 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351		Pos. 0.
			Seite 1
Statische Berechnung		KG-09-029	Seiten 1
			31.08.2009

A-Hozmast-1125.xls

1125 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 Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 1. Seite 1 Seiten 1
	Statische Berechnung	KG-09-029

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

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351		Pos. 2. Seite 1 Seiten 18
	Statische Berechnung	KG-09-029	31.08.2009


A-Hozmast-1125.xls

2. Mastberechnung

2.1 Allgemeine Werte

2.1.1 Mastabmessungen

Gestänge	l	[m]	11
Kurzzeichen des Mastes			1125
Materialnummer			
freie Länge (ca.)	h	[m]	9,00
Eingrabetiefe	t ₁	[m]	2,00
Tiefe bis zur Zange	t ₂	[m]	1,75
Durchmesser (min)			
Zopfdurchmesser	z	[mm]	180
Fußdurchmesser	f	[mm]	250
Durchmesser am Stangenende	$f_u = f + 1,5 * a_n$	[mm]	261
Nenngröße nach DIN 48351			11 x 25
Spreizung der A-Maste			
	b ₁	[m]	2,10
	b ₂	[m]	1,77
Zange			
	Ø i	[cm]	19
	b ₃	[m]	3,3
Länge (ca.) des Mittelriegels	a _R	[cm]	80
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]	7,37
Durchmesser am Erdaustritt	$f_e = f - 0,5 * a_n$	[mm]	246
Durchmesser in Mitte der freien Mastlänge	$D = f - (0,5 + 0,5 * h) * a_n$	[mm]	213
Durchmesser in halber Eingrabetiefe	$D_e = f_e + 0,5 * t_1 * a_n$	[mm]	254
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]	219

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 2
	Statische Berechnung	KG-09-029

Knickdurchmesser	$D_k = z + 0,65 * s_k * a_n$	[mm]	226
Querschnitt einer Stange	$A_1 = \pi * D_e^2 / 4$	[cm ²]	505,2
Widerstandsmoment einer Stange	$W_1 = \pi * D_e^3 / 32$	[cm ³]	1602
Widerstandsmoment einer Stange am Zopf	$W_{Zopf} = \pi * D_{Zopf}^3 / 32$	[cm ³]	572,265

Gewichtskräfte

	$V = 1,1 * \pi * (z^2 + fu^2) * (h + t_1) / 4$		0,955
Gewicht der Stangen	$G_{St} = V * \gamma_H$	[kN]	5,730
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]	3,700
Gewicht des Riegelholzes: angenommen	GR	[kN]	0,100
Gewicht Mast ohne Zangen, anteilig am Kopf angreifend	$FGM = 0,5 * G_{St} + GK + GR$	[kN]	6,665
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]	4,499
	$\sigma_{NG,d} = NG_{,d} / A_1$	[kN/cm ²]	0,009

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]	0,627

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]	43
	$a = a_R + D$	[cm]	101
	C_{Mast}		0,7

Bereich 1: $h \leq 7m$

Windlast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

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

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

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 3
	Statische Berechnung	KG-09-029

h_1	[m]	7,00
$bo_1 = fe - 7 * an$	[m]	0,19
$bu_1 = fe$	[m]	0,25
FW_{11}	[kN]	0,46
FW_{12}	[kN]	0,08
FW_1	[kN]	0,54

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]	0,18
$bu_2 = bo_1$	[m]	0,19
FW_{21}	[kN]	0,28
FW_{22}	[kN]	0,011
FW_2	[kN]	0,29

Gesamtwindlast Mast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt

$$FWM_s = FW_1 + FW_2 \quad [kN] \quad 0,83$$

Wind auf den Riegel:

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

Winf auf die Kopfausrüstung:

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

Gesamte Windlast

$$FW_s = FWM_s + FWR_s + FWK_s \quad [kN] \quad 1,23$$

Biegemoment, Wind


$$MWS,d = 0,5 * FW_s * (h + 0,5 * t_1) * 1 \quad [kNcm] \quad 833,1$$

$$\sigma MWS,d = MWS,d / W_1 \quad [kN/cm^2] \quad 0,520$$

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]	1900
Stab mit veränderlichem Querschnitt			
Mittlerer Trägheitsradius	$i_{mittel} = D_k / 4$	[cm]	5,64

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 4
	Statische Berechnung	KG-09-029

