ist:

$b$  maßgebende Breite des Querschnitts im Bereich der Wirbelerregung und an dem die maximale modale Auslenkung der Bauwerksstruktur (oder eines Teilbereichs) auftritt; bei Kreiszyllindern ist die maßgebende Breite gleich dem äußeren Durchmesser.

$St$  die Strouhalzahl für Kreiszyllinder und alle Reynolds-Zahlen  $St=0,18$

$n_{i,y}$  Eigenfrequenz der  $i$ -ten Schwingsform für Schwingungen quer zur Windrichtung, Näherungsgleichungen für  $n_{1,y}$  werden wie unten berechnet

Für auskragende Systeme kann eine vereinfachte Gleichung zur Berechnung der Grundbiegeeigenfrequenz  $n_1$  von kreiszyllindrische Querschnitte des Systems verwendet werden: (ÖNORM EN 1991-1-4;D Formel F.3, F.4)

$$n_{i,y} = \frac{\varepsilon_1 b}{h_{eff}^2} \sqrt{\frac{W_s}{W_t}} \quad [\text{Hz}]$$

mit:

$$h_{eff} = h_1 + \frac{h_2}{3}$$

Dabei ist:

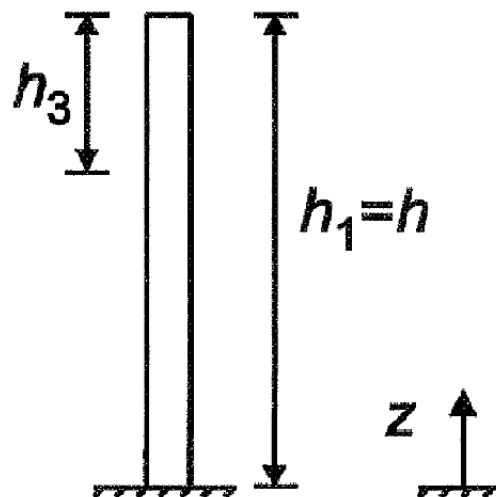
$b$  der obere Durchmesser des Kreisquerschnittes (m)

$h_{eff}$  die effektive Höhe (m)

$W_s$  das Gewicht der Bauwerksteile, die zur Biegesteifigkeit des Rohrmastes beitragen

$W_t$  das Gesamtgewicht des Rohrmastes

$\varepsilon_1$  1000 für Stahlrohrmaste



Anmerkung:  $h_3 = h_1/3$ ;  $h_3$ - ist die obere Drittel des Rohrmastes

**Bild 26** Abmessungen bei Rohrmasten

### 2.3.2 Statische Ersatzlast Methode für Gittermasten

Der Einfluss böenerregter Schwingungen darf bei freistehenden Gittermasten mit einer statischen Ersatzlast erfasst werden.

Mit einer statischen Vorgehensweise wird die dynamische Windwirkung nur näherungsweise berücksichtigt, EN 1993-3-1 sieht deshalb wie unten die Einhaltung eines empirischen Abgrenzungskriteriums vor.

$$\frac{7m_T}{\rho_S c_{f,T} A_T \sqrt{d_B \tau_o}} \left( \frac{5}{6} - \frac{h_T}{H} \right)^2 < 1$$

Hierhin ist  $c_{f,T} A_T$  die Summe des Windwiderstandes (Produkt aus Kraftbeiwert und Fläche), summiert über alle einzelnen Abschnitte, wobei mit der

Summation an der Mastspitze zu beginnen ist und  $c_{f,T} A_T$  gerade kleiner als ein Drittel des Widerstandes für den gesamten Mast sein muss. Ist N die Gesamtzahl aller Abschnitte, in die der Turm unterteilt wurde, und i die laufende Nummer des Abschnittes mit i=1 an der Turmspitze, so muss gelten:

$$c_{f,T} A_T = \sum_{i=1}^n c_{f,i} * A_{S,i} \leq \frac{1}{3} \sum_{i=1}^N c_{f,i} * A_{S,i} \quad [21]$$

Bei i=n ist die Summer gerade noch kleiner als Gesamtwindwiderstand.

Die übrigen Variablen sind:

$\rho_S$  Dichte des Werkstoffs der Konstruktion (in kg/m<sup>3</sup>)

$m_T$  Gesamtmasse der Abschnitte i im Bereich von  $c_{f,i}$  (in kg), einschließlich aller Anbauten.

h Turmhöhe (in m)

$h_T$  Gesamthöhe der Abschnitte i im Bereich von  $c_{f,i}$  jedoch nicht größer als H/3 (in m)

$\tau_o$  Volumen-/Widerstandskonstante, anzusetzen mit 0,001 m

$d_B$  Tiefe in Windrichtung, anzusetzen mit:

- 0,75 x Basisbreite für dreigurtige Maste (in m)
- Basisbreite  $d$  für rechtwinklige Gittermaste (in m)

$A_s$  die Summe der auf die betrachtete Seite projizierten Flächen der Stäbe und Knotenbleche  $A = \sum d_i \lambda_i$

Die Kontrolle der Kriterien, für die Anwendung statischer Ersatzlast Methode, wurde für folgende Gittermasten  $H_{ges}=48$  m (Mast Nr.1),  $H_{ges}=48$  m (Mast Nr.2),  $H_{ges}=48$  m (Mast Nr.3),  $H_{ges}=36$  m (Mast Nr.9) und  $H_{ges}=24$  m (Mast Nr. 13) durchgeführt.

Das Ergebnis der Kriterien für Gittermast  $H_{ges}=48$  m mit  $D_u=2220$  mm beträgt  $0,283 < 1$  (maßgebend: Schlankester untersuchter Mast).

Das Ergebnis der Kriterien für Gittermast  $H_{ges}=48$  m mit  $D_u=3650$  mm beträgt  $0,225 < 1$ .

Das Ergebnis der Kriterien für Gittermast  $H_{ges}=48$  m mit  $D_u=4000$  mm beträgt  $0,215 < 1$ .

Das Ergebnis der Kriterien für Gittermast  $H_{ges}=36$  m mit  $D_u=2580$  mm beträgt  $0,138 < 1$ .

Das Ergebnis der Kriterien für Gittermast  $H_{ges}=24$  m mit  $D_u=1320$  mm beträgt  $0,084 < 1$ .

Diese Kontrollen haben gezeigt, dass für die Berechnung von Gittermasten mit Windbelastung bis zu einer Höhe  $H_{ges}=48$ m die Ersatzlast Methode angewendet werden darf.

Die detaillierte Ergebnisse dieser Berechnungen sind im Anhang A.2.2 angegeben.

## 2.4. Statische Windbelastung

### 2.4.1 Geländekategorie und Geländeparameter

Böengeschwindigkeitsdruck:  $q_p(z) = C_e(z) q_b$

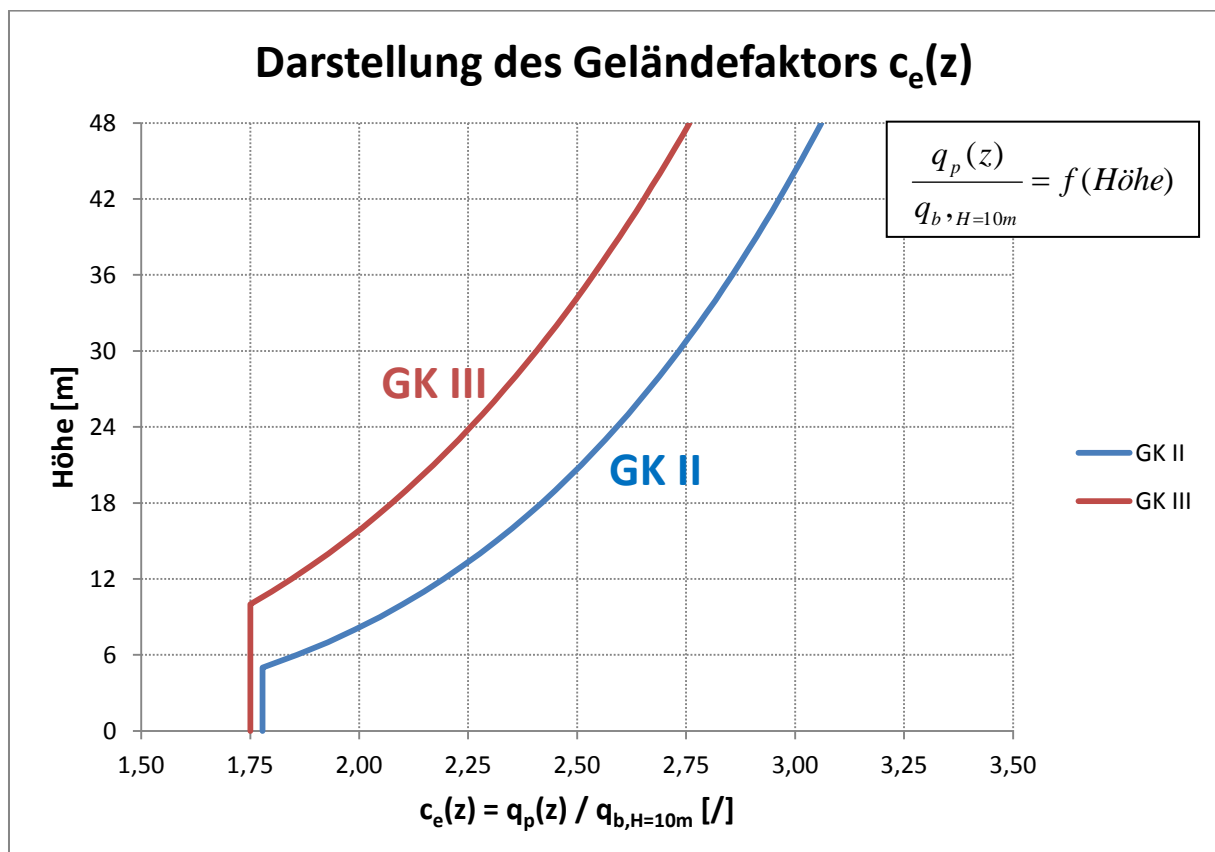
$q_p(z)$  -Böengeschwindigkeitsdruck in der Bezugshöhe  $z_e$

$q_b = q_{b,H=10m}$  -Spitzengeschwindigkeitsdruck (ÖNORM B 1991-1-4 Anhang A)

$c_e(z)$  -Geländefaktor gemäß Tabelle 7 (ÖNORM B 1991-1-4 Tabelle 1)

$\frac{q_p(z)}{q_b} = \frac{q_p(z)}{q_{b,H=10m}} = c_e(z) = f(\text{Höhe})$  Bild 28 zeigt der Verhältnisänderung von

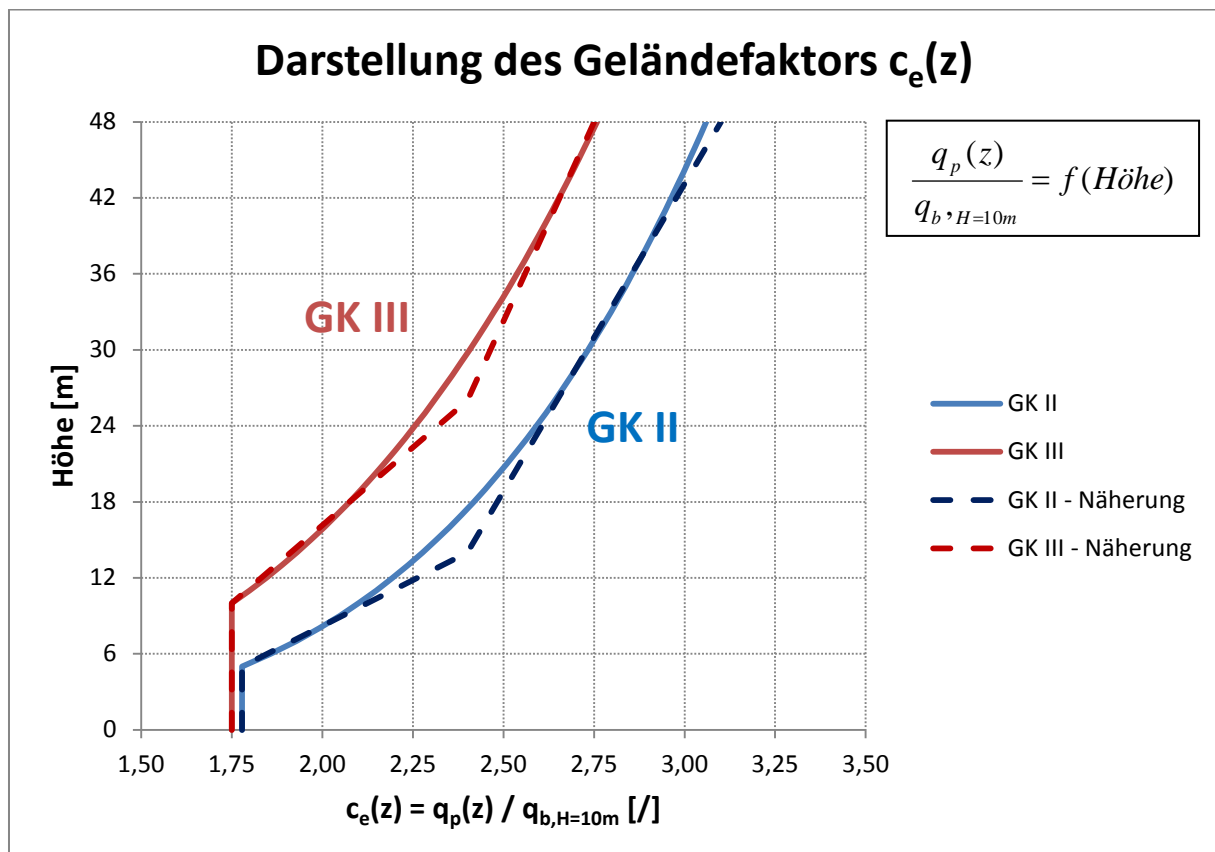
Böengeschwindigkeitsdruck und Geländefaktor für die Geländekategorien II und III.



**Bild 27** Darstellung der Geländefaktor  $\frac{q_p(z)}{q_{b,H=10m}} = f(\text{Höhe})$

In der Abbildung 27 und 28 sind die Werte für Geländefaktor  $C_e(z)$  welche mit der Formel lt. der Tabelle 7 für Geländekategorien II und III berechnet wurde.

Abbildung 28 zeigt vereinfachte lineare Verläufe für Geländekategorien II und III als trapezförmiges Windprofil über die Höhe.



**Bild 28** Vereinfachte lineare Darstellung der Geländefaktor  $\frac{q_p(z)}{q_b \cdot H=10m} = f(\text{Höhe})$



**Tabelle 7** Geländekategorien und Geländeparameter nach ÖNORM B 1991-1-4

Geländekategorie	Geländefaktor $C_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$	$C_r^2(z) = \frac{q_m}{q_b} = \frac{q_m}{q_{b,0}}$	Turbulenzintensität $I_v(z)$	$z_{min}$ m
II	$2.1 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.24}$	$\left(\frac{z}{10}\right)^{0.3}$	$0.18 \left(\frac{z}{10}\right)^{-0.15}$	5
III	$1.75 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.29}$	$0.593 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.42}$	$0.29 \left(\frac{z}{10}\right)^{-0.21}$	10

$C_r$  -Rauhigkeitsbeiwert,

$q_p$  -Spitzengeschwindigkeitsdruck,

$q_m$  -mittlerer Geschwindigkeitsdruck (10-min-Mittel), wobei:  $q_m(z) = C_r^2(z) \cdot q_b$

$q_b = q_{b,0}$  -Referenzwert des Geschwindigkeitsdruckes  
(10-min-Mittel in 10 m Höhe, Geländekategorie II und III),

$I_v(z)$  -Turbulenzintensität

$z_{min}$  -minimale Höhe, bis zu der das jeweilige Profil gilt; darunter ist der Wert für  $z_{min}$  zu nehmen

$z_m$  Höhe bei der sich die Stielprojektion geneigter Stiele schneidet

**Tabelle 8** Geländekategorien und Geländeparameter  
(EN 1991-1-4;2005D Tabelle 4.1)

	Geländekategorie	$z_0$ in m	$z_{min}$ in m
0	See, Küstengebiete, die der offenen See ausgesetzt sind	0.003	1
I	Seen oder Gebiete mit niedriger Vegetation und ohne Hindernisse	0.01	1
II	Gebiete mit niedriger Vegetation wie Gras und einzelne Hindernisse (Bäume, Gebäude) mit Abständen von min. 20facher Hindernishöhe	0.05	2
III	Gebiete mit gleichmäßiger Vegetation oder Bebauung oder mit einzelnen Objekten mit Abständen von weniger als der 20-fachen Hindernishöhen (z.B. Dörfer, vorstädtische Bebauung, Waldgebiete)	0.3	5
IV	Gebiete, in denen mindestens 15 % der Oberfläche mit Gebäuden mit einer mittleren Höhe größer als 15 bebaut sind	1.0	10
Die Geländekategorien sind in Anhang A.1 illustriert.			

Geländekategorien 0 (Küstengebiete) und 1 (ohne Hindernisse) treten in Österreich nicht auf.

## 2.4.2 Statische Windbelastung für Gittermasten

Statische Windlast für Gittermast nach ÖNORM EN 1991-1-4 wird wie folgt berechnet:

$$W = C_s C_d C_f q_p \quad (\text{kN/m}^2)$$

Für Gittermasten mit quadratischem oder gleichseitigem, dreieckigem Querschnitt ergibt sich der Gesamtkraftbeiwert  $c_f$  für Gitter wie unten:

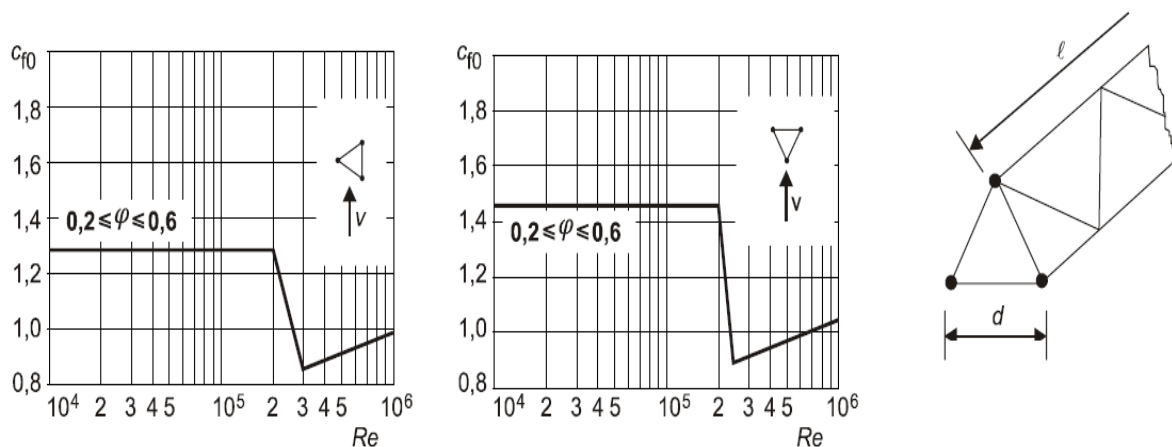
$$C_f = C_{f,0} \psi_\lambda$$

Worin:

$C_{f,0}$  Grundkraftbeiwert für Gitter mit unendlicher Schlankheit

$Re$  Reynoldszahl aufgrund des mittleren Stabdurchmessers  $b$

$\psi_\lambda$  Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit  $\lambda$ , die mit  $\lambda$  und der Breite  $b = d$  nach Bild 29 berechnet wird.



**Bild 29** Grundkraftbeiwert  $C_{f,0}$  für ein räumliches Fachwerk aus Profilen mit kreisförmigem Querschnitt

Der Völligkeitsgrad  $\varphi$  ist wie folgt definiert:

$$\varphi = \frac{A}{A_c}$$

Worin:

$A$  die Summe der auf die betrachtete Seite projizierten Flächen der Stäbe und

Knotenbleche  $A = \sum b_i \lambda_i + \sum_k A_{gk}$

$A_c$  die senkrechte Projektion der von den Umrandungen der Konstruktion eingeschlossenen Fläche  $A_c = d \lambda$

$\lambda$  Länge des Fachwerks

$d$  Breite des Fachwerks

$b_i, \lambda_i$  die Projektion der Breite und Länge des Einzelstabes  $i$

$A_{gk}$  Fläche des knotenbleches  $k$

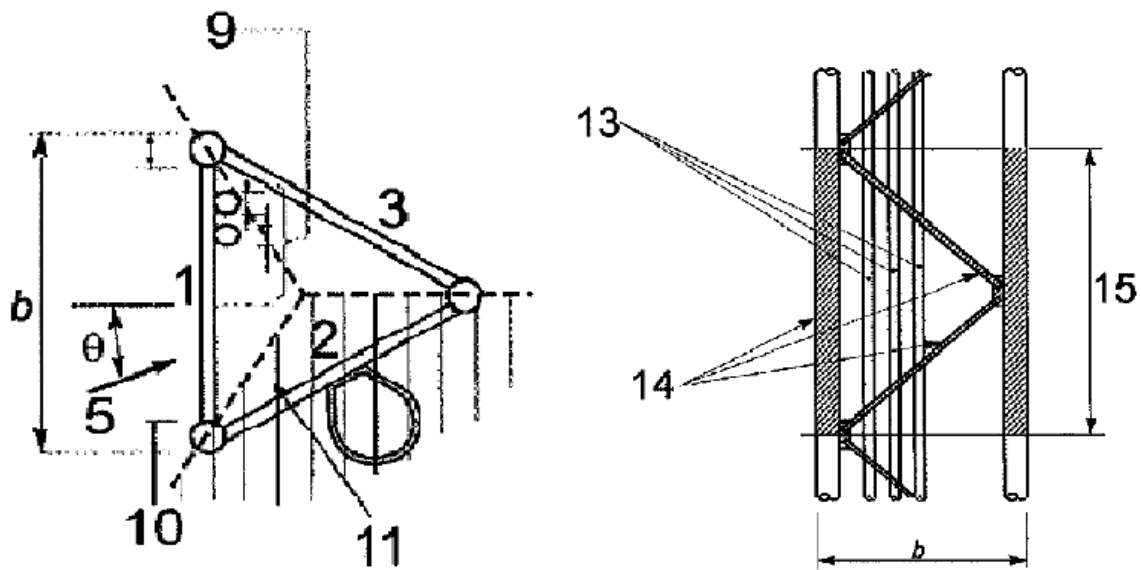
Der gesamte Windkraftbeiwert

$$C_f = C_{f,S} + C_{f,A}$$

Dabei ist

$C_{f,S}$  der Windkraftbeiwert ohne Anbauten, ermittelt unter Verwendung des Völligkeitsgrades  $\varphi$  für das Bauwerk ohne Anbauten

$C_{f,A}$  der Windkraftbeiwert für die Außenbauten



**Bild 30 a)** Gittermast mit dreieckigem Querschnitt

**b)** Einzelnes Modul

Die Ansichtsfläche 1 gilt als Windangriffsfläche für  $-60^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ . Eine Externe Leiter sollte als individuelles Objekt behandelt werden. (ÖNORM EN 1993-3-1; Bild B.2.1)

- 1    Ansichtsfläche 1
- 2    Ansichtsfläche 2
- 3    Ansichtsfläche 3
- 5    Wind
- 9    Außenanbauten inklusive Sprossenleitern usw.
- 10   Eckstiel
- 11   Der Ansichtsfläche 2 zugeordnete Außenanbauten
- 13   Außenanbauten in der Projektionsfläche
- 14   Tragende Bauteile in der Projektionsfläche
- 15   Höhe des Moduls (h)

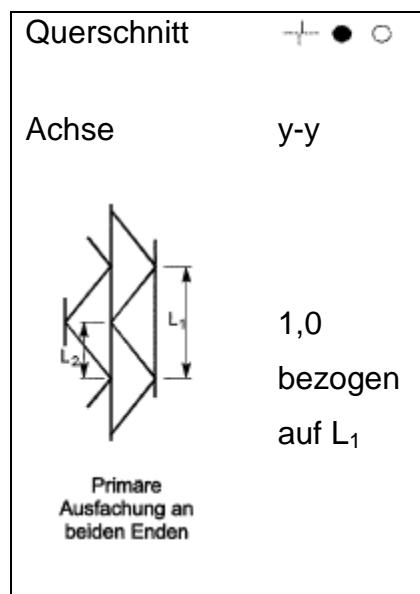
Wenn die Projektionsflächen der Außenanbauten nicht mehr als 10% der Bauteilprojektionsflächen ausmachen, dann können sie der Projektionsfläche der tragende Bauteile zugeschlagen werden (EN 1993-3-1:2006 D).

Die maximale Windlast auf den Gittermast in Windrichtung ist nach ÖNORM EN 1991-1-4, zu bestimmen unter Verwendung von Windkraftbeiwerte.

## 2.5 Beiwert $k$ für den effektiven Schlankheitsgrad bei Gittermasten

Zur Bestimmung des effektiven Schlankheitsgrades eines druckbeanspruchten Bauteils darf der Beiwert  $k$  abhängig von der konstruktiven Ausbildung laut ÖNORM EN 1993-3-1 (G2) wie unten bestimmt werden.

Für die Holme des Gittermastes der untersuchten Bauform (nach Tabelle G1 ÖNORM EN 1993-3-1) gilt: Knicklastbeiwert  $k=1,0$  bezogen auf  $L_1$  (siehe Bild 31).



**Bild 31** Holme – Diagonale – (nach Tabelle G1 ÖNORM EN 1993-3-1)

Für die Diagonale gilt:

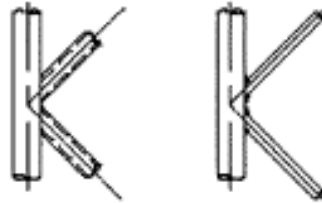
$k$  ist unter Berücksichtigung der Füllanordnung (siehe Bild unten) und der Anschlüsse der Füllstäbe an die Gurtstäbe zu bestimmen. Typisches Anordnung primärer Füllstäbe (parallel oder verjüngend). Einfaches Fachwerk  $L_{di} = L_d$



**Bild 32** Einfaches Fachwerk – (nach Tabelle G1 ÖNORM EN 1993-3-1)

Liegen keine weiteren Informationen vor, so ist in der Regel der Beiwert  $k$  aus der Tabelle zu entnehmen. Für direkt verschweißte Rohre und Stangen in Fachwerkebene und aus der Fachwerkebene  $k = 0,7$ .

Für alle andere arten der Befestigungen von Diagonalen muss die Tabelle G2 in ÖNORM EN 1993-3-1 genauer untersucht werden.



**Bild 33**     **Direkt verschweißte Rohre und Stangen** – (nach Tabelle G2 ÖNORM EN 1993-3-1)



## 2.6 Statische Windbelastung für Rohrmasten

Bei der Berechnung der Antennenmasten wird die Windlast auf die Rohrlänge angewendet. In diesem Fall ist die Bezugsfläche Referenzwert  $A_{\text{ref}}$  ( $\text{m}^2$ ) in Formel statt Rohrdurchmesser  $D_{\text{ref}}$  (m) einzusetzen und Windlast in  $\text{kN/m}$  an den Antennenmast anzuwenden. In diesem Fall wird die statische Ersatzlast Windlastbelastung auf Antennenmast nach dieser Formel berechnet:

$$W_{(z,i)} = C_s C_d \sum C_f q_p D_{\text{ref}} \quad (\text{kN/m})$$

$W_{(z,i)}$  Linienlast im Bereich  $H_i$  abhängig von  $z_i$

$C_s C_d$  Strukturbeiwert ( EN 1991-1-4:2005 D)  $C_s C_d = 1$  (ÖNORM B 1991-4, 4.4)

$D_{\text{ref}}$  ist der Referenzdurchmesser des Antennenrohrmastes (m)

Summe der Koeffizienten der Gesamtwindkraftbeiwerte mit der entsprechenden Bezugsfläche für zylindrische Querschnitte ist

$$\sum C_f = C_{pe} C_f$$

Der Außendruckbeiwerte  $c_{pe}$  für zylindrische Querschnitte ist

$$c_{pe} = c_{po} \psi_{\lambda\alpha}$$

Dabei ist:

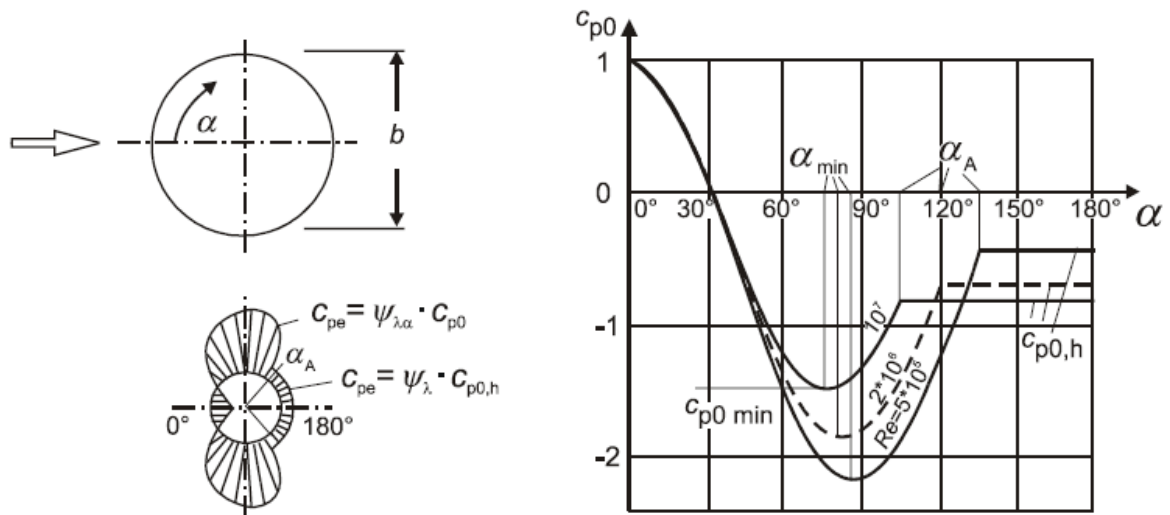
$C_{po}$  Außendruckbeiwert eines Zylinders mit unendlicher Schlankheit  $\lambda$  gemäß dem Bild 34

$\psi_{\lambda\alpha}$  Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Umströmung der Enden eines Kreiszylinders

In Bild 34 ist der Außendruckbeiwert  $C_{po}$  für verschiedene Reynoldszahlen in Abhängigkeit des Winkels  $\alpha$  über dem halben Umfang dargestellt.

Der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit  $\psi_{\lambda\alpha}$  ist:

$$\psi_{\lambda\alpha} = 1 \quad \text{für} \quad 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min}$$



**Bild 34** Druckverteilung über einen unendlich schlanken, zylindrischen Querschnitt

Für Kreiszyylinder Querschnitte nach Bild 34 und Tabelle 9  $\alpha_{\min} = 85^\circ$ .

Außendruckbeiwert abhängig von diesen Reynoldszahl  $R_e$  Diese ist wie folgt definiert

$$R_e = \frac{b v_p(z_e)}{\nu}$$

Worin:

- b Durchmesser für zylindrische Querschnitte
- $\nu$  kinematische Zähigkeit der Luft ( $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ )
- $v_p(z_e)$  Böenwindgeschwindigkeit in der Höhe  $z_e$

$$v_p = \sqrt{\frac{2}{\rho} * q_p}$$

Gemäß dem Bild 34 und Tabelle 9 wird für  $0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min}$   $\max C_{p0} = 1$  und  $\psi_{\lambda\alpha} = 1$  angewendet. Dementsprechend für zylindrische Querschnitte wird  $\max. C_{pe} = 1$  definiert.

Der Kraftbeiwert  $C_f$  eines endlichen kreisrunden Zylinder ist:

$$C_f = C_{f,0} \psi_\lambda$$

Worin:

$C_{f,0}$  Grundkraftbeiwert eines Zylinders mit unendlicher Schlankheit (Bild 35)

$\psi_\lambda$  Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit

$k$  ist äquivalente Rauigkeit, für verzinkter Stahl  $k=0.2$  (nach Tabelle 7.13 ÖNORM EN 1991-1-4:2005 D)

$b$  Kreiszylinders Durchmesser

Nach Tabelle 9 für  $\alpha_{\min} = 85^\circ$  Typische Werte für  $Re$  ist  $5 \cdot 10^5$ .

