 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 0. Seite 1 Seiten 1
	Statische Berechnung	KG-09-028

A-Hozmast-1024.xls

1024 A - Mast (Holz) nach DIN 48531

Inhaltsverzeichnis

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

Neu-Lindenberg den 31.08.2009



Klaus Güthler

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste A - Holzmaste Ermittlung der Nutzzüge	Pos. 1. Seite 1 Seiten 1
	Statische Berechnung	KG-09-028

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

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351		Pos. 2. Seite 1 Seiten 18
	Statische Berechnung	KG-09-028	31.08.2009


A-Hozmast-1024.xls

2. Mastberechnung

2.1 Allgemeine Werte

2.1.1 Mastabmessungen

Gestänge	l	[m]	10
Kurzzeichen des Mastes			1024
Materialnummer			
freie Länge (ca.)	h	[m]	8,00
Eingrabetiefe	t ₁	[m]	2,00
Tiefe bis zur Zange	t ₂	[m]	1,75
Durchmesser (min)			
Zopfdurchmesser	z	[mm]	180
Fußdurchmesser	f	[mm]	240
Durchmesser am Stangenende	$f_u = f + 1,5 * a_n$	[mm]	251
Nenngröße nach DIN 48351			10 x 24
Spreizung der A-Maste			
	b ₁	[m]	1,90
	b ₂	[m]	1,57
Zange			
	Ø i	[cm]	19
	b ₃	[m]	3,3
Länge (ca.) des Mittelriegels	a _R	[cm]	70
Länge des Hartholzdübels	m	[cm]	18
Breite des Hartholzdübels	v = ca. z	[cm]	18
Dicke des Hartholzdübels	n	[cm]	8
Abstand der Mastmittellinie	e	[cm]	4
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]	7,06
Durchmesser am Erdaustritt	$f_e = f - 0,5 * a_n$	[mm]	236
Durchmesser in Mitte der freien Mastlänge	$D = f - (0,5 + 0,5 * h) * a_n$	[mm]	208
Durchmesser in halber Eingrabetiefe	$D_e = f_e + 0,5 * t_1 * a_n$	[mm]	244
Knicklänge	$s_k = h - 0,5 + 0,5 * t_1$	[m]	8,50
Durchmesser in Mitte der Knicklänge	$D_m = z + (0,5 + 0,5 * s_k) * a_n$	[mm]	214

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 2
	Statische Berechnung	KG-09-028

Knickdurchmesser	$D_k = z + 0,65 * s_k * a_n$	[mm]	219
Querschnitt einer Stange	$A_1 = \pi * D_e^2 / 4$	[cm ²]	465,6
Widerstandsmoment einer Stange	$W_1 = \pi * D_e^3 / 32$	[cm ³]	1417
Widerstandsmoment einer Stange am Zopf	$W_{Zopf} = \pi * D_{Zopf}^3 / 32$	[cm ³]	572,265

Gewichtskräfte

	$V = 1,1 * \pi * (z^2 + f_u^2) * (h + t_1) / 4$		0,822
Gewicht der Stangen	$G_{St} = V * \gamma_H$	[kN]	4,932
γ_H	Rohwichte für Nadelholz, anzusetzen zu	[kN/m ³]	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]	6,566
Gewicht der Zangen	$GZ = 2 * i^2 * \pi / 4 * b_3 * \gamma_H$	[kN]	1,122
Längskraft	$NG_{,d} = 0,5 * FGM * 1,35$	[kN]	4,432
	$\sigma_{NG,d} = NG_{,d} / A_1$	[kN/cm ²]	0,010

Staudruck

Windzone	1
q_0	= 600 N/m ²

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

Bereich 1: $h \leq 7m$	$q_1 = q_0 + 3 * 7$	[kN/m ²]	0,621
Bereich 2: $h > 7m$	$q_2 = q_0 + 3 * h$	[kN/m ²]	0,624

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]	42
	$a = a_R + D$	[cm]	91
	C_{Mast}		0,7

Bereich 1: $h \leq 7m$

Windlast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

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

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

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 3
	Statische Berechnung	KG-09-028

h_1	[m]	7,00
$bo_1 = fe - 7 * an$	[m]	0,19
$bu_1 = fe$	[m]	0,24
FW_{11}	[kN]	0,50
FW_{12}	[kN]	0,09
FW_1	[kN]	0,59

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]	1,00
$bo_2 = z$	[m]	0,18
$bu_2 = bo_1$	[m]	0,19
FW_{21}	[kN]	0,15
FW_{22}	[kN]	0,003
FW_2	[kN]	0,15

Gesamtwindlast Mast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt

$$FWM_s = FW_1 + FW_2 \quad [kN] \quad 0,74$$

Wind auf den Riegel:

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

Winf auf die Kopfausrüstung:

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

Gesamte Windlast

$$FW_s = FWM_s + FWR_s + FWK_s \quad [kN] \quad 1,14$$

Biegemoment, Wind


$$MWS,d = 0,5 * FW_s * (h + 0,5 * t_1) * 1 \quad [kNcm] \quad 690,1$$

$$\sigma MWS,d = MWS,d / W_1 \quad [kN/cm^2] \quad 0,487$$

Bemessungswert einer Festigkeitseigenschaft

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

	k_{mod}		1
	γ_m		1,5
Elastizitätsmodul	$E_{0,mean}$	[kN/cm ²]	1200
charakteristische Steifigkeit	$E_{0,05} = 2/3 * E_{0,mean}$	[kN/cm ²]	800
Druck	$f_{c,0,k}$	[kN/cm ²]	2,3
	$f_{c,0,d}$	[kN/cm ²]	1,5
Schub	$f_{v,k}$	[kN/cm ²]	0,34
Hartholz, Festigkeitsklasse mindestens D35	$f_{v,d}$	[kN/cm ²]	0,2
Biegung	$f_{m,k}$	[kN/cm ²]	3,0
	$f_{m,d}$	[kN/cm ²]	2,0
Knicklänge	$l_{ef} = 2 * s_k$	[cm]	1700
Stab mit veränderlichem Querschnitt			
Mittlerer Trägheitsradius	$i_{mittel} = D_k / 4$	[cm]	5,48

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 4
	Statische Berechnung	KG-09-028

Schlankheitsgrad $\lambda_s = l_{s_{ef}} / i_{mittel}$ 311

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 5,302$$

für Vollholz β_c 0,2

$$k = 0,5 * \left[1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2 \right] \quad 15,06$$

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

kc,s 0,0343

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] 42

$6 * D$ [cm] 125

Abstand zwischen zwei Maststangen auf halber Höhe des Stützpunktes $a = a_R + D$ [cm] 91

$C2_{Mast}$ 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] 0,19

$b_{u1} = f_e$ [m] 0,24

FW_{11} [kN] 0,37

FW_{12} [kN] 0,07

FW_1 [kN] 0,44

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 5
	Statische Berechnung	KG-09-028

Bereich 2: $h > 7m$

Windlast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

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

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

$$h_2 = h - h_1 \quad [m] \quad 1,00$$

$$b_{o2} = z \quad [m] \quad 0,18$$

$$b_{u2} = b_{o1} \quad [m] \quad 0,19$$

$$FW_{21} \quad [kN] \quad 0,11$$

$$FW_{22} \quad [kN] \quad 0,004$$

$$FW_2 \quad [kN] \quad 0,11$$

Gesamtwindlast Mast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

$$FWM_p = FW \cdot [kN] \quad 0,55$$

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

$$FW_p = FWM_p + FWR_p + FWK_p \quad [kN] \quad 0,80$$

Längskraft aus Wind

$$NW_{p,d} = FW_p * (h + t_2) / b_1 * 1,35 \quad [kN] \quad 5,571$$

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

Knicklänge

$$l_{p,ef} = s_k \quad [cm] \quad 850$$

Stab mit veränderlichem Querschnitt

Mittlerer Trägheitsradius

$$i_{mittel} = D_k / 4 \quad [cm] \quad 5,48$$

Schlankheitsgrad

$$\lambda_s = l_{p,ef} / i_{mittel} \quad 155$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 2,651$$

für Vollholz

$$\beta_c \quad 0,2$$


$$k = 0,5 * \left[1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2 \right] \quad 4,25$$

$$k_c = \min \left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}; 1 \right) \quad kc,p \quad 0,1321$$

$$F1 = \sigma_{NG,d} / kc,s / fc,d \quad 0,181$$

$$F2 = \sigma_{MWS,d} / fm,d \quad 0,243$$

$$F3 = \sigma_{NW_{p,d}} / kc,p / fc,d \quad 0,059$$

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 6
	Statische Berechnung	KG-09-028

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t_1) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,158763$$

$$f_{Zp,d} = (h + t_2) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,054418$$

$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

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

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

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	0,181
F2	Wind senkrecht	0,243
F3	Wind parallel	0,000

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t_1) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,158763$$

$$f_{Zp,d} = (h + t_2) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,054418$$


