 Statikbüro	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> A-Mast 1126 DIN 48 351		<b>Pos.</b> 0.
			<b>Seite</b> 1
<b>Statische Berechnung</b>		<b>KG-09-030</b>	<b>Seiten</b> 1
			31.08.2009

A-Hozmast-1126.xls

## 1126 A - Mast ( Holz ) nach DIN 48531


### Inhaltsverzeichnis

Pos.	Seite	
<b>1.</b>	<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>
<b>2.</b>		<b>Mastberechnung</b>
<b>2.1</b>	<b>1 - 6</b>	<b>Allgemeine Werte</b>
<b>2.2</b>	<b>6 - 8</b>	<b>Windbelastung senkrecht zur A-Mastebene</b>
<b>2.3</b>	<b>9 - 12</b>	<b>Windbelastung in der A-Mastebene</b>
<b>2.4</b>	<b>12 - 14</b>	<b>Windbelastung über Eck</b>
<b>2.5</b>	<b>14 - 16</b>	<b>Lastfall H für WA-Mast</b>
<b>2.6</b>	<b>17 - 18</b>	<b>Zusammenfassung</b>

Neu-Lindenberg den 31.08.2009



Klaus Güthler

 Statikbüro	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> A-Mast 1126 DIN 48 351	<b>Pos.</b> 1. <b>Seite</b> 1 <b>Seiten</b> 1
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-030</b>

## 1. Grundlagen

Für den Holzmast in der Ausführung als A-Mast nach DIN 48351 sollen die zulässigen charakteristischen Nutzzüge nach der geltenden Berechnungsvorschrift DIN EN 50423-1 Mai 2005 und -3-4 Mai 2005 sowie DIN EN 50341-1 und -3-4 März 2002 ermittelt werden.

Bislang sind die Nutzzüge nach DIN 48 351 Beiblatt 1, Juni 1967 ( Anlage 5 ) ermittelt worden.

Danach waren die maßgeblichen Lastfälle derart, dass jeweils nur Belastungen in einer Ebene des A-Mastes ( entweder in der A-Mastebene oder senkrecht zur A-Mastebene ) auftraten.

Nach den jetzigen Vorschriften ist in den Lastfällen C und F mit Wind über Eck und dadurch mit Belastungen in beiden A-Mastebenen gleichzeitig zu rechnen.

Bei WE-Masten Belastungen treten generell Belastungen in beiden Ebenen auf, wenn der Verwendungszweck hinsichtlich Stellung in der Leitung und der auftretende Ansprungwinkel der Leitung nicht eingeschränkt werden.

Beim WA-Mast ist der Lastfall H zu beachten, und es gilt das zum WE-Mast gesagte.

Beim WA-Mast kommt im Lastfall H Verdrehungsbelastung hinzu.

**Die Berechnungen werden auf der Grundlage der Musterstatik KG-08-074 durchgeführt.**


**Diese Berechnung wurde für die E.ON Thüringer Energie AG erstellt und einer unabhängigen Prüfung unterzogen.**

Zu beachtende Vorschrift:

DIN EN 1995-1-1, Dezember 2005 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten  
Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau

**Verwendete Literatur:**

- [ 1 ] K. Girkmann und E. Königshofer Die Hochspannungsfreileitungen, Springer 1952
- [ 2 ] DIN 1052:2004-08 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauteilen  
Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau  
Präsentation Fachgebiet Holzbau, Doz. Dr.-Ing. D. Steinbrecher

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>		<b>Pos.</b> 2. <b>Seite</b> 1 <b>Seiten</b> 18
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-030</b>	31.08.2009


A-Hozmast-1126.xls

## 2. Mastberechnung

### 2.1 Allgemeine Werte

#### 2.1.1 Mastabmessungen

<b>Gestänge</b>	<b>l</b>	<b>[ m ]</b>	<b>11</b>
<b>Kurzzeichen des Mastes</b>			<b>1126</b>
Materialnummer			
freie Länge ( ca. )	h	[ m ]	9,00
Eingrabetiefe	t <sub>1</sub>	[ m ]	2,00
Tiefe bis zur Zange	t <sub>2</sub>	[ m ]	1,75
Durchmesser ( min )			
Zopfdurchmesser	z	[ mm ]	190
Fußdurchmesser	f	[ mm ]	260
Durchmesser am Stangenende	$f_u = f + 1,5 * a_n$	[ mm ]	271
Nenngröße nach DIN 48351			11 x 26
Spreizung der A-Maste			
	b <sub>1</sub>	[ m ]	2,10
	b <sub>2</sub>	[ m ]	1,77
Zange			
	Ø i	[ cm ]	20
	b <sub>3</sub>	[ m ]	3,5
Länge ( ca. ) des Mittelriegels	a <sub>R</sub>	[ cm ]	80
Länge des Hartholzdübels	m	[ cm ]	20
Breite des Hartholzdübels	v = ca. z	[ cm ]	19
Dicke des Hartholzdübels	n	[ cm ]	8
Abstand der Mastmittellinie	e	[ cm ]	6
Gewindebolzen M20 x Länge			
	Nr. 1	[ mm ]	
	Nr. 2	[ mm ]	
	Nr. 3	[ mm ]	
	Nr. 4	[ mm ]	
Nennwert der Abholzigkeit	$a_n = \frac{f_{\min d} - z_{\min d}}{l - 1,5}$	[ mm/m ]	7,37
Durchmesser am Erdaustritt	$f_e = f - 0,5 * a_n$	[ mm ]	256
Durchmesser in Mitte der freien Mastlänge	$D = f - ( 0,5 + 0,5 * h ) * a_n$	[ mm ]	223
Durchmesser in halber Eingrabetiefe	$D_e = f_e + 0,5 * t_1 * a_n$	[ mm ]	264
Knicklänge	$s_k = h - 0,5 + 0,5 * t_1$	[ m ]	9,50
Durchmesser in Mitte der Knicklänge	$D_m = z + ( 0,5 + 0,5 * s_k ) * a_n$	[ mm ]	229