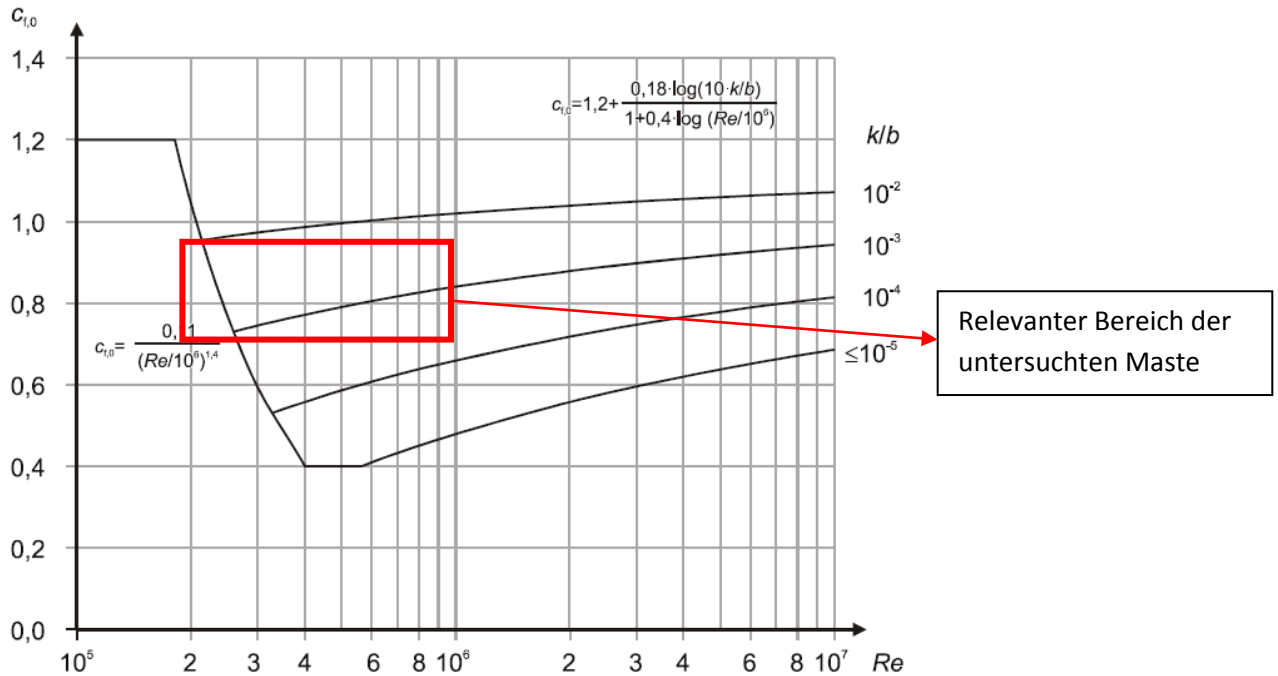
**Tabelle 9** Typische Werte für  $Re$ ,  $\alpha_{\min}$ ,  $C_{p0,min}$ ,  $\alpha_A$  und  $C_{p0,h}$  für unendlich schlanke, kreisrunde, zylindrische Querschnitte

$Re$	$\alpha_{\min}$	$C_{p0,min}$	$\alpha_A$	$C_{p0,h}$
$5 \cdot 10^5$	85	-2.2	135	-0.4
$2 \cdot 10^6$	80	-1.9	120	-0.7
$10^7$	75	-1.5	105	-0.8

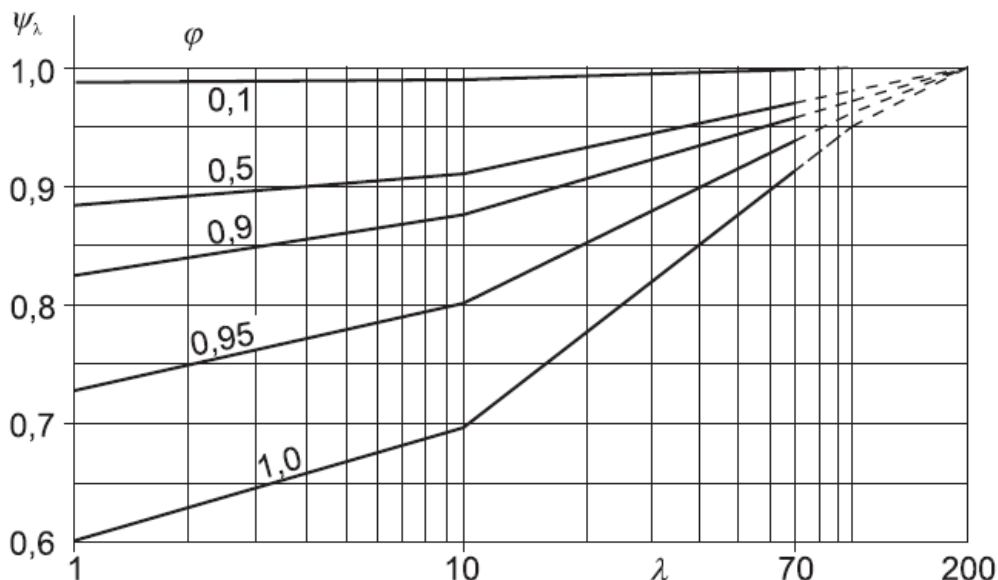
Dabei ist:

- $\alpha_{\min}$  Lage des minimalen Druckes in ( $^\circ$ )
- $C_{p0,min}$  Wert des minimalen druckbeiwertes
- $\alpha_A$  Lage der ablöselinie in ( $^\circ$ )
- $C_{p0,h}$  Heckdruckbeiwert

Der äquivalente Rauigkeitsbeiwert  $k$  für verzinkter Stahl ist:  $k=0,2$  mm  
(ÖNORM EN 1991-1-4, Tabelle 7.13)



**Bild 35** Grundkraftbeiwert  $C_{f,0}$  von kreisrunden Zylindern mit unendlicher Schlankheit für verschiedene bezogene Rauigkeiten  $k/b$



**Bild 36** Abminderungsfaktor  $\psi_\lambda$  in Abhängigkeit der effektiven Schlankheit  $\lambda$  und für verschiedene Völligkeitsgrade  $\varphi$ .

Für Kreiszyylinder Völligkeitsgrade  $\varphi=1$

Für Kreiszyylinder: Für  $\lambda \geq 50$  m,  $\lambda = 0.7 \lambda/b$  oder  $\lambda = 70$ , der kleinere Wert ist maßgebend; Für  $\lambda < 15$  m,  $\lambda = \lambda/b$  oder  $\lambda = 70$ , der kleinere Wert ist maßgebend. Nach Ermittlung von  $\lambda$  Wert kann die  $\psi_{\lambda}$  aus dem Bild 36 entnommen.

### **2.6.1 Aerodynamischer Beiwert für Einbauten und Antennenausrüstungen**

Antennentragwerke sind meist über große Bereiche mehr oder minder dicht mit Antennen aller Art belegt, auch sind Podeste, Leitern, Kabelleitern mit Kabeln vorhanden. Was Podeste und Bühnen anbelangt, wird man deren Windlast separat berechnen und der Windlast der Mast- oder Turmkonstruktion überlagern. Leitern und Kabeln liegen bei Fachwerkstrukturen i.A. in geringem Abstand von den Wänden entfernt und werden dann sinnvoller Weise in die Projektionsfläche einbezogen. Es ist auch möglich die auf sie entfallende Windlast getrennt zu überlagern (was stets auf der sicheren Seite liegt). Für die Belegung von Rohrmantelmasten mit Kabeln und Leitern enthält DIN 4131 Anhang A,  $c_f$ -Ansätze [1].

Eine externe Leiter sollte als individuelles Objekt behandelt werden (ÖNORM EN 1993-3-1: 2006 Anhang D).



## ANHANG 1 ZUSAMMENSTELLUNG AUSGEFÜHRTER HANDYMASTEN

---



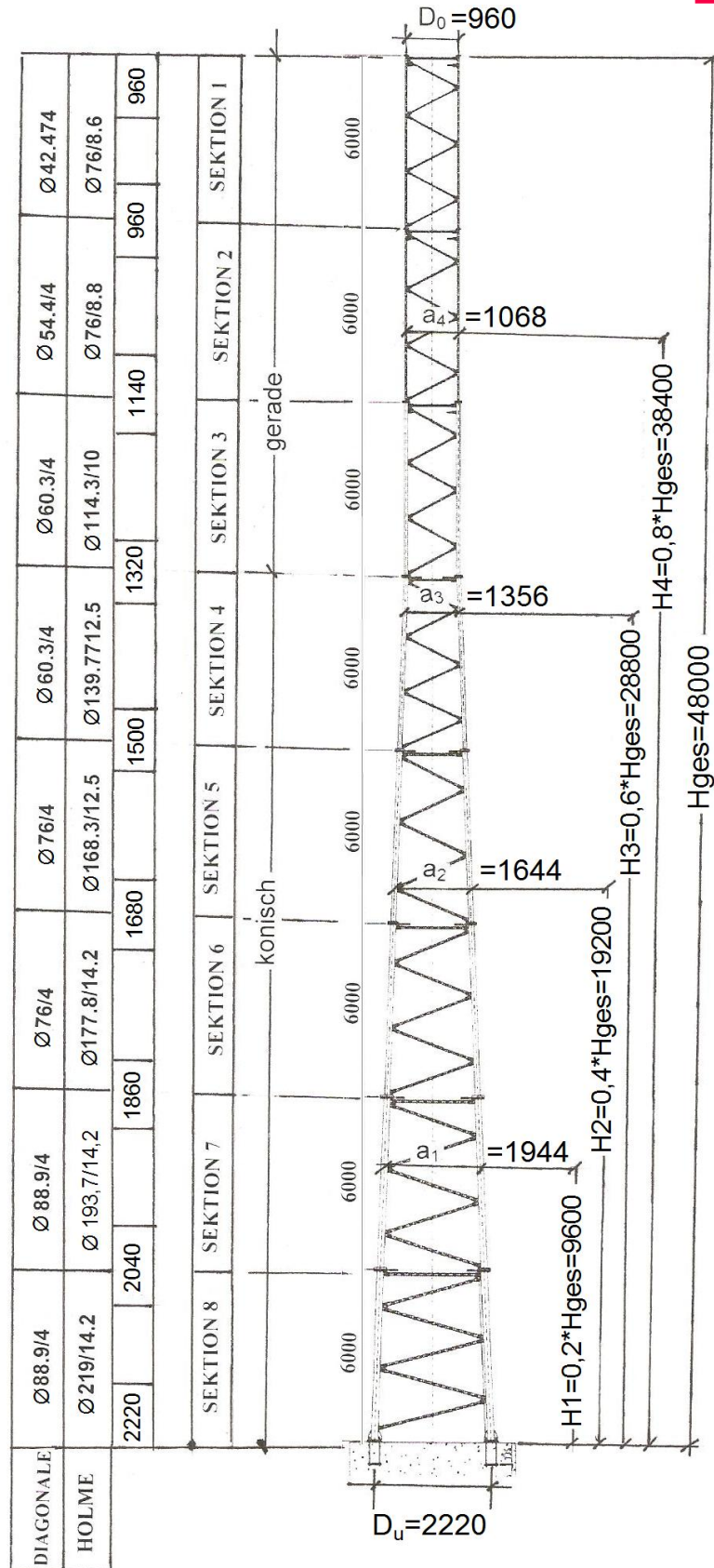
## A.1 Wesentliche geometrische Parameter

### A.1.1 Gittermasten

Die Abbildungen A.1 bis A.18 zeigen die Übersichtspläne der 18- im Hauptteil der vorliegenden Arbeit untersuchten Gittermaste. Pro gleicher Masthöhe wurden jeweils drei Masten analysiert:

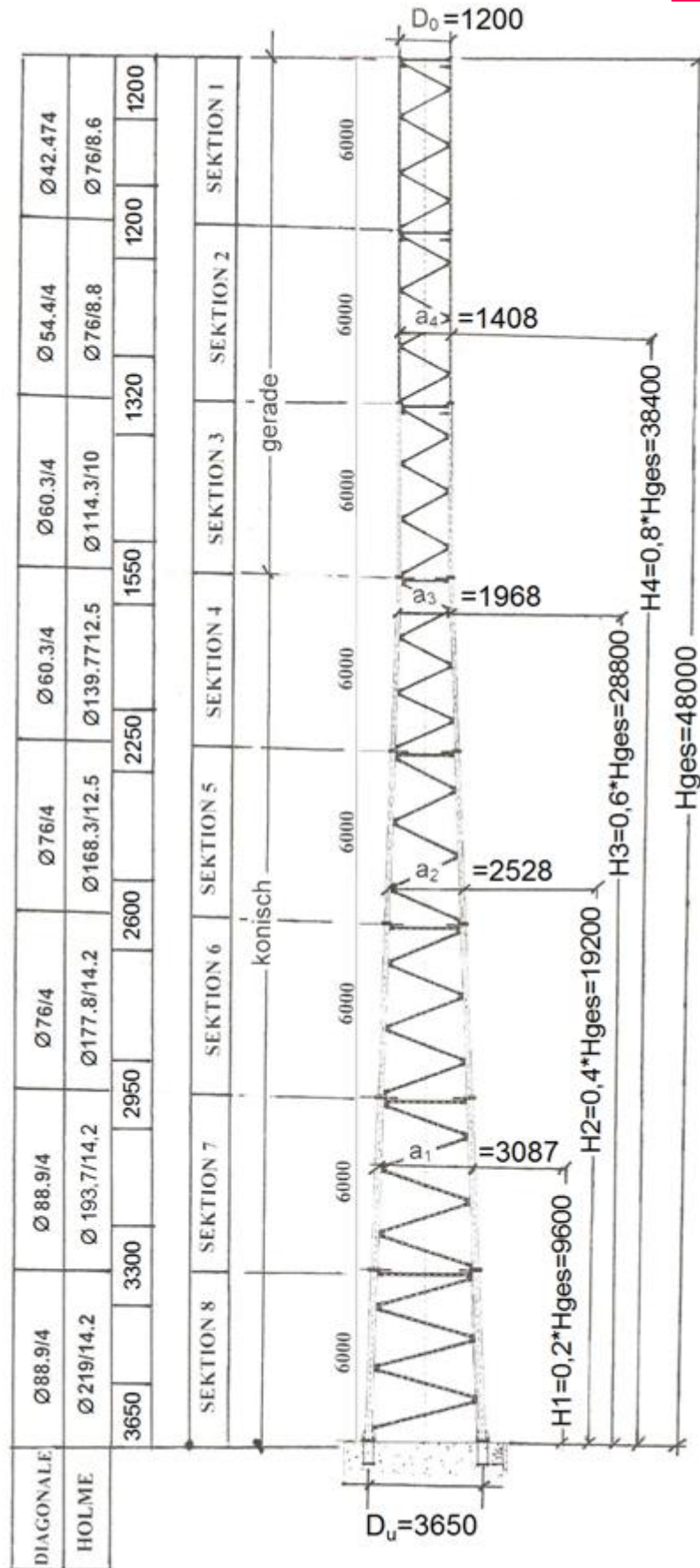
$H_{\text{ges}}=48$ m:	Mast 1 – Bild A.1
	Mast 2 – Bild A.2
	Mast 3 – Bild A.3
$H_{\text{ges}}=42$ m:	Mast 4 – Bild A.4
	Mast 5 – Bild A.5
	Mast 6 – Bild A.6
$H_{\text{ges}}=36$ m:	Mast 7 – Bild A.7
	Mast 8 – Bild A.8
	Mast 9 – Bild A.9
$H_{\text{ges}}=30$ m:	Mast 10 – Bild A.10
	Mast 11 – Bild A.11
	Mast 12 – Bild A.12
$H_{\text{ges}}=24$ m:	Mast 13 – Bild A.13
	Mast 14 – Bild A.14
	Mast 15 – Bild A.15
$H_{\text{ges}}=18$ m:	Mast 16 – Bild A.16
	Mast 17 – Bild A.17
	Mast 18 – Bild A.18

Die wesentlichen geometrischen Parameter der 18 untersuchten Gittermaste sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

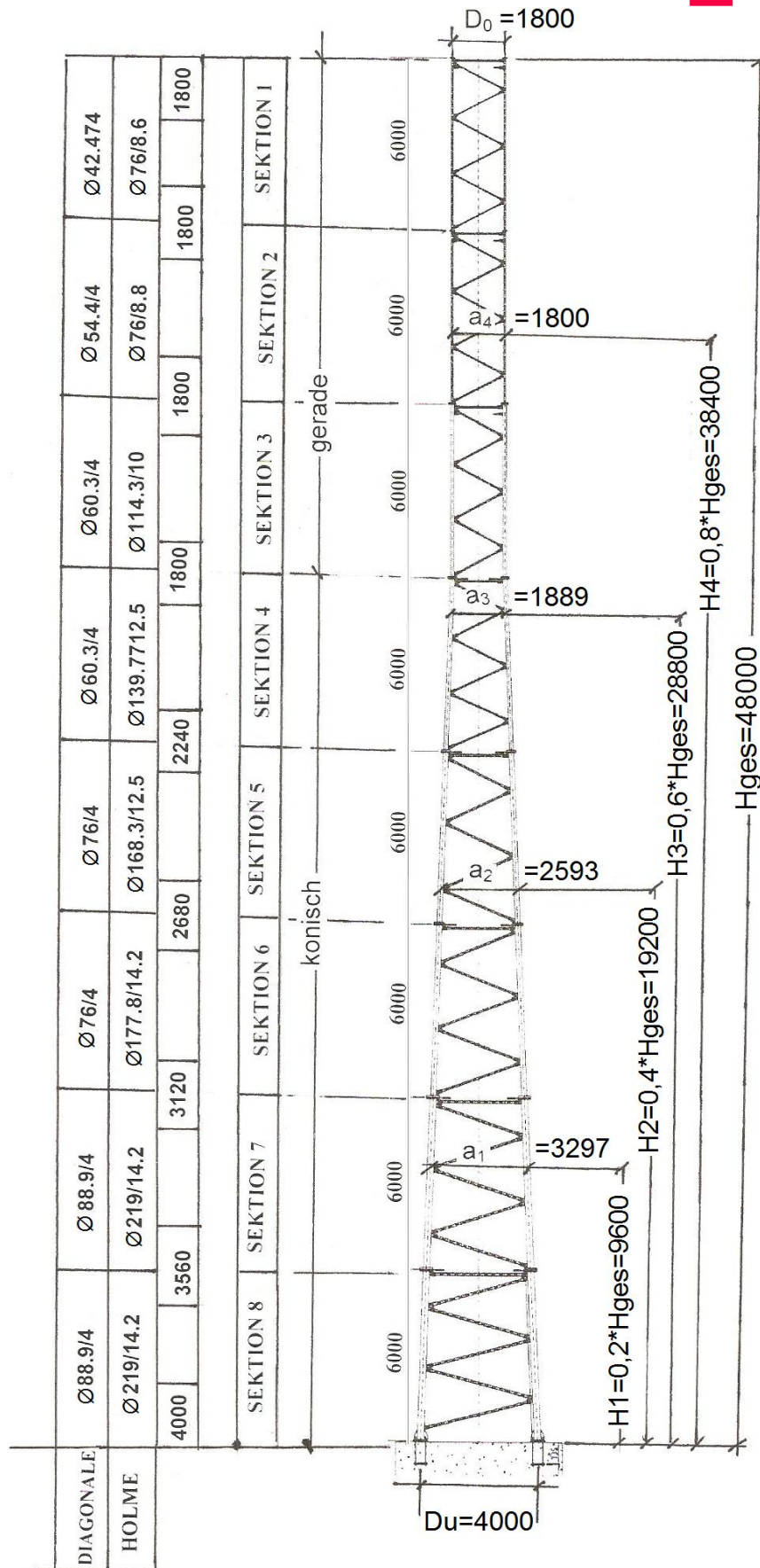


**Bild A.1** Gittermast Nr. 1  $H_{ges}=48$  m (Tabelle 1)

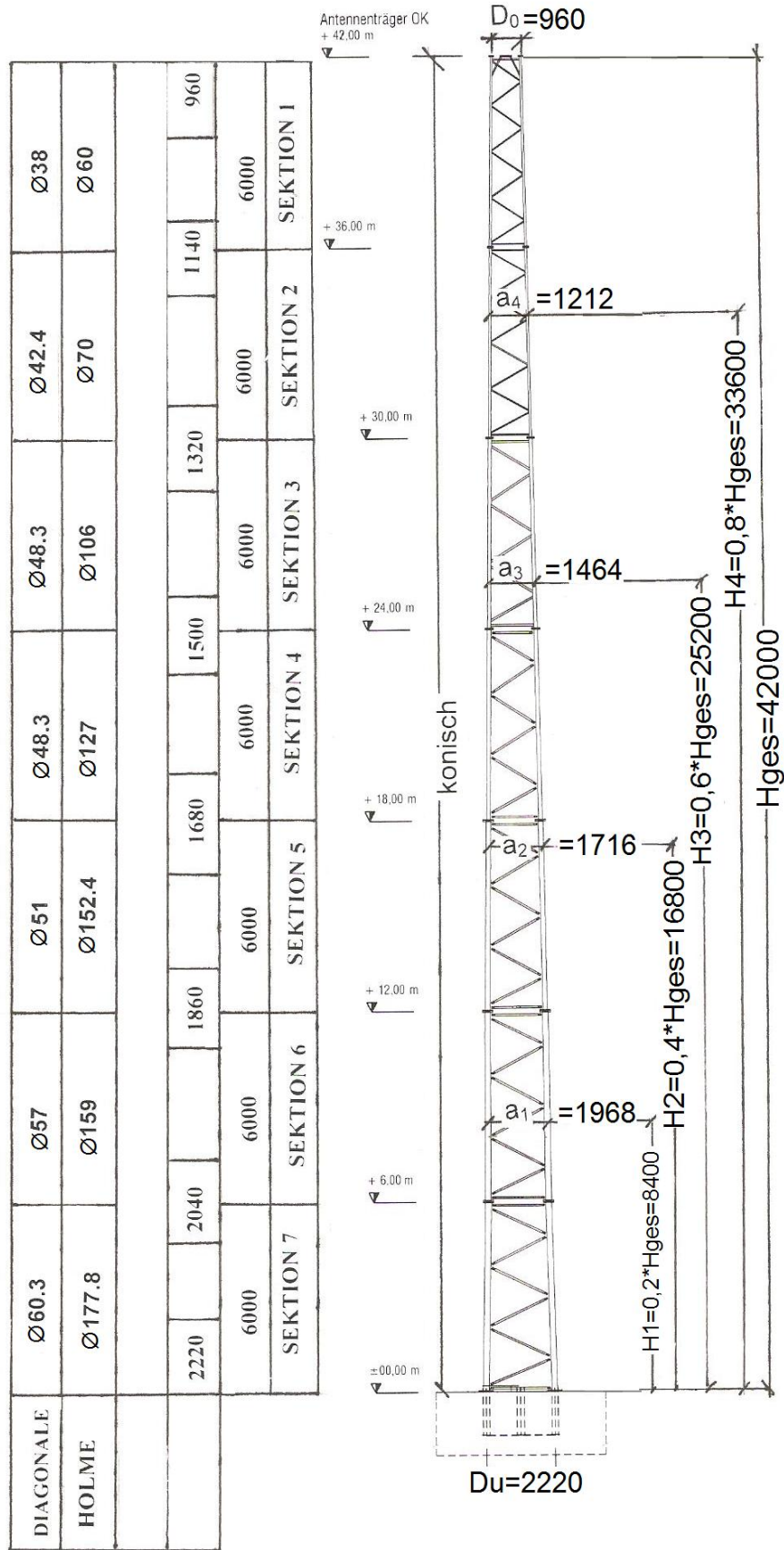




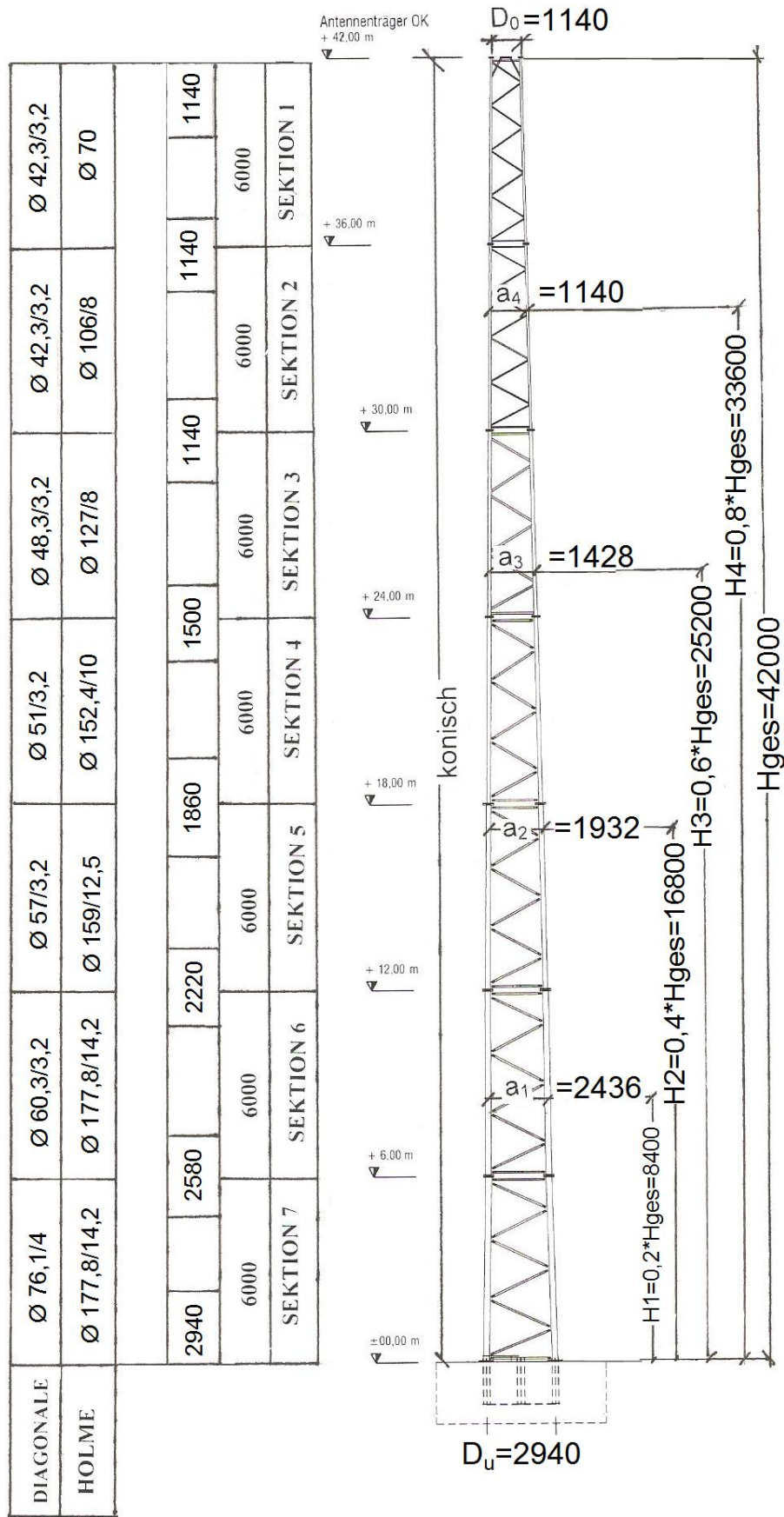
**Bild A.2.** Gittermast Nr.2  $H_{ges}=48$  m (Tabelle 1)



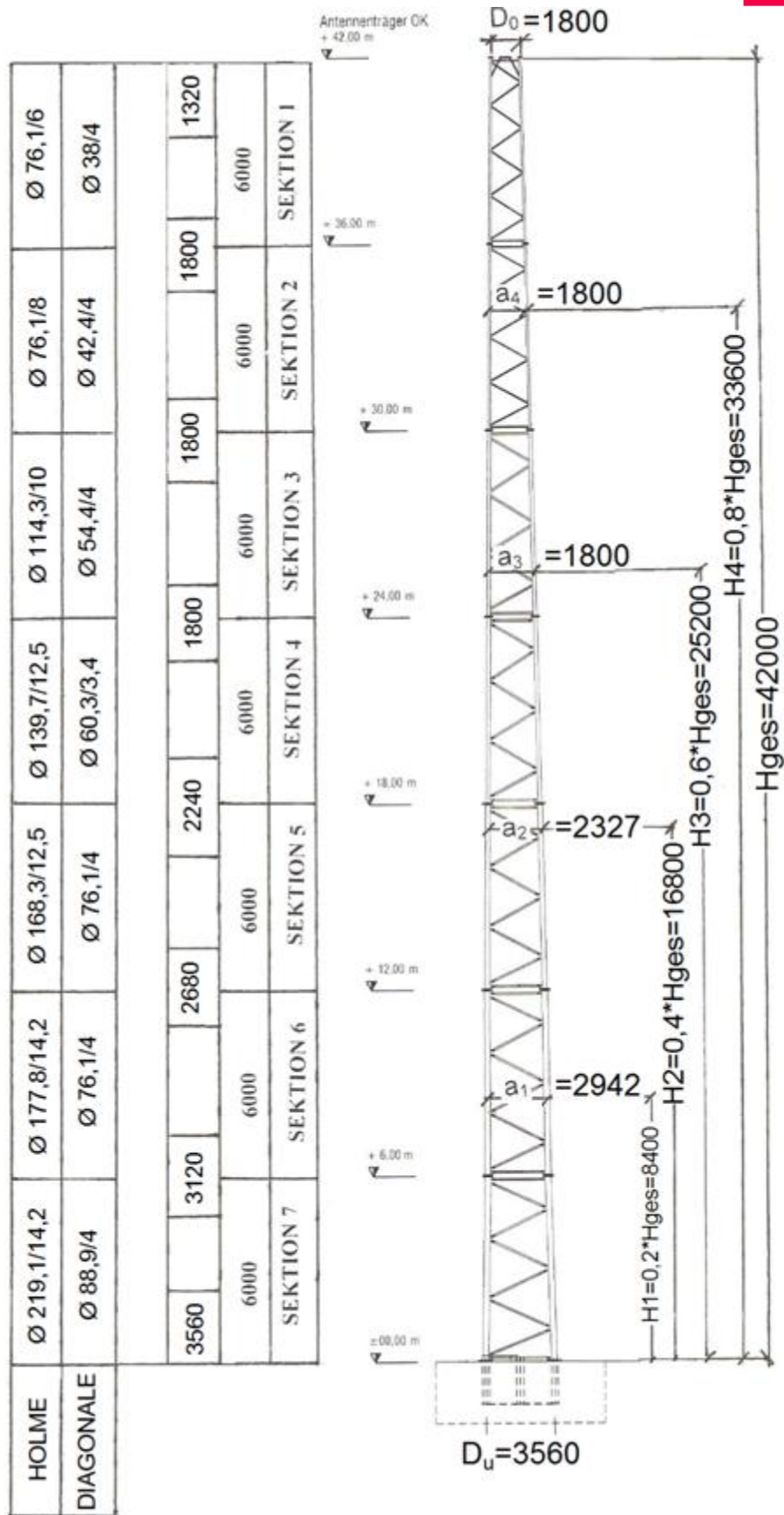
**Bild A.3** Gittermast Nr.3  $H_{ges}=48$  m (Tabelle 1)



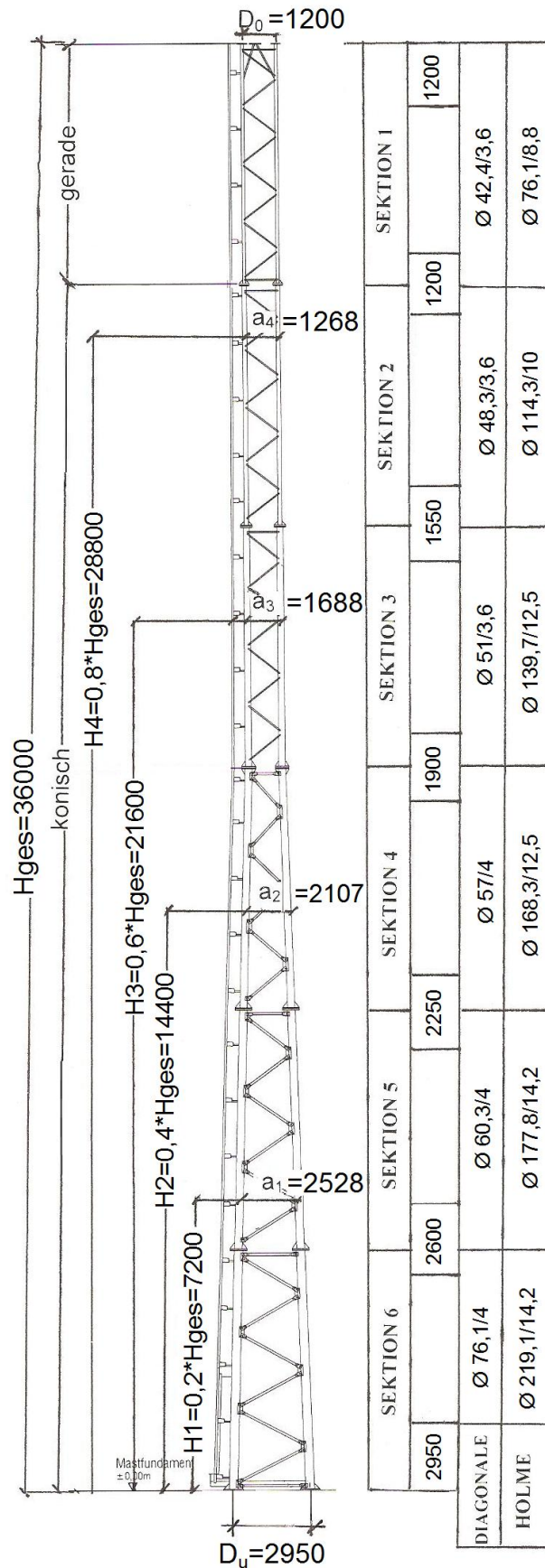
**Bild A.4** Gittermast Nr.4  $H_{ges} = 42$  m (Tabelle 1)