Schlankheitsgrad $\lambda_s = l_{s_{ef}} / i_{mittel}$ 337

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 5,755$$

für Vollholz β_c 0,2

$$k = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] \quad 17,61$$

$$k_c = \min \left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} ; 1 \right) \quad kc,s \quad 0,0292$$

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] 43

$6 * D$ [cm] 128

Abstand zwischen zwei Maststangen auf halber Höhe des Stützpunktes $a = a_R + D$ [cm] 101

$C2_{Mast}$ 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)

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

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

h_1 [m] 7,00


$bo_1 = fe - 7 * an$ [m] 0,19

$bu_1 = fe$ [m] 0,25

FW_{11} [kN] 0,35

FW_{12} [kN] 0,06

FW_1 [kN] 0,41

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 5
	Statische Berechnung	KG-09-029

Bereich 2: $h > 7m$

Windlast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

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

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

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

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

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

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

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

$$FW_2 \quad [kN] \quad 0,23$$

Gesamtwindlast Mast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

$$FWM_p = FW \cdot [kN] \quad 0,63$$

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

$$FW_p = FWM_p + FWR_p + FWK_p \quad [kN] \quad 0,88$$

Längskraft aus Wind

$$NW_{p,d} = FW_p * (h + t_2) / b_1 * 1,35 \quad [kN] \quad 6,108$$

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

Knicklänge

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

Stab mit veränderlichem Querschnitt

Mittlerer Trägheitsradius

$$i_{mittel} = D_k / 4 \quad [cm] \quad 5,64$$

Schlankheitsgrad

$$\lambda_s = l_{p,ef} / i_{mittel} \quad 169$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 2,878$$

für Vollholz

$$\beta_c \quad 0,2$$


$$k = 0,5 * \left[1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2 \right] \quad 4,90$$

$$k_c = \min \left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}; 1 \right) \quad kc,p \quad 0,1128$$

$$F1 = \sigma_{NG,d} / kc,s / fc,d \quad 0,199$$

$$F2 = \sigma_{MWS,d} / fm,d \quad 0,260$$

$$F3 = \sigma_{NW_{p,d}} / kc,p / fc,d \quad 0,070$$

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 6
	Statische Berechnung	KG-09-029

$$fZ_{s,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,156056$$

$$fZ_{p,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,058560$$

$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

$$fZ_{,d} = fZ_{s,d} + \alpha_z * fZ_{p,d}$$

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

2.2 Windbelastungelastung 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	0,199
F2	Wind senkrecht	0,260
F3	Wind parallel	0,000

$$fZ_{s,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,156056$$

$$fZ_{p,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,058560$$

$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

$$fZ_{,d} = fZ_{s,d} + \alpha_z * fZ_{p,d}$$

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

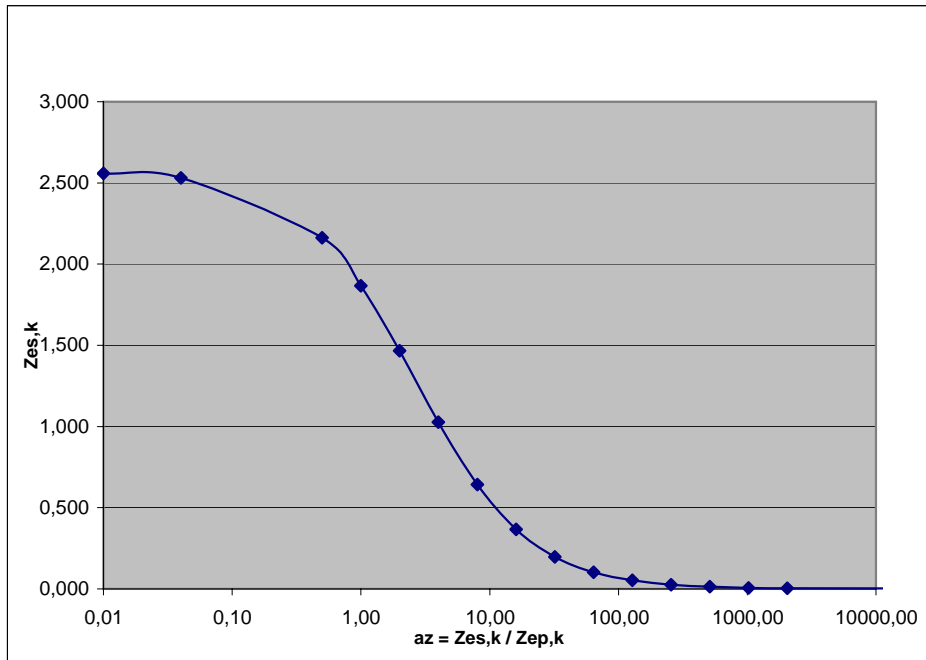
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,156	2,568	0,000
	0,01	0,157	2,559	0,026
	0,04	0,158	2,530	0,101
	0,50	0,185	2,163	1,081
	1,00	0,215	1,868	1,868
Zp = Zs	2,00	0,273	1,467	2,934
	4,00	0,390	1,027	4,108
	8,00	0,625	0,642	5,134
	16,00	1,093	0,367	5,867
	32,00	2,030	0,197	6,318
	64,00	3,904	0,103	6,571
	128,00	7,652	0,052	6,705
	256,00	15,148	0,026	6,774
	512,00	30,139	0,013	6,809
	1024,00	60,122	0,007	6,827
Zs = 0	2048,00	120,088	0,003	6,835
	10000000,00	585604,129	0,000	6,844



