 Statikbüro	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> A-Mast 1328 DIN 48 351		<b>Pos.</b> 0. <b>Seite</b> 1 <b>Seiten</b> 1
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>	31.08.2009

A-Hozmast-1328.xls

## 1328 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

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> A-Mast 1328 DIN 48 351	<b>Pos.</b> 1. <b>Seite</b> 1 <b>Seiten</b> 1
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</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 Ansprungswinkel 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 1328 DIN 48 351</b>		<b>Pos.</b> 2. <b>Seite</b> 1 <b>Seiten</b> 18
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>	31.08.2009


A-Hozmast-1328.xls

## 2. Mastberechnung

### 2.1 Allgemeine Werte

#### 2.1.1 Mastabmessungen

<b>Gestänge</b>	<b>l</b>	<b>[ m ]</b>	<b>13</b>
<b>Kurzzeichen des Mastes</b>			<b>1328</b>
Materialnummer			
freie Länge ( ca. )	h	[ m ]	11,00
Eingrabetiefe	t <sub>1</sub>	[ m ]	2,00
Tiefe bis zur Zange	t <sub>2</sub>	[ m ]	1,75
Durchmesser ( min )			
Zopfdurchmesser	z	[ mm ]	200
Fußdurchmesser	f	[ mm ]	280
Durchmesser am Stangenende	$f_u = f + 1,5 * a_n$	[ mm ]	290
Nenngröße nach DIN 48351			13 x 28
Spreizung der A-Maste			
	b <sub>1</sub>	[ m ]	2,50
	b <sub>2</sub>	[ m ]	2,16
Zange			
	Ø i	[ cm ]	20
	b <sub>3</sub>	[ m ]	3,6
Länge ( ca. ) des Mittelriegels	a <sub>R</sub>	[ cm ]	100
Länge des Hartholzdübels	m	[ cm ]	20
Breite des Hartholzdübels	v = ca. z	[ cm ]	20
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 ]	6,96
Durchmesser am Erdaustritt	$f_e = f - 0,5 * a_n$	[ mm ]	277
Durchmesser in Mitte der freien Mastlänge	$D = f - ( 0,5 + 0,5 * h ) * a_n$	[ mm ]	238
Durchmesser in halber Eingrabetiefe	$D_e = f_e + 0,5 * t_1 * a_n$	[ mm ]	283
Knicklänge	$s_k = h - 0,5 + 0,5 * t_1$	[ m ]	11,50
Durchmesser in Mitte der Knicklänge	$D_m = z + ( 0,5 + 0,5 * s_k ) * a_n$	[ mm ]	243

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 2</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>

Knickdurchmesser	$D_k = z + 0,65 * s_k * a_n$	[ mm ]	252
Querschnitt einer Stange	$A_1 = \pi * D_e^2 / 4$	[ cm <sup>2</sup> ]	630,8
Widerstandsmoment einer Stange	$W_1 = \pi * D_e^3 / 32$	[ cm <sup>3</sup> ]	2235
Widerstandsmoment einer Stange am Zopf	$W_{Zopf} = \pi * D_{Zopf}^3 / 32$	[ cm <sup>3</sup> ]	785

### Gewichtskräfte

	$V = 1,1 * \pi * ( z^2 + fu^2 ) * ( h + t_1 ) / 4$		1,396
Gewicht der Stangen	$G_{St} = V * \gamma_H$	[ kN ]	8,376
$\gamma_H$	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 ]	8,288
Gewicht der Zangen	$GZ = 2 * i^2 * \pi / 4 * b_3 * \gamma_H$	[ kN ]	1,356
Längskraft	$NG, d = 0,5 * FGM * 1,35$	[ kN ]	5,594
	$\sigma_{NG, d} = NG, d / A_1$	[ 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> ]	0,633

## 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 ]	48
	$a = a_R + D$	[ cm ]	124
	$C_{Mast}$		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 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 3</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>

$h_1$	[ m ]	7,00
$bo_1 = fe - 7 * an$	[ m ]	0,23
$bu_1 = fe$	[ m ]	0,28
$FW_{11}$	[ kN ]	0,44
$FW_{12}$	[ kN ]	0,06
$FW_1$	[ kN ]	0,50

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 ]	4,00
$bo_2 = z$	[ m ]	0,20
$bu_2 = bo_1$	[ m ]	0,23
$FW_{21}$	[ kN ]	0,58
$FW_{22}$	[ kN ]	0,037
$FW_2$	[ kN ]	0,62

Gesamtwindlast Mast ( bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt

$$FWM_s = FW_1 + FW_2 \quad [ kN ] \quad 1,12$$

Wind auf den Riegel:

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

Winf auf die Kopfausrüstung:

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

Gesamte Windlast

$$FW_s = FWM_s + FWR_s + FWK_s \quad [ kN ] \quad 1,52$$

Biegemoment, Wind


$$MWS,d = 0,5 * FW_s * ( h + 0,5 * t_1 ) * 1 \quad [ kNcm ] \quad 1232,4$$

$$\sigma MWS,d = MWS,d / W_1 \quad [ kN/cm^2 ] \quad 0,551$$

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 ]	2300
Stab mit veränderlichem Querschnitt			
Mittlerer Trägheitsradius	$i_{mittel} = D_k / 4$	[ cm ]	6,30

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 4</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>