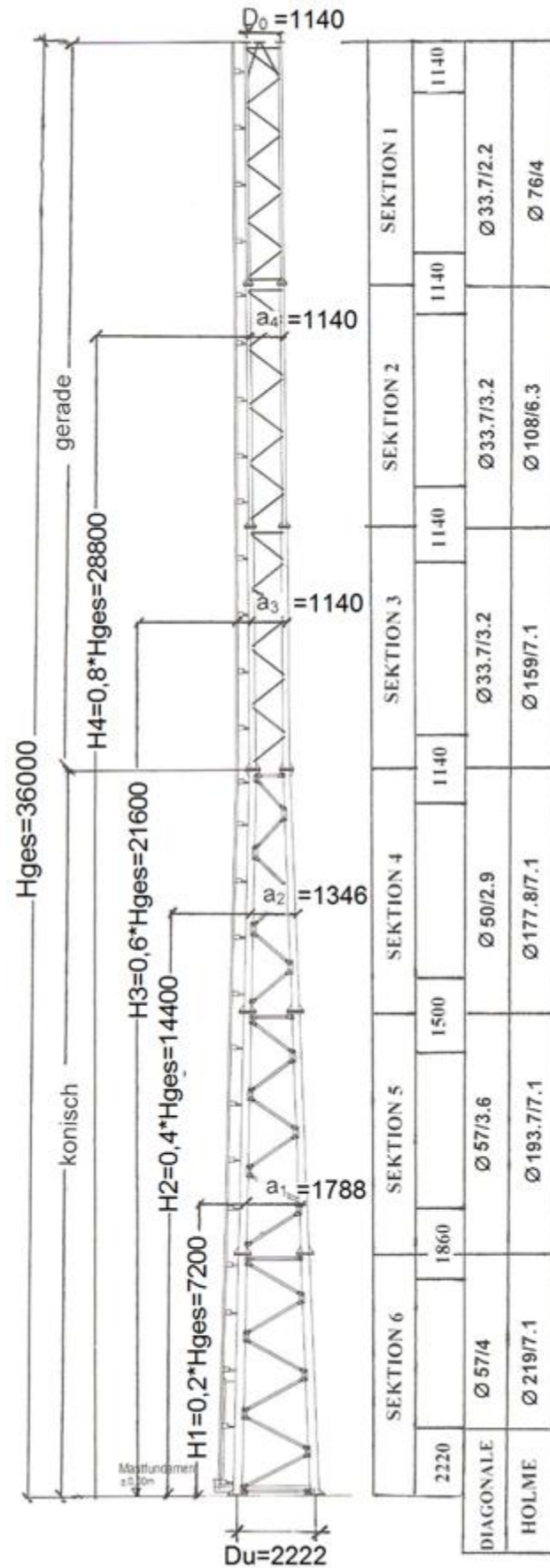
**Bild A.5** Gittermast Nr.5  $H_{ges}=42$  m (Tabelle 1)



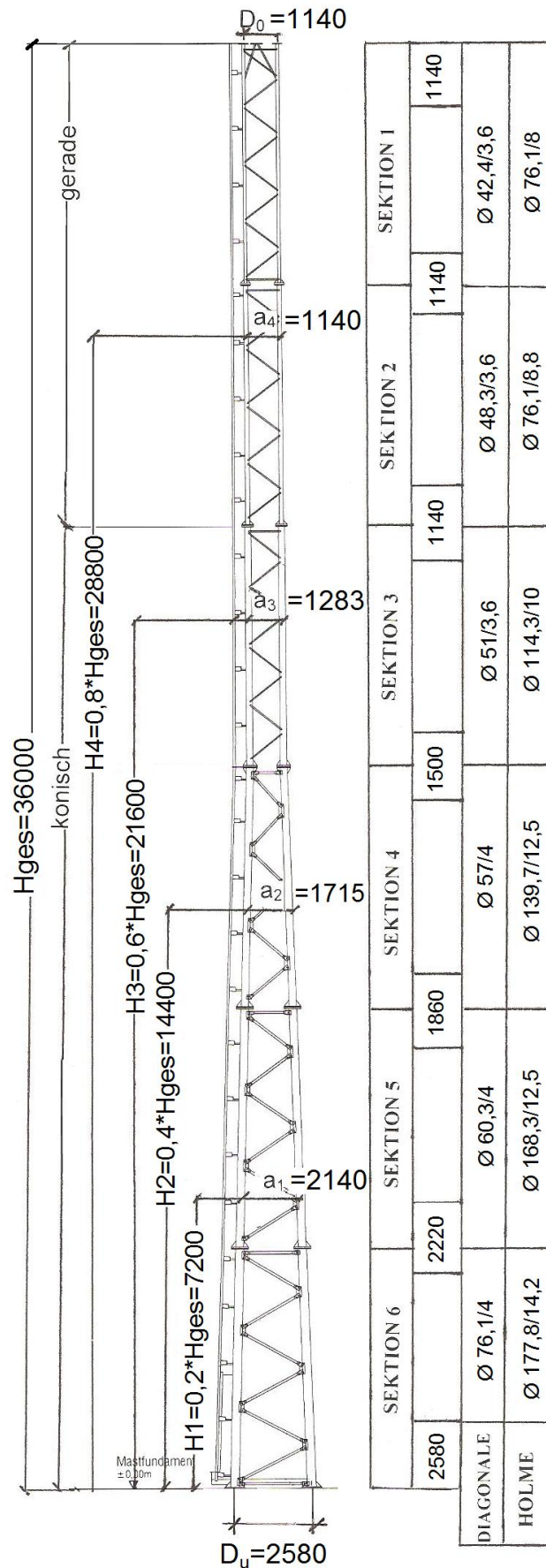
**Bild A.6** Gittermast Nr.6  $H_{ges}=42$  m (Tabelle 1)



**Bild A.7** Gittermast Nr.7  $H_{ges}=36$  m (Tabelle 1)

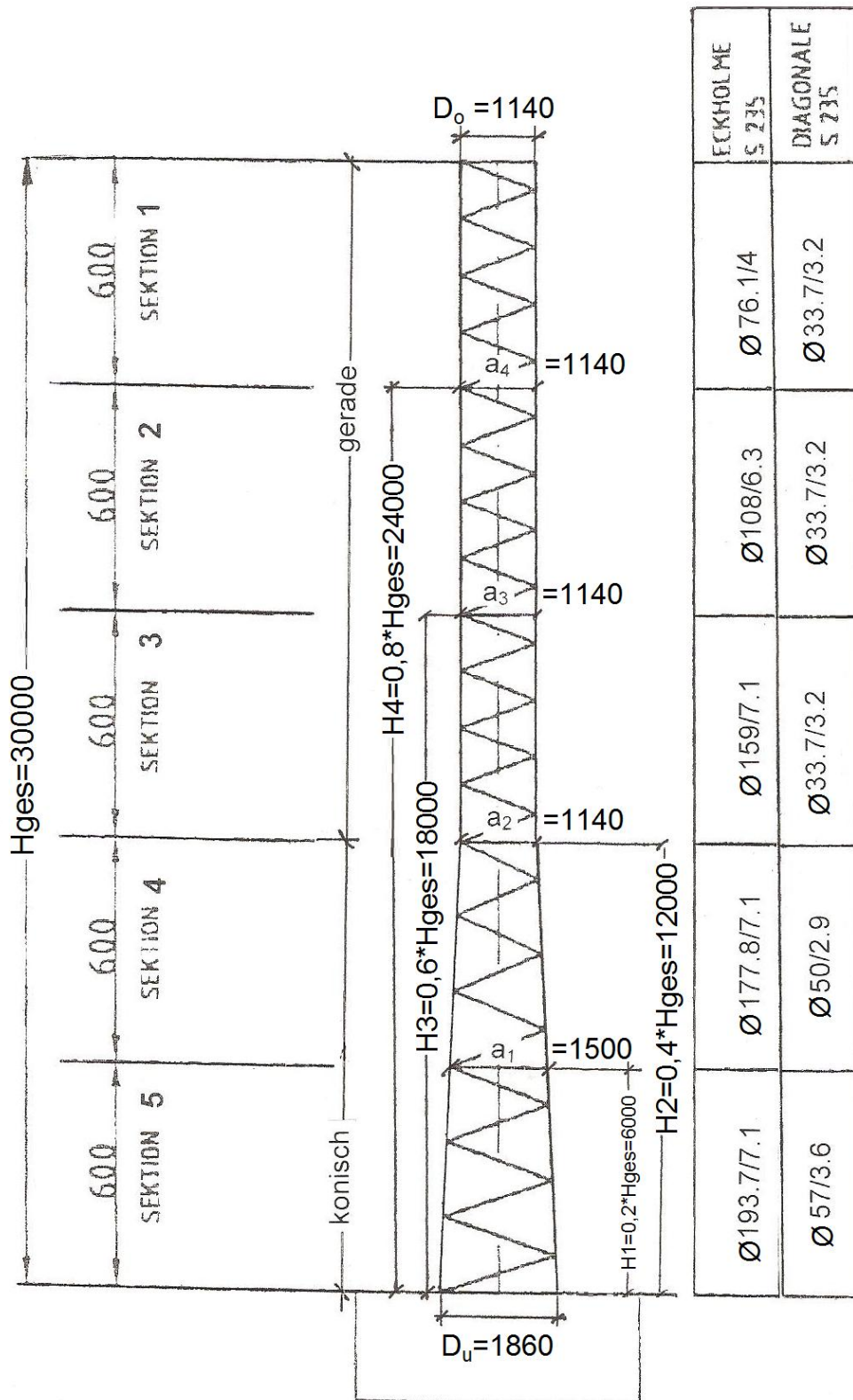


**Bild A.8** Gittermast Nr.8  $H_{ges}=36$  m (Tabelle 1)

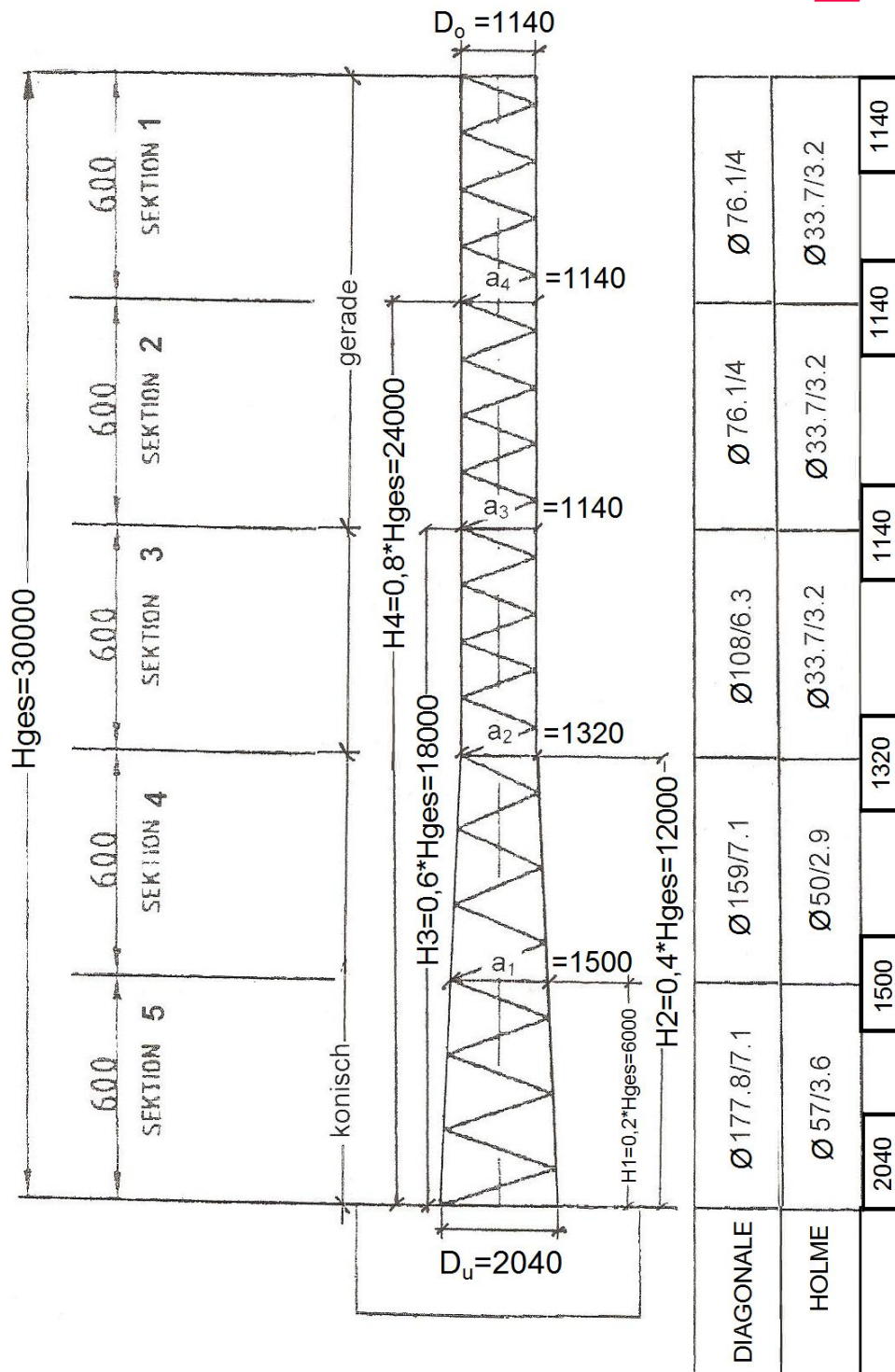


**Bild A.9** Gittermast Nr.9  $H_{ges}=36$  m (Tabelle 1)

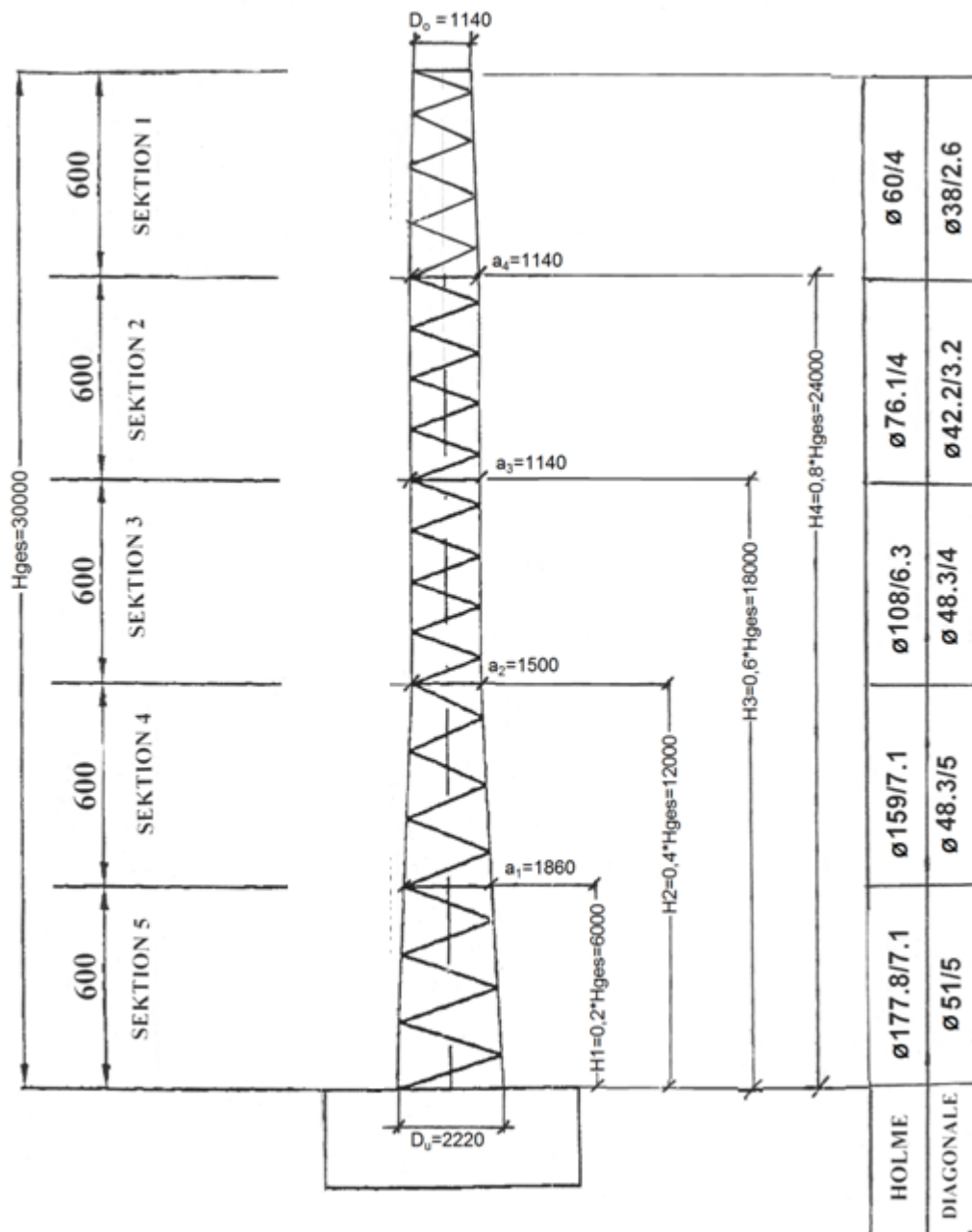




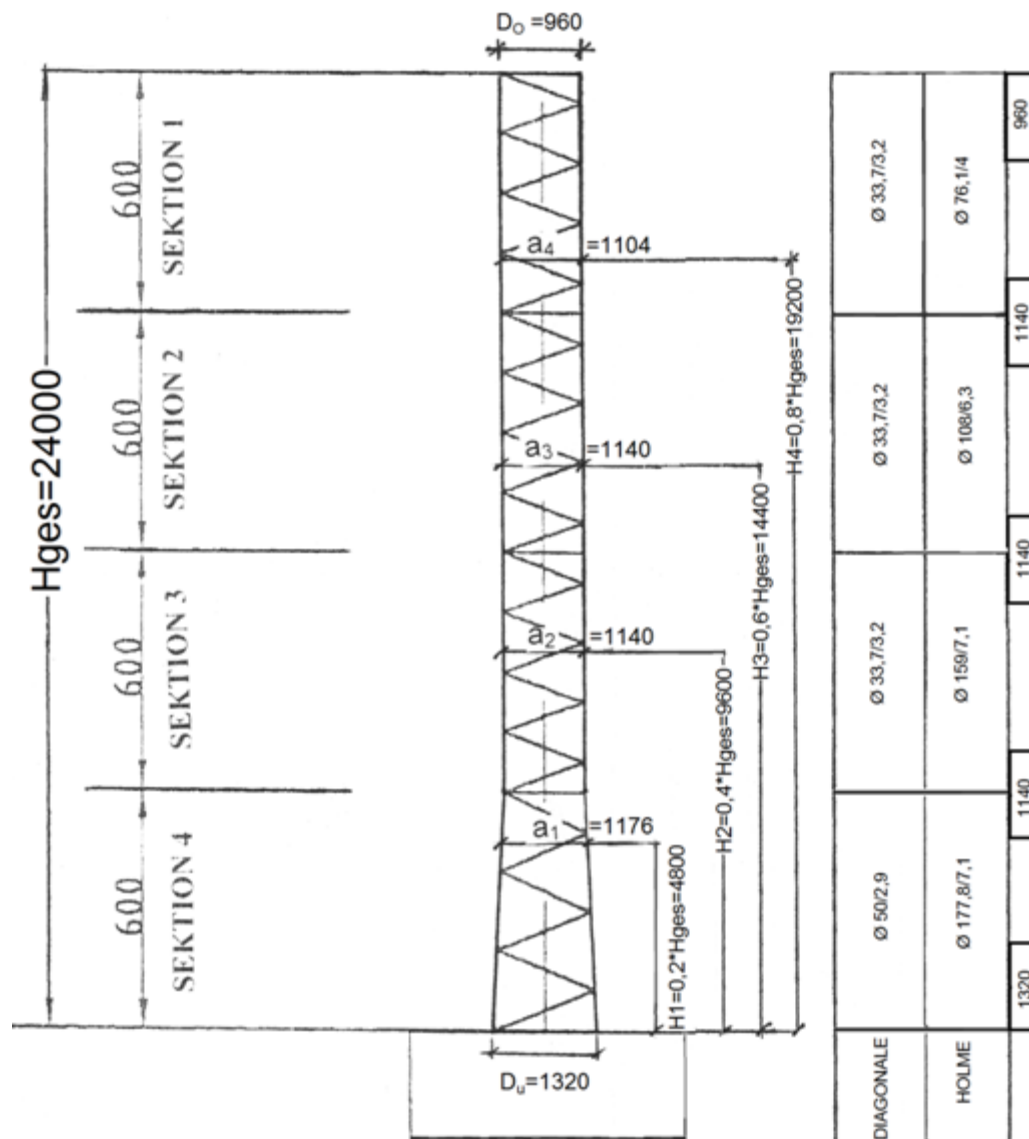
**Bild A.10** Gittermast Nr.10  $H_{ges}=30$  m (Tabelle 1)



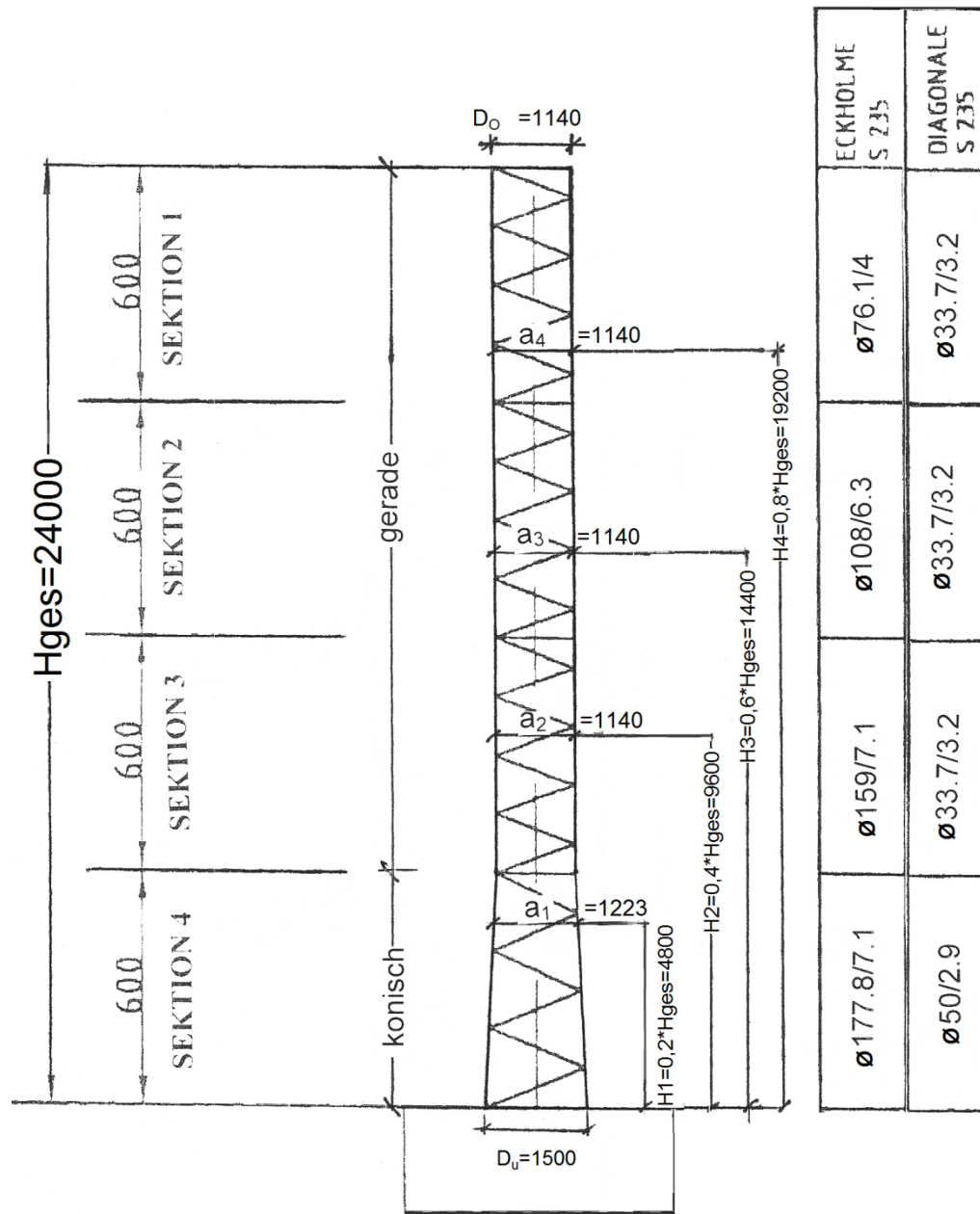
**Bild A.11** Gittermast Nr.11  $H_{ges}=30$  m (Tabelle 1)



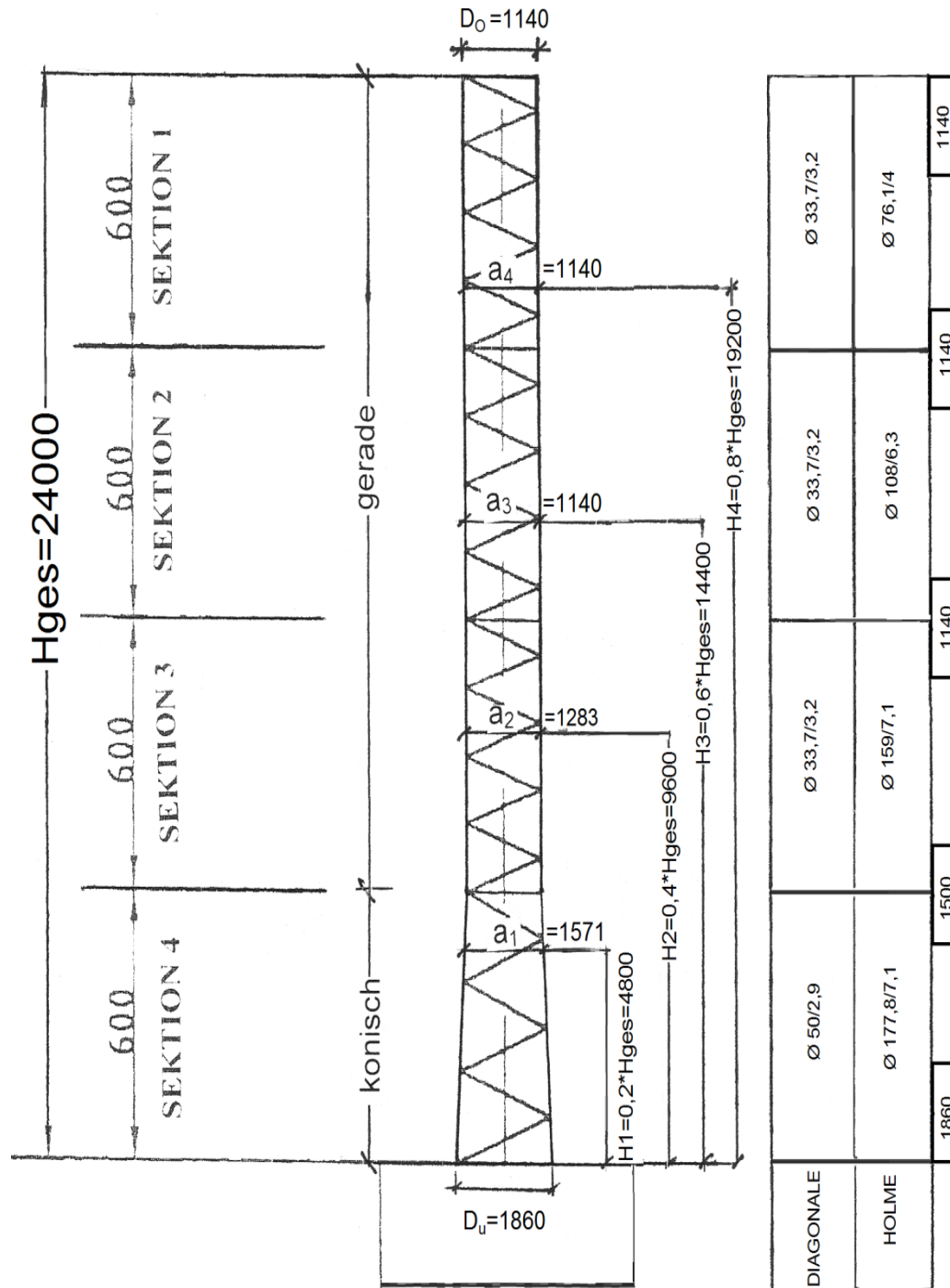
**Bild A.12** Gittermast Nr.12  $H_{ges}=30$  m (Tabelle 1)



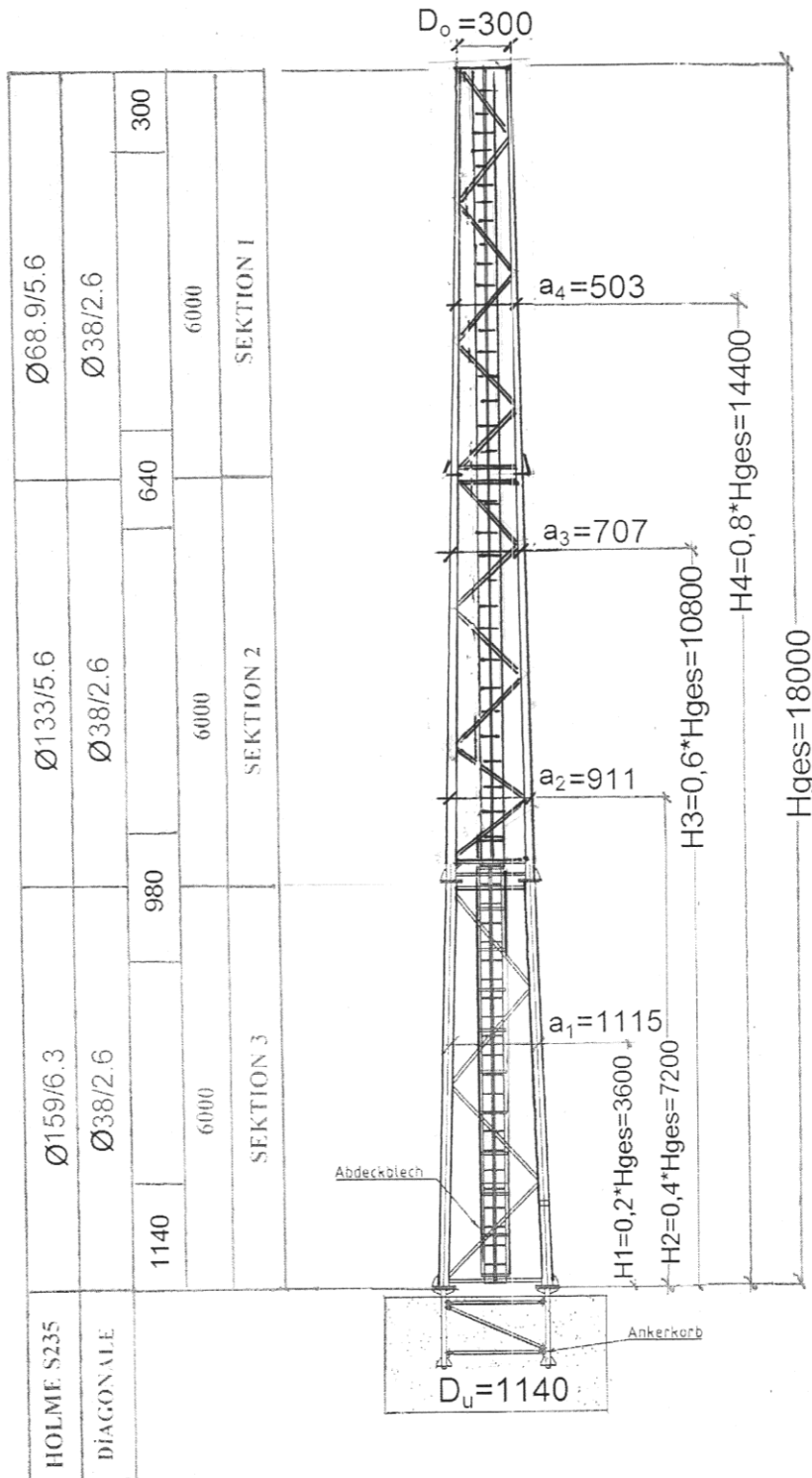
**Bild A.13** Gittermast Nr.13  $H_{ges}=24$  m (Tabelle 1)