20 - kV - Mittelspannungsmaste
Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz)
 A-Mast 1125 DIN 48 351

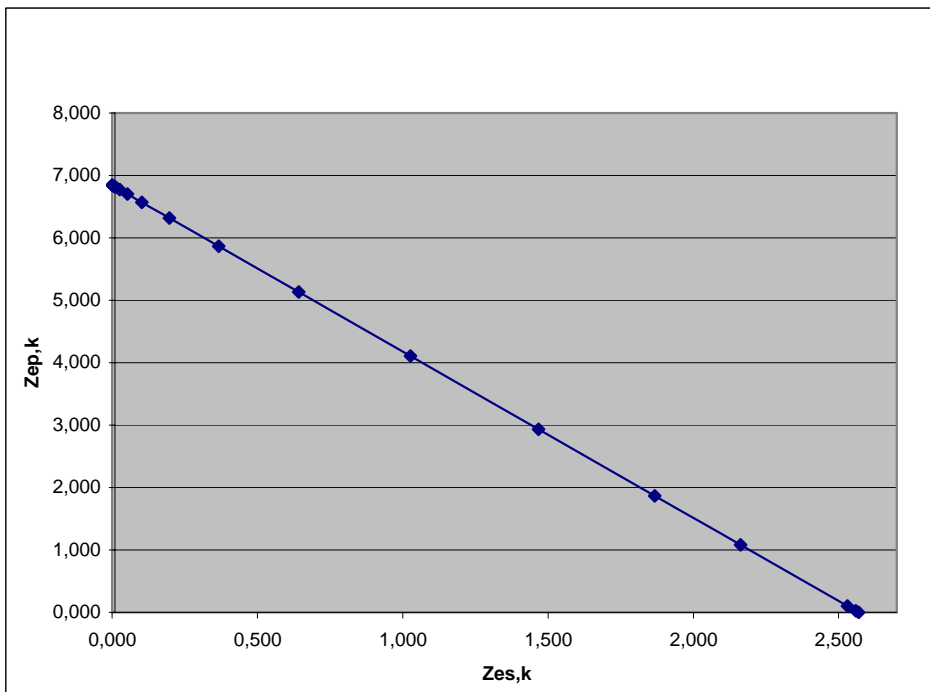
Pos.	2.
Seite	7
Statische Berechnung	
KG-09-029	
31.08.2009	




c1 = 6,844

c2 = 2,665

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



 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 8
	Statische Berechnung	KG-09-029