Schlankheitsgrad  $\lambda_s = l_{s_{ef}} / i_{mittel}$  365

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 6,234$$

für Vollholz  $\beta_c$  0,2

$$k = 0,5 * \left[ 1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2 \right] \quad 20,53$$

$$k_c = \min \left( \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} ; 1 \right) \quad kc,s \quad 0,0249$$

### 2.1.3 Windlasten in der A-Mastebene

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

Lastfälle B, E  
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 ] 48

$6 * D$  [ cm ] 143

Abstand zwischen zwei Maststangen auf halber Höhe des Stützpunktes  $a = a_R + D$  [ cm ] 124

$C2_{Mast}$  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 )

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

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

$h_1$  [ m ] 7,00


$b_{o1} = f_e - 7 * a_n$  [ m ] 0,23

$b_{u1} = f_e$  [ m ] 0,28

$FW_{11}$  [ kN ] 0,33

$FW_{12}$  [ kN ] 0,05

$FW_1$  [ kN ] 0,38

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 5</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>

Bereich 2:  $h > 7m$ 

Windlast ( bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt )

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

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

$$h_2 = h - h_1 \quad [ m ] \quad 4,00$$

$$b_{o2} = z \quad [ m ] \quad 0,20$$

$$b_{u2} = b_{o1} \quad [ m ] \quad 0,23$$

$$FW_{21} \quad [ kN ] \quad 0,44$$

$$FW_{22} \quad [ kN ] \quad 0,056$$

$$FW_2 \quad [ kN ] \quad 0,49$$

Gesamtwindlast Mast ( bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt )

$$FWM_p = FW \cdot [ kN ] \quad 0,87$$

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

$$FW_p = FWM_p + FWR_p + FWK_p \quad [ kN ] \quad 1,12$$

Längskraft aus Wind

$$NW_{p,d} = FW_p * ( h + t_2 ) / b_1 * 1,35 \quad [ kN ] \quad 7,705$$

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

Knicklänge

$$l_{p,ef} = s_k \quad [ cm ] \quad 1150$$

Stab mit veränderlichem Querschnitt

Mittlerer Trägheitsradius

$$i_{mittel} = D_k / 4 \quad [ cm ] \quad 6,30$$

Schlankheitsgrad

$$\lambda_s = l_{p,ef} / i_{mittel} \quad 183$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 3,117$$

für Vollholz

$$\beta_c \quad 0,2$$


$$k = 0,5 * \left[ 1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2 \right] \quad 5,64$$

$$k_c = \min \left( \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}; 1 \right) \quad kc,p \quad 0,0967$$

$$F1 = \sigma_{NG,d} / kc,s / fc,d \quad 0,232$$

$$F2 = \sigma_{MWS,d} / fm,d \quad 0,276$$

$$F3 = \sigma_{NW_{p,d}} / kc,p / fc,d \quad 0,082$$

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 6</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>

$$f_{Zs,d} = 0,5 * ( h + 0,5 * t_1 ) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,134209$$

$$f_{Zp,d} = ( h + t_2 ) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,054518$$

$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

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

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

## 2.2 Windbelastung senkrecht zur A-Mastebene

Windrichtung b ( || ) bei T, WT, W-Masten

Lastfälle B, E

Windrichtung a ( ⊥ ) bei WE-, WA-Mast

Lastfälle A, D

### 2.2.1 Voller Wind

F1	Gewicht	0,232
F2	Wind senkrecht	0,276
F3	Wind parallel	0,000

$$f_{Zs,d} = 0,5 * ( h + 0,5 * t_1 ) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,134209$$

$$f_{Zp,d} = ( h + t_2 ) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,054518$$

$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$


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

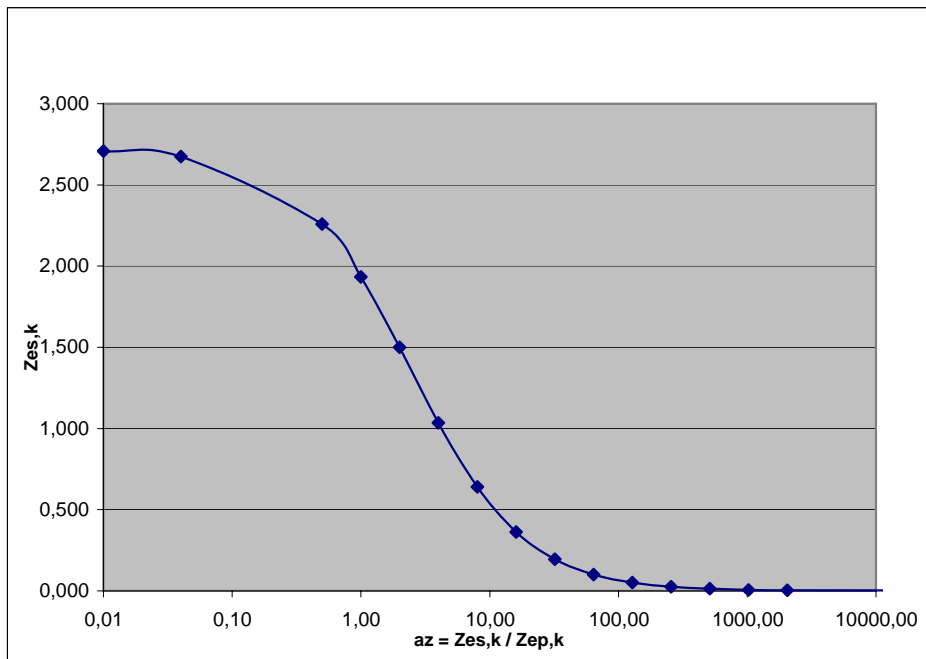
$$Z_{s,d} = \frac{1 - (F_1 + F_2 + F_3)}{f_{Z,d}}$$