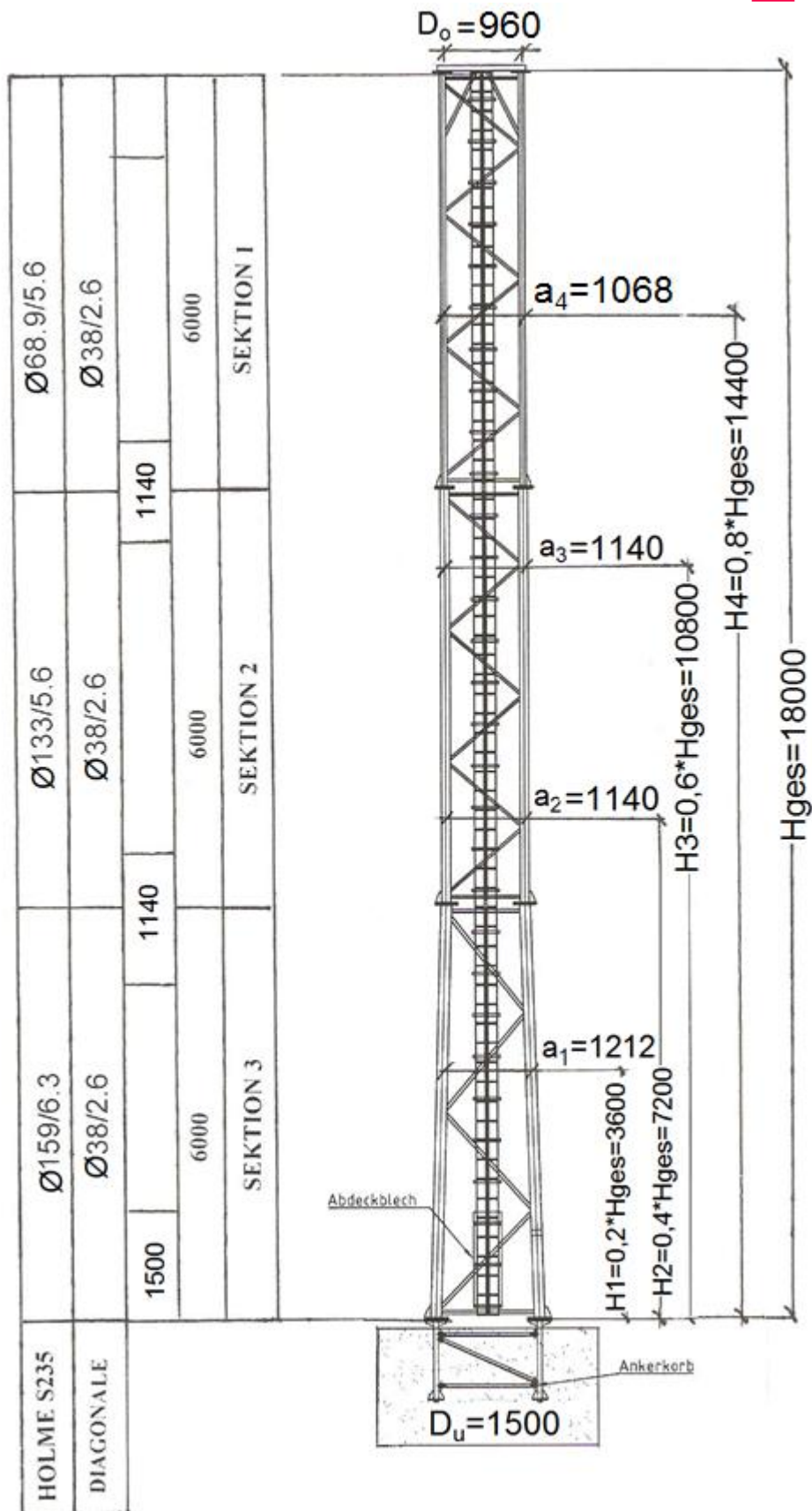
**Bild A.14** Gittermast Nr.14  $H_{ges} = 24$  m (Tabelle 1)



**Bild A.15** Gittermast Nr.15  $H_{ges}=24$  m (Tabelle 1)

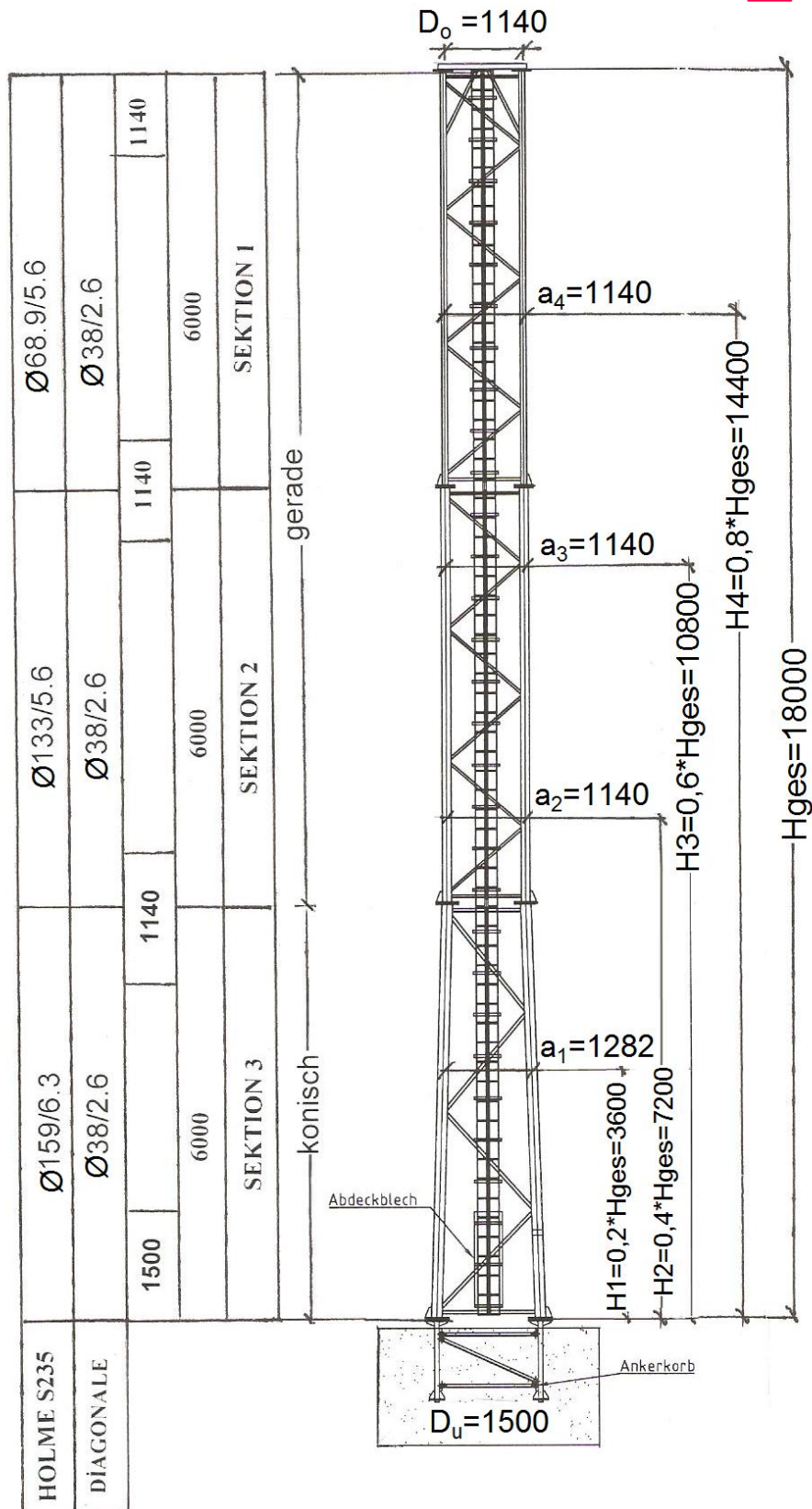


**Bild A.16** Gittermast Nr.16  $H_{ges}=18$  m (Tabelle 1)



**Bild A.17** Gittermast Nr.17  $H_{ges}=18$  m (Tabelle 1)





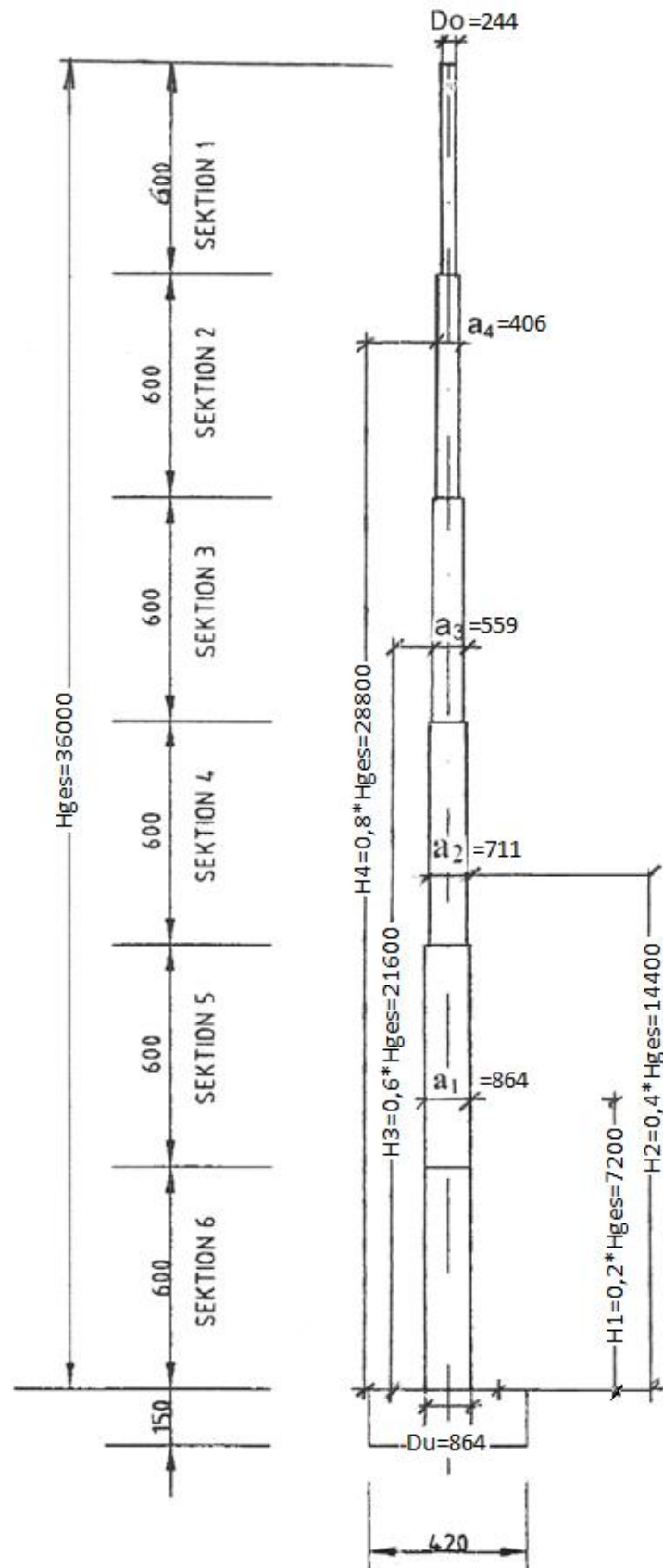
**Bild A.18** Gittermast Nr.18  $H_{ges} = 18$  m (Tabelle 1)

## A.1.2 Rohrmasten

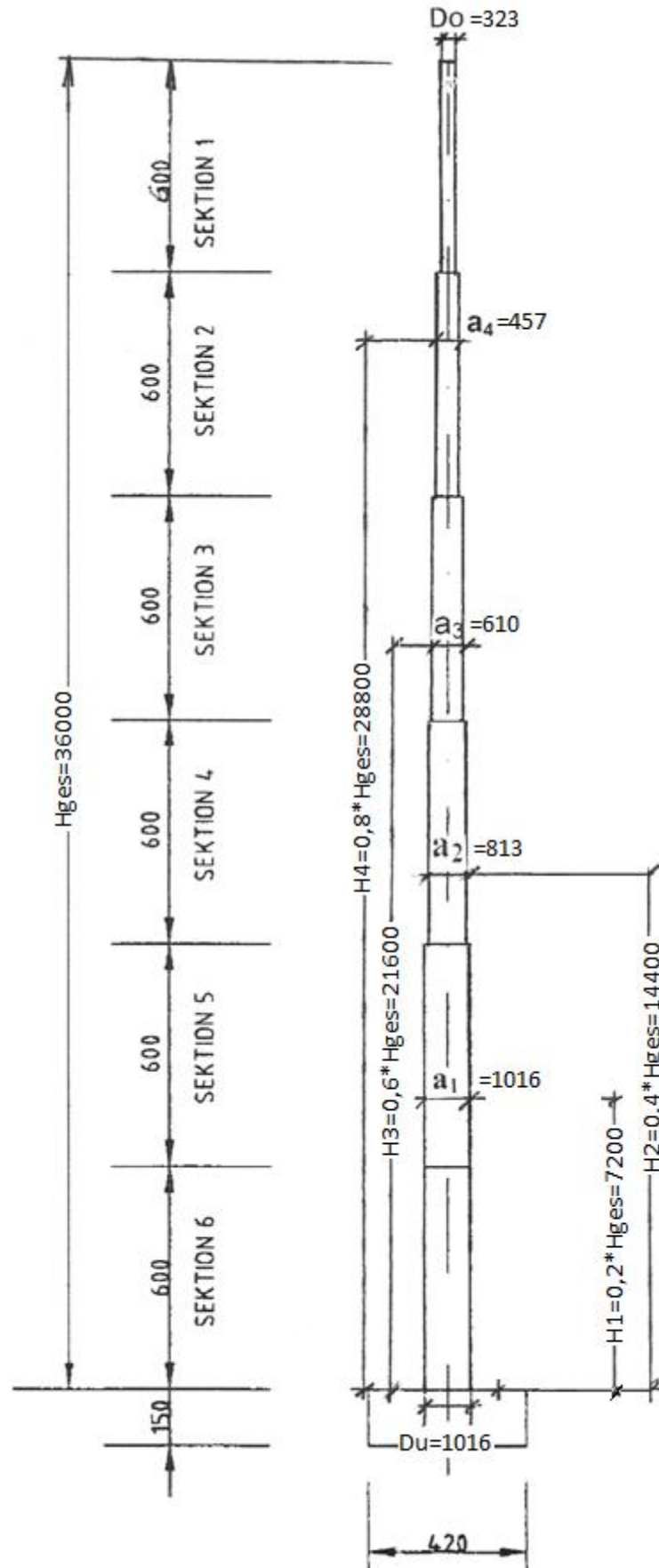
Die Abbildungen A.19 bis A.33 zeigen die Übersichtspläne der 15- im Hauptteil der vorliegenden Arbeit untersuchten Rohrmasten. Pro gleicher Masthöhe wurden jeweils drei Masten analysiert:

$H_{\text{ges}}=36$ m:	Mast 1 – Bild A.19
	Mast 2 – Bild A.20
	Mast 3 – Bild A.21
$H_{\text{ges}}=30$ m:	Mast 4 – Bild A.22
	Mast 5 – Bild A.23
	Mast 6 – Bild A.24
$H_{\text{ges}}=24$ m:	Mast 7 – Bild A.25
	Mast 8 – Bild A.26
	Mast 9 – Bild A.27
$H_{\text{ges}}=18$ m:	Mast 10 – Bild A.28
	Mast 11 – Bild A.29
	Mast 12 – Bild A.30
$H_{\text{ges}}=12$ m:	Mast 13 – Bild A.31
	Mast 14 – Bild A.32
	Mast 15 – Bild A.33

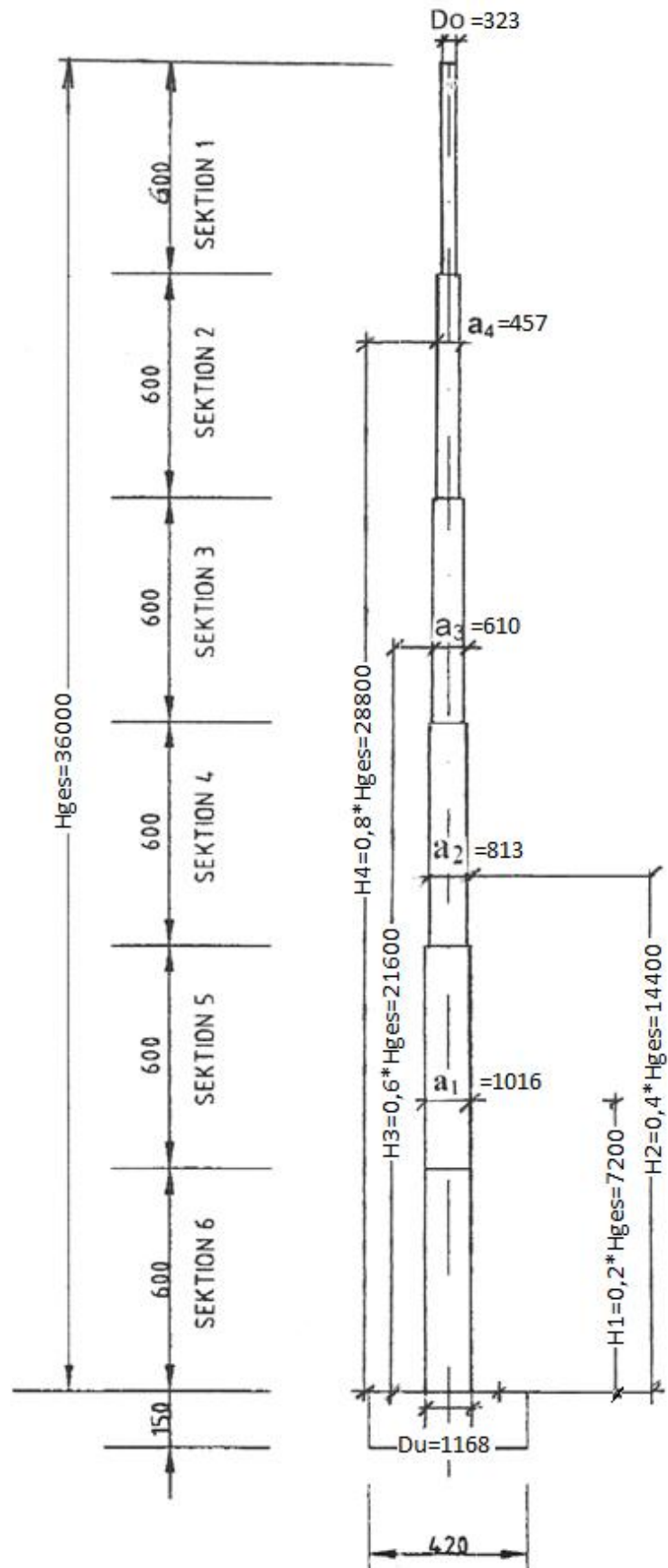
Die wesentlichen geometrischen Parameter der 15 untersuchten Rohrmasten sind in Tabelle 3 zusammengestellt.



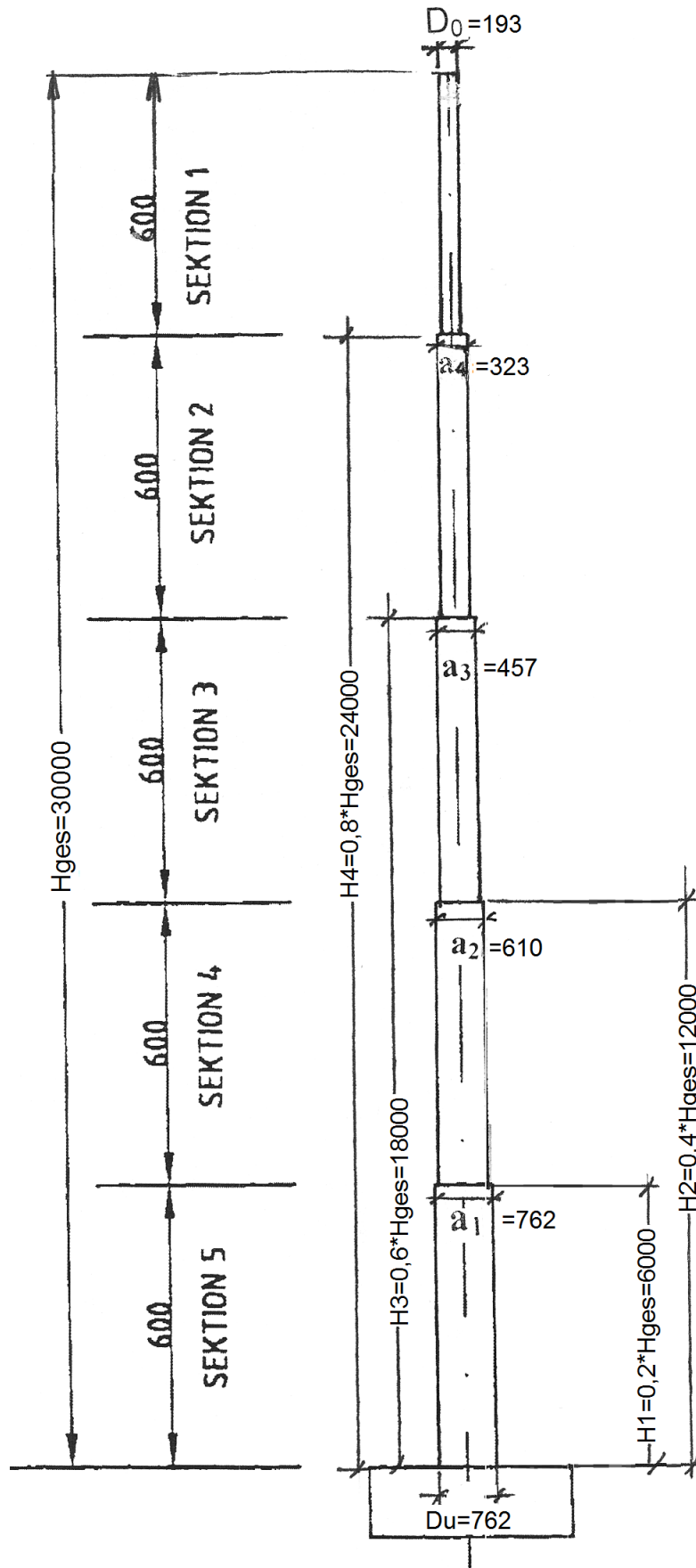
**Bild A.19** Rohrmast Nr.1  $H_{ges}=36$  m (Tabelle 3)



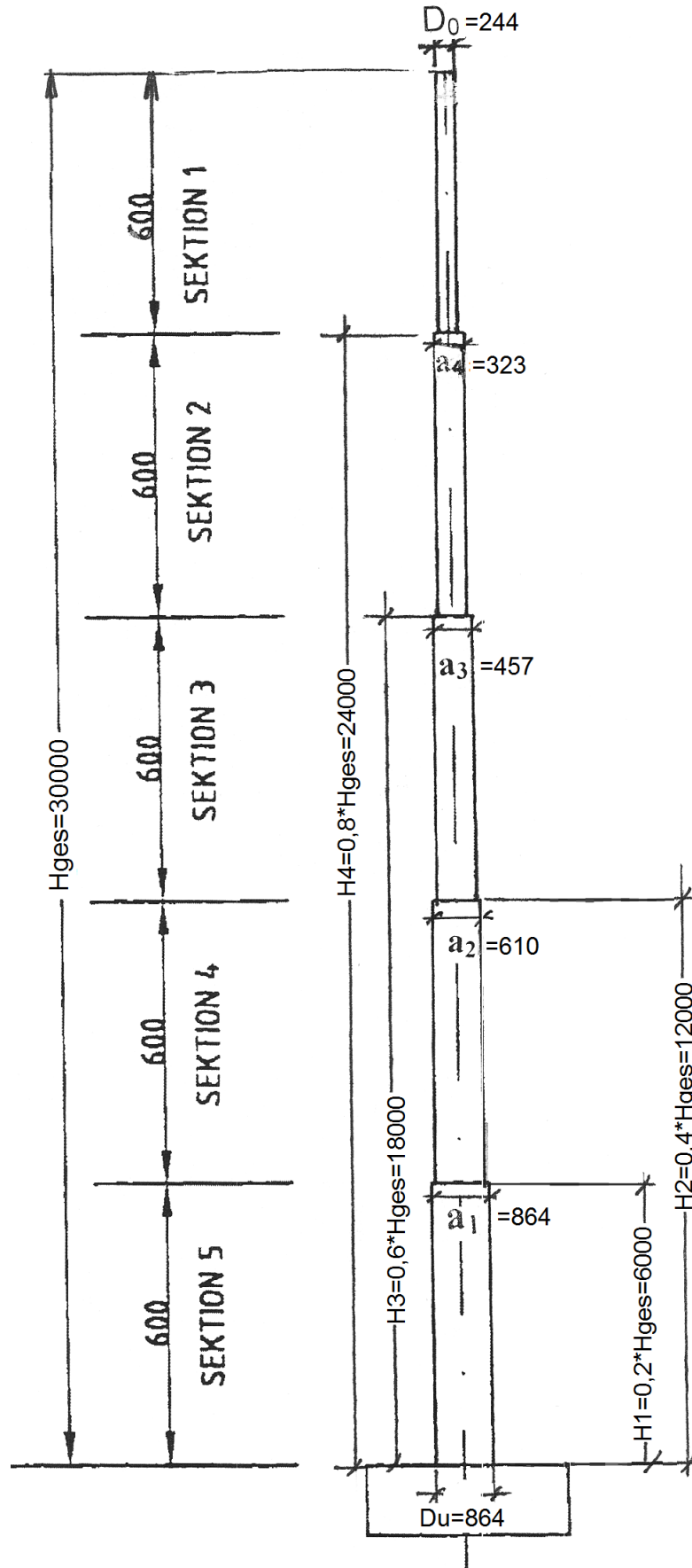
**Bild A.20** Rohrmast Nr.2  $H_{ges}=36$  m (Tabelle 3)



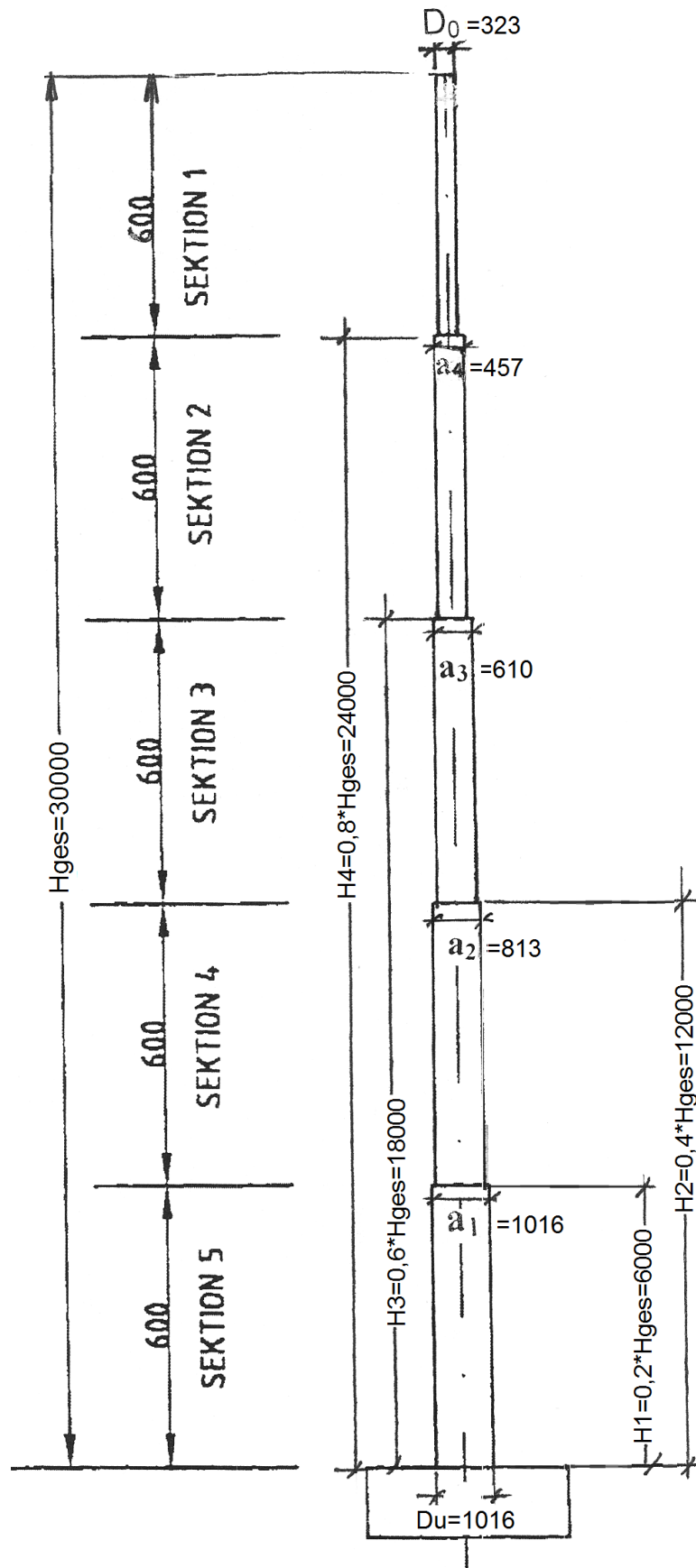
**Bild A.21** Rohrmast Nr.3  $H_{ges}=36$  m (Tabelle 3)