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 2</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-030</b>

Knickdurchmesser	$D_k = z + 0,65 * s_k * a_n$	[ mm ]	236
Querschnitt einer Stange	$A_1 = \pi * D_e^2 / 4$	[ cm <sup>2</sup> ]	545,8
Widerstandsmoment einer Stange	$W_1 = \pi * D_e^3 / 32$	[ cm <sup>3</sup> ]	1799
Widerstandsmoment einer Stange am Zopf	$W_{Zopf} = \pi * D_{Zopf}^3 / 32$	[ cm <sup>3</sup> ]	673,039375

### Gewichtskräfte

	$V = 1,1 * \pi * ( z^2 + fu^2 ) * ( h + t_1 ) / 4$		1,041
Gewicht der Stangen	$G_{St} = V * \gamma_H$	[ kN ]	6,244
$\gamma_H$	Rohwichte für Nadelholz, anzusetzen zu	[ kN/m <sup>3</sup> ]	6
	Gewicht der Kopfausrüstung aus Querträgern, Isolatoren und Seilen ( siehe Tabelle 1 der DIN 48351 Beiblatt 1		
	GK	[ kN ]	4,000
Gewicht des Riegelholzes: angenommen	GR	[ kN ]	0,100
Gewicht Mast ohne Zangen, anteilig am Kopf angreifend	$FGM = 0,5 * G_{St} + GK + GR$	[ kN ]	7,222
Gewicht der Zangen	$GZ = 2 * i^2 * \pi / 4 * b_3 * \gamma_H$	[ kN ]	1,319
Längskraft	$NG, d = 0,5 * FGM * 1,35$	[ kN ]	4,875
	$\sigma_{NG, d} = NG, d / A_1$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	0,009

### Staudruck

Windzone	1
$q_0$	= 600 N/m <sup>2</sup>

### Staudruck nach EN 50423-2-4 ( Mai 2005 )

Bereich 1: $h \leq 7m$	$q_1 = q_0 + 3 * 7$	[ kN/m <sup>2</sup> ]	0,621
Bereich 2: $h > 7m$	$q_2 = q_0 + 3 * h$	[ kN/m <sup>2</sup> ]	0,627

## 2.1.2 Windlasten senkrecht zur A-Mastebene

Windrichtung a (  $\perp$  ) bei WE-, WA-Mast Lastfälle A, D  
 Windrichtung b (  $\parallel$  ) bei T-, WT-, W-Masten Lastfälle B, E

### Voller Wind


$C_{Mast}$	=	0,8 für $a \leq 2 * D$ 0,7 für $a > 2 * D$	
Mittelwert der mittleren Durchmesser der Abstand zwischen zwei Maststangen auf halber Höhe des Stützpunktes	$2 * D$	[ cm ]	45
	$a = a_R + D$	[ cm ]	102
	$C_{Mast}$		0,7

Bereich 1:  $h \leq 7m$

Windlast ( bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt )

$$FW_{11} = C_{Mast} * q_1 * h_1 * 2 * b_{o1} * 0,5 * h_1 / h$$

$$FW_{12} = C_{Mast} * q_1 * h_1 * 2 * ( b_{u1} - b_{o1} ) * h_1 / 3 / h$$

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 3</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-030</b>

$h_1$	[ m ]	7,00
$bo_1 = fe - 7 * an$	[ m ]	0,20
$bu_1 = fe$	[ m ]	0,26
$FW_{11}$	[ kN ]	0,48
$FW_{12}$	[ kN ]	0,08
$FW_1$	[ kN ]	0,57

Bereich 2:  $h > 7m$

Windlast ( bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt )

$$FW_{21} = C_{Mast} * q_2 * h_2 * 2 * bo_2 * ( h - 0,5 * h_2 ) / h$$

$$FW_{22} = C_{Mast} * q_2 * h_2 * 2 * ( bu_2 - bo_2 ) * ( h - 2 * h_2 / 3 ) / h$$

$h_2 = h - h_1$	[ m ]	2,00
$bo_2 = z$	[ m ]	0,19
$bu_2 = bo_1$	[ m ]	0,20
$FW_{21}$	[ kN ]	0,30
$FW_{22}$	[ kN ]	0,011
$FW_2$	[ kN ]	0,31