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

	az	f <sub>Z,d</sub>	Z <sub>s,k</sub>	Z <sub>p,k</sub>
Z <sub>p</sub> = 0	0,00	0,134	<b>2,718</b>	<b>0,000</b>
	0,01	0,135	<b>2,707</b>	<b>0,027</b>
	0,04	0,136	<b>2,675</b>	<b>0,107</b>
	0,50	0,161	<b>2,259</b>	<b>1,130</b>
	1,00	0,189	<b>1,933</b>	<b>1,933</b>
Z <sub>p</sub> = Z <sub>s</sub>	2,00	0,243	<b>1,500</b>	<b>3,000</b>
	4,00	0,352	<b>1,036</b>	<b>4,143</b>
	8,00	0,570	<b>0,640</b>	<b>5,117</b>
	16,00	1,006	<b>0,362</b>	<b>5,800</b>
	32,00	1,879	<b>0,194</b>	<b>6,214</b>
	64,00	3,623	<b>0,101</b>	<b>6,444</b>
	128,00	7,113	<b>0,051</b>	<b>6,566</b>
	256,00	14,091	<b>0,026</b>	<b>6,628</b>
	512,00	28,047	<b>0,013</b>	<b>6,660</b>
	1024,00	55,961	<b>0,007</b>	<b>6,676</b>
Z <sub>s</sub> = 0	2048,00	111,787	<b>0,003</b>	<b>6,684</b>
	10000000,00	545179,273	<b>0,000</b>	<b>6,692</b>



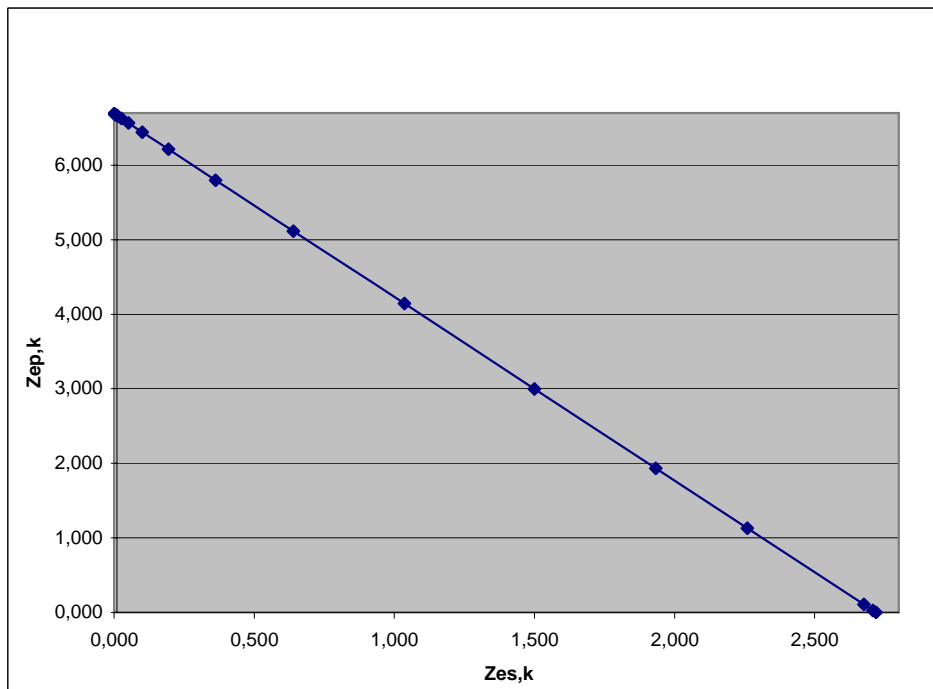
	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 7</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>




$$c1 = 6,692$$

$$c2 = 2,462$$

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



	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 8</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>