**Bild A.22** Rohrmast Nr.4  $H_{ges}=30$  m (Tabelle 3)

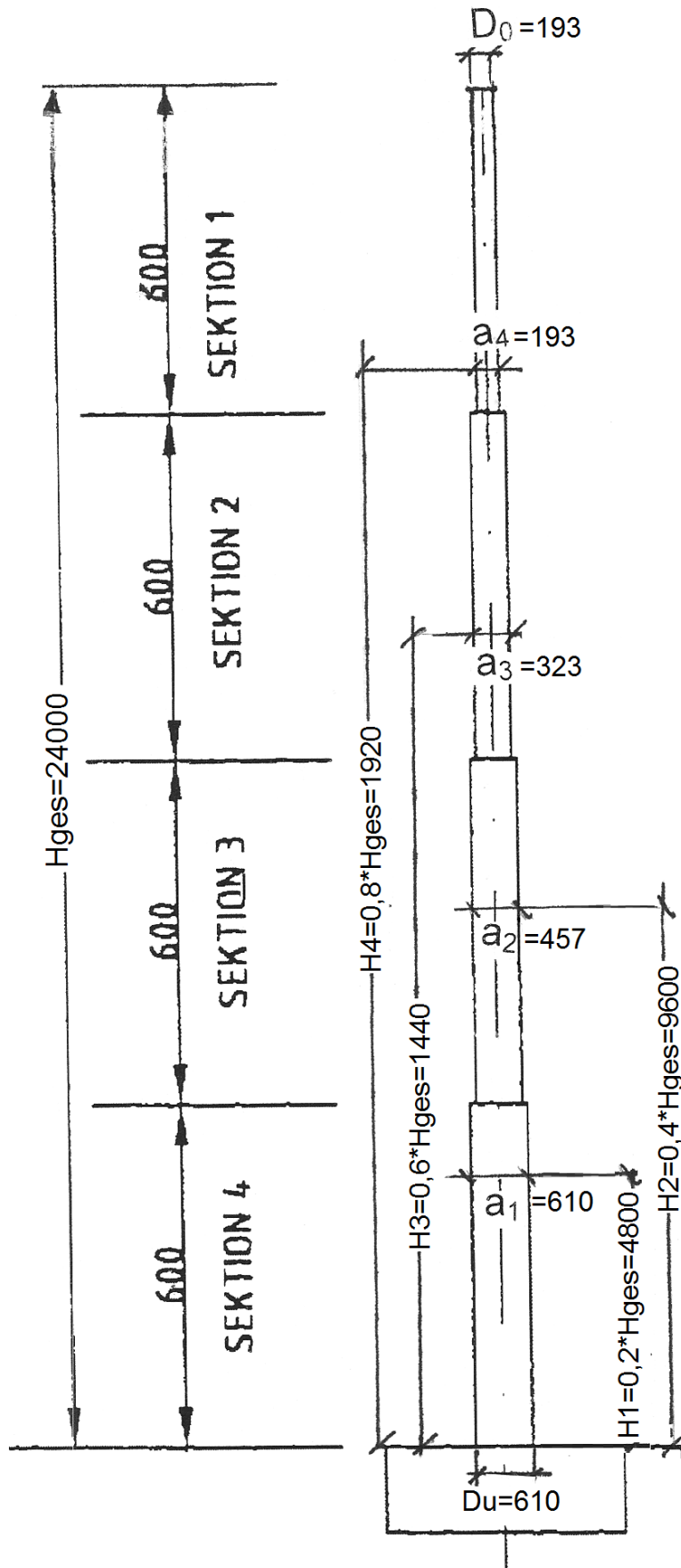


**Bild A.23** Rohrmast Nr.5  $H_{ges}=30m$  (Tabelle 3)

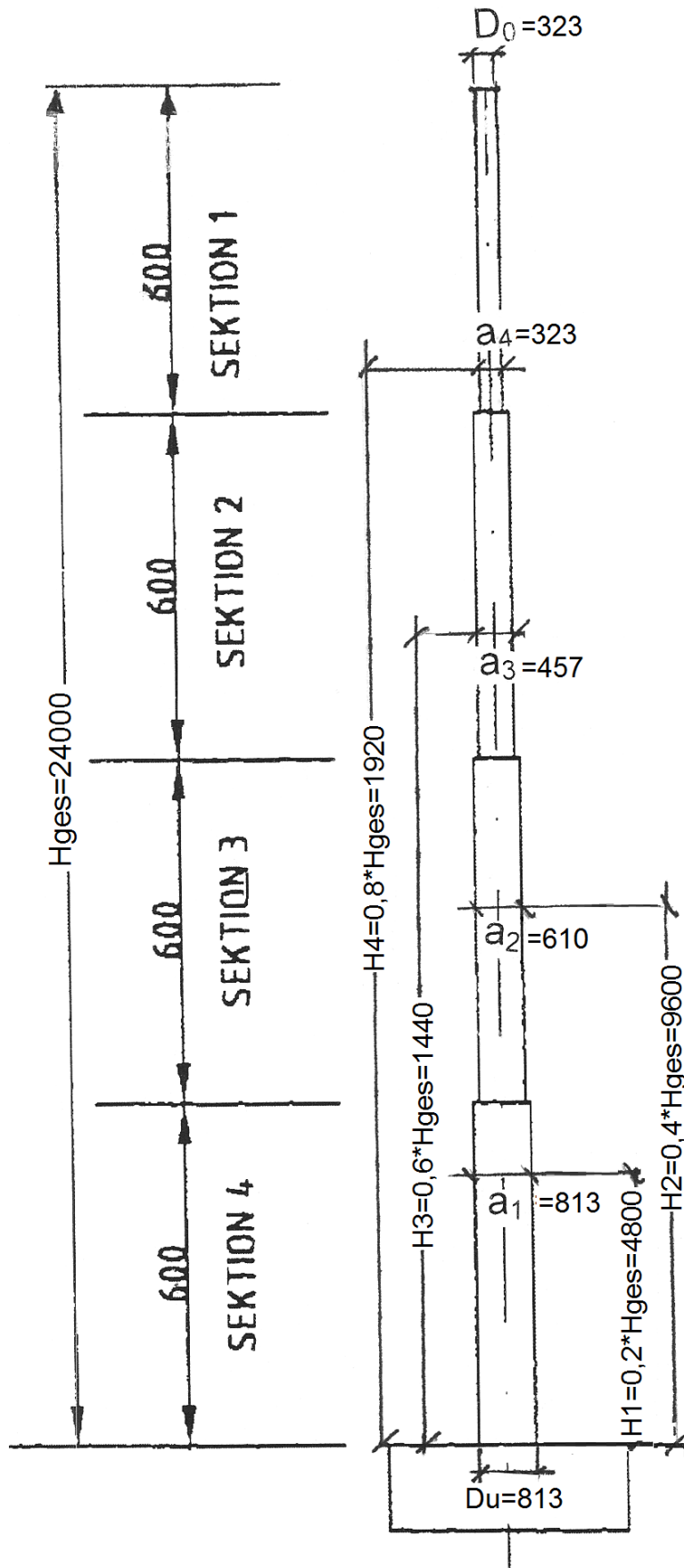


**Bild A.24** Rohrmast Nr.6  $H_{ges}=30m$  (Tabelle 3)

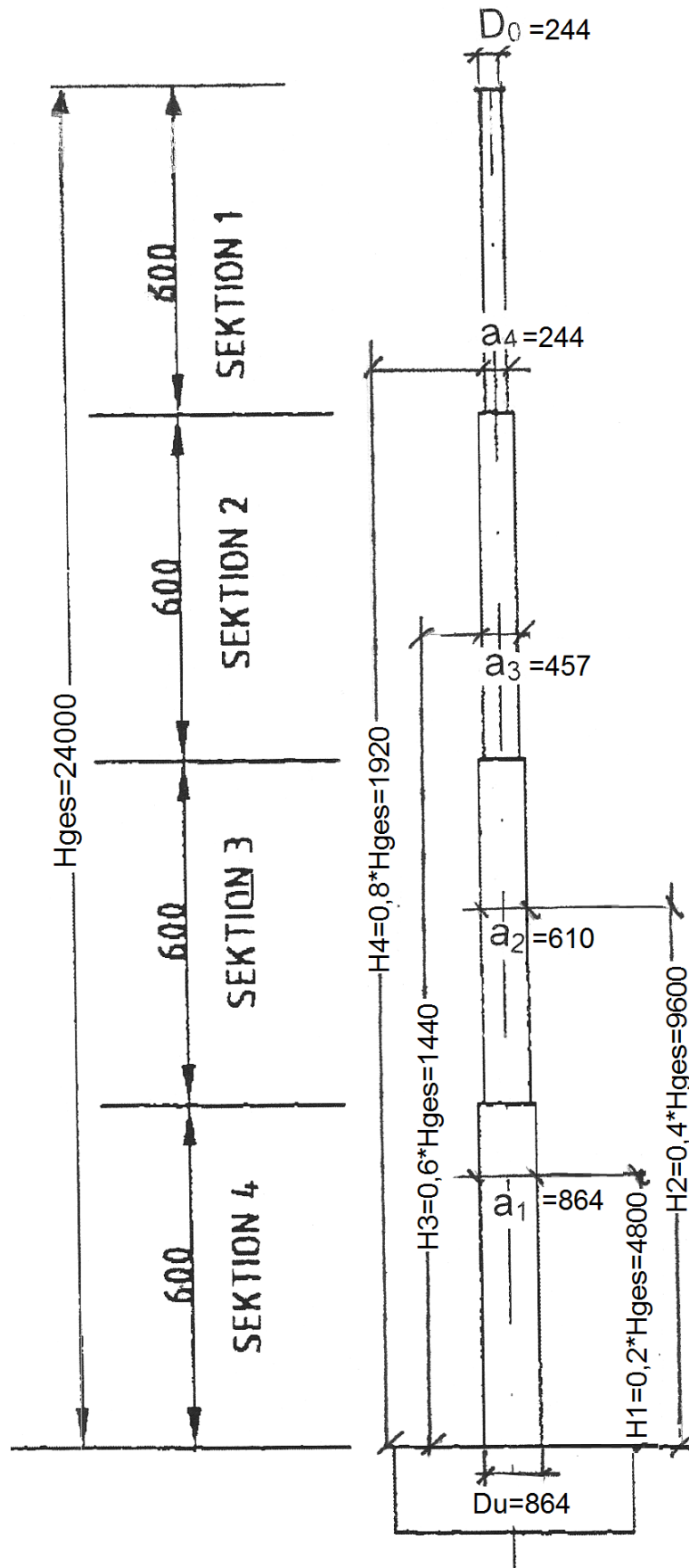




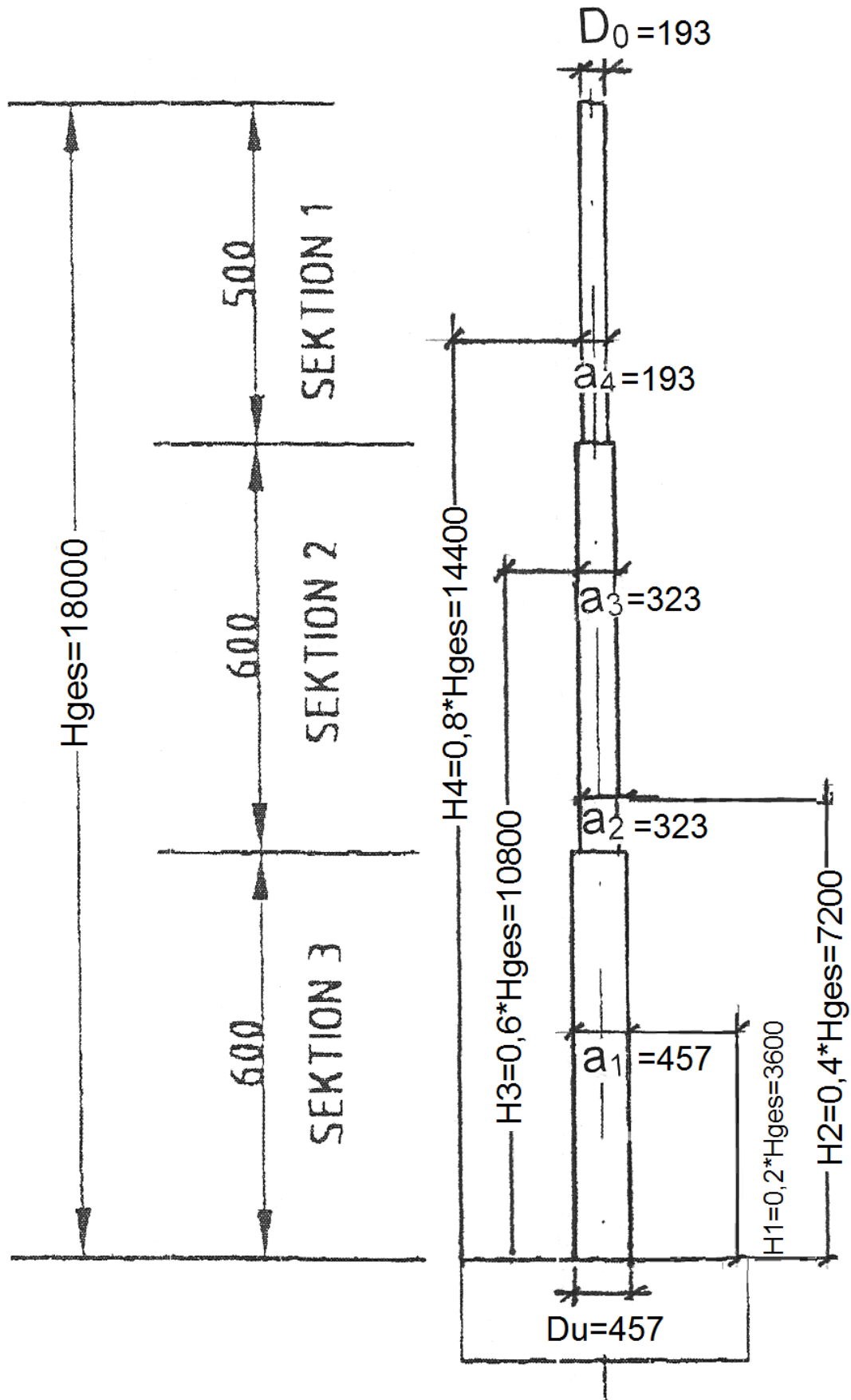
**Bild A.25** Rohrmast Nr.7  $H_{ges}=24$ m (Tabelle 3)



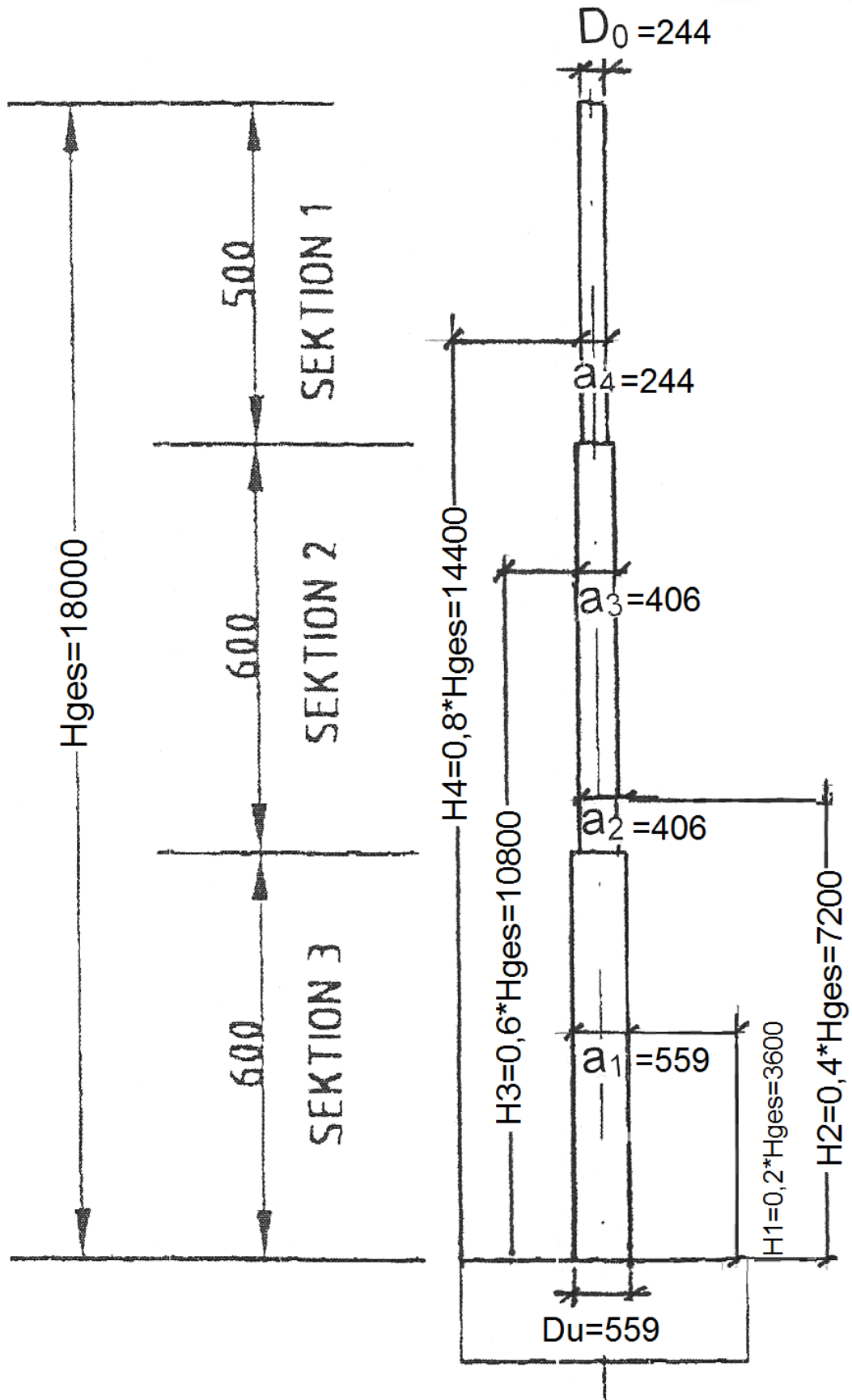
**Bild A.26** Rohrmast Nr.8  $H_{ges} = 24$ m (Tabelle 3)



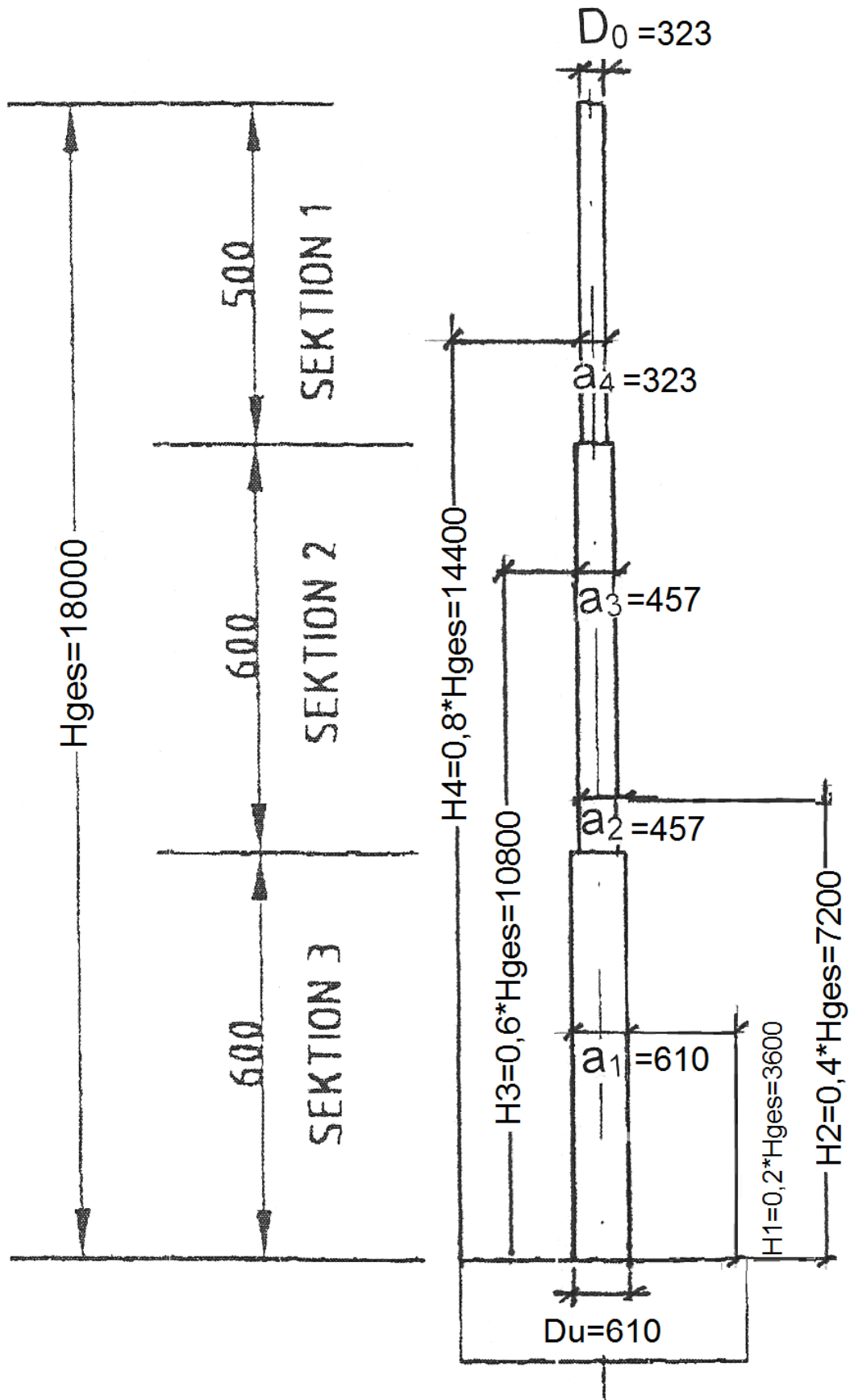
**Bild A.27** Rohrmast Nr.9  $H_{ges}=24$ m (Tabelle 3)



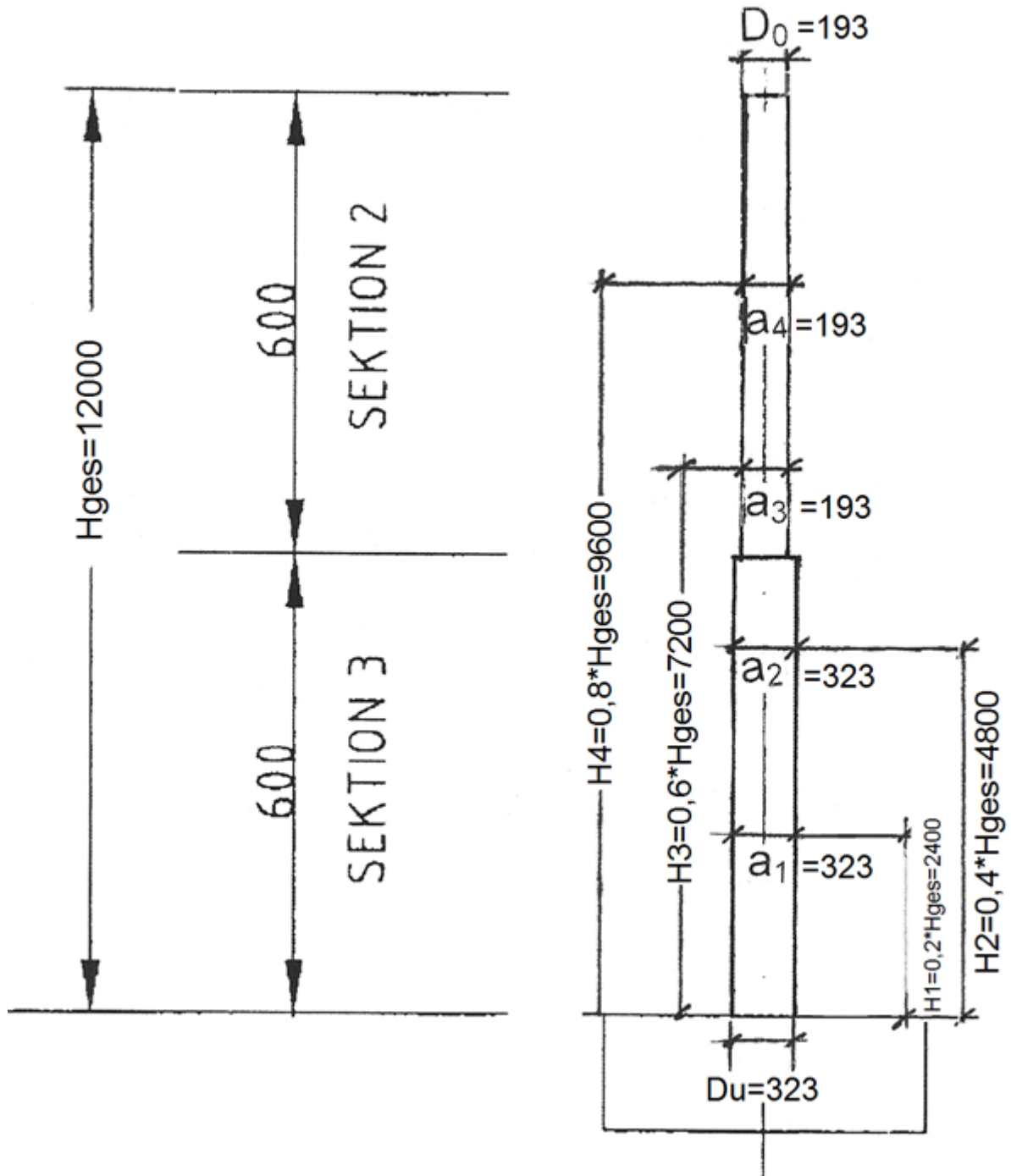
**Bild A.28** Rohrmast Nr.10  $H_{ges}=18m$  (Tabelle 3)



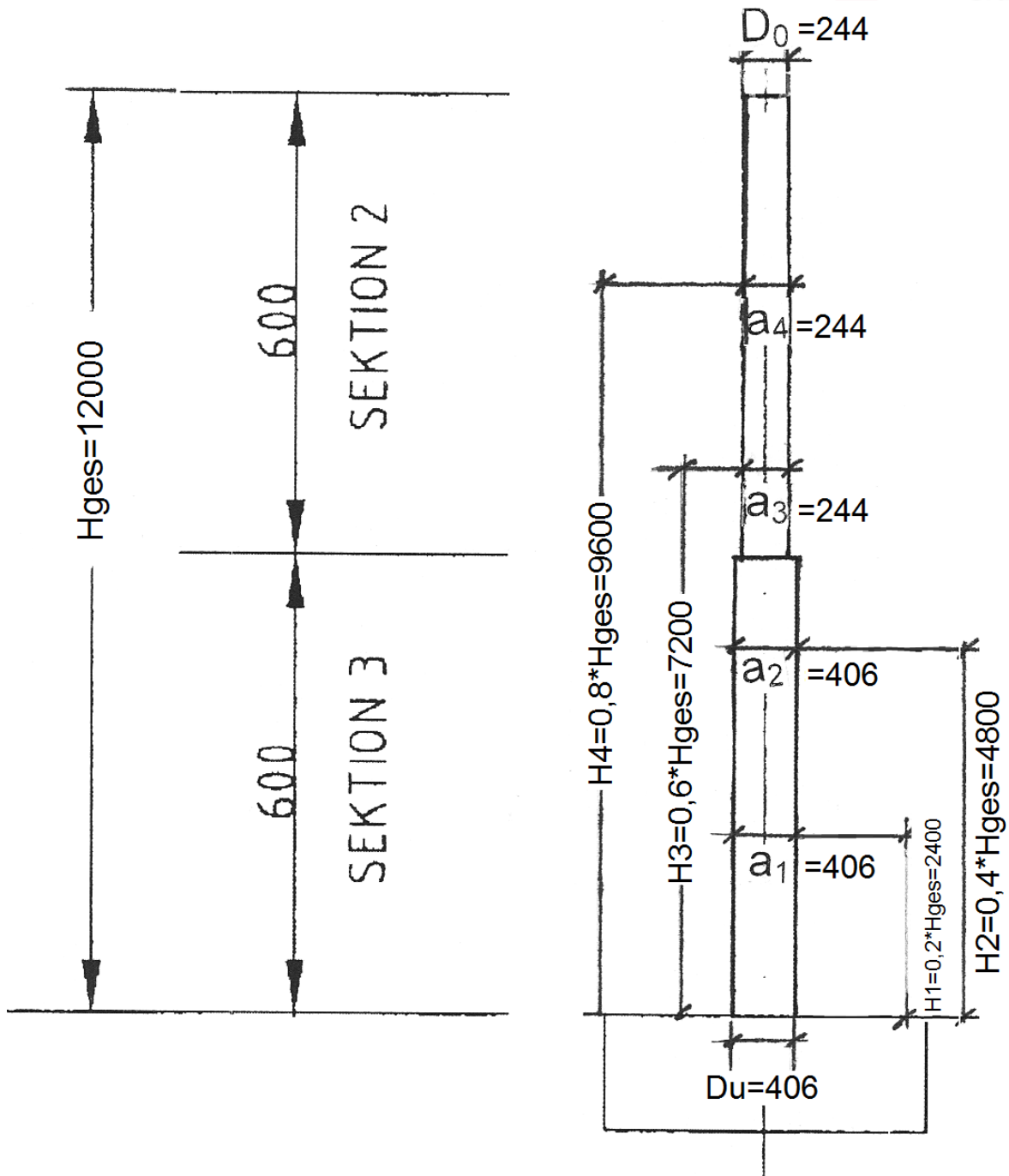
**Bild A.29** Rohrmast Nr.11  $H_{ges} = 18m$  (Tabelle 3)



**Bild A.30** Rohrmast Nr.12  $H_{ges}=18m$  (Tabelle 3)

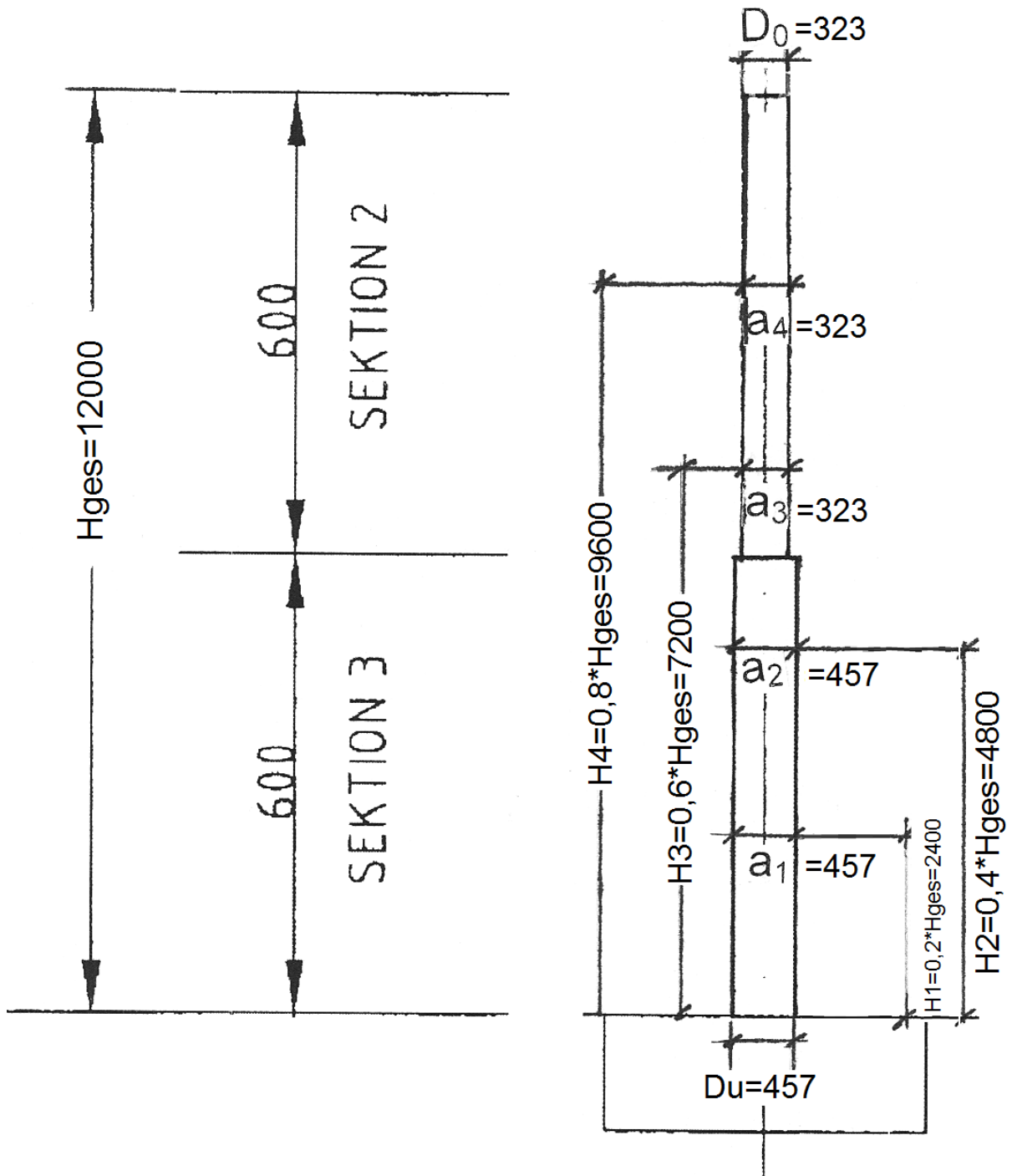


**Bild A.31** Rohrmast Nr.13  $H_{ges} = 12m$  (Tabelle 3)



**Bild A.32** Rohrmast Nr.14  $H_{ges}=12m$  (Tabelle 3)





**Bild A.33** Rohrmast Nr.15  $H_{ges}=12m$  (Tabelle 3)

## **ANHANG 2**

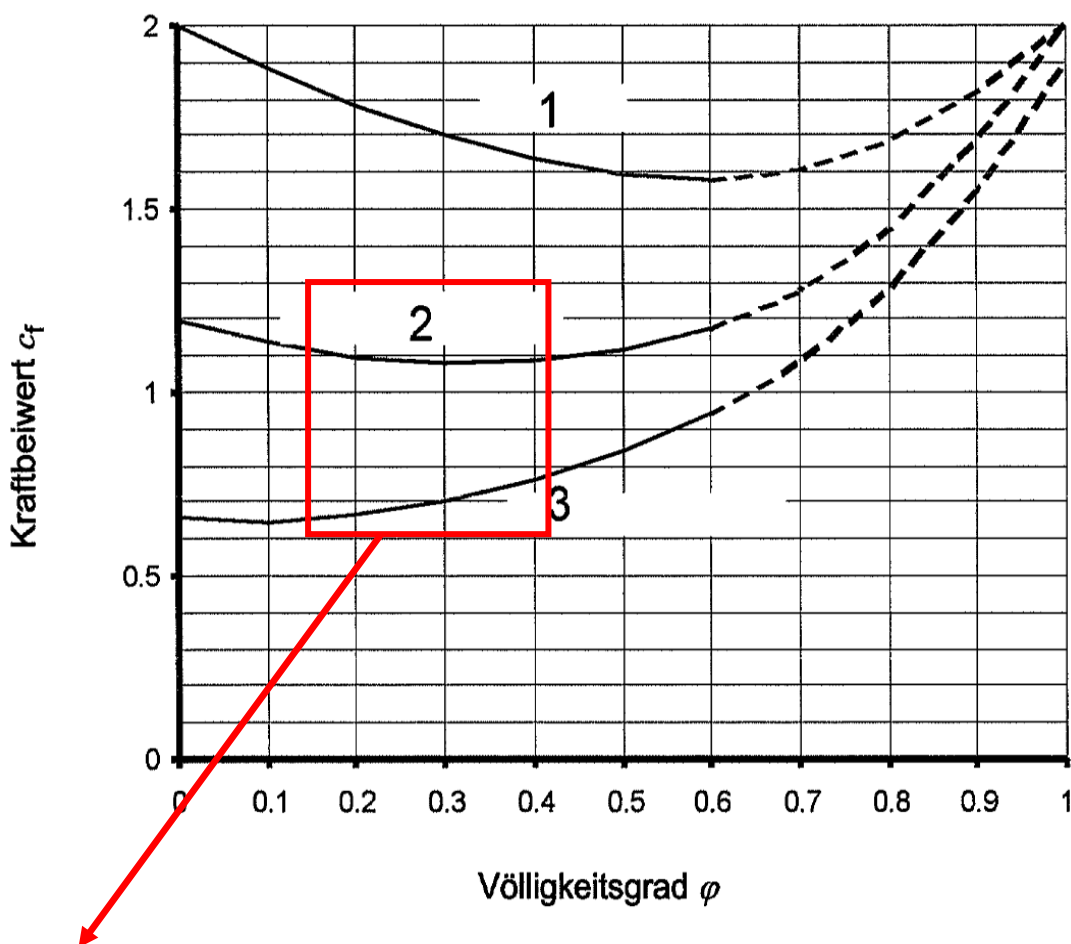
# **ÜBERPRÜFUNG DES GRENZKRITERIUMS FÜR DIE WINDBELASTUNG**

---

## A.2 Überprüfung der Holme und Diagonalen, welche in unterkritischem / überkritischem Bereich sind.

### A.2.1 Windkraftbeiwerte für einzelne Tragwerke

Werte für Windkraftbeiwerte  $c_f$  für einzelne Tragwerke, die aus Bauteilen mit sowohl kantigen als auch kreisförmigen Querschnitten, sind zu bestimmen mit: (ÖNORM EN 1993-3-1: Bild B.2.5)