$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

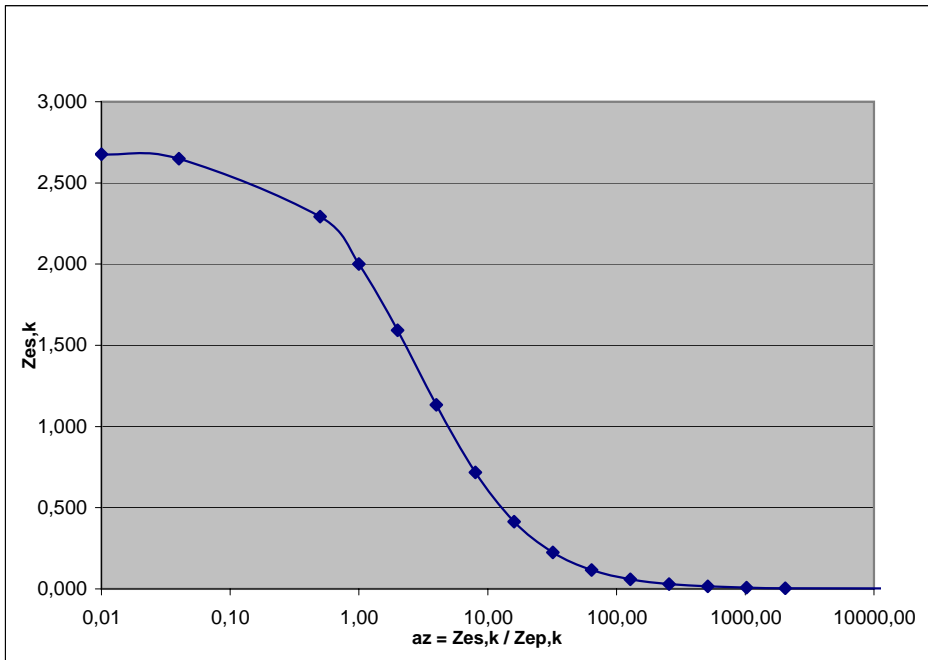
$$f_{Z,d} = f_{Zs,d} + \alpha_z * f_{Zp,d}$$

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

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

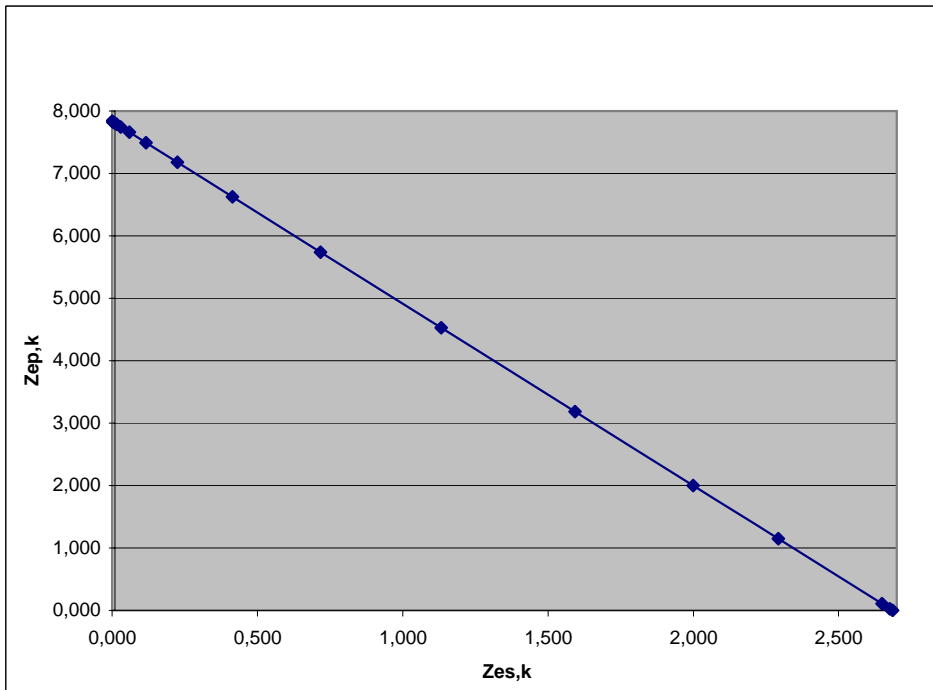
	az	f _{Z,d}	Z _{s,k}	Z _{p,k}
Z _p = 0	0,00	0,159	2,685	0,000
	0,01	0,159	2,676	0,027
	0,04	0,161	2,649	0,106
	0,50	0,186	2,292	1,146
	1,00	0,213	2,000	2,000
Z _p = Z _s	2,00	0,268	1,593	3,186
	4,00	0,376	1,133	4,530
	8,00	0,594	0,718	5,741
	16,00	1,029	0,414	6,626
	32,00	1,900	0,224	7,180
	64,00	3,642	0,117	7,493
	128,00	7,124	0,060	7,660
	256,00	14,090	0,030	7,746
	512,00	28,021	0,015	7,790
	1024,00	55,883	0,008	7,812
Z _s = 0	2048,00	111,606	0,004	7,823
	10000000,00	544177,997	0,000	7,834


	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351		Pos. 2. Seite 7
	Statische Berechnung	KG-09-028	31.08.2009



c1 = 7,834 c2 = 2,917

Zp,k = c1 - c2 * Zs,k



	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 8
	Statische Berechnung	KG-09-028

2.2.2 Halber Wind

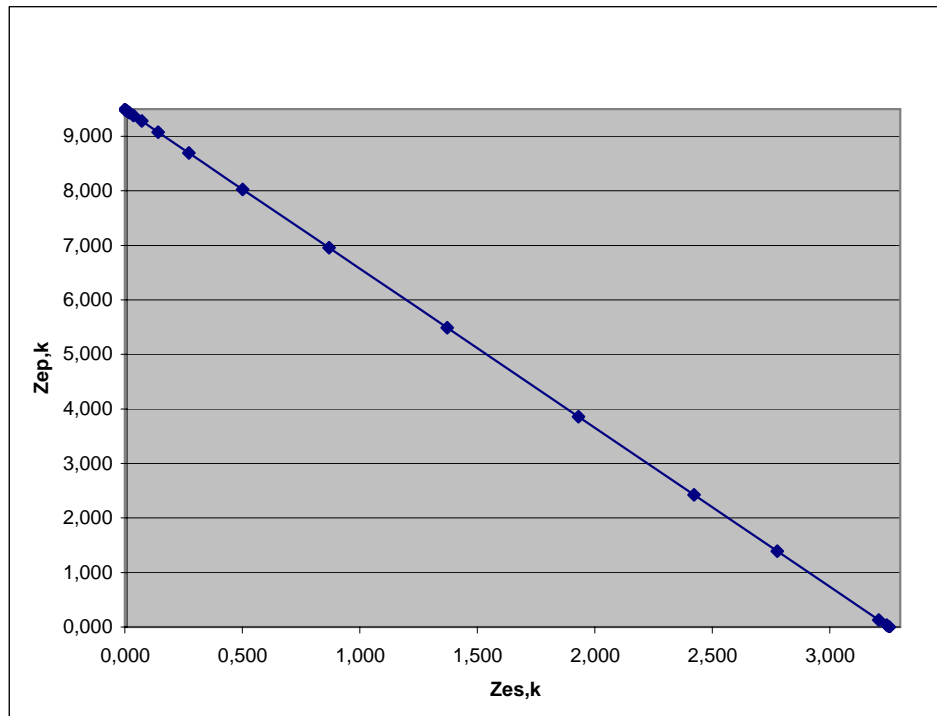
F1	Gewicht		0,181
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * F1$	0,122
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * F3$	0,000

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

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,159	3,253	0,000
	0,01	0,159	3,242	0,032
	0,04	0,161	3,209	0,128
	0,50	0,186	2,777	1,389
Zp = Zs	1,00	0,213	2,423	2,423
	2,00	0,268	1,930	3,860
	4,00	0,376	1,372	5,488
	8,00	0,594	0,869	6,955
	16,00	1,029	0,502	8,028
	32,00	1,900	0,272	8,698
	64,00	3,642	0,142	9,078
	128,00	7,124	0,072	9,280
	256,00	14,090	0,037	9,385
	512,00	28,021	0,018	9,438
Zs = 0	1024,00	55,883	0,009	9,465
	2048,00	111,606	0,005	9,478
	10000000,00	544177,997	0,000	9,492

c1 = 9,492 c2 = 2,917

Zp,k = c1 - c2 * Zs,k



 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 9
	Statische Berechnung	KG-09-028

2.3 Windbelastungelastung in der A-Mastebene

Windrichtung a bei T, WT, W-Masten

Lastfälle A, D

Windrichtung b bei WE-Mast

Lastfälle B, E

2.3.1 Voller Wind

F1	Gewicht	0,181
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,059

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,158763$$

$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,054418$$


$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

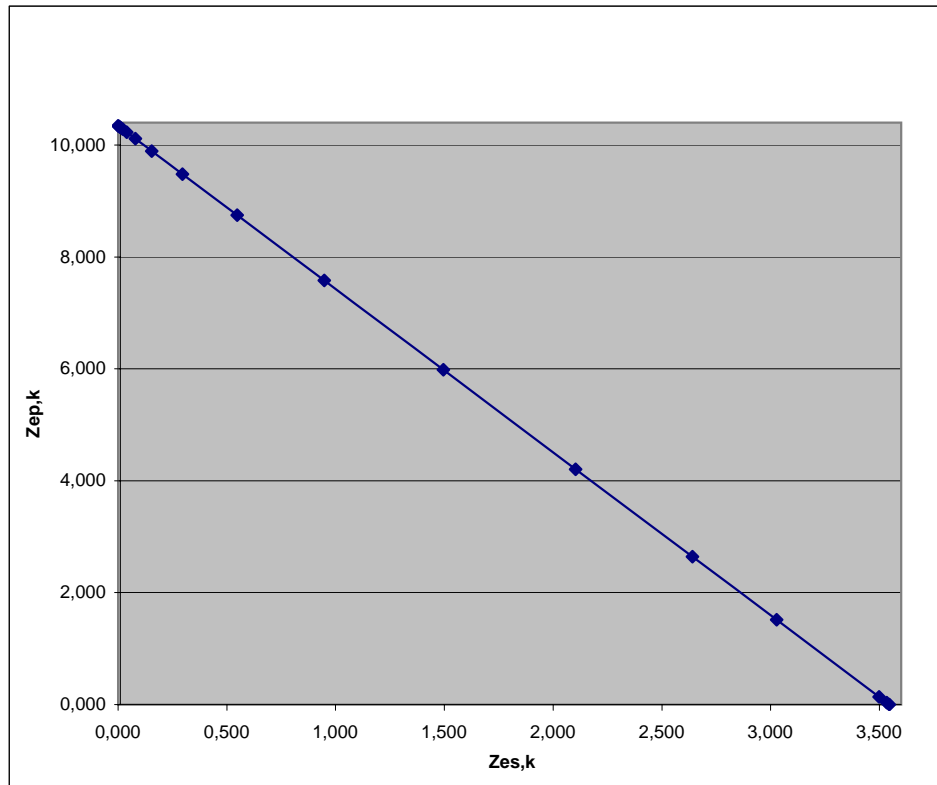
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,159	3,546	0,000
	0,01	0,159	3,534	0,035
	0,04	0,161	3,498	0,140
	0,50	0,186	3,027	1,513
Zp = Zs	1,00	0,213	2,641	2,641
	2,00	0,268	2,104	4,207
	4,00	0,376	1,495	5,982
	8,00	0,594	0,948	7,580
	16,00	1,029	0,547	8,749
	32,00	1,900	0,296	9,480
	64,00	3,642	0,155	9,894
	128,00	7,124	0,079	10,114
	256,00	14,090	0,040	10,228
	512,00	28,021	0,020	10,286
Zs = 0	1024,00	55,883	0,010	10,315
	2048,00	111,606	0,005	10,330
	10000000,00	544177,997	0,000	10,345

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351		Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-028	Seite 10

c1 = 10,345 c2 = 2,917

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



2.3.2 Halber Wind

F1	Gewicht		0,181
F2	Wind senkrecht	F2 = 0,5 * F1	0,0905
F3	Wind parallel	F3 = 0,5 * F3	0,030

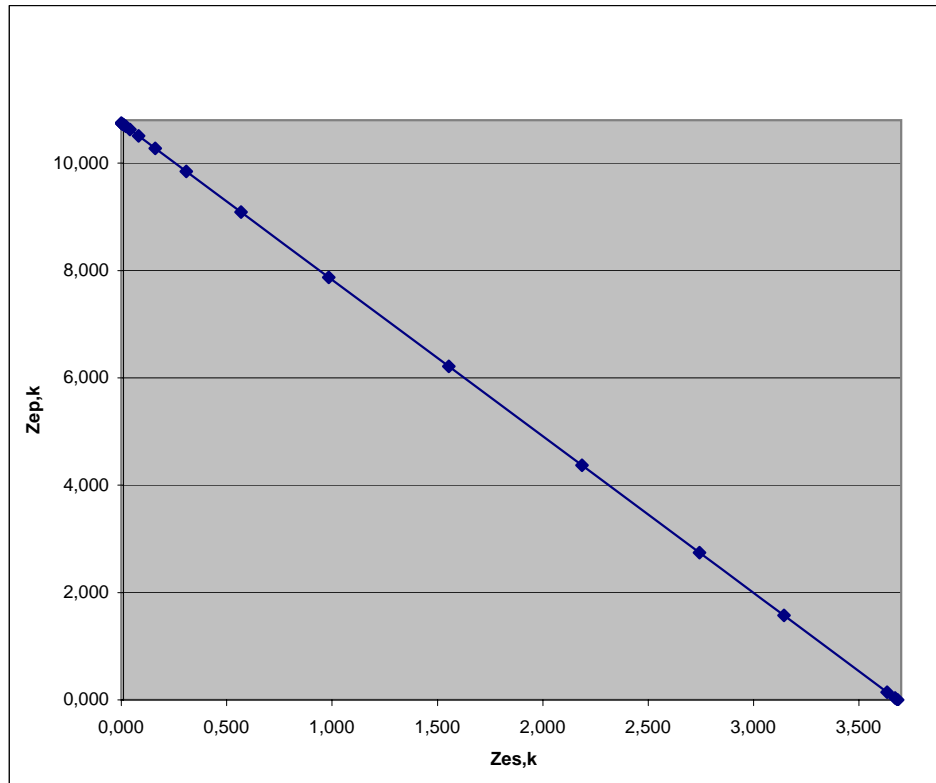
	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,159	3,684	0,000
	0,01	0,159	3,671	0,037
	0,04	0,161	3,634	0,145
	0,50	0,186	3,145	1,572
Zp = Zs	1,00	0,213	2,743	2,743
	2,00	0,268	2,185	4,371
	4,00	0,376	1,554	6,214
	8,00	0,594	0,984	7,875
	16,00	1,029	0,568	9,089
	32,00	1,900	0,308	9,849
	64,00	3,642	0,161	10,278
	128,00	7,124	0,082	10,507
	256,00	14,090	0,042	10,625
	512,00	28,021	0,021	10,686
Zs = 0	1024,00	55,883	0,010	10,716
	2048,00	111,606	0,005	10,731
	10000000,00	544177,997	0,000	10,747

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-028

$$c1 = 10,747$$


$$c2 = 2,917$$

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



Bemessung des Hartholzdübels

	$\max Z_{p,d}$	[kN]	14,508
	$H_d = \max Z_{p,d} + 0,5 * F_{Wp} * 1,35$	[kN]	15,051
	$V_d = H_d * (h + t_2) / b_1$	[kN]	77,234
Schub	$t_d = V_d / v / m$	[kN/cm ²]	0,238
	$t_d / f_{v,d} \leq 1$		1,052

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 12
	Statische Berechnung	KG-09-028

	$Z_{p,d} = b1 \cdot v \cdot m \cdot f_{v,d} / (h + t2) - 0,5 \cdot FWp \cdot 1,35$	[kN]	13,769
Dübel wird zwar maßgebend	$Z_{p,k} = Z_d / 1,35$	[kN]	10,199
aber nur geringfügig kleiner als $Z_{p,k}$		[kN]	10,747
Druck	$sd = 2 \cdot V_d / n / v$	[kN/cm ²]	1,073
	$sd / f_{c,0,d} \leq 1$		0,700

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		0,181
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,707 \cdot F1$	0,172
F3	Wind parallel	$F3 = 0,707 \cdot F3$	0,042

$$f_{Zs,d} = 0,5 \cdot (h + 0,5 \cdot t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,158763$$

$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,054418$$

$$az = Z_p / Z_s$$

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

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

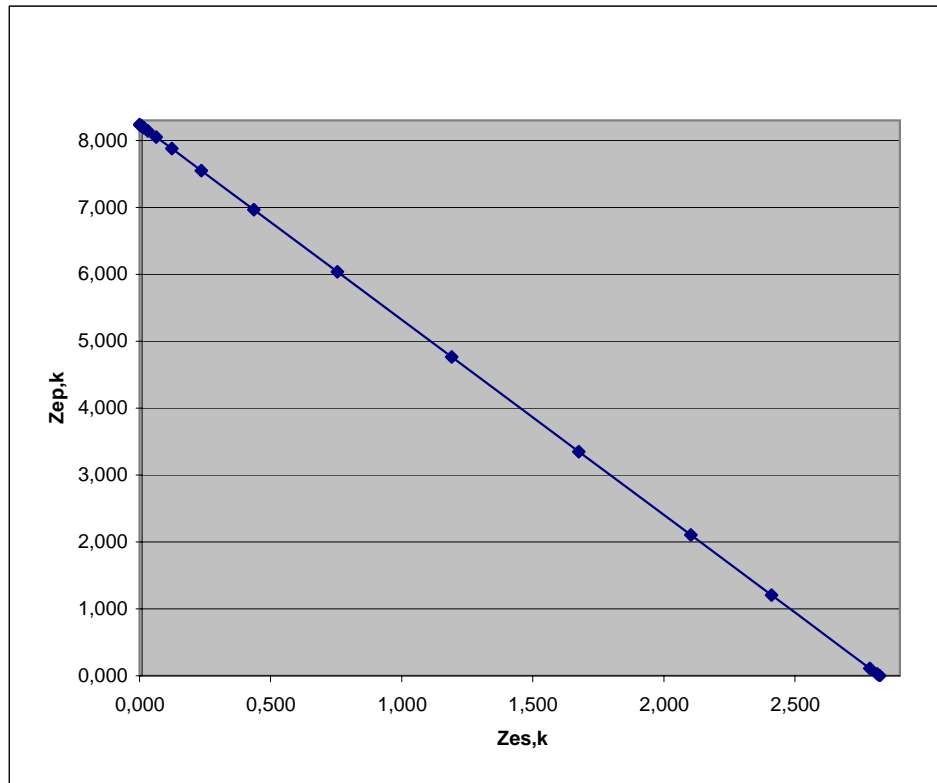
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	fZd	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,159	2,823	0,000
	0,01	0,159	2,814	0,028
	0,04	0,161	2,785	0,111
	0,50	0,186	2,410	1,205
Zp = Zs	1,00	0,213	2,103	2,103
	2,00	0,268	1,675	3,350
	4,00	0,376	1,191	4,763
	8,00	0,594	0,754	6,036
	16,00	1,029	0,435	6,967
	32,00	1,900	0,236	7,549
	64,00	3,642	0,123	7,878
	128,00	7,124	0,063	8,053
	256,00	14,090	0,032	8,144
	512,00	28,021	0,016	8,190
Zs = 0	1024,00	55,883	0,008	8,214
	2048,00	111,606	0,004	8,225
	10000000,00	544177,997	0,000	8,237

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung KG-09-028	Seite 13

c1 = 8,237 c2 = 2,917


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



2.4.2 Halber Wind, Lastfall F

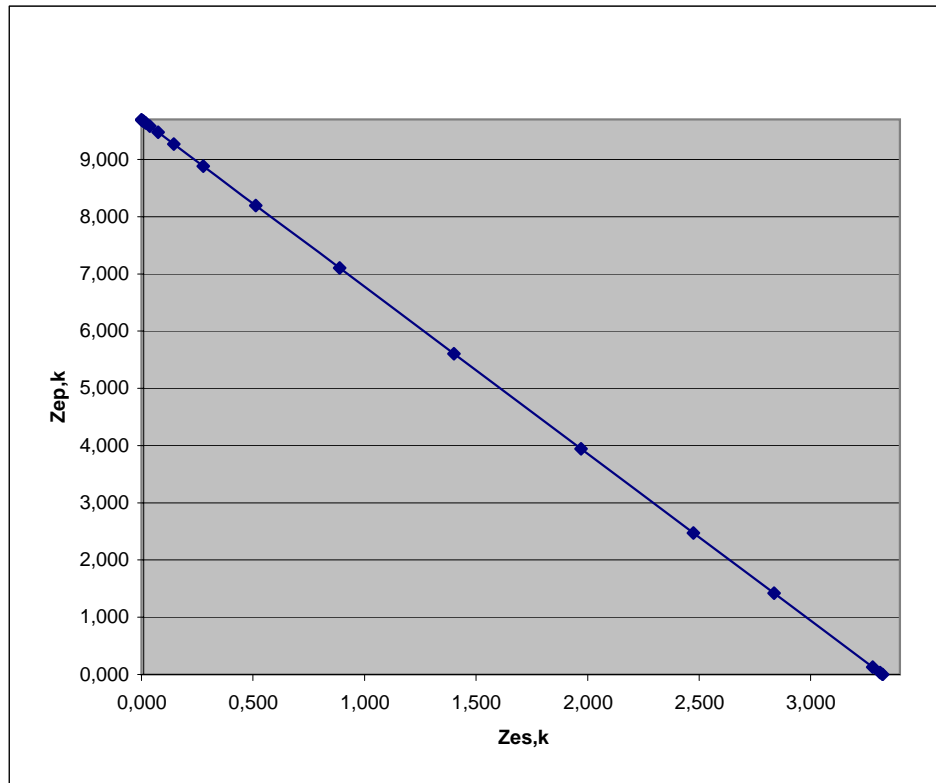
F1	Gewicht		0,181
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * 0,707 * F1$	0,086
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * 0,707 * F3$	0,021

	az	fZe	Zes,k	Zep,k	
$Z_p = 0$	0,00	0,159	3,322	0,000	
	0,01	0,159	3,311	0,033	
	0,04	0,161	3,277	0,131	
	0,50	0,186	2,836	1,418	
$Z_p = Z_s$	1,00	0,213	2,474	2,474	
	2,00	0,268	1,971	3,942	
	4,00	0,376	1,401	5,605	
	8,00	0,594	0,888	7,103	
	16,00	1,029	0,512	8,198	
	32,00	1,900	0,278	8,883	
	64,00	3,642	0,145	9,270	
	128,00	7,124	0,074	9,477	
	256,00	14,090	0,037	9,584	
	512,00	28,021	0,019	9,638	
	1024,00	55,883	0,009	9,665	
	2048,00	111,606	0,005	9,679	
	$Z_s = 0$	10000000,00	544177,997	0,000	9,693

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-028

$$c1 = 9,693 \quad c2 = 2,917$$

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



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	0,181
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,000

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,158763$$


$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,054418$$

$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

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

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-028

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 $maxM_b = Z_p * b_t * (h + 0,5 * t_1) / 7 / b_1$

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


$$f_{zd} = \frac{b_t * W_1}{3,5 * b_1 * W_{Zopf}} f_{zs,d} + f_{zp,d} = 0,129$$

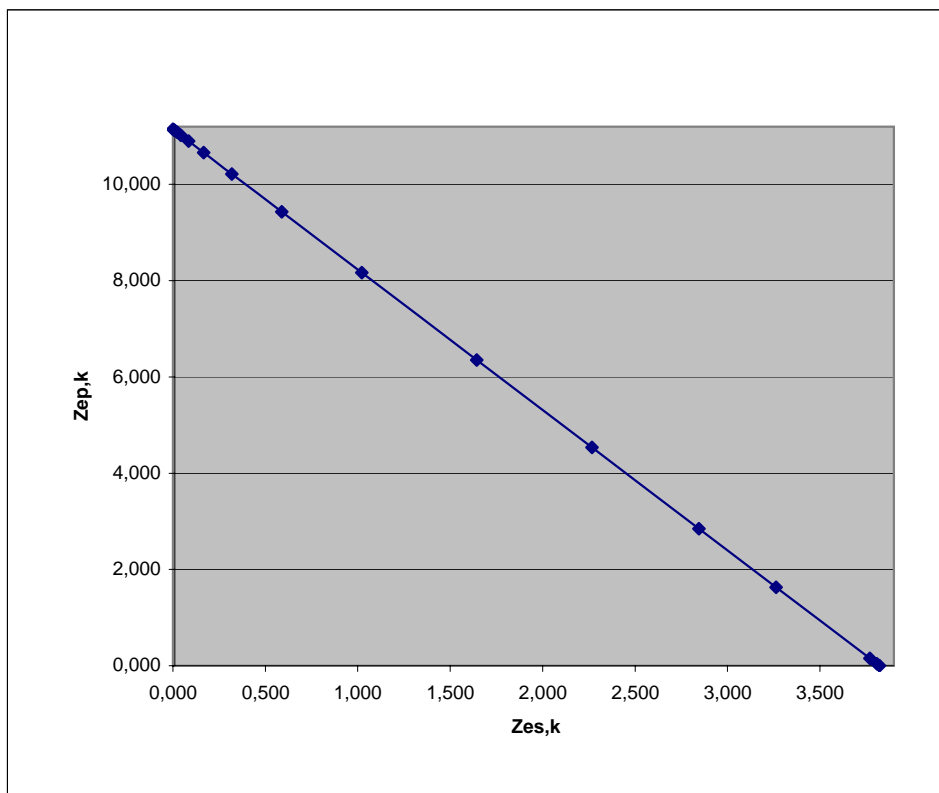
$max Z_p = (1 - F_1) / f_{zd} = 6,353 \text{ kN}$


	az	fZ,d	Zes,k	Zep,k
Zp = 0	0,00	0,159	3,821	0,000
	0,01	0,159	3,808	0,038
	0,04	0,161	3,770	0,151
	0,50	0,186	3,262	1,631
	1,00	0,213	2,846	2,846
Zp = Zs	2,00	0,268	2,267	4,534
	3,865	0,369	1,644	6,353
	8,00	0,594	1,021	8,169
	16,00	1,029	0,589	9,429
	32,00	1,900	0,319	10,217
	64,00	3,642	0,167	10,663
	128,00	7,124	0,085	10,900
	256,00	14,090	0,043	11,023
	512,00	28,021	0,022	11,085
	1024,00	55,883	0,011	11,117
Zs = 0	2048,00	111,606	0,005	11,133
	10000000,00	544177,997	0,000	11,149

c1 = 11,149 c2 = 2,917

Zp,k = c1 - c2 * Zs,k

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 16
	Statische Berechnung KG-09-028	



	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 17
	Statische Berechnung	KG-09-028

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

$$\mathbf{ZNp} = \mathbf{c1} - \mathbf{c2} * \mathbf{ZNs} \qquad \text{mit } \mathbf{c2} = \mathbf{2,917}$$

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 _⊥ (y)	10,345			10,747		
WT, W	⊥	ZNs = ZN (x)		2,685	2,823		3,253	3,322
		ZNp = ZN _⊥ (y) bzw. c1	10,345	7,834	8,237	10,747	9,492	9,693
WA		ZNp = ZN (x) bzw. c1		10,345	8,237		10,747	9,693
		ZNs = ZN _⊥ (y)	2,685		2,823	3,253		3,322
WE		ZNp = ZN (x) bzw. c1	7,834	10,345	8,237	9,492	10,747	9,693
		ZNs = ZN _⊥ (y)	2,685		2,823	3,253		3,322

Masttyp	Richtung der A-Mastebene	Charakteristischer Nutzzug [kN]	Lastfall
			H [kN]
WA		ZNp = ZN (x)	6,353
		ZNs = ZN _⊥ (y)	

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1024 DIN 48 351					Pos. 2. Seite 18
	Statische Berechnung					KG-09-028

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	10,345	10,747	7,834	9,492	8,237	9,693	11,149

c2	2,917
----	-------

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	10,345	10,747	7,834	9,492	8,237	9,693	6,353
max ZNs für ZNp = 0	3,546	3,684	2,685	3,253	2,823	3,322	2,178