**2.2.2 Halber Wind**

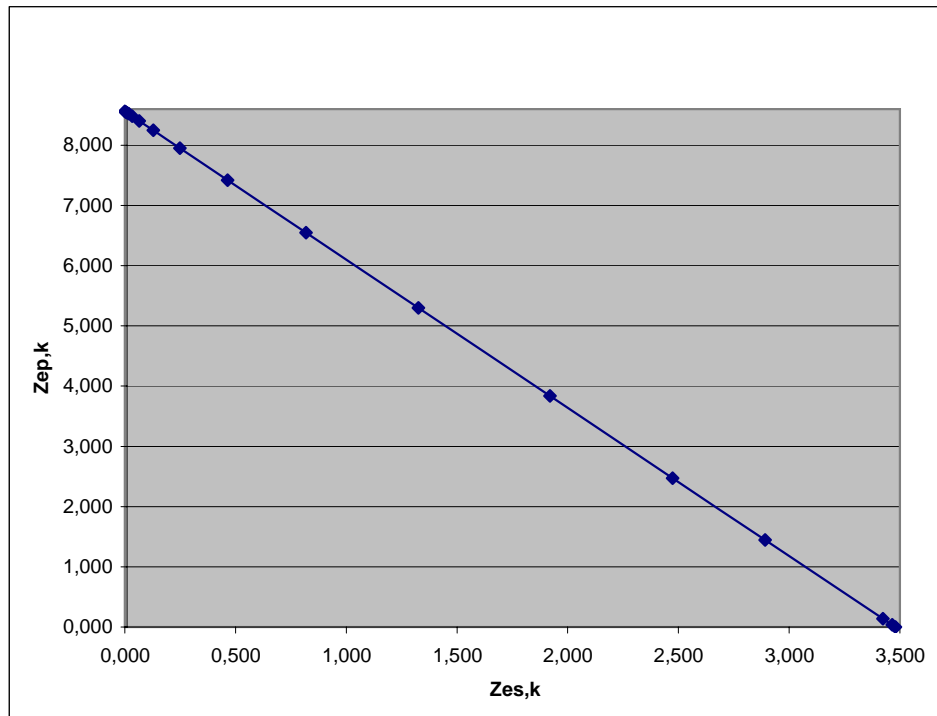
F1	Gewicht		0,232
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * F1$	0,138
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * F3$	0,000


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

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,134	<b>3,479</b>	<b>0,000</b>
	0,01	0,135	<b>3,465</b>	<b>0,035</b>
	0,04	0,136	<b>3,423</b>	<b>0,137</b>
	0,50	0,161	<b>2,892</b>	<b>1,446</b>
Zp = Zs	1,00	0,189	<b>2,474</b>	<b>2,474</b>
	2,00	0,243	<b>1,920</b>	<b>3,839</b>
	4,00	0,352	<b>1,325</b>	<b>5,302</b>
	8,00	0,570	<b>0,819</b>	<b>6,549</b>
	16,00	1,006	<b>0,464</b>	<b>7,423</b>
	32,00	1,879	<b>0,249</b>	<b>7,953</b>
	64,00	3,623	<b>0,129</b>	<b>8,247</b>
	128,00	7,113	<b>0,066</b>	<b>8,403</b>
	256,00	14,091	<b>0,033</b>	<b>8,483</b>
	512,00	28,047	<b>0,017</b>	<b>8,524</b>
Zs = 0	1024,00	55,961	<b>0,008</b>	<b>8,544</b>
	2048,00	111,787	<b>0,004</b>	<b>8,554</b>
	10000000,00	545179,273	<b>0,000</b>	<b>8,565</b>

c1 = 8,565                      c2 = 2,462

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



	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 9</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</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	0,232
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,082

$$f_{Zs,d} = 0,5 * ( h + 0,5 * t1 ) / W1 / f_{m,d} \quad 0,134209$$

$$f_{Zp,d} = ( h + t2 ) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,054518$$


$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

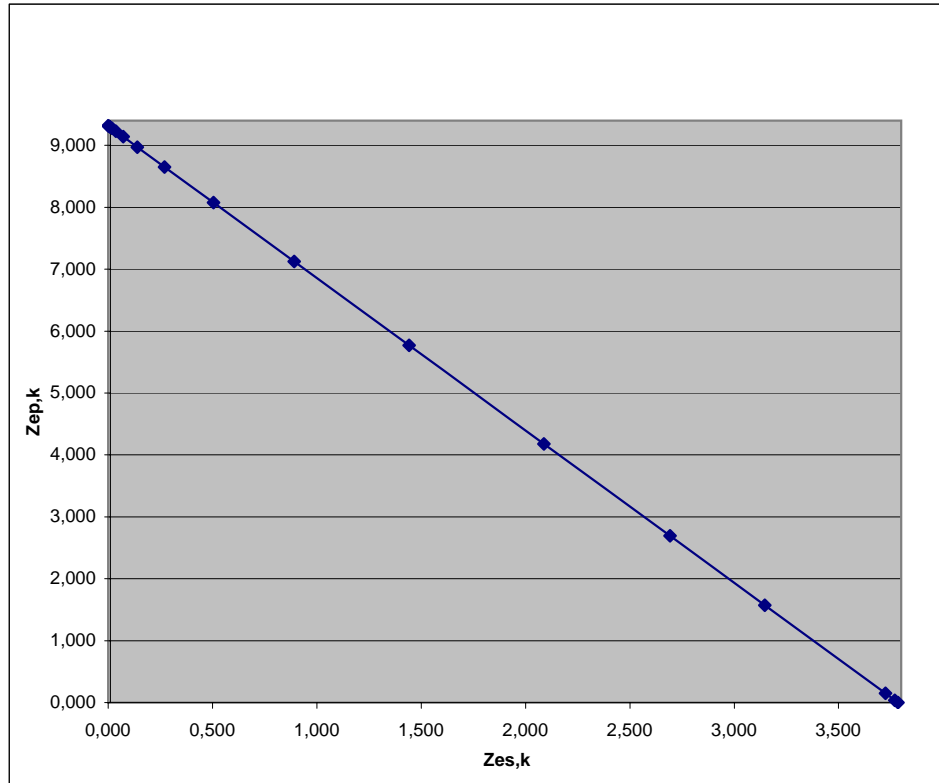
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,134	<b>3,785</b>	<b>0,000</b>
	0,01	0,135	<b>3,770</b>	<b>0,038</b>
	0,04	0,136	<b>3,725</b>	<b>0,149</b>
	0,50	0,161	<b>3,146</b>	<b>1,573</b>
Zp = Zs	1,00	0,189	<b>2,692</b>	<b>2,692</b>
	2,00	0,243	<b>2,088</b>	<b>4,177</b>
	4,00	0,352	<b>1,442</b>	<b>5,768</b>
	8,00	0,570	<b>0,891</b>	<b>7,126</b>
	16,00	1,006	<b>0,505</b>	<b>8,076</b>
	32,00	1,879	<b>0,270</b>	<b>8,653</b>
	64,00	3,623	<b>0,140</b>	<b>8,973</b>
	128,00	7,113	<b>0,071</b>	<b>9,142</b>
	256,00	14,091	<b>0,036</b>	<b>9,230</b>
	512,00	28,047	<b>0,018</b>	<b>9,274</b>
Zs = 0	1024,00	55,961	<b>0,009</b>	<b>9,296</b>
	2048,00	111,787	<b>0,005</b>	<b>9,307</b>
	10000000,00	545179,273	<b>0,000</b>	<b>9,318</b>