Für untersuchte Gittermaste relevanter Bereich: Konservative Empfehlung:

- kreisförmig unterkritisch  $c_f=1,1$

- kreisförmig überkritisch  $c_f=0,8$

- 1 Kantige Profile
- 2 Kreisförmige Profile (unterkritisch)
- 3 Kreisförmige Profile (überkritisch)

**Bild A.2.1 Kraftbeiwert  $c_f$  für einzelne Tragwerke**

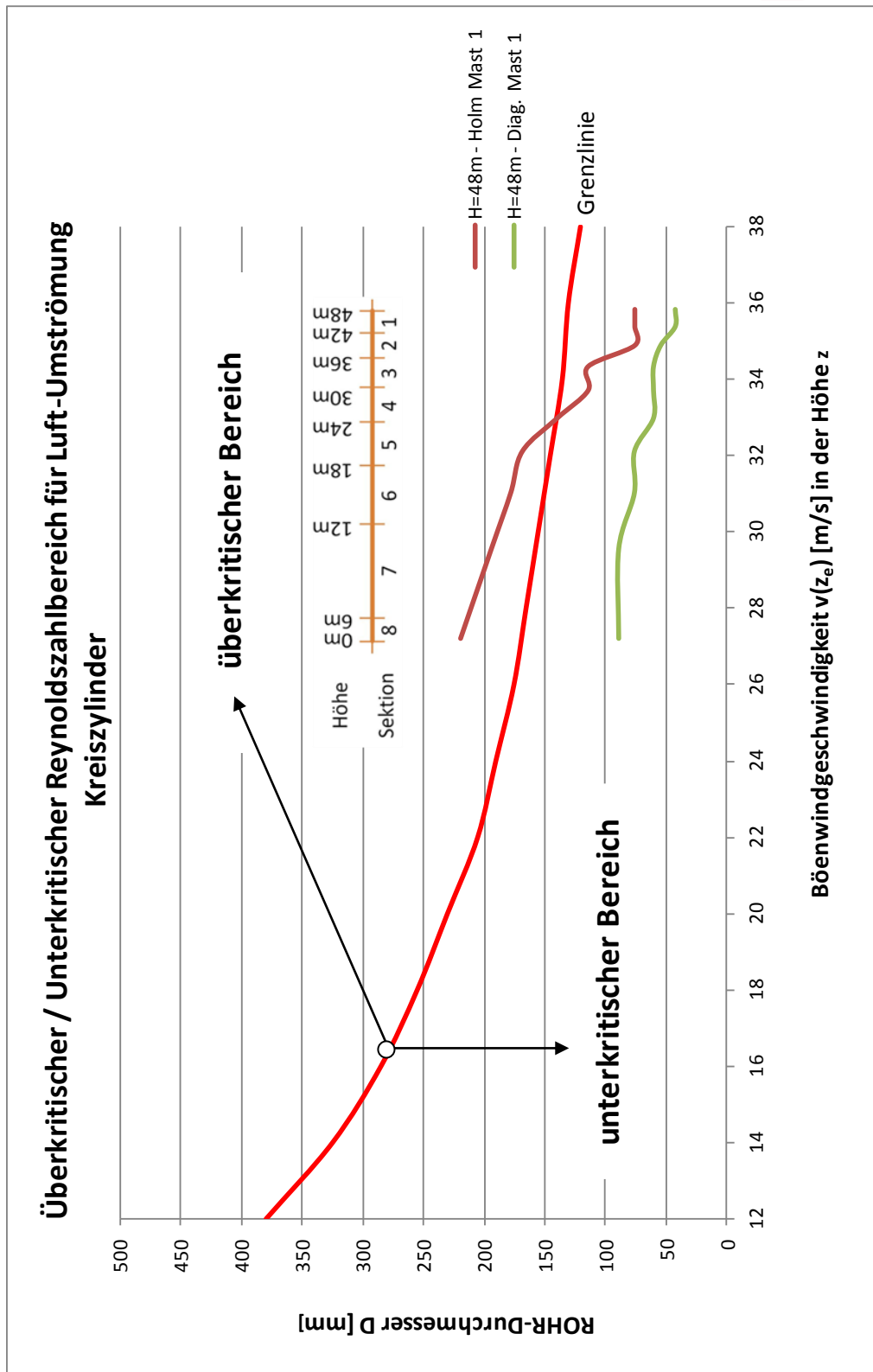


Für die Bestimmung der Holme und Diagonalen, welche in unterkritischem / überkritischem Bereich sind, wurden folgende Diagramme für Gittermasten  $H_{ges}=48$  m,  $H_{ges}=36$  m und  $H_{ges}=24$  m erstellt.

Für einige Gittermasten wurden Grafiken erstellt, welche bei überkritischer / unterkritischer Reynoldszahlbereich für Luft-Umströmung Kreiszyklischequerschnitte (Holme, Diagonale) zeigen.

Das Bild A.2.2 zeigt die Verhältnisse der Böenwindgeschwindigkeit und Rohrdurchmesser für Holme und Diagonale für Gittermast  $H_{ges}=48$  m (Tabelle 1, Mast Nr.1). Die horizontale Achse zeigt die Böengeschwindigkeit in der Höhe  $z$  in m/s. Die vertikale Achse zeigt die Rohrdurchmesser  $D$  in mm. Die Diagonalen befinden sich im unterkritischen Bereich für die gesamte Höhe des Gittermastes.

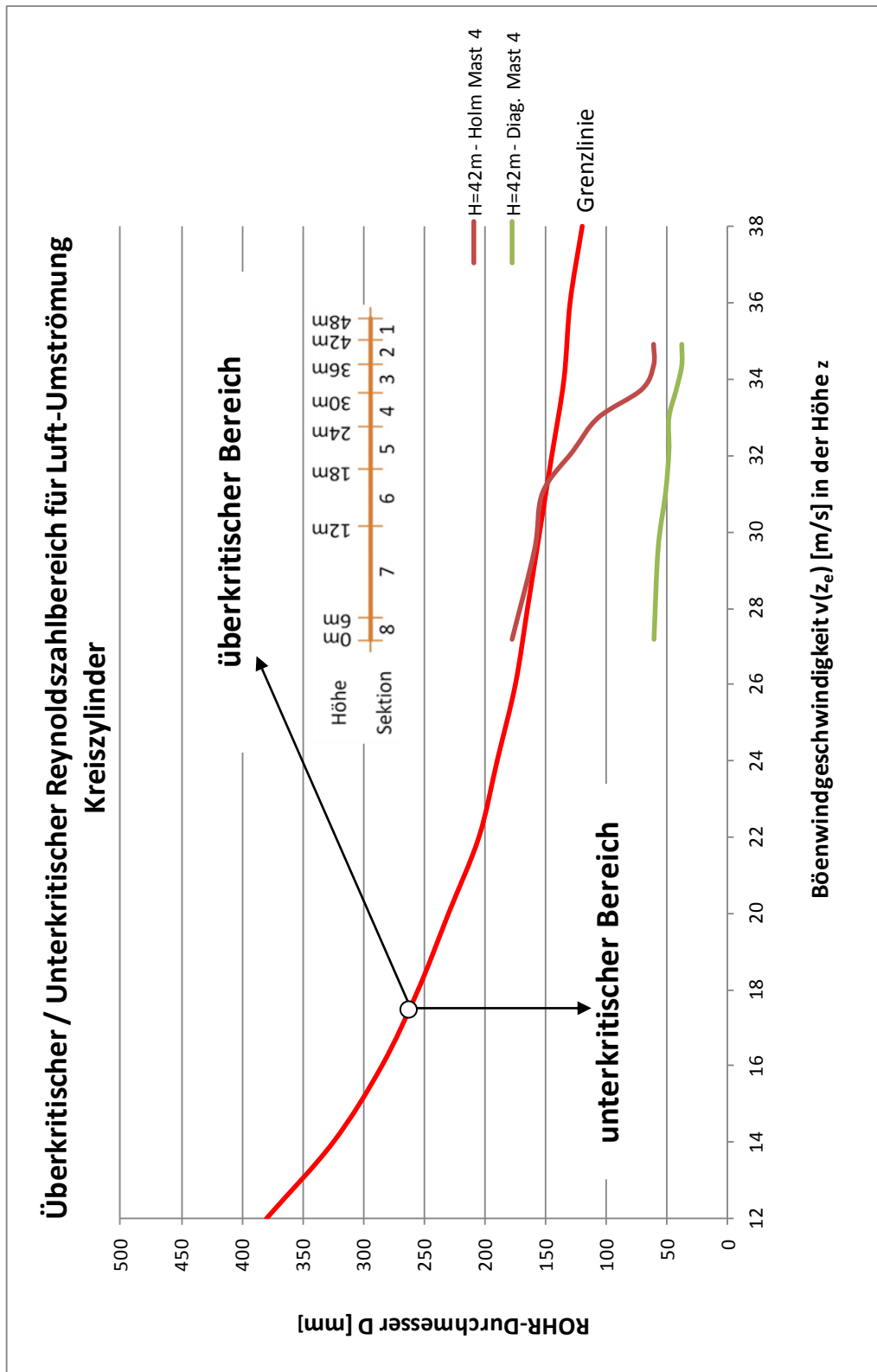
Die rote Linie ist eine Grenzlinie zwischen überkritischem und unterkritischem Bereich. So wie aus dem Bild A.2.2 ersichtlich, befinden sich alle Diagonalprofile im unterkritischen Bereich für die gesamte Höhe des Gittermastes. Die Holme des Gittermastes zwischen 0 m und 24 m Höhe befinden sich im überkritischen Bereich und erst nach 24 m Höhe befinden sich die Holme im unterkritischen Bereich. Die Holme des Gittermastes überschneiden sich mit der Grenzlinie bei 24 m Höhe.



**Bild A.2.2** Überkritischer / unterkritischer Reynoldszahlbereich für Luft-Umströmung Kreiszyylinder (Tabelle Nr.1, Mast Nr.1)

Das Bild A.2.3 zeigt die Verhältnisse der Böenwindgeschwindigkeit und Rohrdurchmesser für Holme und Diagonale für Gittermast  $H_{\text{ges}}=42$  m (Tabelle 1, Mast Nr.4). Die horizontale Achse zeigt die Böengeschwindigkeit in der Höhe  $z$  in m/s. Die vertikale Achse zeigt die Rohrdurchmesser  $D$  in mm. Die Diagonalen befinden sich im unterkritischen Bereich für die gesamte Höhe des Gittermastes.

Die rote Linie ist eine Grenzlinie zwischen überkritischem und unterkritischem Bereich. So wie aus dem Bild A.2.3 ersichtlich, befinden sich alle Diagonalprofile im unterkritischen Bereich für die gesamte Höhe des Gittermastes. Die Holme des Gittermastes zwischen 0 m bis 18 m Höhe befinden sich im überkritischen Bereich und erst nach 18 m Höhe befinden sich die Holme im unterkritischen Bereich. Die Holme des Gittermastes überschneiden sich mit der Grenzlinie bei 18 m Höhe.

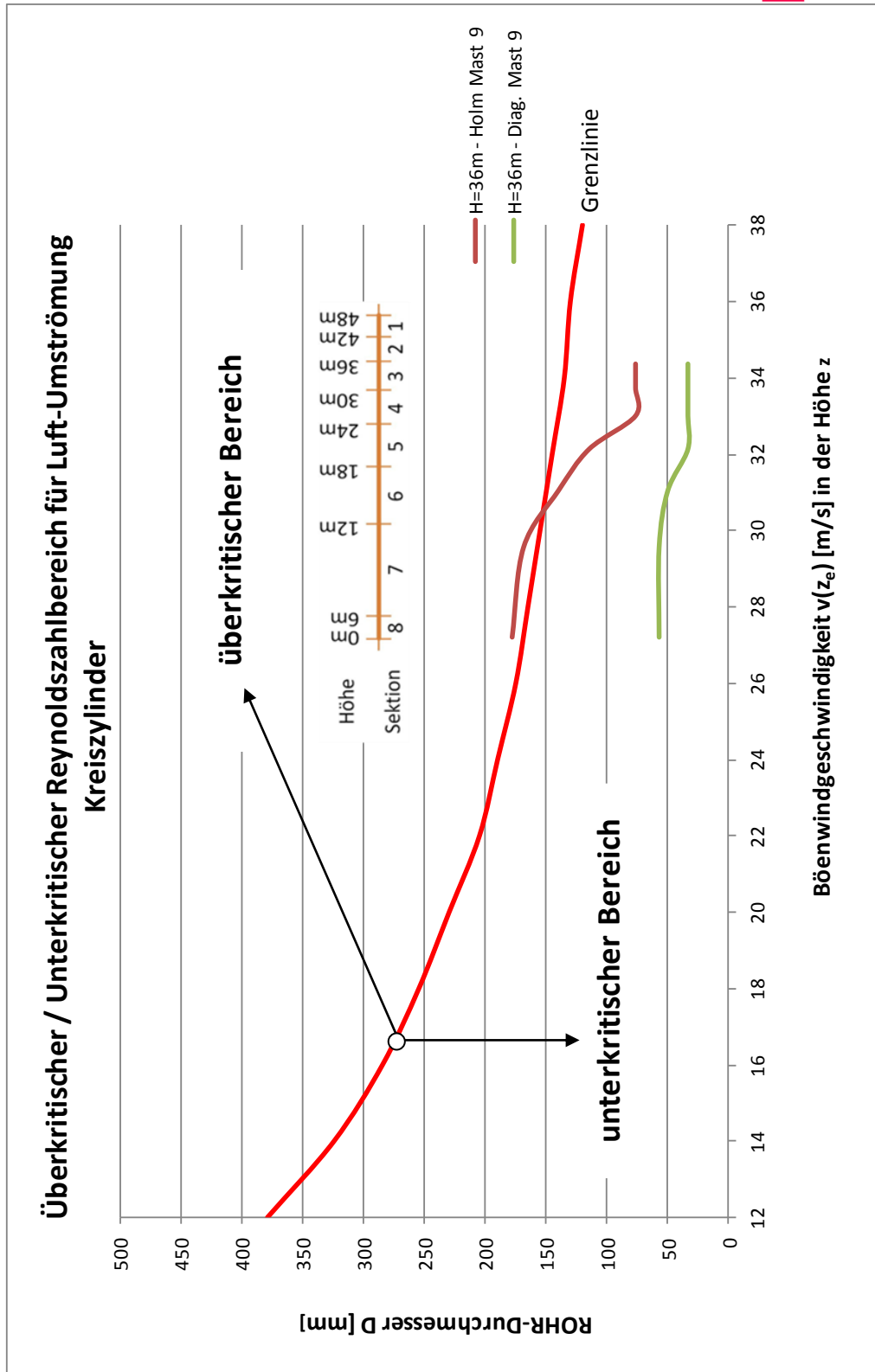


**Bild A.2.3** Überkritischer / unterkritischer Reynoldszahlbereich für Luft-Umströmung Kreiszyylinder (Tabelle Nr.1, Mast Nr.4)



Das Bild A.2.4 zeigt die Verhältnisse der Böenwindgeschwindigkeit und Rohrdurchmesser für Holme und Diagonale für Gittermast  $H_{\text{ges}}=36$  m (Tabelle 1, Mast Nr.9). Die horizontale Achse zeigt die Böengeschwindigkeit in der Höhe  $z$  in m/s. Die vertikale Achse zeigt die Rohrdurchmesser  $D$  in mm. Die Diagonalen befinden sich im unterkritischen Bereich für die gesamte Höhe des Gittermastes.

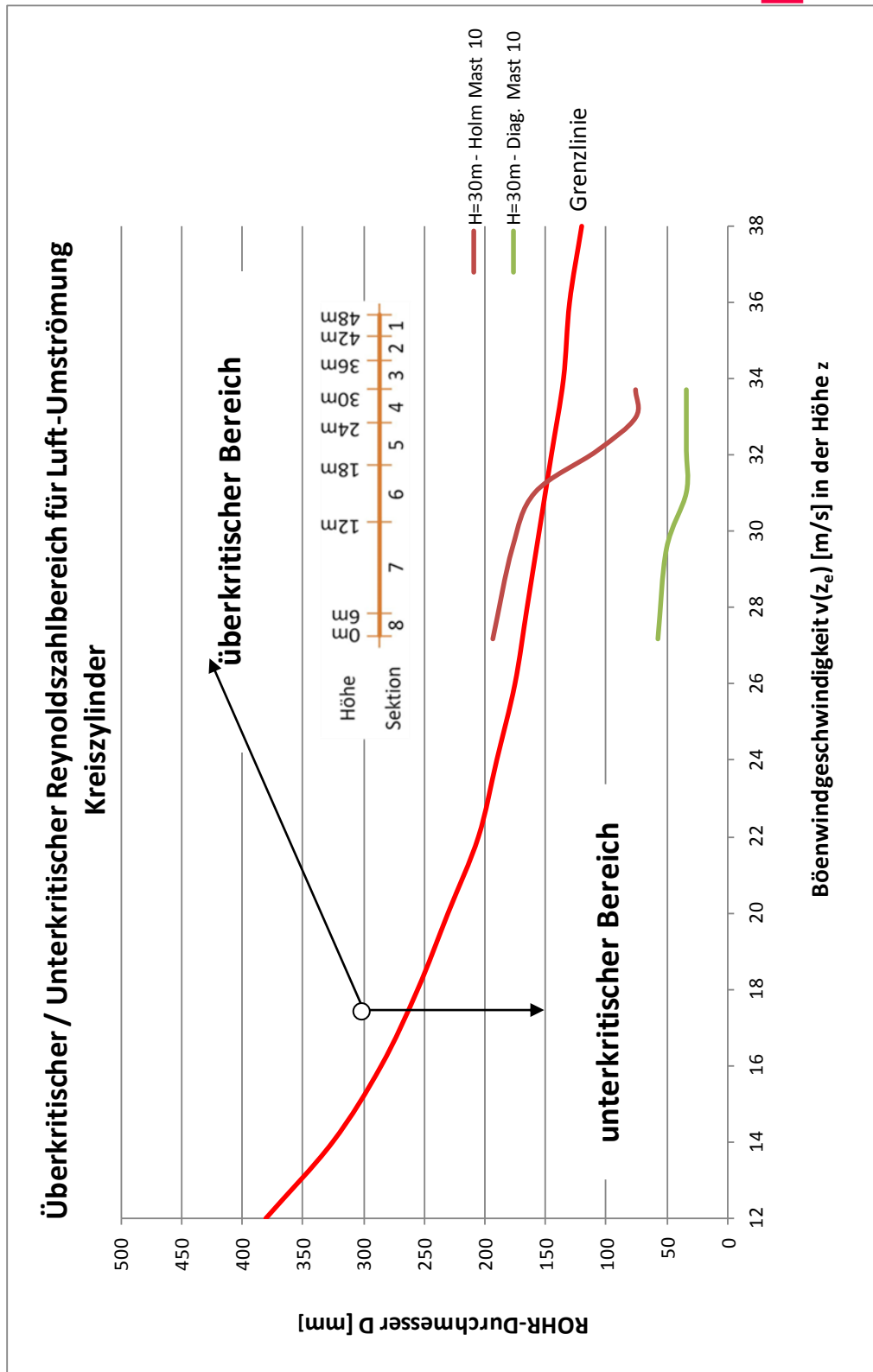
Die rote Linie ist eine Grenzlinie zwischen überkritischem und unterkritischem Bereich. So wie aus dem Bild A.2.4 ersichtlich, befinden sich alle Diagonalprofile im unterkritischen Bereich für die gesamte Höhe des Gittermastes. Die Holme des Gittermastes zwischen 0 m bis 12 m Höhe befinden sich im überkritischen Bereich und erst nach 12 m Höhe befinden sich die Holme im unterkritischen Bereich. Die Holme des Gittermastes überschneiden sich mit der Grenzlinie bei 12 m Höhe.



**Bild A.2.4** Überkritischer / unterkritischer Reynoldszahlbereich für Luft-Umströmung Kreiszyylinder (Tabelle Nr.1, Mast Nr.9)

Das Bild A.2.5 zeigt die Verhältnisse der Böenwindgeschwindigkeit und Rohrdurchmesser für Holme und Diagonale für Gittermast  $H_{\text{ges}}=30$  m (Tabelle 1, Mast Nr.10). Die horizontale Achse zeigt die Böengeschwindigkeit in der Höhe  $z$  in m/s. Die vertikale Achse zeigt die Rohrdurchmesser  $D$  in mm. Die Diagonalen befinden sich im unterkritischen Bereich für die gesamte Höhe des Gittermastes.

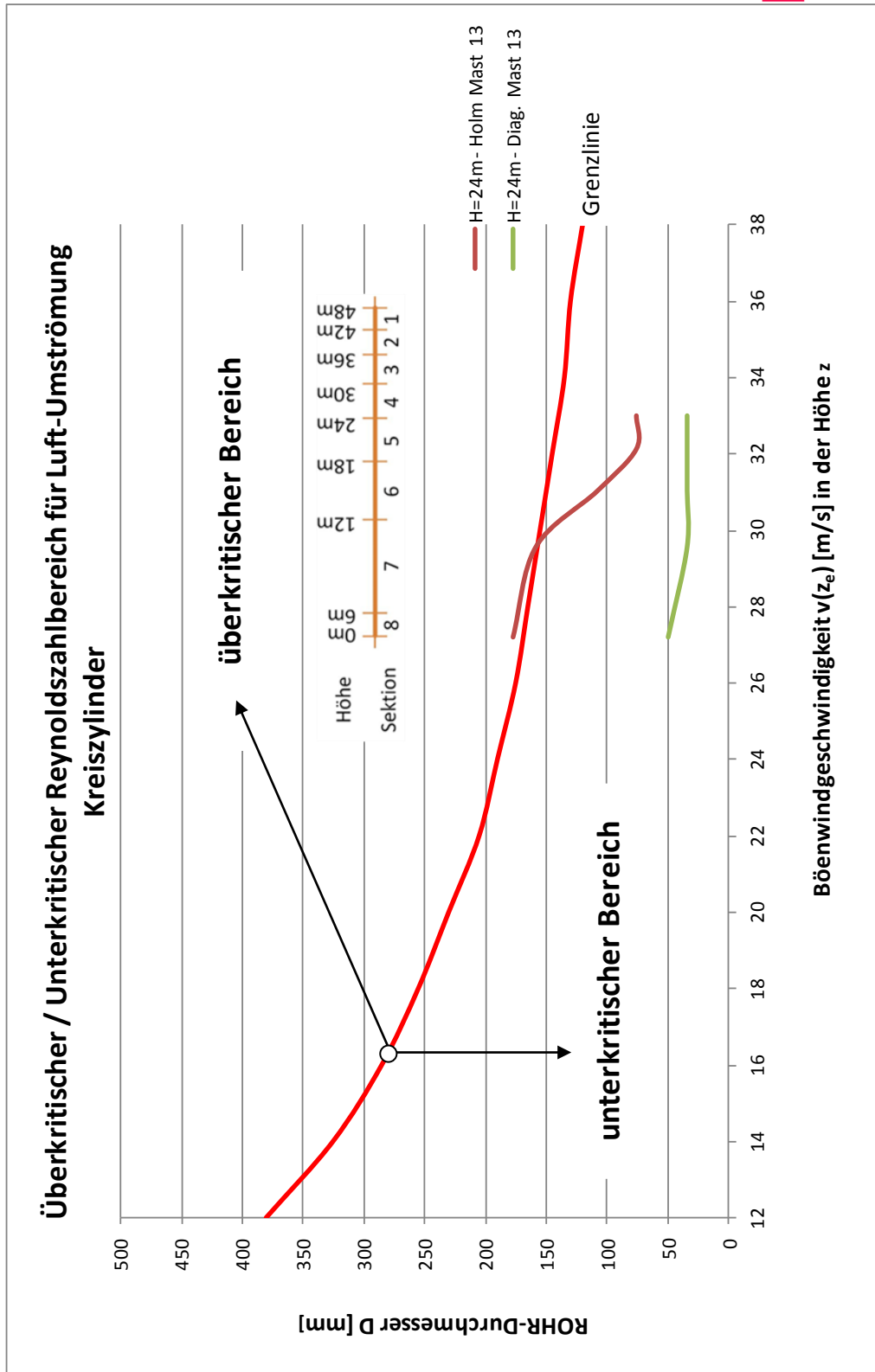
Die rote Linie ist eine Grenzlinie zwischen überkritischem und unterkritischem Bereich. So wie aus dem Bild A.2.5 ersichtlich, befinden sich alle Diagonalprofile im unterkritischen Bereich für die gesamte Höhe des Gittermastes. Die Holme des Gittermastes zwischen 0 m bis 17 m Höhe befinden sich im überkritischen Bereich und erst nach 17 m Höhe befinden sich die Holme im unterkritischen Bereich. Die Holme des Gittermastes überschneiden sich mit der Grenzlinie bei 17 m Höhe.



**Bild A.2.5** Überkritischer / unterkritischer Reynoldszahlbereich für Luft-Umströmung Kreiszyylinder (Tabelle Nr.1, Mast Nr.10)

Das Bild A.2.6 zeigt die Verhältnisse der Böenwindgeschwindigkeit und Rohrdurchmesser für Holme und Diagonale für Gittermast  $H_{ges}=24$  m (Tabelle 1, Mast Nr.13). Die horizontale Achse zeigt die Böengeschwindigkeit in der Höhe  $z$  in m/s. Die vertikale Achse zeigt die Rohrdurchmesser  $D$  in mm. Die Diagonalen befinden sich im unterkritischen Bereich für die gesamte Höhe des Gittermastes.

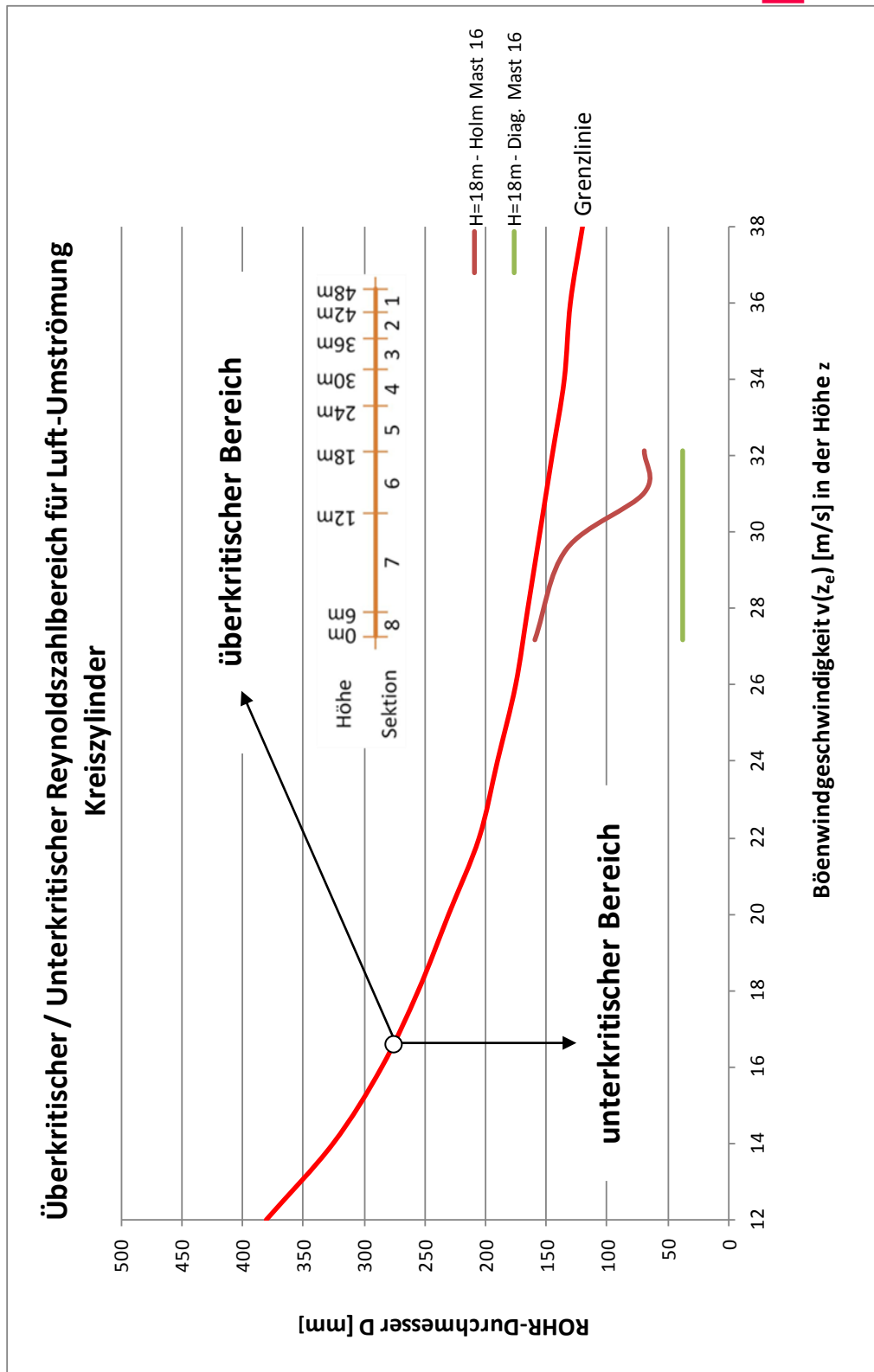
Die rote Linie ist eine Grenzlinie zwischen überkritischem und unterkritischem Bereich. So wie aus dem Bild A.2.6 ersichtlich, befinden sich alle Diagonalprofile im unterkritischen Bereich für die gesamte Höhe des Gittermastes. Die Holme des Gittermastes zwischen 0 m bis 10 m Höhe befinden sich im überkritischen Bereich und erst nach 10 m Höhe befinden sich die Holme im unterkritischen Bereich. Die Holme des Gittermastes überschneiden sich mit der Grenzlinie bei 10 m Höhe.



**Bild A.2.6** Überkritischer / unterkritischer Reynoldszahlbereich für Luft-Umströmung Kreiszyylinder (Tabelle Nr.1, Mast Nr.13)

Das Bild A.2.7 zeigt die Verhältnisse der Böenwindgeschwindigkeit und Rohrdurchmesser für Holme und Diagonale für Gittermast  $H_{ges}=18$  m (Tabelle 1, Mast Nr.16). Die horizontale Achse zeigt die Böengeschwindigkeit in der Höhe  $z$  in m/s. Die vertikale Achse zeigt die Rohrdurchmesser  $D$  in mm. Die Diagonalen befinden sich im unterkritischen Bereich für die gesamte Höhe des Gittermastes.