Gesamtwindlast Mast ( bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt

$$FWM_s = FW_1 + FW_2 \quad [ kN ] \quad 0,87$$

Wind auf den Riegel:

$$FWR_s \quad [ kN ] \quad 0,15$$

Winf auf die Kopfausrüstung:

$$FWK_s \quad [ kN ] \quad 0,25$$

Gesamte Windlast

$$FW_s = FWM_s + FWR_s + FWK_s \quad [ kN ] \quad 1,27$$

Biegemoment, Wind


$$MWS,d = 0,5 * FW_s * ( h + 0,5 * t_1 ) * 1 \quad [ kNcm ] \quad 859,6$$

$$\sigma MWS,d = MWS,d / W_1 \quad [ kN/cm^2 ] \quad 0,478$$

Bemessungswert einer Festigkeitseigenschaft

$$X_d = k_{mod} * X_K / \gamma_m$$

	$k_{mod}$		1
	$\gamma_m$		1,5
Elastizitätsmodul	$E_{0,mean}$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	1200
charakteristische Steifigkeit	$E_{0,05} = 2/3 * E_{0,mean}$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	800
Druck	$f_{c,0,k}$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	2,3
	$f_{c,0,d}$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	1,5
Schub	$f_{v,k}$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	0,34
Hartholz, Festigkeitsklasse mindestens D35	$f_{v,d}$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	0,2
Biegung	$f_{m,k}$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	3,0
	$f_{m,d}$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	2,0
Knicklänge	$l_{ef} = 2 * s_k$	[ cm ]	1900
Stab mit veränderlichem Querschnitt			
Mittlerer Trägheitsradius	$i_{mittel} = D_k / 4$	[ cm ]	5,89

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 4</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-030</b>

Schlankheitsgrad  $\lambda_s = l_{s_{ef}} / i_{mittel}$  323

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 5,511$$

für Vollholz  $\beta_c$  0,2

$$k = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] \quad 16,21$$

$$k_c = \min \left( \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} ; 1 \right) \quad kc,s \quad 0,0318$$

### 2.1.3 Windlasten in der A-Mastebene

Windrichtung b bei WE-, WA-Mast **Lastfälle B, E**  
 Windrichtung a bei T, WT, W-Masten **Lastfälle A, D**

#### Voller Wind

auf die dem Wind ausgesetzte Maststange  
 $C1_{Mast} =$  0,7

auf die dem Wind abgewandte Maststange  
 $C2_{Mast} =$  0 für  $a \leq 2 * D$   
 0,35 für  $2D \leq a \leq 6 * D$   
 0,7 für  $a > 6 * D$

Mittelwert der mittleren Durchmesser der Einzelmaststangen  $2 * D$  [ cm ] 45

$6 * D$  [ cm ] 134

Abstand zwischen zwei Maststangen auf halber Höhe des Stützpunktes  $a = a_R + D$  [ cm ] 102

$C2_{Mast}$  0,35

Für gesamten Mast  $C_{Mast} = C1_{Mast} + C2_{Mast}$  1,05

Bereich 1:  $h \leq 7m$

Windlast ( bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt )

$$FW_{11} = C_{Mast} * q_1 * h_1 * bo_1 * 0,5 * h_1 / h$$

$$FW_{12} = C_{Mast} * q_1 * h_1 * ( b_{u1} - bo_1 ) * h_1 / 3 / h$$

$h_1$  [ m ] 7,00


$bo_1 = fe - 7 * an$  [ m ] 0,20

$bu_1 = fe$  [ m ] 0,26

$FW_{11}$  [ kN ] 0,36

$FW_{12}$  [ kN ] 0,06

$FW_1$  [ kN ] 0,42

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 5</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-030</b>

Bereich 2:  $h > 7m$ 

Windlast ( bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt )

$$FW_{21} = C_{Mast} * q_2 * h_2 * b_{o2} * ( h - 0,5 * h_2 ) / h$$

$$FW_{22} = C_{Mast} * q_2 * h_2 * ( b_{u2} - b_{o2} ) * ( h - 2 * h_2 / 3 ) / h$$

$$h_2 = h - h_1 \quad [ m ] \quad 2,00$$

$$b_{o2} = z \quad [ m ] \quad 0,19$$

$$b_{u2} = b_{o1} \quad [ m ] \quad 0,20$$

$$FW_{21} \quad [ kN ] \quad 0,22$$

$$FW_{22} \quad [ kN ] \quad 0,017$$

$$FW_2 \quad [ kN ] \quad 0,24$$

Gesamtwindlast Mast ( bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt )

$$FWM_p = FW \cdot [ kN ] \quad 0,66$$

Wind auf den Riegel: angenommen

$$FWR_p \quad [ kN ] \quad 0$$

Winf auf die Kopfausrüstung: angenommen

$$FWK_p \quad [ kN ] \quad 0,25$$

Gesamte Windlast

$$FW_p = FWM_p + FWR_p + FWK_p \quad [ kN ] \quad 0,91$$

Längskraft aus Wind

$$NW_{p,d} = FW_p * ( h + t_2 ) / b_1 * 1,35 \quad [ kN ] \quad 6,312$$

$$\sigma_{NW_{p,d}} = NW_{p,d} / A_1 \quad [ kN/cm^2 ] \quad 0,012$$

Knicklänge

$$l_{p,ef} = s_k \quad [ cm ] \quad 950$$

Stab mit veränderlichem Querschnitt

Mittlerer Trägheitsradius

$$i_{mittel} = D_k / 4 \quad [ cm ] \quad 5,89$$

Schlankheitsgrad

$$\lambda_s = l_{s,ef} / i_{mittel} \quad 161$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 2,755$$

für Vollholz

$$\beta_c \quad 0,2$$


$$k = 0,5 * \left[ 1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2 \right] \quad 4,54$$

$$k_c = \min \left( \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}; 1 \right) \quad kc,p \quad 0,1227$$

$$F1 = \sigma_{NG,d} / kc,s / f_{c,d} \quad 0,183$$

$$F2 = \sigma_{MWS,d} / f_{m,d} \quad 0,239$$

$$F3 = \sigma_{NW_{p,d}} / kc,p / f_{c,d} \quad 0,061$$

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 6</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-030</b>

$$f_{Zs,d} = 0,5 * ( h + 0,5 * t_1 ) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,138966$$

$$f_{Zp,d} = ( h + t_2 ) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,049862$$