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz ) A-Mast 1328 DIN 48 351		Pos. 2. Seite 10
	Statische Berechnung		KG-09-033

c1 = 9,318                      c2 = 2,462


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



### 2.3.2 Halber Wind

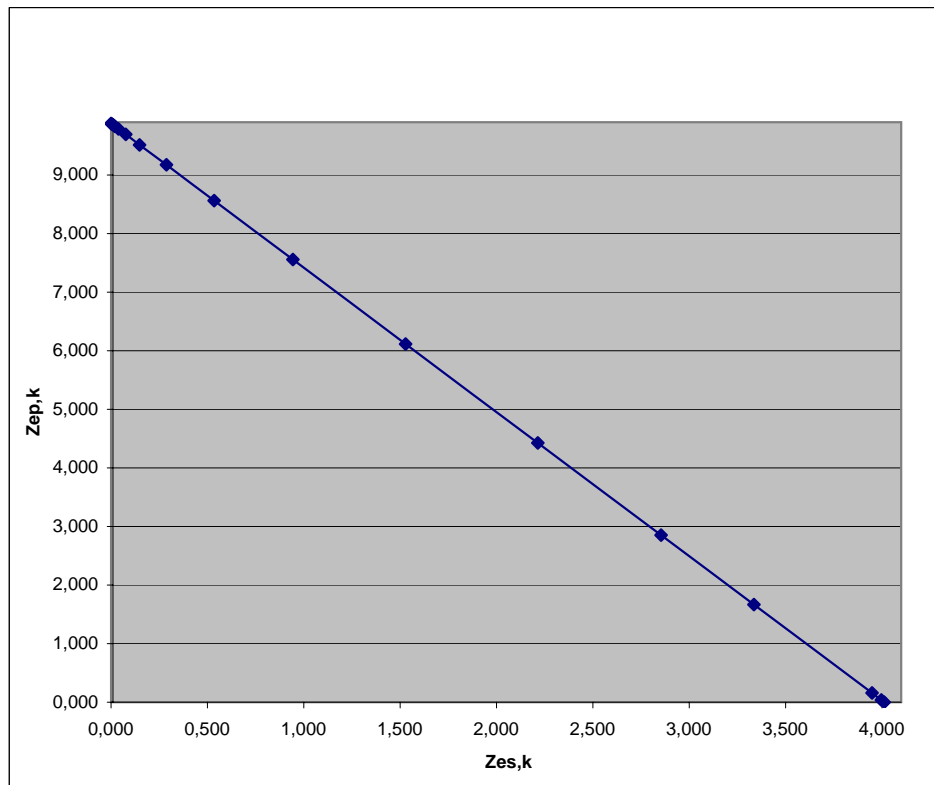
F1	Gewicht		0,232
F2	Wind senkrecht	F2 = 0,5 * F1	0,000
F3	Wind parallel	F3 = 0,5 * F3	0,041

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,134	<b>4,013</b>	<b>0,000</b>
	0,01	0,135	<b>3,996</b>	<b>0,040</b>
	0,04	0,136	<b>3,948</b>	<b>0,158</b>
	0,50	0,161	<b>3,335</b>	<b>1,668</b>
	1,00	0,189	<b>2,853</b>	<b>2,853</b>
Zp = Zs	2,00	0,243	<b>2,214</b>	<b>4,428</b>
	4,00	0,352	<b>1,529</b>	<b>6,115</b>
	8,00	0,570	<b>0,944</b>	<b>7,554</b>
	16,00	1,006	<b>0,535</b>	<b>8,561</b>
	32,00	1,879	<b>0,287</b>	<b>9,172</b>
	64,00	3,623	<b>0,149</b>	<b>9,512</b>
	128,00	7,113	<b>0,076</b>	<b>9,691</b>
	256,00	14,091	<b>0,038</b>	<b>9,784</b>
	512,00	28,047	<b>0,019</b>	<b>9,831</b>
	1024,00	55,961	<b>0,010</b>	<b>9,854</b>
Zs = 0	2048,00	111,787	<b>0,005</b>	<b>9,866</b>
	10000000,00	545179,273	<b>0,000</b>	<b>9,878</b>

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>


$$c1 = 9,878 \quad c2 = 2,462$$

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



#### Bemessung des Hartholzdübels

	$\max Z_{p,d}$	[ kN ]	13,335
	$H_d = \max Z_{p,d} + 0,5 * F_{Wp} * 1,35$	[ kN ]	14,091
	$V_d = H_d * ( h + t_2 ) / b_1$	[ kN ]	71,862
Schub	$t_d = V_d / v / m$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	0,180
	$t_d / f_{v,d} \leq 1$		0,793

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b> <b>Seite 12</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>

	$Z_{p,d} = b_1 \cdot v \cdot m \cdot f_{v,d} / (h + t_2) - 0,5 \cdot FW_p \cdot 1,35$	[ kN ]	17,022
<b>Dübel wird nicht maßgebend</b>	$Z_{p,k} = Z_d / 1,35$	[ kN ]	12,609
Druck	$s_d = 2 \cdot V_d / n / v$	[ kN/cm <sup>2</sup> ]	0,898
	$s_d / f_{c,0,d} \leq 1$		0,586

## 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		0,232
F2	Wind senkrecht	$F_2 = 0,707 \cdot F_1$	0,195
F3	Wind parallel	$F_3 = 0,707 \cdot F_3$	0,058

$$f_{Zs,d} = 0,5 \cdot (h + 0,5 \cdot t_1) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,134209$$

$$f_{Zp,d} = (h + t_2) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,054518$$


$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

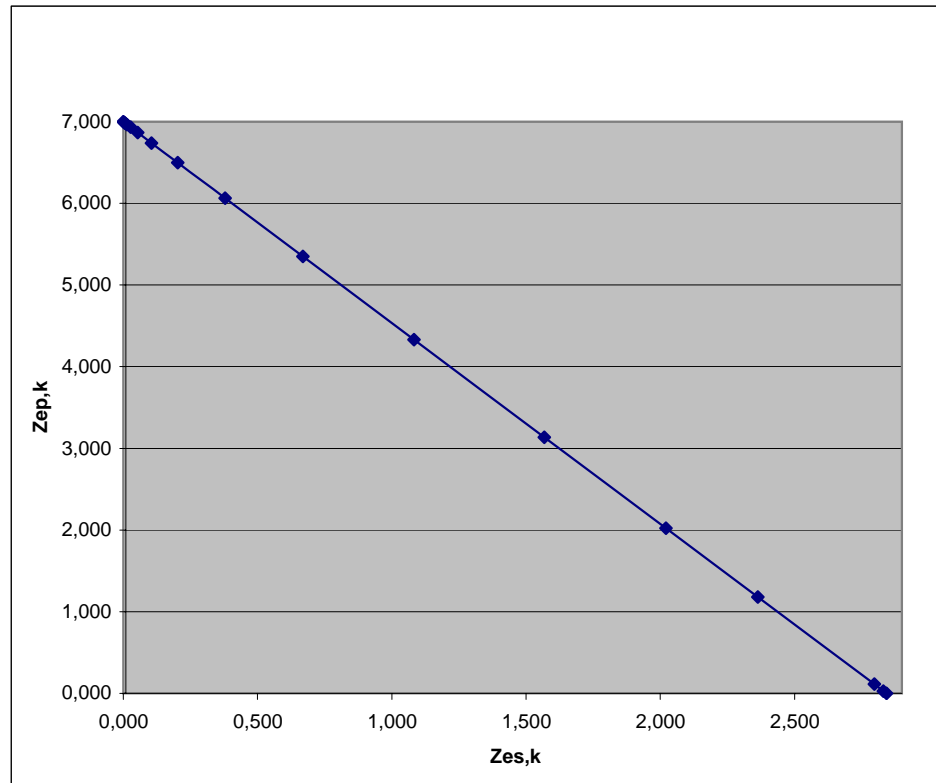
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	fZd	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,134	<b>2,843</b>	<b>0,000</b>
	0,01	0,135	<b>2,831</b>	<b>0,028</b>
	0,04	0,136	<b>2,797</b>	<b>0,112</b>
	0,50	0,161	<b>2,363</b>	<b>1,181</b>
Zp = Zs	1,00	0,189	<b>2,022</b>	<b>2,022</b>
	2,00	0,243	<b>1,568</b>	<b>3,137</b>
	4,00	0,352	<b>1,083</b>	<b>4,332</b>
	8,00	0,570	<b>0,669</b>	<b>5,351</b>
	16,00	1,006	<b>0,379</b>	<b>6,065</b>
	32,00	1,879	<b>0,203</b>	<b>6,498</b>
	64,00	3,623	<b>0,105</b>	<b>6,739</b>
	128,00	7,113	<b>0,054</b>	<b>6,866</b>
	256,00	14,091	<b>0,027</b>	<b>6,932</b>
	512,00	28,047	<b>0,014</b>	<b>6,965</b>
Zs = 0	1024,00	55,961	<b>0,007</b>	<b>6,981</b>
	2048,00	111,787	<b>0,003</b>	<b>6,990</b>
	10000000,00	545179,273	<b>0,000</b>	<b>6,998</b>

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>

$$c1 = 6,998 \qquad c2 = 2,462$$


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



#### 2.4.2 Halber Wind, Lastfall F

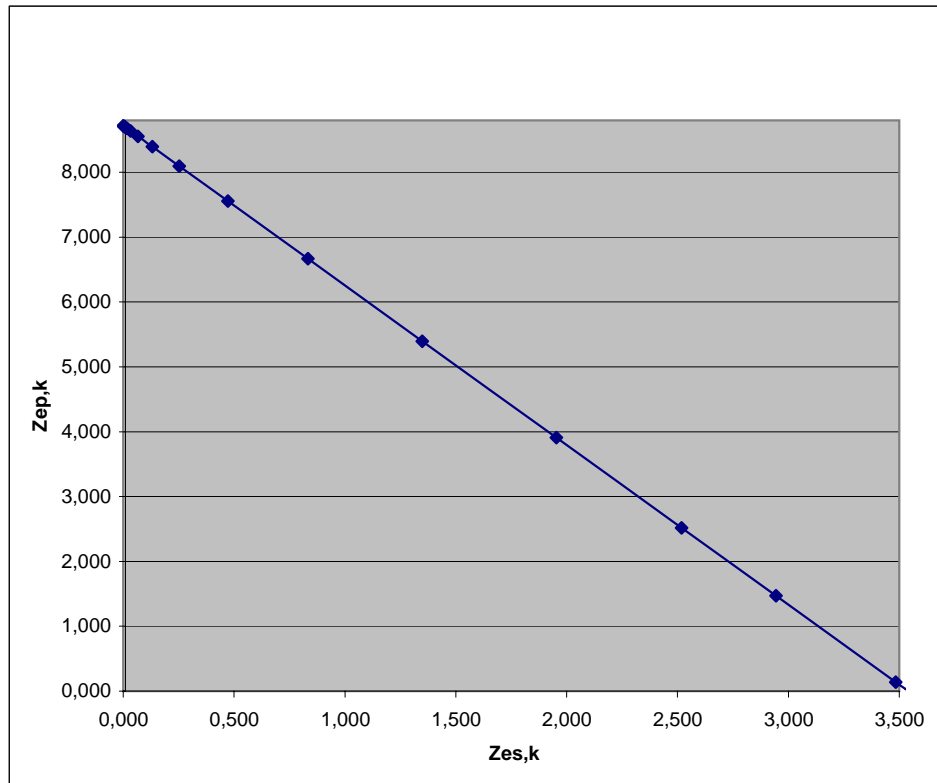
F1	Gewicht		0,232
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * 0,707 * F1$	0,097
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * 0,707 * F3$	0,029

	az	fZe	Zes,k	Zep,k
Zp = 0	0,00	0,134	<b>3,541</b>	<b>0,000</b>
	0,01	0,135	<b>3,527</b>	<b>0,035</b>
	0,04	0,136	<b>3,485</b>	<b>0,139</b>
	0,50	0,161	<b>2,943</b>	<b>1,472</b>
Zp = Zs	1,00	0,189	<b>2,518</b>	<b>2,518</b>
	2,00	0,243	<b>1,954</b>	<b>3,908</b>
	4,00	0,352	<b>1,349</b>	<b>5,397</b>
	8,00	0,570	<b>0,833</b>	<b>6,666</b>
	16,00	1,006	<b>0,472</b>	<b>7,555</b>
	32,00	1,879	<b>0,253</b>	<b>8,095</b>
	64,00	3,623	<b>0,131</b>	<b>8,395</b>
	128,00	7,113	<b>0,067</b>	<b>8,553</b>
	256,00	14,091	<b>0,034</b>	<b>8,635</b>
	512,00	28,047	<b>0,017</b>	<b>8,676</b>
Zs = 0	1024,00	55,961	<b>0,008</b>	<b>8,697</b>
	2048,00	111,787	<b>0,004</b>	<b>8,707</b>
	10000000,00	545179,273	<b>0,000</b>	<b>8,718</b>

	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</b>

$$c1 = 8,718 \quad c2 = 2,462$$

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



## 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	0,232
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,000

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / fm,d \quad 0,134209$$

$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / kc,p / fc,d \quad 0,054518$$


$$az = Zp / Zs$$

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

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

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



	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>	<b>Pos. 2.</b>
	<b>Statische Berechnung</b>	<b>KG-09-033</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  $maxM_b = Z_p * b_t * ( h + 0,5 * t_1 ) / 7 / b_1$

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


$$f_{zd} = \frac{b_t * W_1}{3,5 * b_1 * W_{Zopf}} f_{zs,d} + f_{zp,d} = 0,110$$

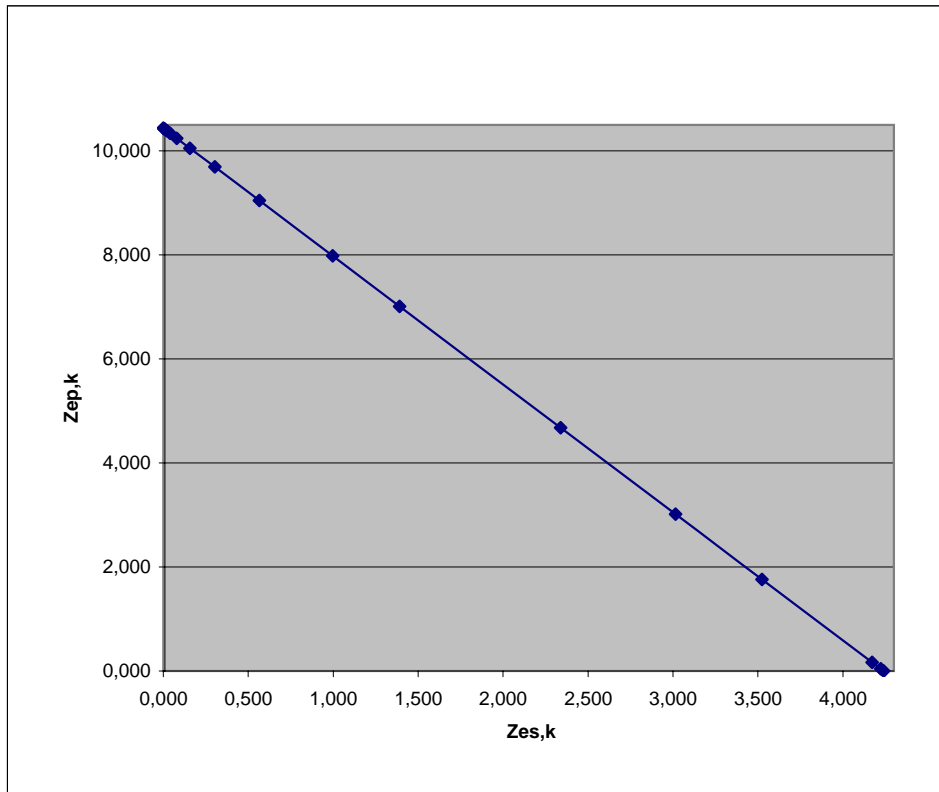
**max Z<sub>p</sub> = ( 1 - F<sub>1</sub> ) / f<sub>zd</sub> = 7,012 kN**


	az	fZ,d	Zes,k	Zep,k
Z <sub>p</sub> = 0	0,00	0,134	<b>4,240</b>	<b>0,000</b>
	0,01	0,135	<b>4,223</b>	<b>0,042</b>
	0,04	0,136	<b>4,172</b>	<b>0,167</b>
	0,50	0,161	<b>3,524</b>	<b>1,762</b>
	1,00	0,189	<b>3,015</b>	<b>3,015</b>
Z <sub>p</sub> = Z <sub>s</sub>	2,00	0,243	<b>2,339</b>	<b>4,679</b>
	<b>5,040</b>	<b>0,409</b>	<b>1,391</b>	<b>7,012</b>
	8,00	0,570	<b>0,998</b>	<b>7,981</b>
	16,00	1,006	<b>0,565</b>	<b>9,046</b>
	32,00	1,879	<b>0,303</b>	<b>9,692</b>
	64,00	3,623	<b>0,157</b>	<b>10,051</b>
	128,00	7,113	<b>0,080</b>	<b>10,240</b>
	256,00	14,091	<b>0,040</b>	<b>10,338</b>
	512,00	28,047	<b>0,020</b>	<b>10,387</b>
	1024,00	55,961	<b>0,010</b>	<b>10,412</b>
Z <sub>s</sub> = 0	2048,00	111,787	<b>0,005</b>	<b>10,425</b>
	10000000,00	545179,273	<b>0,000</b>	<b>10,437</b>

c1 = 10,437 c2 = 2,462

**Z<sub>p,k</sub> = c1 - c2 \* Z<sub>s,k</sub>**

 Statikbüro	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> A-Mast 1328 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 16
	Statische Berechnung	KG-09-033



	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> A-Mast 1328 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 17
	Statische Berechnung	KG-09-033

## 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

$$\mathbf{ZNp} = \mathbf{c1} - \mathbf{c2} * \mathbf{ZNs} \qquad \text{mit } \mathbf{c2} = \mathbf{2,462}$$

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)	9,318			9,878		
WT, W	⊥	ZNs = ZN <sub>  </sub> (x)		2,718	2,843		3,479	3,541
		ZNp = ZN <sub>⊥</sub> (y) bzw. c1	9,318	6,692	6,998	9,878	8,565	8,718
WA		ZNp = ZN <sub>  </sub> (x) bzw. c1		9,318	6,998		9,878	8,718
		ZNs = ZN <sub>⊥</sub> (y)	2,718		2,843	3,479		3,541
WE		ZNp = ZN <sub>  </sub> (x) bzw. c1	6,692	9,318	6,998	8,565	9,878	8,718
		ZNs = ZN <sub>⊥</sub> (y)	2,718		2,843	3,479		3,541

Masttyp	Richtung der A-Mastebene	Charakteristischer Nutzzug [ kN ]	Lastfall
			H [ kN ]
WA		ZNp = ZN <sub>  </sub> (x)	7,012
		ZNs = ZN <sub>⊥</sub> (y)	

 Statikbüro	<b>20 - kV - Mittelspannungsmaste</b> <b>Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste ( Holz )</b> <b>A-Mast 1328 DIN 48 351</b>					<b>Pos.</b> 2. <b>Seite</b> 18
	<b>Statische Berechnung</b>					<b>KG-09-033</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	9,318	9,878	6,692	8,565	6,998	8,718	10,437

c2	2,462
----	-------

### 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	9,318	9,878	6,692	8,565	6,998	8,718	7,012
max ZNs für ZNp = 0	3,785	4,013	2,718	3,479	2,843	3,541	2,849