Die rote Linie ist eine Grenzlinie zwischen überkritischem und unterkritischem Bereich. So wie aus dem Bild A.2.7 ersichtlich, befinden sich alle Diagonale und Holme im unterkritischen Bereich für die gesamte Höhe des Gittermastes.



**Bild A.2.7** Überkritischer / unterkritischer Reynoldszahlbereich für Luft-Umströmung Kreiszyylinder (Tabelle Nr.1, Mast Nr.16)



### **A.2.2. Kontrolle der Bedingungen für die Anwendung der statischen Ersatzlast - Methode**

Die Kontrolle der Kriterien, für die Anwendung statischer Ersatzlast Methode, wurde für folgende Gittermasten  $H_{ges}=48$  m (Mast Nr.1),  $H_{ges}=48$  m (Mast Nr.2),  $H_{ges}=48$  m (Mast Nr.3),  $H_{ges}=36$  m (Mast Nr.9) und  $H_{ges}=24$  m (Mast Nr.13) durchgeführt.

Für jeden Gittermast wurde kraftbeiwert  $c_f$  berechnet und in Tabelaren Form dargestellt. Für Holme und Diagonale wurden diese Kraftbeiwerte unter Berücksichtigung der unterkritische / überkritische Zustände getrennt berechnet. Für die Berechnung des Kraftbeiwertes  $c_f$  jedes Gittermastes wurden auch Aufstiegsleiter und Kabel berücksichtigt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen wurden in Form einer Tabelle dargestellt.

Nach der Berechnung des Kraftbeiwertes  $c_f$  wurde die Kontrolle der Bedingungen für die Anwendung statischer Ersatzlast Methode durchgeführt. Diese Berechnungen wurden für jeden Gittermast nach den Tabellen dargestellt.

Die Ergebnisse für diese Gittermasten haben bestätigt, dass die Möglichkeit für die Anwendung der Bedingungen und für Anwendung statischer Ersatzlast Methode möglich ist.

Nach folgenden Seiten werden die Ergebnisse für den  $c_f$  Kraftbeiwert sowie auch die Berechnung der Kontrolle der Bedingungen für die Anwendung statischer Ersatzlast Methode für jeden oben gezeigten Gittermast angegeben.

Sektion Nr.	L <sub>d</sub> (m)	L <sub>h</sub> (m)	Diag.	Holme	m <sub>dt</sub> kg	m <sub>ht</sub> kg	m <sub>T</sub> kg	A <sub>d</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>H</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>T</sub> m <sup>2</sup>	A m <sup>2</sup>	√(A <sub>T</sub> ·A <sub>H</sub> ) ⊖	C <sub>f,c</sub> Holme	C <sub>c,su</sub> p Holme	C <sub>fc</sub> Diagonale	C <sub>f</sub> , A <sub>H</sub> Holme	C <sub>f</sub> , A <sub>D</sub> Diag.	C <sub>f,T</sub> , A <sub>T</sub>	C <sub>f,T</sub> , A <sub>T</sub> + C <sub>f,A</sub> , A	Σ C <sub>f,i</sub> , A <sub>i</sub> (18+19)	
																				18	19
1	8,3	12	42,4/4	76/8,6	31,5	171,6	203	0,35	0,912	1,262	5,76	0,219	1,1	-	1,1	1,0032	0,385	1,3882	7,21	7,21	8,60
2	8,7	12,2	54,4/4	76/8,8	43,5	174,6	218	0,47	0,93	1,4	6,3	0,222	1,1	-	1,1	1,023	0,517	1,54	7,21	7,21	8,75
3	9,63	12,4	60,3/4	114,3/10	53	319	372	0,6	1,42	2,02	7,38	0,273	1,11	-	1,11	1,5762	0,666	2,2422	7,21	7,21	9,45
4	10,05	12,6	60,3/4	139,7/12,5	58	495	553	0,63	1,76	2,4	8,46	0,284	1,09	-	1,09	1,9184	0,6867	2,6051	7,21	7,21	9,82
5	9,5	12,8	76/4	168,3/12,5	67,5	614	682	0,722	2,15	2,87	9,54	0,301	-	0,7	1,095	1,505	0,79059	2,29559	7,21	7,21	9,51
6	10,6	13	76/4	177,8/14,2	75,3	745	820	0,81	2,31	3,12	10,62	0,294	-	0,69	1,094	1,5939	0,88614	2,48004	7,21	7,21	9,69
7	11,44	13,2	78,9/4	193,7/14,2	96,1	830	926	1,02	2,56	3,58	11,7	0,306	-	0,7	1,096	1,792	1,11792	2,90992	7,21	7,21	10,12
8	12,22	13,4	88,9/4	319/14,2	103	961	1064	1,9	2,92	4,82	12,78	0,377	-	0,74	1,099	2,1608	2,0881	4,2489	7,21	7,21	11,46
Σ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,472	72,54	0,296	-	-	-	-	-	19,70995	57,68	77,39	

$$\Sigma C_{f,i} A_i = C_{f,T} A_T + C_{f,A} A_{L,K}$$

Tabelle A.2.2

Gittermast: H<sub>ges</sub>=48 m; D<sub>u</sub>=2220 mm; (Tabelle 1. Mast Nr. 1)

In der Tabelle A.2.2 sind 8 Sektionen angegeben wobei jede Sektion 6 m hoch ist.

In der Spalte 1 sind die Längen der Diagonalen ( $L_d$ ) und in der Spalte 2 die Längen der Holme ( $L_h$ ) in m angegeben.

In der Spalte 3 sind die Rohrdurchmesser und deren Wandstärken (mm) für Diagonale angegeben. In der Spalte 4 sind die Rohrdurchmesser und deren Wandstärken (mm) für Holme angegeben.

In der Spalte 5 ( $m_{dt}$ ) sind die Querschnittsgewichte für Diagonalen in kg angegeben. In der Spalte 6 ( $m_{Ht}$ ) sind die Querschnittsgewichte für Holme in kg angegeben.

In der Spalte 7 sind die Gesamtquerschnittsgewichte für Holme und Diagonale aus den Spalten 5 und 6 ( $m_T = m_{dt} + m_{Ht}$ ) zusammen addiert angegeben.

In der Spalte 8 sind die Querschnittsflächen ( $A_d$ ) für Diagonalen in  $m^2$  angegeben. In der Spalte 9 sind die Querschnittsflächen ( $A_H$ ) für Holme in  $m^2$  angegeben. In der Spalte 10 sind die Gesamtquerschnittsfläche für Holme und Diagonale aus den Spalten 8 und 9 ( $A_T = A_d + A_H$ ) zusammen addiert angegeben.

In der Spalte 11 sind die senkrechten Projektionen der von den Umrandungen der Konstruktion eingeschlossenen Fläche ( $m^2$ )  $A = \frac{a_I + a_{II}}{2} * h$  angegeben.

In der Spalte 12 sind die Völligkeitsgrade für alle Sektionen des Gittermastes angegeben ( $\Phi = A_T / A$ ).

In der Spalte 13 und 14 sind die unterkritischen und überkritischen Beiwerte  $c_{f,c}$  und  $c_{c,su}$  für Holme des Gittermastes angegeben.

In der Spalte 15 sind die unterkritischen Beiwerte  $c_{f,c}$  für Diagonale des Gittermastes angegeben.

In der Spalte 16 wurden die Querschnittsflächen für Holme ( $A_H$ ) mit Beiwert  $c_f$  multipliziert (unterkritisch / überkritisch) angegeben.

In der Spalte 17 wurden die Querschnittsflächen für Diagonale ( $A_D$ ) mit Beiwert  $c_f$  multipliziert (unterkritisch / überkritisch) angegeben.

In der Spalte 18 ist die Summe der Spalten 16 und 17:  $c_f A_H + c_f A_D = c_{f,T} A_T$  angegeben.

In der Spalte 19 sind die Gesamtsummen der  $\Sigma c_{f,i} A_i$  mit Berücksichtigung der Leiter- und Kabelbeiwertes  $\Sigma c_{f,i} A_i = c_{f,T} A_T + c_{f,A} A_{L,K}$  angegeben.

Die Berechnungen für  $c_{f,A} A_{L,K}$  werden in der nachfolgenden Tabelle A.2.3 angegeben.

Sektion N <sup>o</sup> :	C <sub>f,A,Kabel</sub>	K <sub>A,Kabel</sub>	C <sub>f,A,Leiter</sub>	K <sub>A,Leiter</sub>	A <sub>Kabel</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>Leiter</sub> (m <sup>2</sup> )	C <sub>f,A,Kabel</sub> A <sub>Kabel</sub> *K <sub>A,Kab</sub>	C <sub>f,A,Leiter</sub> A <sub>Leiter</sub> *K <sub>A,Leiter</sub>	C <sub>f,T</sub> , A <sub>T</sub> + C <sub>f,A</sub>	m <sub>L,K</sub> (kg)	m <sub>T</sub> (kg)	Σ m
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	203	323
2	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	218	338
3	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	372	492
4	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	553	673
5	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	682	802
6	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	820	940
7	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	926	1046
8	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	1064	1184
Σ	-	-	-	-	24	6,05	48,00	9,68	57,68	960	4838	5798

C<sub>f,A,Kabel</sub> 2,00 [ ] Gesamtkraftbeiwert für die Antennenkabel [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 K<sub>A,Kabel</sub> 1,00 [ ] Abminderungsbeiwert für die Antennenkabel [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 C<sub>f,A,Leiter</sub> 2,00 [ ] Gesamtkraftbeiwert für die Fallschutzleiter [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 K<sub>A,Leiter</sub> 0,80 [ ] Abminderungsbeiwert für die Fallschutzleiter [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]

**Tabelle A.2.3**

Gittermast: H<sub>ges</sub>=48 m; D<sub>u</sub>=2220 mm; (Tabelle 1. Mast Nr.1):  
Zur Berechnung von Leiter und Kabel

In der Tabelle A.2.3 sind 8 Sektionen angegeben wobei jede Sektion 6m hoch ist.

In der Spalte 1 sind die Gesamtkraftbeiwerte  $c_{f,A,Kabel}$  für die Antennenkabel angegeben.

In der Spalte 2 sind die Abminderungsbeiwerte  $K_{A,Kabel}$  für die Antennenkabel angegeben.

In der Spalte 3 sind die Gesamtkraftbeiwerte  $c_{f,A,Leiter}$  für die Fallschutzleiter angegeben.

In der Spalte 4 sind die Abminderungsbeiwerte  $K_{A,Leiter}$  für die Fallschutzleiter angegeben.

In der Spalte 5 sind die Kabelflächen ( $A_{Kabel}$ ) in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 6 sind die Leiterflächen ( $A_{Leiter}$ ) in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 7 sind die Werte für Kabel:  $c_{f,A,Kabel} * A_{Kabel} * K_{A,Kabel}$  angegeben.

In der Spalte 8 sind die Werte für Leiter:  $c_{f,A,Leiter} * A_{Leiter} * K_{A,Leiter}$  angegeben.

In der Spalte 9 sind die Gesamtsummen der  $\sum c_{f_i,A_i}$  mit Berücksichtigung der Leiter- und Kabelbeiwertes  $\sum c_{f_i,A_i} = c_{f,T}A_T + c_{f,A} * A_{L,K}$  angegeben. (Siehe Tabelle A.2.2)

In der Spalte 10 sind die Gewichte der Leiter und Kabel ( $m_{L,K}$ ) in kg angegeben.

In der Spalte 11 sind die Gesamtquerschnittsgewichte für Holme und Diagonale ( $m_T = m_{dt} + m_{Ht}$ ) angegeben (Siehe Tabelle A.2.2).

In der Spalte 12 sind die Gesamtgewichte (inklusive Diagonale, Holme, Leiter und Kabel) für jede Sektion des Gittermastes angegeben.

Die statische Ersatzlast - Methode darf erst dann angewendet werden falls folgende Bedingungen erfüllt werden:

$$\frac{7 \cdot m_T}{7850 \cdot C_{f,T} A_T \cdot \sqrt{d_B \tau_o}} \left( \frac{5}{6} - \frac{h_T}{h} \right)^2 < 1$$

Kontrolle der Bedingungen für statische Ersatzlasten für Gittermast  $H_{ges}=48$  m;  
 $D_u = 2220$  mm; (Tabelle 1. Mast Nr.1)

$$C_{f,T} A_T = 8,60 < \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{77,39}{3} = 25,79 \quad \text{1 Sektion}$$

$$C_{f,T} A_T = 8,60 + 8,75 = 17,35 < \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{77,39}{3} = 25,79 \quad \text{2 Sektion}$$

**Abbrechnen:**

$$C_{f,T} A_T = 17,35 + 9,45 = 26,8 > \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{77,39}{3} = 25,79 \quad \text{3 Sektion}$$

$$d_B = 0.75 \cdot D_u = 0.75 \cdot 2.22 = 1.665 ;$$

$$\tau_o = 0.001; \quad h_T = 12m; \quad h = 48m: \quad \frac{h_T}{h} = \frac{12}{48} = 0,25$$

$$\frac{7 \cdot m_T}{7850 \cdot 17,36 \cdot \sqrt{d_B \tau_o}} \left( \frac{5}{6} - \frac{12}{48} \right)^2 = \frac{7 \cdot (203 + 218 + 240)}{7850 \cdot 17,36 \cdot \sqrt{1.665 \cdot 0.001}} (0.83 - 0,25)^2 = \underline{\underline{0,283 < 1}}$$

Sektion Nr.:	L <sub>d</sub> (m)	L <sub>h</sub> (m)	Diag.	Holme	m <sub>dt</sub> kg	m <sub>HK</sub> kg	m <sub>T</sub> kg	A <sub>d</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>H</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>T</sub> m <sup>2</sup>	A m <sup>2</sup>	Φ = A <sub>T</sub> /A	C <sub>f,c</sub> Holme	C <sub>c,sup</sub> Holme	C <sub>fc</sub> Diagonale	C <sub>f,AH</sub> Holme	C <sub>f,Ab</sub> Diag	C <sub>f,T,AT</sub>	C <sub>f,AT</sub> + C <sub>f,A</sub>	Σ C <sub>f,i</sub> A <sub>i</sub> (18+19)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	9,06	12	42,4/4	76/8,6	34,428	172	206,428	0,384	0,912	1,296	6,84	0,189	1,11	-	1,11	0,912	0,42624	1,33824	7,21	8,55
2	9,76	12,2	54,4/4	76/8,8	48,8	175	223,8	0,53	0,93	1,46	7,38	0,198	1,1	-	1,1	0,93	0,583	1,513	7,21	8,72
3	10,68	12,4	60,3/4	114,3/10	58,74	320	378,74	0,644	1,223	1,867	8,61	0,216	1,09	-	1,09	1,223	0,70196	1,92496	7,21	9,13
4	13	12,6	60,3/4	139,7/12,5	71,5	495	565,5	0,783	1,76	2,543	11,325	0,224	1,09	-	1,09	1,76	0,85347	2,61347	7,21	9,82
5	13,46	12,8	76/4	168,3/15,5	95,566	615	710,566	1,023	2,154	3,177	14,475	0,219	-	0,68	1,1	1,46472	1,1253	2,59002	7,21	9,80
6	15,5	13	76/4	177,8/14,2	110,05	745	855,05	1,178	2,31	3,488	16,65	0,209	-	0,66	1,09	1,5246	1,28402	2,80862	7,21	10,02
7	16,8	13,2	88,9/4	193,7/14,2	141,12	831	972,12	1,494	2,553	4,047	18,75	0,215	-	0,67	1,11	1,71051	1,65834	3,36885	7,21	10,58
8	18,7	13,4	88,9/4	219/14,2	157,08	960	1117,08	1,662	2,945	4,607	20,94	0,22	-	0,68	1,11	2,0026	1,84482	3,84742	7,21	11,06
Σ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,49	104,97	0,214	-	-	-	-	-	20,00458	57,68	77,68

$$\Sigma C_{f,i} A_i = C_{f,T} A_T + C_{f,A} A_{L,K}$$

**Tabelle A.2.4** Gittermast: H<sub>ges</sub>=48 m; D<sub>u</sub> = 3650 mm; (Tabelle1. Mast Nr.2)



In der Tabelle A.2.4 sind 8 Sektionen angegeben wobei jede Sektion 6m hoch ist.

In der Spalte 1 sind die Längen der Diagonalen ( $L_d$ ) und in der Spalte 2 die Längen der Holme ( $L_h$ ) angegeben.

In der Spalte 3 sind die Rohrdurchmesser und deren Wandstärken (mm) für Diagonale angegeben. In der Spalte 4 sind die Rohrdurchmesser und deren Wandstärken (mm) für Holme angegeben.

In der Spalte 5 ( $m_{dt}$ ) sind die Querschnittsgewichte für Diagonalen in kg angegeben. In der Spalte 6 ( $m_{Ht}$ ) sind die Querschnittsgewichte für Holme in kg angegeben.

In der Spalte 7 sind die Gesamtquerschnittsgewichte für Holme und Diagonale aus den Spalten 5 und 6 ( $m_T = m_{dt} + m_{Ht}$ ) zusammen addiert angegeben.

In der Spalte 8 sind die Querschnittsflächen ( $A_d$ ) für Diagonalen in  $m^2$  angegeben. In der Spalte 9 sind die Querschnittsflächen ( $A_H$ ) für Holme in  $m^2$  angegeben. In der Spalte 10 sind die Gesamtquerschnittsfläche für Holme und Diagonale aus den Spalten 8 und 9 ( $A_T = A_d + A_H$ ) zusammen addiert angegeben.

In der Spalte 11 sind die senkrechten Projektionen der von den Umrandungen der Konstruktion eingeschlossenen Fläche ( $m^2$ )  $A = 6 \text{ m} \cdot a_i$  angegeben.

In der Spalte 12 sind die Völligkeitsgrade für alle Sektionen des Gittermastes angegeben ( $\Phi = A_T / A$ ).

In der Spalte 13 und 14 sind die unterkritischen und überkritischen Beiwerte  $c_{f,c}$  und  $c_{c,su}$  für Holme des Gittermastes angegeben.

In der Spalte 15 sind die unterkritische beiwerte  $c_{f,c}$  für Diagonale des Gittermastes angegeben.

In der Spalte 16 wurden die Querschnittsflächen für Holme ( $A_H$ ) mit Beiwert  $c_f$  multipliziert (unterkritisch / überkritisch) angegeben.

In der Spalte 17 wurden die Querschnittsflächen für Diagonale ( $A_D$ ) mit Beiwert  $c_f$  multipliziert (unterkritisch / überkritisch) angegeben.

In der Spalte 18 ist die Summe der Spalten 16 und 17:  $c_f A_H + c_f A_D = c_{f,T} A_T$  angegeben.

In der Spalte 19 sind die Gesamtsummen der  $\Sigma c_{f,i} A_i$  mit Berücksichtigung der Leiter- und Kabelbeiwertes  $\Sigma c_{f,i} A_i = c_{f,T} A_T + c_{f,A} A_{L,K}$  angegeben.

Die Berechnungen für  $c_{f,A} A_{L,K}$  werden in der nachfolgenden Tabelle A.2.5 angegeben.

Sektion Nr.:	$C_{fA,Kabel}$	$K_{A,Kabel}$	$C_{fA,Leiter}$	$K_{A,Leiter}$	$A_{kabel}$ (m <sup>2</sup> )	$A_{leiter}$ (m <sup>2</sup> )	$C_{fA,Kabel}$ $A_{kabel}$ * $K_{A,Kab}$	$C_{fA,Leiter}$ $A_{leiter}$ * $K_{A,Leiter}$	$C_{f,T} A_T +$ $C_{f,A} A$	$m_{L,K}$ (kg)	$m_T$ (kg)	$\Sigma m$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	206,428	326,428
2	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	223,8	343,8
3	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	378,74	498,74
4	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	565,5	685,5
5	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	710,566	830,566
6	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	855,05	975,05
7	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	972,12	1092,12
8	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	1117,08	1237,08
$\Sigma$	-	-	-	-	24	6,05	48,00	9,68	57,68	960	5029,3	5.989,3

$C_{fA,Kabel}$  2,00 [ ] Gesamtkraftbeiwert für die Antennenkabel [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 $K_{A,Kabel}$  1,00 [ ] Abminderungsbeiwert für die Antennenkabel [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 $C_{fA,Leiter}$  2,00 [ ] Gesamtkraftbeiwert für die Fallschutzleiter [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 $K_{A,Leiter}$  0,80 [ ] Abminderungsbeiwert für die Fallschutzleiter [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]

**Tabelle A.2.5** Gittermast:  $H_{ges}=48$  m;  $D_u = 3650$  mm; (Tabelle 1. Mast Nr. 2)  
Zur Berechnung von Leiter und Kabel

In der Tabelle A.2.5 sind 8 Sektionen angegeben wobei jede Sektion 6 m hoch ist.

In der Spalte 1 sind die Gesamtkraftbeiwerte  $c_{f,A,Kabel}$  für die Antennenkabel angegeben.

In der Spalte 2 sind die Abminderungsbeiwerte  $K_{A,Kabel}$  für die Antennenkabel angegeben.

In der Spalte 3 sind die Gesamtkraftbeiwerte  $c_{f,A,Leiter}$  für die Fallschutzleiter angegeben.

In der Spalte 4 sind die Abminderungsbeiwerte  $K_{A,Leiter}$  für die Fallschutzleiter angegeben.

In der Spalte 5 sind die Kabelflächen ( $A_{Kabel}$ ) in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 6 sind die Leiterflächen ( $A_{Leiter}$ ) in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 7 sind die werte für Kabel:  $c_{f,A,Kabel} * A_{Kabel} * K_{A,Kabel}$  angegeben.

In der Spalte 8 sind die werte für Leiter:  $c_{f,A,Leiter} * A_{Leiter} * K_{A,Leiter}$  angegeben.

In der Spalte 9 sind die Gesamtsummen der  $\sum c_{f,i}, A_i$  mit Berücksichtigung der Leiter- und Kabelbeiwertes  $\sum c_{f,i}, A_i = c_{f,T} A_T + c_{f,A} * A_{L,K}$  angegeben. (Siehe Tabelle A.2.4)

In der Spalte 10 sind die Gewichte der Leiter und Kabel ( $m_{L,K}$ ) in kg angegeben.

In der Spalte 11 sind die Gesamtquerschnittsgewichte für Holme und Diagonale ( $m_T = m_{dt} + m_{Ht}$ ) angegeben (Siehe Tabelle A.2.4).

In der Spalte 12 sind die Gesamtgewichte (inklusive Diagonale, Holme, Leiter und Kabel) für jede Sektion des Gittermastes angegeben.

Kontrolle der Bedingungen für statische Ersatzlasten für Gittermast H=48 m;  
 $D_u = 3650$  mm; (Tabelle 1. Mast Nr.: 2)

$$C_{f,T} A_T = 8,55 < \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{77,68}{3} = 25,89$$

1 Sektion

$$C_{f,T} A_T = 8,55 + 8,72 = 17,27 < \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{77,68}{3} = 25,89$$

2 Sektion

Abbrechnen:

$$C_{f,T} A_T = 17,27 + 9,13 = 26,4 > \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{77,68}{3} = 25,89$$

3 Sektion

$$d_B = 0,75 \cdot D_u = 0,75 \cdot 3,65 = 2,738;$$

$$\tau_0 = 0,001; \quad h_T = 12m; \quad h = 48m: \quad \frac{h_T}{h} = \frac{12}{48} = 0,25$$

$$\frac{7 \cdot m_T}{7850 \cdot 17,27 \cdot \sqrt{d_B \tau_0}} \left( \frac{5}{6} - \frac{12}{48} \right)^2 = \frac{7 \cdot (206,428 + 223,8 + 240)}{7850 \cdot 17,27 \cdot \sqrt{2,738 \cdot 0,001}} (0,83 - 0,25)^2 = \underline{\underline{0,225 < 1}}$$

Sektion	L <sub>d</sub> (m)	L <sub>h</sub> (m)	Diag.	Holme	m <sub>dt</sub> kg	m <sub>Ht</sub> kg	m <sub>T</sub> kg	A <sub>d</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>H</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>T</sub> m <sup>2</sup>	A m <sup>2</sup>	√(A <sub>T</sub> )/√(A <sub>H</sub> )=ϕ	C <sub>f,c</sub> Holme	C <sub>f,c,sup</sub> Holme	C <sub>f,c</sub> Diagonale	C <sub>f</sub> , A <sub>H</sub> Holme	C <sub>f</sub> , A <sub>D</sub> Diag	C <sub>f,T</sub> A <sub>T</sub>	C <sub>f,T</sub> A <sub>T</sub> + C <sub>f,A</sub> A	Σ C <sub>f,i</sub> A <sub>i</sub> (18+19)	
																				18	19
1	12,3	12	42,4/ 4	76/8,6	46,7	172	218	0,52	0,91	1,4	10,8	0,132	1,12	-	1,12	1,0192	0,5824	1,602	7,21	8,81	
2	12,3	12	54,4/ 4	76/8,8	61,5	172	233	0,67	0,91	1,6	10,8	0,146	1,13	-	1,13	1,0283	0,7571	1,785	7,21	9,00	
3	12,3	12	60,3/ 4	114,3/10	67,6	308	376	0,74	1,372	2,1	10,8	0,195	1,09	-	1,09	1,49548	0,8066	2,302	7,21	9,51	
4	13,8	12,2	60,3/ 4	139,7/12,5	75,9	483	559	0,832	1,704	2,5	12,1	0,209	1,1	-	1,1	1,8744	0,9152	2,79	7,21	10,00	
5	13,4	12,3	76/4	168,3/12,5	95,1	595	690	1,018	2,07	3,1	14,8	0,209	-	0,65	1,08	1,3455	1,0994	2,445	7,21	9,65	
6	15,7	12,4	76/4	177,8/14,2	112	710	822	1,195	2,205	3,4	17,4	0,195	-	0,65	1,09	1,43325	1,3026	2,736	7,21	9,95	
7	17	12,5	88,9/ 4	219/14,2	143	896	1040	1,525	2,74	4,3	20	0,213	-	0,65	1,1	1,781	1,6775	3,459	7,21	10,67	
8	19,5	12,6	88,9/ 4	219/14,2	164	903	1067	1,74	2,76	4,5	22,7	0,198	-	0,65	1,1	1,794	1,914	3,708	7,21	10,92	
Σ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	119	0,193	-	-	-	-	-	20,83	57,68	78,51	

$$\Sigma C_{f,i} A_i = C_{f,T} A_T + C_{f,A} A_{L,K}$$

**Tabelle A.2.6** Gittermast: H<sub>ges</sub>=48 m; D<sub>u</sub> = 4000 mm; (Tabelle 1. Mast Nr. 3):

In der Tabelle A.2.6 sind 8 Sektionen angegeben wobei jede Sektion 6 m hoch ist.

In der Spalte 1 sind die Längen der Diagonalen ( $L_d$ ) und in der Spalte 2 die Längen der Holme ( $L_h$ ) in m angegeben.

In der Spalte 3 sind die Rohrdurchmesser und deren Wandstärken (mm) für Diagonale angegeben. In der Spalte 4 sind die Rohrdurchmesser und deren Wandstärken (mm) für Holme angegeben.

In der Spalte 5 ( $m_{dt}$ ) sind die Querschnittsgewichte für Diagonalen in kg angegeben. In der Spalte 6 ( $m_{Ht}$ ) sind die Querschnittsgewichte für Holme in kg angegeben.

In der Spalte 7 sind die Gesamtquerschnittsgewichte für Holme und Diagonale aus den Spalten 5 und 6 ( $m_T = m_{dt} + m_{Ht}$ ) zusammen addiert angegeben.

In der Spalte 8 sind die Querschnittsflächen ( $A_d$ ) für Diagonalen in  $m^2$  angegeben. In der Spalte 9 sind die Querschnittsflächen ( $A_H$ ) für Holme in  $m^2$  angegeben. In der Spalte 10 sind die Gesamtquerschnittsfläche für Holme und Diagonale aus den Spalten 8 und 9 ( $A_T = A_d + A_H$ ) zusammen addiert angegeben.

In der Spalte 11 sind die senkrechten Projektionen der von den Umrandungen der Konstruktion eingeschlossenen Fläche ( $m^2$ )  $A = 6 \text{ m} \cdot a_i$  angegeben.

In der Spalte 12 sind die Völligkeitsgrade für alle Sektionen des Gittermastes angegeben ( $\Phi = A_T / A$ ).

In der Spalte 13 und 14 sind die unterkritischen und überkritischen Beiwerte  $c_{f,c}$  und  $c_{c,su}$  für Holme des Gittermastes angegeben.

In der Spalte 15 sind die unterkritische beiwerte  $c_{f,c}$  für Diagonale des Gittermastes angegeben.

In der Spalte 16 wurden die Querschnittsflächen für Holme ( $A_H$ ) mit Beiwert  $c_f$  multipliziert (unterkritisch / überkritisch) angegeben.

In der Spalte 17 wurden die Querschnittsflächen für Diagonale ( $A_D$ ) mit Beiwert  $c_f$  multipliziert (unterkritisch / überkritisch) angegeben.

In der Spalte 18 ist die Summe der Spalten 16 und 17:  $c_{f,A_H} + c_{f,A_D} = c_{f,A_T}$  angegeben.

In der Spalte 19 sind die Gesamtsummen der  $\Sigma c_{f,A_i}$  mit Berücksichtigung der Leiter- und Kabelbeiwertes  $\Sigma c_{f,A_i} = c_{f,A_T} + c_{f,A} \cdot A_{L,K}$  angegeben.

Die Berechnungen für  $c_{f,A} \cdot A_{L,K}$  werden in der nachfolgenden Tabelle A.2.7 angegeben.



Sektion Nr.:	C <sub>f,A,Kabel</sub>	K <sub>A,Kabel</sub>	C <sub>f,A,Leiter</sub>	K <sub>A,Leiter</sub>	A <sub>Kabel</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>Leiter</sub> (m <sup>2</sup> )	C <sub>f,A,Kabel</sub> A <sub>Kabel</sub> *K <sub>A,Kab</sub>	C <sub>f,A,Leiter</sub> A <sub>Leiter</sub> *K <sub>A,Leiter</sub>	C <sub>f,T</sub> A <sub>T</sub> + C <sub>f,A</sub> * A	m <sub>L,K</sub> (kg)	m <sub>T</sub> (kg)	Σ m
1	2	1	2	0,8	3	0,756	6	8	9	10	11	12
2	1	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	218	338
3	1	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	233	353
4	1	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	376	496
5	1	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	559	679
6	1	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	690	810
7	1	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	822	942
8	1	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	1040	1160
Σ	-	-	-	-	24	6,05	48,00	9,68	57,68	960	5005	5965

C<sub>f,A,Kabel</sub> 2,00 [ ] Gesamtkraftbeiwert für die Antennenkabel [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 K<sub>A,Kabel</sub> 1,00 [ ] Abminderungsbeiwert für die Antennenkabel [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 C<sub>f,A,Leiter</sub> 2,00 [ ] Gesamtkraftbeiwert für die Fallschutzleiter [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 K<sub>A,Leiter</sub> 0,80 [ ] Abminderungsbeiwert für die Fallschutzleiter [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]

**Tabelle A.2.7**

Gittermast: H<sub>ges</sub>=48 m; D<sub>u</sub> = 4000 mm; (Tabelle 1. Mast Nr. 3) :  
Zur Berechnung von Leiter und Kabel

In der Tabelle A.2.7 sind 8 Sektionen angegeben wobei jede Sektion 6m hoch ist.

In der Spalte 1 sind die Gesamtkraftbeiwerte  $c_{f,A,Kabel}$  für die Antennenkabel angegeben.

In der Spalte 2 sind die Abminderungsbeiwerte  $K_{A,Kabel}$  für die Antennenkabel angegeben.

In der Spalte 3 sind die Gesamtkraftbeiwerte  $c_{f,A,Leiter}$  für die Fallschutzleiter angegeben.

In der Spalte 4 sind die Abminderungsbeiwerte  $K_{A,Leiter}$  für die Fallschutzleiter angegeben.

In der Spalte 5 sind die Kabelflächen ( $A_{Kabel}$ ) in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 6 sind die Leiterflächen ( $A_{Leiter}$ ) in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 7 sind die werte für Kabel:  $c_{f,A,Kabel} * A_{Kabel} * K_{A,Kabel}$  angegeben.

In der Spalte 8 sind die werte für Leiter:  $c_{f,A,Leiter} * A_{Leiter} * K_{A,Leiter}$  angegeben.