$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

$$f_{Z,d} = f_{Zs,d} + \alpha_z * f_{Zp,d}$$

$$Z_{s,d} = \frac{1 - (F_1 + F_2 + F_3)}{f_{Zs,d} + f_{Zp,d} * \alpha_z}$$

## 2.2 Windbelastung senkrecht zur A-Mastebene

Windrichtung b ( || ) bei T, WT, W-Masten  
 Windrichtung a ( ⊥ ) bei WE-, WA-Mast

Lastfälle B, E  
 Lastfälle A, D

### 2.2.1 Voller Wind

F1	Gewicht	0,183
F2	Wind senkrecht	0,239
F3	Wind parallel	0,000

$$f_{Zs,d} = 0,5 * ( h + 0,5 * t_1 ) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,138966$$

$$f_{Zp,d} = ( h + t_2 ) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,049862$$

$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

$$f_{Z,d} = f_{Zs,d} + \alpha_z * f_{Zp,d}$$


$$Z_{s,d} = \frac{1 - (F_1 + F_2 + F_3)}{f_{Z,d}}$$

$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	f <sub>Z,d</sub>	Z <sub>s,k</sub>	Z <sub>p,k</sub>
Z <sub>p</sub> = 0	0,00	0,139	<b>3,081</b>	<b>0,000</b>
	0,01	0,139	<b>3,070</b>	<b>0,031</b>
	0,04	0,141	<b>3,037</b>	<b>0,121</b>
	0,50	0,164	<b>2,612</b>	<b>1,306</b>
	1,00	0,189	<b>2,267</b>	<b>2,267</b>
Z <sub>p</sub> = Z <sub>s</sub>	2,00	0,239	<b>1,794</b>	<b>3,587</b>
	4,00	0,338	<b>1,265</b>	<b>5,060</b>
	8,00	0,538	<b>0,796</b>	<b>6,367</b>
	16,00	0,937	<b>0,457</b>	<b>7,312</b>
	32,00	1,735	<b>0,247</b>	<b>7,898</b>
	64,00	3,330	<b>0,129</b>	<b>8,227</b>
	128,00	6,521	<b>0,066</b>	<b>8,403</b>
	256,00	12,904	<b>0,033</b>	<b>8,493</b>
	512,00	25,668	<b>0,017</b>	<b>8,539</b>
	1024,00	51,198	<b>0,008</b>	<b>8,562</b>
Z <sub>s</sub> = 0	2048,00	102,257	<b>0,004</b>	<b>8,574</b>
	10000000,00	498623,052	<b>0,000</b>	<b>8,586</b>





	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 8</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-030</b>

**2.2.2 Halber Wind**

F1	Gewicht		0,183
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * F1$	0,119
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * F3$	0,000

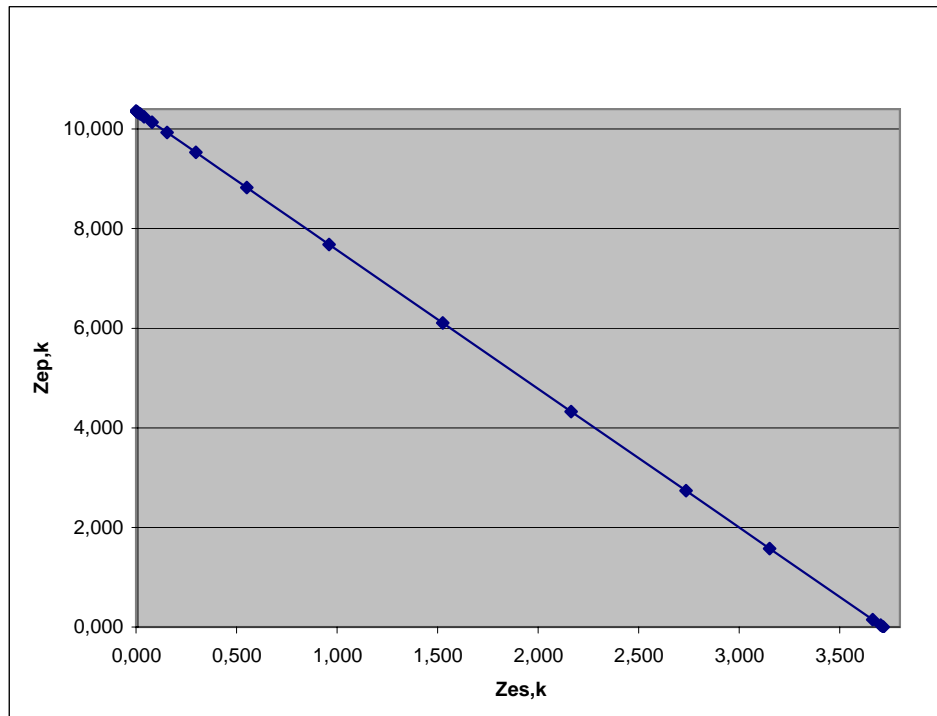
$$Z_{s,d} = ( 1 - ( F1 + 0,5 * F2 + 0,5 * F3 ) ) / fZ,d$$


	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,139	<b>3,717</b>	<b>0,000</b>
	0,01	0,139	<b>3,704</b>	<b>0,037</b>
	0,04	0,141	<b>3,665</b>	<b>0,147</b>
	0,50	0,164	<b>3,152</b>	<b>1,576</b>
Zp = Zs	1,00	0,189	<b>2,736</b>	<b>2,736</b>
	2,00	0,239	<b>2,164</b>	<b>4,328</b>
	4,00	0,338	<b>1,526</b>	<b>6,106</b>
	8,00	0,538	<b>0,960</b>	<b>7,683</b>
	16,00	0,937	<b>0,551</b>	<b>8,823</b>
	32,00	1,735	<b>0,298</b>	<b>9,530</b>
	64,00	3,330	<b>0,155</b>	<b>9,928</b>
	128,00	6,521	<b>0,079</b>	<b>10,139</b>
	256,00	12,904	<b>0,040</b>	<b>10,248</b>
	512,00	25,668	<b>0,020</b>	<b>10,304</b>
Zs = 0	1024,00	51,198	<b>0,010</b>	<b>10,332</b>
	2048,00	102,257	<b>0,005</b>	<b>10,346</b>
	10000000,00	498623,052	<b>0,000</b>	<b>10,360</b>

c1 = 10,360

c2 = 2,787

**Zp,k = c1 - c2 \* Zs,k**



 Statikbüro	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 9</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-030</b>

## 2.3 Windbelastungelastung in der A-Mastebene

Windrichtung a bei T, WT, W-Masten  
Windrichtung b bei WE-Mast

Lastfälle A, D  
Lastfälle B, E

### 2.3.1 Voller Wind

F1	Gewicht	0,183
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,061

$$f_{Zs,d} = 0,5 * ( h + 0,5 * t1 ) / W1 / f_{m,d} \quad 0,138966$$

$$f_{Zp,d} = ( h + t2 ) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,049862$$

$$a_z = Z_p / Z_s$$


$$f_{Z,d} = f_{Zs,d} + a_z * f_{Zp,d}$$

$$Z_{s,d} = \frac{1 - (F1 + F2 + F3)}{f_{Z,d}}$$

$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

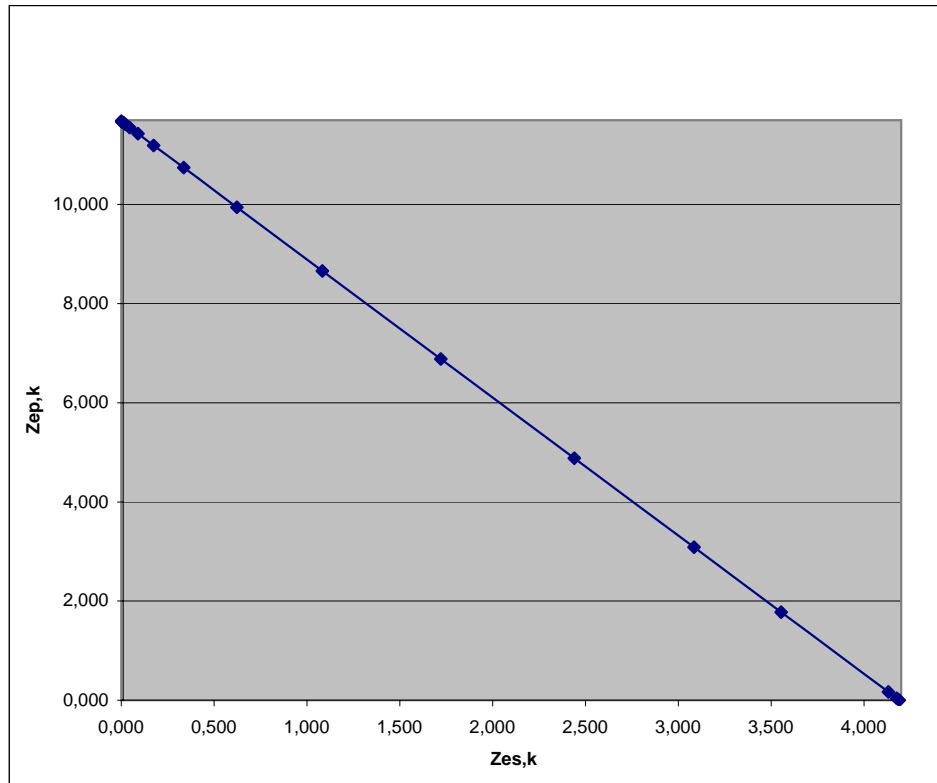
	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,139	<b>4,026</b>	<b>0,000</b>
	0,01	0,139	<b>4,012</b>	<b>0,040</b>
	0,04	0,141	<b>3,969</b>	<b>0,159</b>
	0,50	0,164	<b>3,414</b>	<b>1,707</b>
Zp = Zs	1,00	0,189	<b>2,963</b>	<b>2,963</b>
	2,00	0,239	<b>2,344</b>	<b>4,688</b>
	4,00	0,338	<b>1,653</b>	<b>6,613</b>
	8,00	0,538	<b>1,040</b>	<b>8,322</b>
	16,00	0,937	<b>0,597</b>	<b>9,557</b>
	32,00	1,735	<b>0,323</b>	<b>10,322</b>
	64,00	3,330	<b>0,168</b>	<b>10,753</b>
	128,00	6,521	<b>0,086</b>	<b>10,982</b>
	256,00	12,904	<b>0,043</b>	<b>11,100</b>
	512,00	25,668	<b>0,022</b>	<b>11,161</b>
	1024,00	51,198	<b>0,011</b>	<b>11,191</b>
Zs = 0	2048,00	102,257	<b>0,005</b>	<b>11,206</b>
	10000000,00	498623,052	<b>0,000</b>	<b>11,221</b>



 Statikbüro	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-030</b>


$$c1 = 11,678 \qquad c2 = 2,787$$

$$Z_{p,k} = c1 - c2 * Z_{s,k}$$



#### Bemessung des Hartholzdübels

	$\max Z_{p,d}$	[ kN ]	15,765
	$H_d = \max Z_{p,d} + 0,5 * F_{Wp} * 1,35$	[ kN ]	16,382
	$V_d = H_d * ( h + t_2 ) / b_1$	[ kN ]	83,859
Schub	$t_d = V_d / v / m$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	0,221
	$t_d / f_{v,d} \leq 1$		0,974

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>	Pos. 2.
	Statische Berechnung <span style="float: right;">KG-09-030</span>	Seite 12

	$Z_{p,d} = b_1 \cdot v \cdot m \cdot f_{v,d} / (h + t_2) - 0,5 \cdot FW_p \cdot 1,35$	[ kN ]	16,210
<b>Dübel wird nicht maßgebend</b>	$Z_{p,k} = Z_d / 1,35$	[ kN ]	12,007
Druck	$s_d = 2 \cdot V_d / n / v$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	1,103
	$s_d / f_{c,0,d} \leq 1$		0,720

## 2.4 Windbelastungelastung über Eck

Durch die Windbelastung über Eck entstehen bei W-Masten Differenzzüge aus der Seilbelegung. Dadurch entsteht gleichzeitige Belastung parallel und senkrecht zur A-Mastebene.

### 2.4.1 Voller Wind, Lastfall C

F1	Gewicht		0,183
F2	Wind senkrecht	$F_2 = 0,707 \cdot F_1$	0,169
F3	Wind parallel	$F_3 = 0,707 \cdot F_3$	0,043

$$f_{Zs,d} = 0,5 \cdot (h + 0,5 \cdot t_1) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,138966$$

$$f_{Zp,d} = (h + t_2) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,049862$$

$$a_z = Z_p / Z_s$$


$$f_{Z,d} = f_{Zs,d} + a_z \cdot f_{Zp,d}$$

$$Z_{s,d} = \frac{1 - (F_1 + F_2 + F_3)}{f_{Z,d}}$$

$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

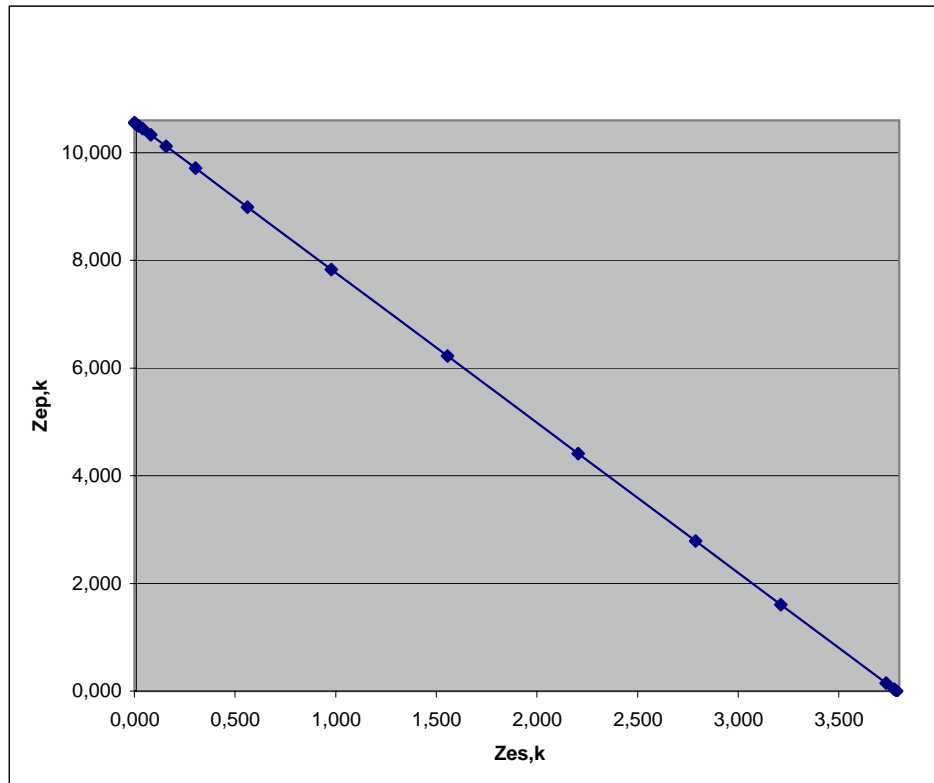
	az	fZd	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,139	<b>3,222</b>	<b>0,000</b>
	0,01	0,139	<b>3,210</b>	<b>0,032</b>
	0,04	0,141	<b>3,176</b>	<b>0,127</b>
	0,50	0,164	<b>2,732</b>	<b>1,366</b>
Zp = Zs	1,00	0,189	<b>2,371</b>	<b>2,371</b>
	2,00	0,239	<b>1,876</b>	<b>3,752</b>
	4,00	0,338	<b>1,323</b>	<b>5,292</b>
	8,00	0,538	<b>0,832</b>	<b>6,660</b>
	16,00	0,937	<b>0,478</b>	<b>7,648</b>
	32,00	1,735	<b>0,258</b>	<b>8,260</b>
	64,00	3,330	<b>0,134</b>	<b>8,605</b>
	128,00	6,521	<b>0,069</b>	<b>8,788</b>
	256,00	12,904	<b>0,035</b>	<b>8,883</b>
	512,00	25,668	<b>0,017</b>	<b>8,931</b>
Zs = 0	1024,00	51,198	<b>0,009</b>	<b>8,955</b>
	2048,00	102,257	<b>0,004</b>	<b>8,967</b>
	10000000,00	498623,052	<b>0,000</b>	<b>8,980</b>



	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-030</b>

$$c1 = 10,557 \quad c2 = 2,787$$

$$Z_{p,k} = c1 - c2 * Z_{s,k}$$



## 2.5 Lastfall H für WA-Mast

### 2.5.1 Ermittlung des Nutzzuges

#### a) max. Moment an Einspannstelle infolge Nutzzugkomponente quer zur A-Mastebene

ohne Windlasten

F1	Gewicht	0,183
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,000

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,138966$$

$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,049862$$


$$a_z = Z_p / Z_s$$

$$f_{Z,d} = f_{Zs,d} + a_z * f_{Zp,d}$$

$$Z_{s,d} = \frac{1 - (F1 + F2 + F3)}{f_{Z,d}}$$

$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$



	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 15</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-030</b>

**b) max. Moment am Kopf infolge Querkraft quer zur A-Mastebene aus Verdrehung**

**Belegung mit 3 Leiterseilen vorausgesetzt:**

resultierender Zug in A-Mastebene  $Z_p = 7/3 * Z$

Verdrehung infolge  $1/3 * Z = Z_p / 7$

Drehmoment  $M_t = Z_p * b_t / 7$

Hebelarm am Querträger **QAH**  $b_t$  [ m ] 1,26

max. Biegemoment am Zopf  $\max M_b = Z_p * b_t * ( h + 0,5 * t_1 ) / 7 / b_1$

$$Z_p * \left[ \frac{b_t * W_1 * 0,5 * (h + 0,5 * t_1)}{7 * b_1 * 0,5 * W_{Zopf} * W_1 * f_{m,d}} + f_{zp,d} \right] = 1 - F_1$$


$$f_{zd} = \frac{b_t * W_1}{3,5 * b_1 * W_{Zopf}} f_{zs,d} + f_{zp,d} = 0,114$$

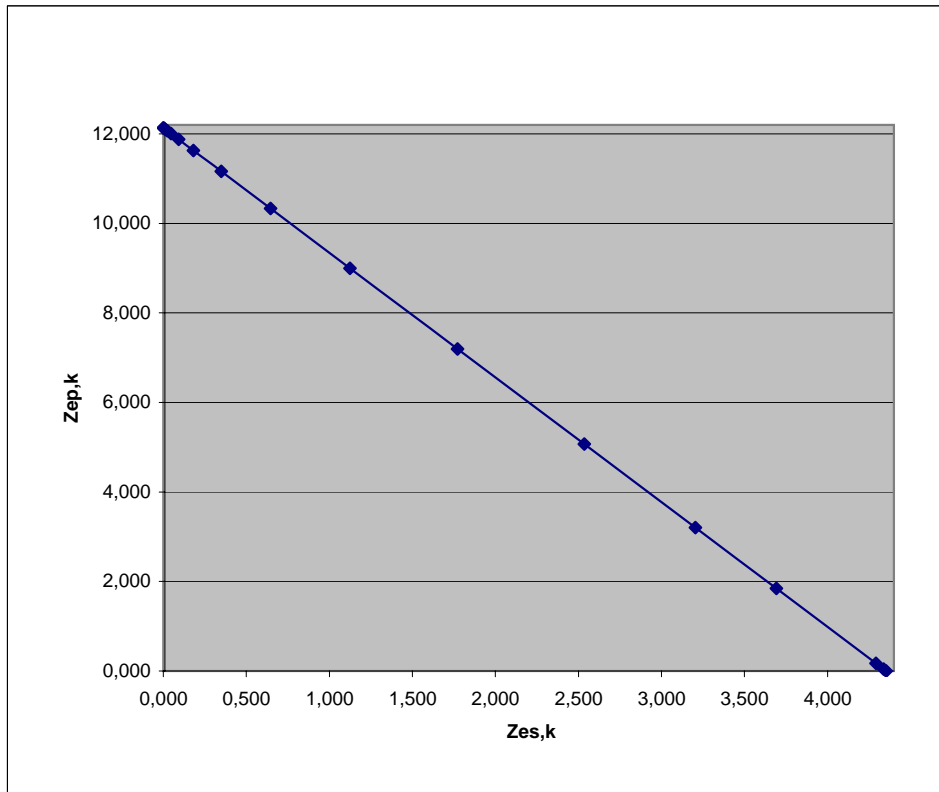
$\max Z_p = ( 1 - F_1 ) / f_{zd} = 7,194 \text{ kN}$


	az	fZ,d	Zes,k	Zep,k
Zp = 0	0,00	0,139	4,354	0,000
	0,01	0,139	4,338	0,043
	0,04	0,141	4,292	0,172
	0,50	0,164	3,692	1,846
	1,00	0,189	3,204	3,204
Zp = Zs	2,00	0,239	2,535	5,070
	4,058	0,341	1,773	7,194
	8,00	0,538	1,125	8,999
	16,00	0,937	0,646	10,334
	32,00	1,735	0,349	11,162
	64,00	3,330	0,182	11,628
	128,00	6,521	0,093	11,876
	256,00	12,904	0,047	12,004
	512,00	25,668	0,024	12,069
	1024,00	51,198	0,012	12,102
Zs = 0	2048,00	102,257	0,006	12,118
	10000000,00	498623,052	0,000	12,135

$c1 = 12,135$   $c2 = 2,787$

$Z_{p,k} = c1 - c2 * Z_{s,k}$

 Statikbüro	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 16</b>
	<b>Statische Berechnung</b> <b>KG-09-030</b>	



	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> A-Mast 1126 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 17
	Statische Berechnung	KG-09-030

## 2.6 Zusammenfassung

Die Tabelle enthält die charakteristischen ( zulässigen ) Nutzlasten ZNs und ZNp für die 2 Ebenen des A-Mastes.

Diese sind den am Maststandort tatsächlich auftretenden Komponenten ZSs und ZSp des Spitzenzuges gegenüberzustellen.

$$\begin{matrix} \mathbf{ZSs} & \leq & \mathbf{ZNs} \\ \mathbf{ZSp} & \leq & \mathbf{ZNp} \end{matrix}$$

**s** Richtung senkrecht zur A-Mastebene

**p** Richtung parallel zur A-Mastebene

**⊥** Richtung senkrecht zur Leitung                      y-Richtung

**||** Richtung parallel zur Leitung                              x-Richtung

$$\mathbf{ZNp} = \mathbf{c1} - \mathbf{c2} * \mathbf{ZNs} \qquad \text{mit } \mathbf{c2} = \mathbf{2,787}$$

Für WT- und W-Maste gilt:


$$\begin{matrix} \mathbf{ZNp} & = & \mathbf{ZN_{\perp}(y)} & \text{zulässiger Nutzzug senkrecht zur Leitung} & \text{y - Komponente} \\ \mathbf{ZNs} & = & \mathbf{ZN_{||}(x)} & \text{zulässiger Nutzzug parallel zur Leitung} & \text{x - Komponente} \end{matrix}$$

Für WE-, WA-Maste gilt:

$$\begin{matrix} \mathbf{ZNs} & = & \mathbf{ZN_{\perp}(y)} & \text{zulässiger Nutzzug senkrecht zur Leitung} & \text{y - Komponente} \\ \mathbf{ZNp} & = & \mathbf{ZN_{||}(x)} & \text{zulässiger Nutzzug parallel zur Leitung} & \text{x - Komponente} \end{matrix}$$

Masttyp	Richtung der A-Mastebene	Charakteristischer Nutzzug [ kN ]	Lastfall					
			A [ kN ]	B [ kN ]	C [ kN ]	D [ kN ]	E [ kN ]	F [ kN ]
T	⊥	ZNp = ZN <sub>⊥</sub> (y)	11,221			11,678		
WT, W	⊥	ZNs = ZN <sub>  </sub> (x)		3,081	3,222		3,717	3,788
		ZNp = ZN <sub>⊥</sub> (y) bzw. c1	11,221	8,586	8,980	11,678	10,360	10,557
WA		ZNp = ZN <sub>  </sub> (x) bzw. c1		11,221	8,980		11,678	10,557
		ZNs = ZN <sub>⊥</sub> (y)	3,081		3,222	3,717		3,788
WE		ZNp = ZN <sub>  </sub> (x) bzw. c1	8,586	11,221	8,980	10,360	11,678	10,557
		ZNs = ZN <sub>⊥</sub> (y)	3,081		3,222	3,717		3,788

Masttyp	Richtung der A-Mastebene	Charakteristischer Nutzzug [ kN ]	Lastfall
			H [ kN ]
WA		ZNp = ZN <sub>  </sub> (x)	7,194
		ZNs = ZN <sub>⊥</sub> (y)	

 Statikbüro	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1126 DIN 48 351</b>					<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 18</b>
	<b>Statische Berechnung</b>					<b>KG-09-030</b>

### Beliebige Stellung des Mastes

	T, WT, W, WA, WE-Mast						WA-Mast
	Wind in der A-Mast-Ebene		Wind senkrecht zur A-Mast-Ebene		Wind über Eck		Lastfall H
	voll	halb	voll	halb	voll	halb	belegt mit 3 Seilen Hebelarm bt = 1,26 m
c1	11,221	11,678	8,586	10,360	8,980	10,557	12,135

c2	2,787
----	-------

### Nachweis

$$\text{vorh ZNp} \leq \text{zul ZNp} = c1 - c2 * \text{vorh ZNs} \leq \text{Grenzwert} \geq 0$$

### Grenzwerte

	T, WT, W, WA, WE-Mast						WA-Mast
	Wind in der A-Mast-Ebene		Wind senkrecht zur A-Mast-Ebene		Wind über Eck		Lastfall H
	voll	halb	voll	halb	voll	halb	belegt mit 3 Seilen Hebelarm bt = 1,26 m
max ZNp für ZNs = 0	11,221	11,678	8,586	10,360	8,980	10,557	7,194
max ZNs für ZNp = 0	4,026	4,190	3,081	3,717	3,222	3,788	2,581