2.2.2 Halber Wind

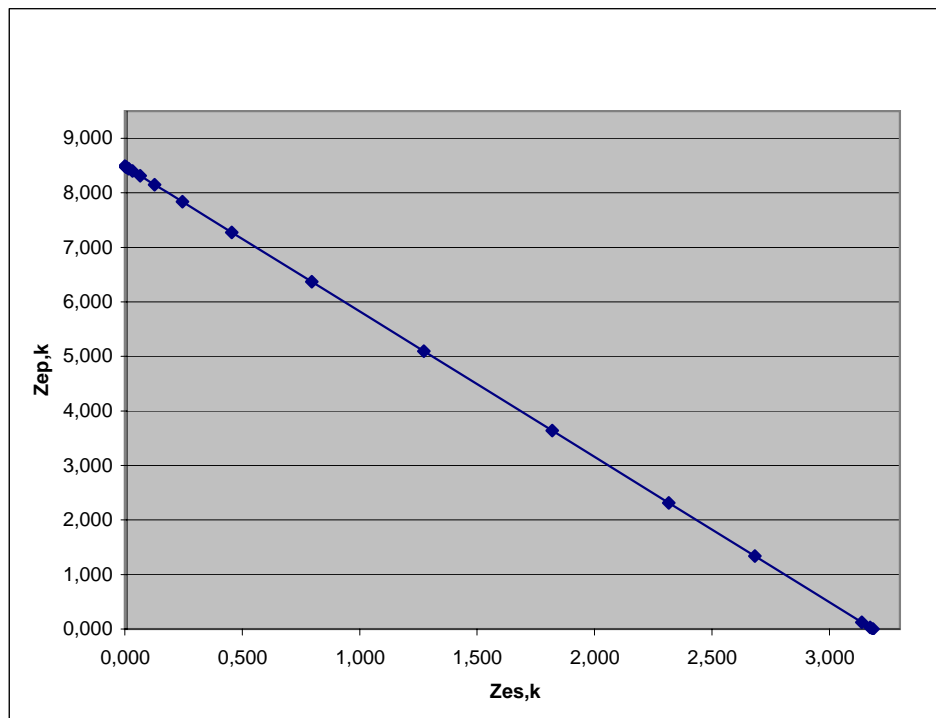
F1	Gewicht		0,199
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * F1$	0,130
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * F3$	0,000


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

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,156	3,185	0,000
	0,01	0,157	3,174	0,032
	0,04	0,158	3,138	0,126
	0,50	0,185	2,682	1,341
Zp = Zs	1,00	0,215	2,316	2,316
	2,00	0,273	1,820	3,639
	4,00	0,390	1,274	5,095
	8,00	0,625	0,796	6,368
	16,00	1,093	0,455	7,277
	32,00	2,030	0,245	7,836
	64,00	3,904	0,127	8,150
	128,00	7,652	0,065	8,316
	256,00	15,148	0,033	8,401
	512,00	30,139	0,016	8,445
	1024,00	60,122	0,008	8,467
Zs = 0	2048,00	120,088	0,004	8,478
	10000000,00	585604,129	0,000	8,489

c1 = 8,489 c2 = 2,665

Zp,k = c1 - c2 * Zs,k



 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 9
	Statische Berechnung	KG-09-029

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	0,199
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,070

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,156056$$

$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,058560$$


$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

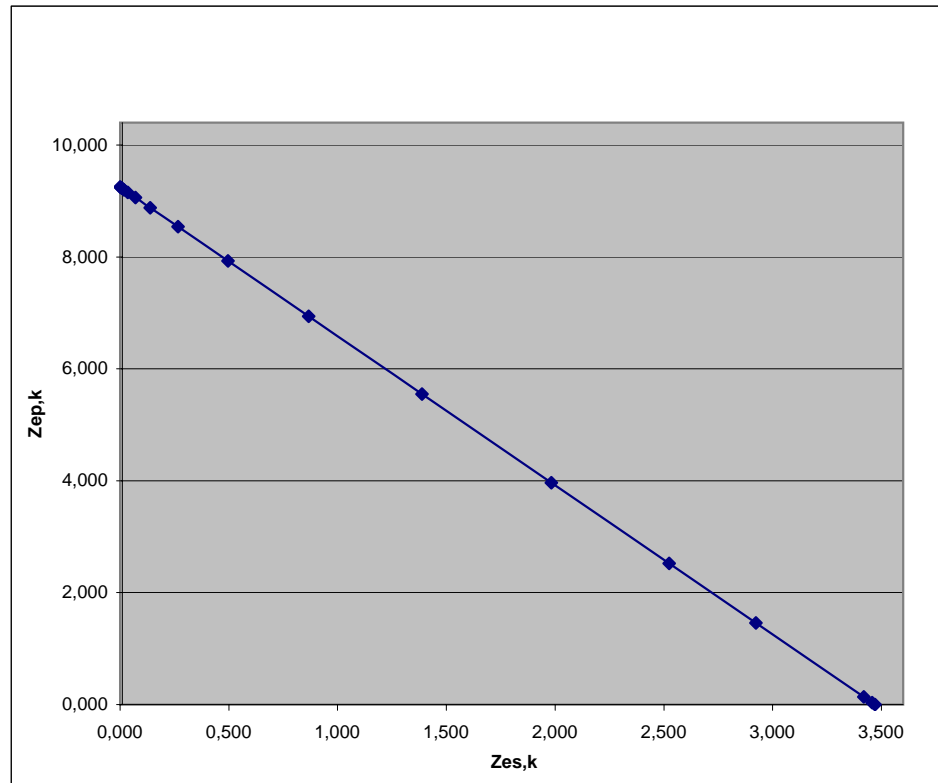
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,156	3,471	0,000
	0,01	0,157	3,458	0,035
	0,04	0,158	3,420	0,137
	0,50	0,185	2,923	1,461
Zp = Zs	1,00	0,215	2,524	2,524
	2,00	0,273	1,983	3,966
	4,00	0,390	1,388	5,551
	8,00	0,625	0,867	6,938
	16,00	1,093	0,496	7,929
	32,00	2,030	0,267	8,538
	64,00	3,904	0,139	8,880
	128,00	7,652	0,071	9,061
	256,00	15,148	0,036	9,154
	512,00	30,139	0,018	9,202
Zs = 0	1024,00	60,122	0,009	9,225
	2048,00	120,088	0,005	9,237
	10000000,00	585604,129	0,000	9,249

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351		Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-029	Seite 10

$$c1 = 9,249 \quad c2 = 2,665$$


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



2.3.2 Halber Wind

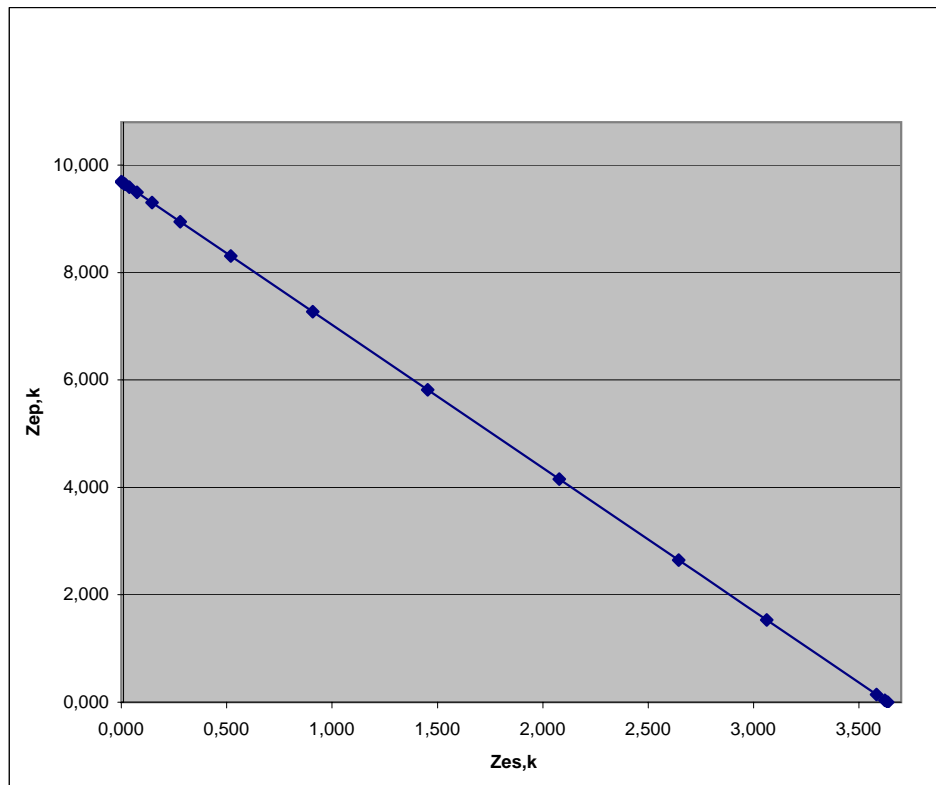
F1	Gewicht		0,199
F2	Wind senkrecht	F2 = 0,5 * F1	0,000
F3	Wind parallel	F3 = 0,5 * F3	0,035

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,156	3,637	0,000
	0,01	0,157	3,623	0,036
	0,04	0,158	3,583	0,143
	0,50	0,185	3,062	1,531
Zp = Zs	1,00	0,215	2,644	2,644
	2,00	0,273	2,078	4,155
	4,00	0,390	1,454	5,816
	8,00	0,625	0,909	7,270
	16,00	1,093	0,519	8,308
	32,00	2,030	0,280	8,946
	64,00	3,904	0,145	9,304
	128,00	7,652	0,074	9,494
	256,00	15,148	0,037	9,592
	512,00	30,139	0,019	9,641
	1024,00	60,122	0,009	9,666
	2048,00	120,088	0,005	9,679
Zs = 0	10000000,00	585604,129	0,000	9,691

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-029


$$c1 = 9,691 \quad c2 = 2,665$$

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



Bemessung des Hartholzdübels

	$\max Z_{p,d}$	[kN]	13,083
	$H_d = \max Z_{p,d} + 0,5 * F_{Wp} * 1,35$	[kN]	13,680
	$V_d = H_d * (h + t_2) / b_1$	[kN]	70,028
Schub	$t_d = V_d / v / m$	[kN/cm ²]	0,216
	$t_d / f_{v,d} \leq 1$		0,954

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 12
	Statische Berechnung	KG-09-029

	$Z_{p,d} = b1 * v * m * f_{v,d} / (h + t2) - 0,5 * FWp * 1,35$	[kN]	13,750
Dübel wird nicht maßgebend	$Z_{p,k} = Z_d / 1,35$	[kN]	10,185
Druck	$sd = 2 * V_d / n / v$	[kN/cm ²]	0,973
	$sd / f_{c,0,d} \leq 1$		0,634

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		0,199
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,707 * F1$	0,184
F3	Wind parallel	$F3 = 0,707 * F3$	0,049

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,156056$$

$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,058560$$


$$az = Zp / Zs$$

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

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

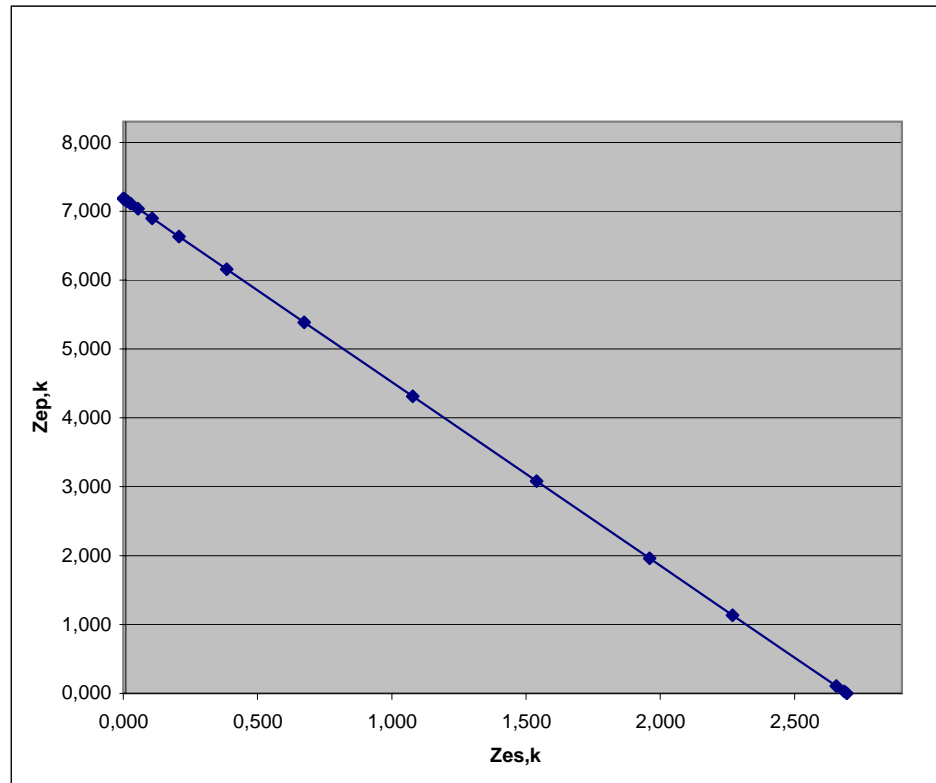
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	fZd	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,156	2,695	0,000
	0,01	0,157	2,685	0,027
	0,04	0,158	2,656	0,106
	0,50	0,185	2,270	1,135
Zp = Zs	1,00	0,215	1,960	1,960
	2,00	0,273	1,540	3,080
	4,00	0,390	1,078	4,311
	8,00	0,625	0,674	5,388
	16,00	1,093	0,385	6,158
	32,00	2,030	0,207	6,631
	64,00	3,904	0,108	6,896
	128,00	7,652	0,055	7,037
	256,00	15,148	0,028	7,109
	512,00	30,139	0,014	7,146
Zs = 0	1024,00	60,122	0,007	7,164
	2048,00	120,088	0,004	7,174
	10000000,00	585604,129	0,000	7,183

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-029

$$c1 = 7,183 \qquad c2 = 2,665$$


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



2.4.2 Halber Wind, Lastfall F

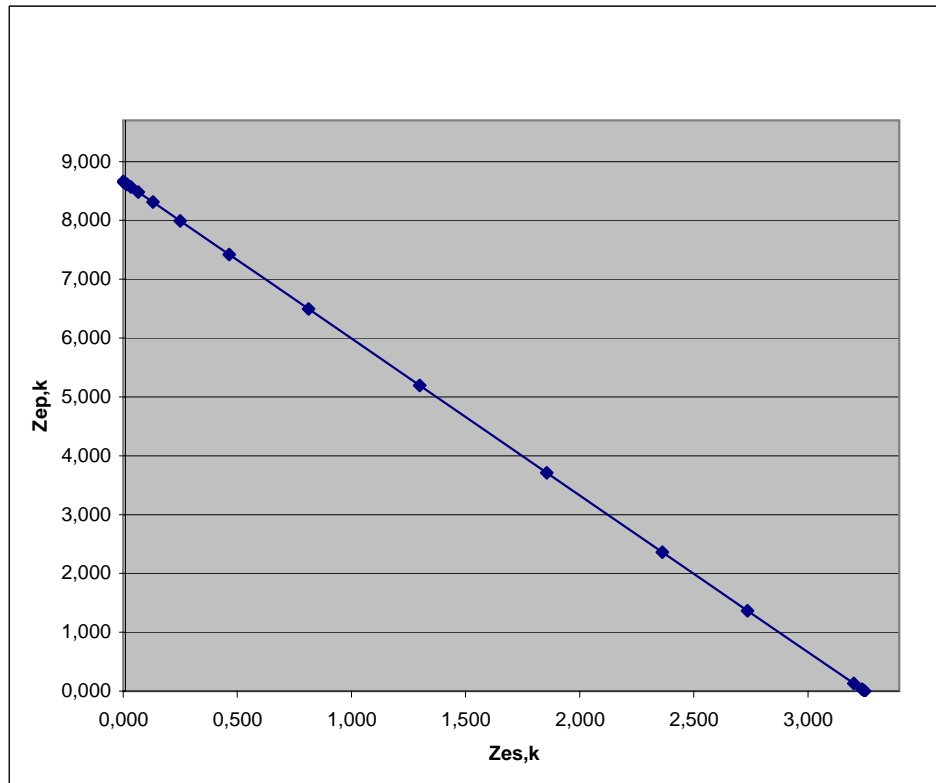
F1	Gewicht		0,199
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * 0,707 * F1$	0,092
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * 0,707 * F3$	0,025

	az	fZe	Zes,k	Zep,k
Z _p = 0	0,00	0,156	3,249	0,000
	0,01	0,157	3,237	0,032
	0,04	0,158	3,201	0,128
	0,50	0,185	2,736	1,368
Z _p = Z _s	1,00	0,215	2,362	2,362
	2,00	0,273	1,856	3,712
	4,00	0,390	1,299	5,196
	8,00	0,625	0,812	6,495
	16,00	1,093	0,464	7,422
	32,00	2,030	0,250	7,993
	64,00	3,904	0,130	8,312
	128,00	7,652	0,066	8,482
	256,00	15,148	0,033	8,569
	512,00	30,139	0,017	8,613
Z _s = 0	1024,00	60,122	0,008	8,636
	2048,00	120,088	0,004	8,647
	10000000,00	585604,129	0,000	8,658

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-029

$$c1 = 8,658 \quad c2 = 2,665$$

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



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	0,199
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,000

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,156056$$


$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,058560$$

$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

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

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-029

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

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


$$f_{zd} = \frac{b_t * W_1}{3,5 * b_1 * W_{Zopf}} f_{zs,d} + f_{zp,d} = 0,133$$

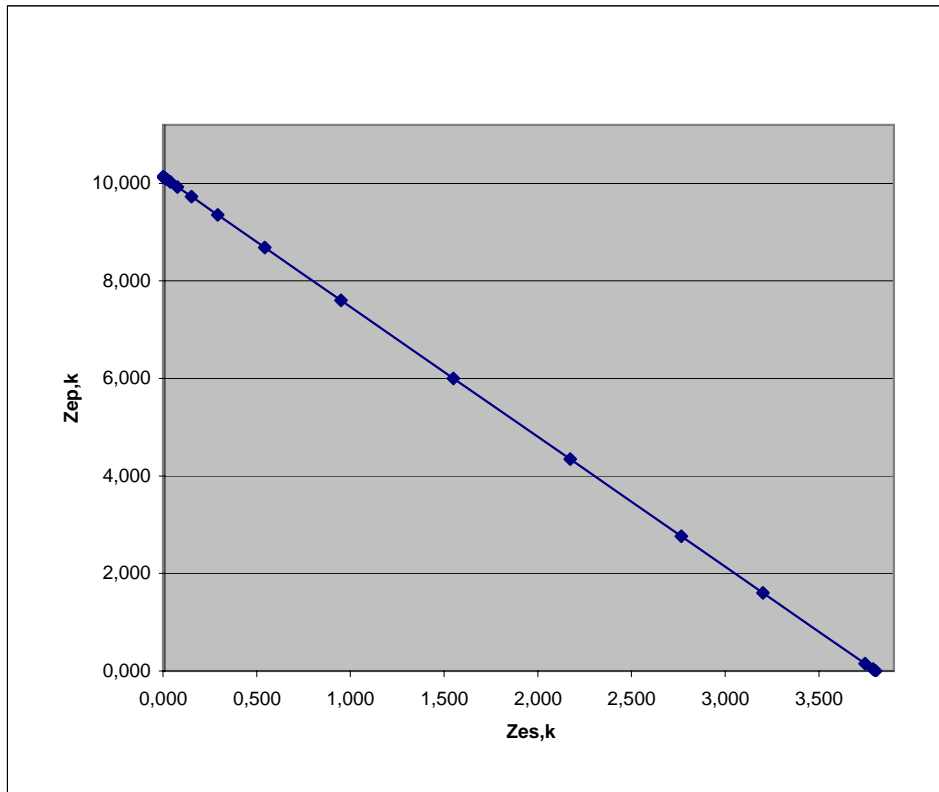
$max Z_p = (1 - F_1) / f_{zd} = 6,003 \text{ kN}$


	az	fZ,d	Zes,k	Zep,k
Zp = 0	0,00	0,156	3,803	0,000
	0,01	0,157	3,788	0,038
	0,04	0,158	3,746	0,150
	0,50	0,185	3,202	1,601
	1,00	0,215	2,765	2,765
Zp = Zs	2,00	0,273	2,172	4,345
	3,873	0,383	1,550	6,003
	8,00	0,625	0,950	7,601
	16,00	1,093	0,543	8,687
	32,00	2,030	0,292	9,354
	64,00	3,904	0,152	9,728
	128,00	7,652	0,078	9,927
	256,00	15,148	0,039	10,029
	512,00	30,139	0,020	10,081
	1024,00	60,122	0,010	10,107
Zs = 0	2048,00	120,088	0,005	10,120
	10000000,00	585604,129	0,000	10,133

$c1 = 10,133$ $c2 = 2,665$

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

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 16
	Statische Berechnung KG-09-029	



	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 17
	Statische Berechnung	KG-09-029

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

$$\mathbf{ZNp} = \mathbf{c1} - \mathbf{c2} * \mathbf{ZNs} \qquad \text{mit } \mathbf{c2} = \mathbf{2,665}$$

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)	9,249			9,691		
WT, W	⊥	ZNs = ZN (x)		2,568	2,695		3,185	3,249
		ZNp = ZN _⊥ (y) bzw. c1	9,249	6,844	7,183	9,691	8,489	8,658
WA		ZNp = ZN (x) bzw. c1		9,249	7,183		9,691	8,658
		ZNs = ZN _⊥ (y)	2,568		2,695	3,185		3,249
WE		ZNp = ZN (x) bzw. c1	6,844	9,249	7,183	8,489	9,691	8,658
		ZNs = ZN _⊥ (y)	2,568		2,695	3,185		3,249

Masttyp	Richtung der A-Mastebene	Charakteristischer Nutzzug [kN]	Lastfall
			H [kN]
WA		ZNp = ZN (x)	6,003
		ZNs = ZN _⊥ (y)	

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1125 DIN 48 351					Pos. 2. Seite 18
	Statische Berechnung					KG-09-029

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	9,249	9,691	6,844	8,489	7,183	8,658	10,133

c2	2,665
----	-------

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	9,249	9,691	6,844	8,489	7,183	8,658	6,003
max ZNs für ZNp = 0	3,471	3,637	2,568	3,185	2,695	3,249	2,253