In der Spalte 9 sind die Gesamtsummen der  $\sum c_{f_i,A_i}$  mit Berücksichtigung der Leiter- und Kabelbeiwertes  $\sum c_{f_i,A_i} = c_{f,T}A_T + c_{f,A} * A_{L,K}$  angegeben. (Siehe Tabelle A.2.6)

In der Spalte 10 sind die Gewichte der Leiter und Kabel ( $m_{L,K}$ ) in kg angegeben.

In der Spalte 11 sind die Gesamtquerschnittsgewichte für Holme und Diagonale ( $m_T = m_{dt} + m_{Ht}$ ) angegeben (Siehe Tabelle A.2.6).

In der Spalte 12 sind die Gesamtgewichte (inklusive Diagonale, Holme, Leiter und Kabel) für jede Sektion des Gittermastes angegeben.

Kontrolle der Bedingungen für statische Ersatzlasten für Gittermast  $H=48$  m;  
 $D_u = 4000$  mm; (Tabelle 1. Mast Nr.: 3)

$$C_{f,T} A_T = 8,81 < \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{78,51}{3} = 26,17 \quad \text{1 Sektion}$$

$$C_{f,T} A_T = 8,81 + 9,00 = 17,81 < \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{78,51}{3} = 26,17 \quad \text{2 Sektion}$$

Abbrechen:

$$C_{f,T} A_T = 17,81 + 9,51 = 27,32 > \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{78,51}{3} = 26,17 \quad \text{3 Sektion}$$

$$d_B = 0.75 \cdot D_u = 0.75 \cdot 4.0 = 3.0;$$

$$\tau_0 = 0.001; \quad h_T = 12m; \quad h = 48m: \quad \frac{h_T}{h} = \frac{12}{48} = 0.25$$

$$\frac{7 \cdot m_T}{7850 \cdot 17,81 \cdot \sqrt{d_B \tau_0}} \left( \frac{5}{6} - \frac{h_T}{h} \right)^2 = \frac{7 \cdot (218 + 233 + 240)}{7850 \cdot 17,81 \cdot \sqrt{3 \cdot 0.001}} \left( 0.83 - \frac{12}{48} \right)^2 = \underline{\underline{0,215 < 1}}$$

Sektion Nr.:	L <sub>d</sub> (m)		L <sub>h</sub> (m)		Diag.	Holme	m <sub>dt</sub> kg	m <sub>ht</sub> kg	m <sub>T</sub> kg	A <sub>d</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>H</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>T</sub> m <sup>2</sup>	A m <sup>2</sup>		Φ A/A	C <sub>f,c</sub> Holme	C <sub>e,sup</sub> Holme	C <sub>fc</sub> Diagonale	C <sub>f</sub> , A <sub>H</sub> Holme		C <sub>f</sub> , A <sub>D</sub> Diag		C <sub>f,T</sub> A <sub>T</sub>	C <sub>f,T</sub> A <sub>T</sub> + C <sub>f,A</sub> A	Σ C <sub>f,i</sub> A <sub>i</sub> (18+19)	
	1	2	3	4									5	6					7	8	9	10			11	12
1	8,16	12	42,4/3,6	76,1/8	27,74	85,2	112,94	0,346	0,913	1,259	6,84	0,184	1,11	-	1,11	1,01343	0,38406	1,11	1,0043	0,4334	1,39749	7,21	8,61			
2	8,16	12	48,3/3,6	76,1/8,8	32,64	85,2	117,84	0,394	0,913	1,307	6,84	0,191	1,1	-	1,1	1,50012	0,66636	1,08	1,86281	0,71613	2,57894	7,21	8,65			
3	12,1	12,15	51/3,6	114,1/10	50,78	312,3	363	0,617	1,389	2,006	7,92	0,253	1,08	-	1,08	1,86281	0,71613	1,09	1,86281	0,71613	2,57894	7,21	9,38			
4	11,5	12,3	57/4	139/12,5	54,2	483,4	537,6	0,657	1,709	2,366	10,08	0,234	1,09	-	1,09	1,4246	0,92662	1,07	1,4246	0,92662	2,35122	7,21	9,79			
5	14,3	12,45	60,3/4	168,3/12,5	62,7	598	660,7	0,866	2,095	2,96	12,24	0,242	-	0,68	1,07	1,568	2,1146	1,09	1,568	2,1146	3,6826	7,21	9,56			
6	15,7	12,6	76,1/4	177,8/14,2	111,4	722	833,4	1,94	2,24	4,18	14,16	0,295	-	0,7	1,09	-	-	-	-	-	13,61443	43,26	10,89			
Σ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,078	58,08	0,242	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56,87			

$$\Sigma C_{f,i} A_i = C_{f,T} A_T + C_{f,A} A_{L,K}$$

**Tabelle A.2.8**

Gittermast: H<sub>ges</sub>=36 m; D<sub>u</sub> = 2580 mm; (Tabelle 1. Mast Nr. 9)

In der Tabelle A.2.8 sind 6 Sektionen angegeben wobei jede Sektion 6 m hoch ist.

In der Spalte 1 sind die Längen der Diagonalen ( $L_d$ ) und in der Spalte 2 die Längen der Holme ( $L_h$ ) in m angegeben.

In der Spalte 3 sind die Rohrdurchmesser und deren Wandstärken (mm) für Diagonale angegeben. In der Spalte 4 sind die Rohrdurchmesser und deren Wandstärken (mm) für Holme angegeben.

In der Spalte 5 ( $m_{dt}$ ) sind die Querschnittsgewichte für Diagonalen in kg angegeben. In der Spalte 6 ( $m_{Ht}$ ) sind die Querschnittsgewichte für Holme in kg angegeben.

In der Spalte 7 sind die Gesamtquerschnittsgewichte für Holme und Diagonale aus den Spalten 5 und 6 ( $m_T = m_{dt} + m_{Ht}$ ) zusammen addiert angegeben.

In der Spalte 8 sind die Querschnittsflächen ( $A_d$ ) für Diagonalen in  $m^2$  angegeben. In der Spalte 9 sind die Querschnittsflächen ( $A_H$ ) für Holme in  $m^2$  angegeben. In der Spalte 10 sind die Gesamtquerschnittsfläche für Holme und Diagonale aus den Spalten 8 und 9 ( $A_T = A_d + A_H$ ) zusammen addiert angegeben.

In der Spalte 11 sind die senkrechten Projektionen der von den Umrandungen der Konstruktion eingeschlossenen Fläche ( $m^2$ )  $A = 6 \text{ m} \cdot a_i$  angegeben.

In der Spalte 12 sind die Völligkeitsgrade für alle Sektionen des Gittermastes angegeben ( $\Phi = A_T / A$ ).

In der Spalte 13 und 14 sind die unterkritischen und überkritischen Beiwerte  $c_{f,c}$  und  $c_{c,su}$  für Holme des Gittermastes angegeben.

In der Spalte 15 sind die unterkritische beiwerte  $c_{f,c}$  für Diagonale des Gittermastes angegeben.

In der Spalte 16 wurden die Querschnittsflächen für Holme ( $A_H$ ) mit Beiwert  $c_f$  multipliziert (unterkritisch / überkritisch) angegeben.

In der Spalte 17 wurden die Querschnittsflächen für Diagonale ( $A_D$ ) mit Beiwert  $c_f$  multipliziert (unterkritisch / überkritisch) angegeben.

In der Spalte 18 ist die Summe der Spalten 16 und 17:  $c_{f,A_H} + c_{f,A_D} = c_{f,A_T}$  angegeben.

In der Spalte 19 sind die Gesamtsummen der  $\Sigma c_{f,A_i}$  mit Berücksichtigung der Leiter- und Kabelbeiwertes  $\Sigma c_{f,A_i} = c_{f,A_T} + c_{f,A} * A_{L,K}$  angegeben.

Die Berechnungen für  $c_{f,A} * A_{L,K}$  werden in der nachfolgenden Tabelle A.2.9 angegeben.

Sektion Nr.:	$C_{f,A,Kabel}$	$K_{A,Kabel}$	$C_{f,A,Leiter}$	$K_{A,Leiter}$	$A_{Kabel} (m^2)$	$A_{Leiter} (m^2)$	$C_{f,A,Kabel}$ $A_{Kabel}$ $*K_{A,Kab}$	$C_{f,A,Leiter}$ $A_{Leiter}$ $*K_{A,Leiter}$	$C_{f,T,A_T} +$ $C_{f,A^*A}$	$m_{L,K} (kg)$	$m_T (kg)$	$\Sigma m$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	112,94	232,94
2	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	177,84	297,84
3	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	363	483
4	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	537,6	657,6
5	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	660,7	780,7
6	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	833,4	953,4
$\Sigma$	-	-	-	-	18	4,54	36,00	7,26	43,26	720	2685,48	3405,48

$C_{f,A,Kabel}$  2,00 [ ] Gesamtkraftbeiwert für die Antennenkabel [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 $K_{A,Kabel}$  1,00 [ ] Abminderungsbeiwert für die Antennenkabel [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 $C_{f,A,Leiter}$  2,00 [ ] Gesamtkraftbeiwert für die Fallschutzleiter [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 $K_{A,Leiter}$  0,80 [ ] Abminderungsbeiwert für die Fallschutzleiter [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]

**Tabelle A.2.9**

Gittermast:  $H_{ges}=36$  m;  $D_u = 2580$  mm; (Tabelle 1. Mast Nr. 9)  
Zur Berechnung von Leiter und Kabel

In der Tabelle A.2.9 sind 6 Sektionen angegeben wobei jede Sektion 6m hoch ist.

In der Spalte 1 sind die Gesamtkraftbeiwerte  $c_{f,A,Kabel}$  für die Antennenkabel angegeben.

In der Spalte 2 sind die Abminderungsbeiwerte  $K_{A,Kabel}$  für die Antennenkabel angegeben.

In der Spalte 3 sind die Gesamtkraftbeiwerte  $c_{f,A,Leiter}$  für die Fallschutzleiter angegeben.

In der Spalte 4 sind die Abminderungsbeiwerte  $K_{A,Leiter}$  für die Fallschutzleiter angegeben.

In der Spalte 5 sind die Kabelflächen ( $A_{Kabel}$ ) in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 6 sind die Leiterflächen ( $A_{Leiter}$ ) in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 7 sind die werte für Kabel:  $c_{f,A,Kabel} * A_{Kabel} * K_{A,Kabel}$  angegeben.

In der Spalte 8 sind die werte für Leiter:  $c_{f,A,Leiter} * A_{Leiter} * K_{A,Leiter}$  angegeben.

In der Spalte 9 sind die Gesamtsummen der  $\sum c_{f_i,A_i}$  mit Berücksichtigung der Leiter- und Kabelbeiwertes  $\sum c_{f_i,A_i} = c_{f,T}A_T + c_{f,A} * A_{L,K}$  angegeben. (Siehe Tabelle A.2.8)

In der Spalte 10 sind die Gewichte der Leiter und Kabel ( $m_{L,K}$ ) in kg angegeben.

In der Spalte 11 sind die Gesamtquerschnittsgewichte für Holme und Diagonale ( $m_T = m_{dt} + m_{Ht}$ ) angegeben (Siehe Tabelle A.2.8).

In der Spalte 12 sind die Gesamtgewichte (inklusive Diagonale, Holme, Leiter und Kabel) für jede Sektion des Gittermastes angegeben.



Kontrolle der Bedingungen für statische Ersatzlasten für Gittermast  $H = 36 \text{ m}$ ;  
 $D_u = 2580 \text{ mm}$ : (Tabelle 1 Mast Nr.: 9)

$$C_{f,T} A_T = 8,61 < \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{56,87}{3} = 18,96 \quad \text{1 Sektion}$$

$$C_{f,T} A_T = 8,61 + 8,65 = 17,26 < \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{56,87}{3} = 18,96 \quad \text{2 Sektion}$$

**Abbrechnen:**

$$C_{f,T} A_T = 17,26 + 9,38 = 26,64 > \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{56,87}{3} = 18,96 \quad \text{3 Sektion}$$

$$d_B = 0,75 \cdot D_u = 0,75 \cdot 2,58 = 1,935 ;$$

$$\tau_0 = 0,001; \quad h_T = 12 \text{ m}; \quad h = 36 \text{ m}: \quad \frac{h_T}{h} = \frac{12}{36} = 0,333$$

$$\frac{7 \cdot m_T}{7850 \cdot 17,26 \cdot \sqrt{d_B \tau_0}} \left( \frac{5}{6} - \frac{h_T}{h} \right)^2 = \frac{7 \cdot (112,94 + 117,84 + 240)}{7850 \cdot 17,26 \cdot \sqrt{1,935 \cdot 0,001}} (0,83 - 0,333)^2 = \underline{\underline{0,138 < 1}}$$

Sektion Nr.:	L <sub>d</sub> (m)		L <sub>h</sub> (m)		Diag.	Holme	m <sub>dt</sub> kg	m <sub>Hk</sub> kg	m <sub>T</sub> kg	A <sub>d</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>H</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>T</sub> m <sup>2</sup>	A m <sup>2</sup>	$\sqrt{\frac{A_T}{A}}$	C <sub>f,c</sub> Holme	C <sub>c,sup</sub> Holme	C <sub>fc</sub> Diagonale	C <sub>f, A<sub>H</sub></sub>		C <sub>f, A<sub>D</sub></sub>	C <sub>f, T A<sub>T</sub></sub>	C <sub>f, T A<sub>T</sub></sub> + C <sub>f, A<sub>A</sub></sub>	Σ C <sub>f, i</sub> A <sub>i</sub> (18+19)
	1	2	3	4														Holme	Diag				
1	9,76	12	33,7/3,2	76,1/4			23,424	85,2	108,62	0,339	0,913	1,252	5,76	0,217	1,1	-	1,09	1,0043	0,36951	1,37381	7,21	8,58	
2	10,3	12	33,7/3,2	108/6,3			24,72	85,2	109,92	0,348	1,298	1,644	6,3	0,261	1,09	-	1,08	1,41482	0,37584	1,79066	7,21	9,00	
3	10,9	12,15	33,7/3,2	159/7,1			26,16	312,3	338,46	0,367	1,907	2,275	6,84	0,333	1,08	-	1,08	2,05956	0,39636	2,45592	7,21	9,67	
4	8,98	12,3	50/3,2	177,8/7,1			30,532	483,4	513,93	0,45	2,187	2,637	7,38	0,357	-	0,73	1,09	1,59651	0,4905	2,08701	7,21	9,30	
Σ	-	-	-	-			-	-	-	-	-	7,808	26,28	3,366	-	-	-	-	-	7,71	28,84	36,55	

$$\Sigma C_{f,i} A_i = C_{f,T} A_T + C_{f,A}^* A_{L,K}$$

**Tabelle A.2.10** Gittermast: H<sub>ges</sub>=24 m; D<sub>u</sub> = 1320 mm; (Tabelle 1. Mast Nr. 13)

In der Tabelle A.2.10 sind 4 Sektionen angegeben wobei jede Sektion 6 m hoch ist.

In der Spalte 1 sind die Längen der Diagonalen ( $L_d$ ) und in der Spalte 2 die Längen der Holme ( $L_h$ ) in m angegeben.

In der Spalte 3 sind die Rohrdurchmesser und deren Wandstärken (mm) für Diagonale angegeben. In der Spalte 4 sind die Rohrdurchmesser und deren Wandstärken (mm) für Holme angegeben.

In der Spalte 5 ( $m_{dt}$ ) sind die Querschnittsgewichte für Diagonalen in kg angegeben. In der Spalte 6 ( $m_{Ht}$ ) sind die Querschnittsgewichte für Holme in kg angegeben.

In der Spalte 7 sind die Gesamtquerschnittsgewichte für Holme und Diagonale aus den Spalten 5 und 6 ( $m_T = m_{dt} + m_{Ht}$ ) zusammen addiert angegeben.

In der Spalte 8 sind die Querschnittsflächen ( $A_d$ ) für Diagonalen in  $m^2$  angegeben. In der Spalte 9 sind die Querschnittsflächen ( $A_H$ ) für Holme in  $m^2$  angegeben. In der Spalte 10 sind die Gesamtquerschnittsfläche für Holme und Diagonale aus den Spalten 8 und 9 ( $A_T = A_d + A_H$ ) zusammen addiert angegeben.

In der Spalte 11 sind die senkrechten Projektionen der von den Umrandungen der Konstruktion eingeschlossenen Fläche ( $m^2$ )  $A = 6 \text{ m} \cdot a_i$  angegeben.

In der Spalte 12 sind die Völligkeitsgrade für alle Sektionen des Gittermastes angegeben ( $\Phi = A_T / A$ ).

In der Spalte 13 und 14 sind die unterkritischen und überkritischen Beiwerte  $c_{f,c}$  und  $c_{c,su}$  für Holme des Gittermastes angegeben.

In der Spalte 15 sind die unterkritische beiwerte  $c_{f,c}$  für Diagonale des Gittermastes angegeben.

In der Spalte 16 wurden die Querschnittsflächen für Holme ( $A_H$ ) mit Beiwert  $c_f$  multipliziert (unterkritisch / überkritisch) angegeben.

In der Spalte 17 wurden die Querschnittsflächen für Diagonale ( $A_D$ ) mit Beiwert  $c_f$  multipliziert (unterkritisch / überkritisch) angegeben.

In der Spalte 18 ist die Summe der Spalten 16 und 17:  $c_f A_H + c_f A_D = c_{f,T} A_T$  angegeben.

In der Spalte 19 sind die Gesamtsummen der  $\Sigma c_{f,i} A_i$  mit Berücksichtigung der Leiter- und Kabelbeiwertes  $\Sigma c_{f,i} A_i = c_{f,T} A_T + c_{f,A} A_{L,K}$  angegeben.

Die Berechnungen für  $c_{f,A} A_{L,K}$  werden in der nachfolgenden Tabelle A.2.11 angegeben.

Sektion Nr.:	$C_{f,A,Kabel}$	$K_{A,Kabel}$	$C_{f,A,Leiter}$	$K_{A,Leiter}$	$A_{Kabel} (m^2)$	$A_{Leiter} (m^2)$	$C_{f,A,Kabel}$ $A_{Kabel}$ <small>*<math>K_{A,Kab}</math></small>	$C_{f,A,Leiter}$ $A_{Leiter}$ <small>*<math>K_{A,Leiter}</math></small>	$C_{f,T,A_T} +$ $C_{f,A^*A}$	$m_{L,K} (kg)$	$m_T (kg)$	$\Sigma m$
1	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	112,94	232,94
2	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	177,84	297,84
3	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	363	483
4	2	1	2	0,8	3	0,756	6	1,21	7,21	120	537,6	657,6
$\Sigma$	-	-	-	-	12	3,02	24,00	4,84	28,84	480	2685,48	1671,38

$C_{f,A,Kabel}$  2,00 [ ] Gesamtkraftbeiwert für die Antennenkabel [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 $K_{A,Kabel}$  1,00 [ ] Abminderungsbeiwert für die Antennenkabel [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 $C_{f,A,Leiter}$  2,00 [ ] Gesamtkraftbeiwert für die Fallschutzleiter [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]  
 $K_{A,Leiter}$  0,80 [ ] Abminderungsbeiwert für die Fallschutzleiter [EN 1993-3-1:2006; (B.6)]

**Tabelle A.2.11** Gittermast::  $H_{ges}=24$  m;  $D_u = 1320$  mm; (Tabelle 1. Mast Nr. 13)  
Zur Berechnung von Leiter und Kabel

In der Tabelle A.2.11 sind 4 Sektionen angegeben wobei jede Sektion 6m hoch ist.

In der Spalte 1 sind die Gesamtkraftbeiwerte  $c_{f,A,Kabel}$  für die Antennenkabel angegeben.

In der Spalte 2 sind die Abminderungsbeiwerte  $K_{A,Kabel}$  für die Antennenkabel angegeben.

In der Spalte 3 sind die Gesamtkraftbeiwerte  $c_{f,A,Leiter}$  für die Fallschutzleiter angegeben.

In der Spalte 4 sind die Abminderungsbeiwerte  $K_{A,Leiter}$  für die Fallschutzleiter angegeben.

In der Spalte 5 sind die Kabelflächen ( $A_{Kabel}$ ) in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 6 sind die Leiterflächen ( $A_{Leiter}$ ) in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 7 sind die werte für Kabel:  $c_{f,A,Kabel} * A_{Kabel} * K_{A,Kabel}$  angegeben.

In der Spalte 8 sind die werte für Leiter:  $c_{f,A,Leiter} * A_{Leiter} * K_{A,Leiter}$  angegeben.

In der Spalte 9 sind die Gesamtsummen der  $\sum c_{f_i,A_i}$  mit Berücksichtigung der Leiter- und Kabelbeiwertes  $\sum c_{f_i,A_i} = c_{f,T}A_T + c_{f,A} * A_{L,K}$  angegeben. (Siehe Tabelle A.2.10)

In der Spalte 10 sind die Gewichte der Leiter und Kabel ( $m_{L,K}$ ) in kg angegeben.

In der Spalte 11 sind die Gesamtquerschnittsgewichte für Holme und Diagonale ( $m_T = m_{dt} + m_{Ht}$ ) angegeben (Siehe Tabelle A.2.10).

In der Spalte 12 sind die Gesamtgewichte (inklusive Diagonale, Holme, Leiter und Kabel) für jede Sektion des Gittermastes angegeben.

Kontrolle der Bedingungen für statische Ersatzlasten für Gittermast  $H = 24 \text{ m}$ ;  
 $D_u = 1320 \text{ mm}$ : (Tabelle 1 Mast Nr.: 13)

$$C_{f,T} A_T = 8,58 < \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{36,55}{3} = 12,18 \quad \text{1 Sektion}$$

$$C_{f,T} A_T = 8,58 + 9,00 = 17,58 < \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{36,55}{3} = 18,33 \quad \text{2 Sektion}$$

**Abbrechnen:**

$$C_{f,T} A_T = 17,58 + 9,67 = 27,25 > \frac{1}{3} \sum_1^N C_{f,i} A_i = \frac{36,55}{3} = 18,33 \quad \text{3 Sektion}$$

$$d_B = 0,75 \cdot D_u = 0,75 \cdot 1,32 = 0,99;$$

$$\tau_0 = 0,001; \quad h_T = 12 \text{ m}; \quad h = 36 \text{ m}; \quad \frac{h_T}{h} = \frac{12}{36} = 0,5$$

$$\frac{7 \cdot m_T}{7850 \cdot 17,58 \cdot \sqrt{d_B \tau_0}} \left( \frac{5}{6} - \frac{h_T}{h} \right)^2 = \frac{7 \cdot (112,94 + 117,84 + 240)}{7850 \cdot 17,58 \cdot \sqrt{0,99 \cdot 0,001}} (0,83 - 0,5)^2 = \underline{\underline{0,084 < 1}}$$

## **ANHANG 3**

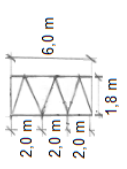
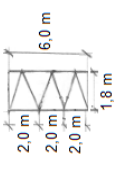
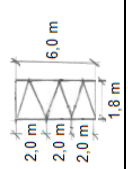
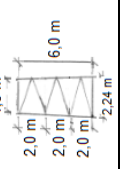
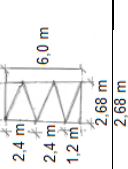
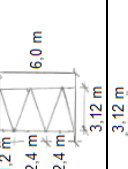
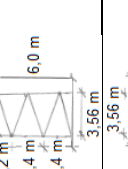
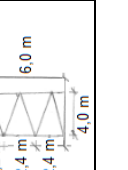
# **VEREINFACHTER STATISCHER WINDLASTANSATZ FÜR GITTERMASTEN**

---



### A.3 Berechnung der Windlasten auf Holme

Tabelle A.3.1 Berechnung der Windlasten auf Holme

Sektion Nr.:	Schema	L <sub>d</sub> (m)	L <sub>h</sub> (m)	Diag. (mm)	Holme (mm)	A <sub>d</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>ht</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>T</sub> m <sup>2</sup>	A <sub>T</sub> /L <sub>h</sub> m <sup>2</sup> /m <sub>Holme</sub>	C <sub>f,c-Holme</sub>	C <sub>f,c-sup Holme</sub>	z (m)	c <sub>pe</sub> = $\frac{ce(z)=2.1^*}{(z/10)^{0.2}}$	0,26		d <sub>Holme,eff</sub>
														qp=qb*ce(z) kN/m <sup>2</sup>	w=cf*qp* A <sub>T</sub> /L <sub>h</sub> kN/m	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		12,3	12	42,4/4	76/8,6	0,52	0,91	1,43	0,12	1,12	-	45	3,01	0,7826	0,104	1,6
2		12,3	12	54,4/4	76/8,8	0,67	0,91	1,58	0,13	1,13	-	39	2,91	0,7566	0,113	1,71
3		12,3	12	60,3/4	114,3/10	0,74	1,372	2,112	0,18	1,09	-	33	2,8	0,728	0,140	1,57
4		13,8	12,2	76/4	139,7/12,5	0,832	1,704	2,536	0,21	1,1	-	27	2,67	0,6942	0,159	1,5
5		13,4	12,3	76/4	168,3/12,5	1,018	2,07	3,09	0,25	-	0,65	21	2,51	0,6526	0,107	1,49
6		15,72	12,4	88,9/4	177,8/14,2	1,195	2,205	3,4	0,27	-	0,65	15	2,31	0,6006	0,107	1,52
7		17	12,5	88,9/4	219/14,2	1,525	2,74	4,265	0,34	-	0,65	9	2,05	0,533	0,118	1,55
8		19,52	12,6	88,9/4	219/14,2	1,74	2,76	4,5	0,36	-	0,65	5	1,78	0,4628	0,107	1,64

In der Tabelle A.3.1 ist ein Beispiel der Windlasten auf Holme für  $H_{ges} = 48$  m und  $D_u = 4000$  mm (Tabelle 1, Mast Nr. 3) des Gittermastes zu sehen. Der Gittermast besteht aus 8 Sektionen wobei jede Sektion 6 m hoch ist. Für jede Sektion ist die Gesamtlänge der Diagonalen ( $L_d$ ) und Holme ( $L_H$ ) angegeben. Es sind auch die Querschnittsdurchmesser zu sehen. Es wurden die Querschnittsoberflächen für Holme ( $A_H$ ) und Diagonale ( $A_d$ ) und Gesamtfläche ( $A_T$ ) berechnet. Nach all diesen Informationen kann die Spitzengeschwindigkeitsdruck ( $q_p$ ) gerechnet werden. Die Endergebnisse in der Spalte 14 zeigen die Windlast ( $W$  in kN/m) auf Holme. Diese werden für vereinfachte statische Windlasten für Gittermasten  $d_{Holme,eff} = F \cdot d_{Holme}$  verwendet. Hierbei ist Faktor  $F$  die Fläche der Diagonalen.

In der Spalte 1 sind die Längen der Diagonalen ( $L_d$ ) für jede Sektion in m angegeben.

In der Spalte 2 sind die Längen der Holme ( $L_H$ ) für jede Sektion in m angegeben.

In der Spalte 3 sind die Querschnittsdurchmesser und deren Wandstärken für Diagonale jeder Sektion in mm angegeben.

In der Spalte 4 sind die Querschnittsdurchmesser und deren Wandstärken für Holme jeder Sektion in mm angegeben.

In der Spalte 5 sind die Querschnittsflächen ( $A_d$ ) für Diagonalen in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 6 sind die Querschnittsflächen ( $A_H$ ) für Holme in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 7 sind die Gesamtflächen der Holme und Diagonalen ( $A_T = A_d + A_H$ ) in  $m^2$  angegeben.

In der Spalte 8 sind die Ergebnisse aus der Spalten 2 und 7 ( $A_T/L_H$ ) in  $m^2/m_{Holme}$  für Holme angegeben.

In der Spalte 9 und 10 sind die unterkritischen und überkritischen Beiwerte  $c_{f,c}$  und  $c_{c,su}$  für Holme des Gittermastes angegeben.

In der Spalte 11 sind die Höhen über dem Boden ( $z$ ) für jede Sektion in m zu sehen.

In der Spalte 12 werden die Berechnungsergebnisse für Geländeparameter  $c_{e,z}$  dargestellt.

In der Spalte 13 wird der Spitzengeschwindigkeitsdruck ( $q_p$ ) berechnet.

In der Spalte 14 wird die Windlast auf Holme mit der Formel  $W=c_f*q_p*A_T/L_h$  in kN/m berechnet.

In der Spalte 15 werden die  $d_{\text{Holme,eff}}$  mit Hilfe von Faktor ( $F$ ) mit der Formel  $d_{\text{Holme,eff}} = F*d_{\text{Holme}}$  berechnet.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Petersen Christian, Stahlbau: Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten, 4. Auflage, Springer Verlag, 2008.
- [2] Stahlbau Handbuch für Studium und Praxis – Band 2, Stahlbau-Verlagsgesellschaft GmbH Köln 1964.
- [3] Goncharov S. Antennie baschni novogo pokoleniya. Verlag „Mir svazi 5“, Moskau, 2006 .
- [4] E. Hanmehmet Masterprojekt “Antennentragwerke” Institut für Hochbau, Technische Universität Graz, September 2013.
- [5] Hermann Schulte Vorbangantenne auf der Funksendestelle in Marlov. Stahlbau, München, 2000.
- [6] Spravochnik proektirovshika. Metalliceskiye konstrukcii Tom 3 Verlag „Stroyizdat“ Moskau 1999.
- [7] Polincev O.E. “Opit modifikacii konstrukcii antennogo sooruzheniya” Zeitschrift “Molodoy učeniy” Moskau No:7, Band 1. 2011.
- [8] Praxis-Kommentar: DIN 4131: Antennentragwerke aus Stahl (Ausgabe November 1991), Kommentar Technische Baubestimmungen 20. Lieferung August 1996.
- [9] Simiu. E., Scanlan R.H. “Wind Effects on Structures”. Third Edition. New York, 1996.
- [10] Maria-Eleni Dasiou, Joannis Vayas, Evangelos Efthymiou: Vergleichende Untersuchungen zur Windbelastung auf freistehende Telekommunikationsmasten nach DIN 4131 und Eurocode 3. Stahlbau 79, Heft I, Berlin, 2010.
- [11] Stahlbau Handbuch für Studium und Praxis – Band 2, 1964.

- [12] N.P.Melnikov. Spravochnik proektirovschika. Metallicheskie konstrukcii. Strojizdat Moskau 1980.
- [13] Piotr Noakowski, Martin Breddermann, Andreas Harling, Jörg Schnetgöke “Rißbildung in turmartigen Tragwerken” Beton und Stahlbetonbau 100 Heft (7) Berlin 2005.
- [14] Eklin I.I “Ekonomičeskaya effektivnost primeneniĭya antennix ystrojstv dla mobilnoj svazi”. Stroitelstvo i texobezopasnost. Moskau , No.: 23. 2008.
- [15] A. Farago „Statische Berechnung zur Funkübertragungsstation“ Dresden 2004.
- [16] Dipl.-Ing. Dr. Jochen Fornather Komitee-Manager für das Komitee 176„Belastungsannahmen im Bauwesen“, a.o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Wilfried Braumüller Stv. Vorsitzender des Komitees 176. „Wie Windlasten aufTragwerke wirken ÖNORM B 4014-1 und -2 sowie der Eurocode EN 1991-1-4 regeln, welche Windlasten bei der Planung von Bauwerken zu berücksichtigen sind“. © Austrian Standats 2007.
- [17] [www.kathrein.de](http://www.kathrein.de) September 2013.
- [18] Marconi Communications GmbH: Marconi Catalogue 2004, Backnang 3, Deutschland.
- [19] <http://www.stahlbaustudium.de> September 2013.
- [20] Stahlbaukalender 2013, Ernst&Sohn Verlag, Eurocode 3 – Anwendungsnormen, 15.Jahrgang. Türme und Maste nach DIN EN 1993-3-1 Univ.-Prof. a.D. Dr.-Ing. Udo Peil, Dr.-Ing. Mathias Clobes.

## Normen

ÖNORM EN 1990	Grundlagen der Tragwerksplanung
ÖNORM EN 1991-1-1	Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau
ÖNORM EN 1991-1-3	Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten
ÖNORM B 1991-1-3	Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten
ÖNORM EN 1991-1-4	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen Windlasten.
ÖNORM B 1991-1-4	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen.
ÖNORM EN 1993-1-1	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregel und Regeln für den Hochbau.
ÖNORM EN 1993-1-8	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen.
ÖNORM EN 1993-3-1	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 3-1: Türme, Maste und Schornsteine – Türme und Masten. CEN, European Committee for Standardisation, 2005.

Dies ist eine Veröffentlichung des

### **FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ**

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“. Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe:

D – Diplom-, Masterarbeiten/Dissertationen | F – Forschungsberichte  
S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | V – Vorträge, Tagungen

Institutskenzahl:

1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau  
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke  
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft  
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik  
10 – Labor für Konstruktiven Ingenieurbau

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl