 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351		Pos. 0. Seite 1 Seiten 1
	Statische Berechnung	KG-09-034	31.08.2009

A-Hozmast-1428.xls

1428 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 1428 DIN 48 351	Pos. 1. Seite 1 Seiten 1
	Statische Berechnung	KG-09-034

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

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351		Pos. 2. Seite 1 Seiten 18
	Statische Berechnung	KG-09-034	31.08.2009


A-Hozmast-1428.xls

2. Mastberechnung

2.1 Allgemeine Werte

2.1.1 Mastabmessungen

Gestänge	l	[m]	14
Kurzzeichen des Mastes			1428
Materialnummer			
freie Länge (ca.)	h	[m]	12,00
Eingrabetiefe	t ₁	[m]	2,00
Tiefe bis zur Zange	t ₂	[m]	1,75
Durchmesser (min)			
Zopfdurchmesser	z	[mm]	190
Fußdurchmesser	f	[mm]	280
Durchmesser am Stangenende	$f_u = f + 1,5 * a_n$	[mm]	291
Nenngröße nach DIN 48351			14 x 28
Spreizung der A-Maste			
	b ₁	[m]	2,65
	b ₂	[m]	2,32
Zange			
	Ø i	[cm]	19
	b ₃	[m]	3,6
Länge (ca.) des Mittelriegels	a _R	[cm]	105
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]	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]	7,20
Durchmesser am Erdaustritt	$f_e = f - 0,5 * a_n$	[mm]	276
Durchmesser in Mitte der freien Mastlänge	$D = f - (0,5 + 0,5 * h) * a_n$	[mm]	233
Durchmesser in halber Eingrabetiefe	$D_e = f_e + 0,5 * t_1 * a_n$	[mm]	284
Knicklänge	$s_k = h - 0,5 + 0,5 * t_1$	[m]	12,50
Durchmesser in Mitte der Knicklänge	$D_m = z + (0,5 + 0,5 * s_k) * a_n$	[mm]	239

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 2
	Statische Berechnung	KG-09-034

Knickdurchmesser	$D_k = z + 0,65 * s_k * a_n$	[mm]	249
Querschnitt einer Stange	$A_1 = \pi * D_e^2 / 4$	[cm ²]	631,4
Widerstandsmoment einer Stange	$W_1 = \pi * D_e^3 / 32$	[cm ³]	2238
Widerstandsmoment einer Stange am Zopf	$W_{Zopf} = \pi * D_{Zopf}^3 / 32$	[cm ³]	673,039375

Gewichtskräfte

	$V = 1,1 * \pi * (z^2 + fu^2) * (h + t_1) / 4$		1,459
Gewicht der Stangen	$G_{St} = V * \gamma_H$	[kN]	8,752
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] 3,400
	Gewicht des Riegelholzes: angenommen	GR	[kN] 0,100
Gewicht Mast ohne Zangen, anteilig am Kopf angreifend	$FGM = 0,5 * G_{St} + GK + GR$	[kN]	7,876
Gewicht der Zangen	$GZ = 2 * i^2 * \pi / 4 * b_3 * \gamma_H$	[kN]	1,224
Längskraft	$NG_{,d} = 0,5 * FGM * 1,35$	[kN]	5,316
	$\sigma_{NG,d} = NG_{,d} / A_1$	[kN/cm ²]	0,008

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]	0,636

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]	47
	$a = a_R + D$	[cm]	128
	C_{Mast}		0,7

Bereich 1: $h \leq 7m$

Windlast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

$$FW_{11} = C_{Mast} * q_1 * h_1 * 2 * b_{01} * 0,5 * h_1 / h$$

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

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 3
	Statische Berechnung	KG-09-034

h_1	[m]	7,00
$bo_1 = fe - 7 * an$	[m]	0,23
$bu_1 = fe$	[m]	0,28
FW_{11}	[kN]	0,40
FW_{12}	[kN]	0,06
FW_1	[kN]	0,46

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]	5,00
$bo_2 = z$	[m]	0,19
$bu_2 = bo_1$	[m]	0,23
FW_{21}	[kN]	0,67
FW_{22}	[kN]	0,058
FW_2	[kN]	0,73

Gesamtwindlast Mast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt

$$FWM_s = FW_1 + FW_2 \quad [kN] \quad 1,19$$

Wind auf den Riegel:

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

Winf auf die Kopfausrüstung:

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

Gesamte Windlast

$$FW_s = FWM_s + FWR_s + FWK_s \quad [kN] \quad 1,59$$

Biegemoment, Wind


$$MWS,d = 0,5 * FW_s * (h + 0,5 * t_1) * 1 \quad [kNcm] \quad 1393,8$$

$$\sigma MWS,d = MWS,d / W_1 \quad [kN/cm^2] \quad 0,623$$

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]	2500
Stab mit veränderlichem Querschnitt			
Mittlerer Trägheitsradius	$i_{mittel} = D_k / 4$	[cm]	6,21

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 4
	Statische Berechnung	KG-09-034

Schlankheitsgrad $\lambda_s = l_{s_{ef}} / i_{mittel}$ 402

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 6,872$$

für Vollholz β_c 0,2

$$k = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] \quad 24,77$$

$$k_c = \min \left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} ; 1 \right) \quad kc,s \quad 0,0206$$

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] 47

$6 * D$ [cm] 140

Abstand zwischen zwei Maststangen auf halber Höhe des Stützpunktes $a = a_R + D$ [cm] 128

$C2_{Mast}$ 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] 0,23

$bu_1 = fe$ [m] 0,28

FW_{11} [kN] 0,30

FW_{12} [kN] 0,04

FW_1 [kN] 0,35

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 5
	Statische Berechnung	KG-09-034

Bereich 2: $h > 7m$

Windlast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

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

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

$$h_2 = h - h_1 \quad [m] \quad 5,00$$

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

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

$$FW_{21} \quad [kN] \quad 0,50$$

$$FW_{22} \quad [kN] \quad 0,087$$

$$FW_2 \quad [kN] \quad 0,59$$

Gesamtwindlast Mast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

$$FWM_p = FW \cdot [kN] \quad 0,93$$

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

$$FW_p = FWM_p + FWR_p + FWK_p \quad [kN] \quad 1,18$$

Längskraft aus Wind

$$NW_{p,d} = FW_p * (h + t_2) / b_1 * 1,35 \quad [kN] \quad 8,298$$

$$\sigma_{NW_{p,d}} = NW_{p,d} / A_1 \quad [kN/cm^2] \quad 0,013$$

Knicklänge

$$l_{p,ef} = s_k \quad [cm] \quad 1250$$

Stab mit veränderlichem Querschnitt

Mittlerer Trägheitsradius

$$i_{mittel} = D_k / 4 \quad [cm] \quad 6,21$$

Schlankheitsgrad

$$\lambda_s = l_{s,ef} / i_{mittel} \quad 201$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 3,436$$

für Vollholz

$$\beta_c \quad 0,2$$


$$k = 0,5 * \left[1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2 \right] \quad 6,72$$

$$k_c = \min \left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}; 1 \right) \quad kc,p \quad 0,0801$$

$$F1 = \sigma_{NG,d} / kc,s / fc,d \quad 0,267$$

$$F2 = \sigma_{MWS,d} / fm,d \quad 0,311$$

$$F3 = \sigma_{NW_{p,d}} / kc,p / fc,d \quad 0,107$$

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 6
	Statische Berechnung	KG-09-034

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t_1) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,145206$$

$$f_{Zp,d} = (h + t_2) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,066925$$

$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

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

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

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	0,267
F2	Wind senkrecht	0,311
F3	Wind parallel	0,000

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t_1) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,145206$$

$$f_{Zp,d} = (h + t_2) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,066925$$


$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

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

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

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

	az	f _{Z,d}	Z _{s,k}	Z _{p,k}
Z _p = 0	0,00	0,145	2,153	0,000
	0,01	0,146	2,143	0,021
	0,04	0,148	2,114	0,085
	0,50	0,179	1,749	0,875
	1,00	0,212	1,473	1,473
Z _p = Z _s	2,00	0,279	1,120	2,240
	4,00	0,413	0,757	3,028
	8,00	0,681	0,459	3,674
	16,00	1,216	0,257	4,113
	32,00	2,287	0,137	4,374
	64,00	4,428	0,071	4,517
	128,00	8,712	0,036	4,593
	256,00	17,278	0,018	4,631
	512,00	34,411	0,009	4,651
	1024,00	68,676	0,005	4,660
Z _s = 0	2048,00	137,207	0,002	4,665
	10000000,00	669249,476	0,000	4,670

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 8
	Statische Berechnung	KG-09-034

2.2.2 Halber Wind

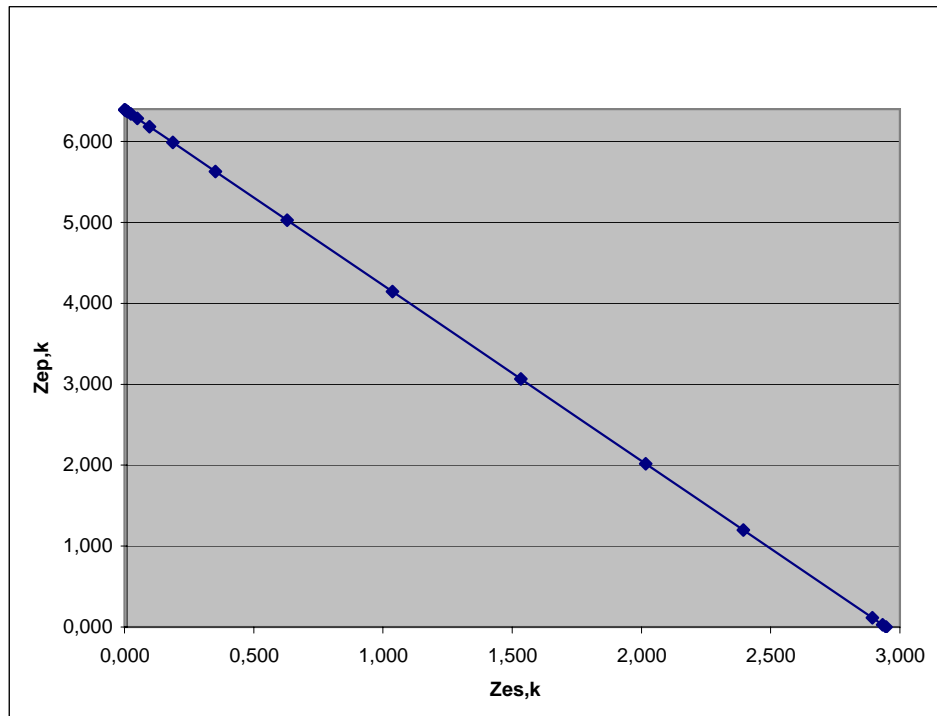
F1	Gewicht		0,267
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * F1$	0,156
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * F3$	0,000


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

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,145	2,947	0,000
	0,01	0,146	2,933	0,029
	0,04	0,148	2,893	0,116
	0,50	0,179	2,395	1,197
Zp = Zs	1,00	0,212	2,017	2,017
	2,00	0,279	1,533	3,067
	4,00	0,413	1,036	4,145
	8,00	0,681	0,629	5,029
	16,00	1,216	0,352	5,630
	32,00	2,287	0,187	5,987
	64,00	4,428	0,097	6,184
	128,00	8,712	0,049	6,287
	256,00	17,278	0,025	6,340
	512,00	34,411	0,012	6,366
Zs = 0	1024,00	68,676	0,006	6,380
	2048,00	137,207	0,003	6,387
	10000000,00	669249,476	0,000	6,393

c1 = 6,393 c2 = 2,170

Zp,k = c1 - c2 * Zs,k



 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 9
	Statische Berechnung	KG-09-034

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	0,267
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,107

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,145206$$

$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,066925$$


$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

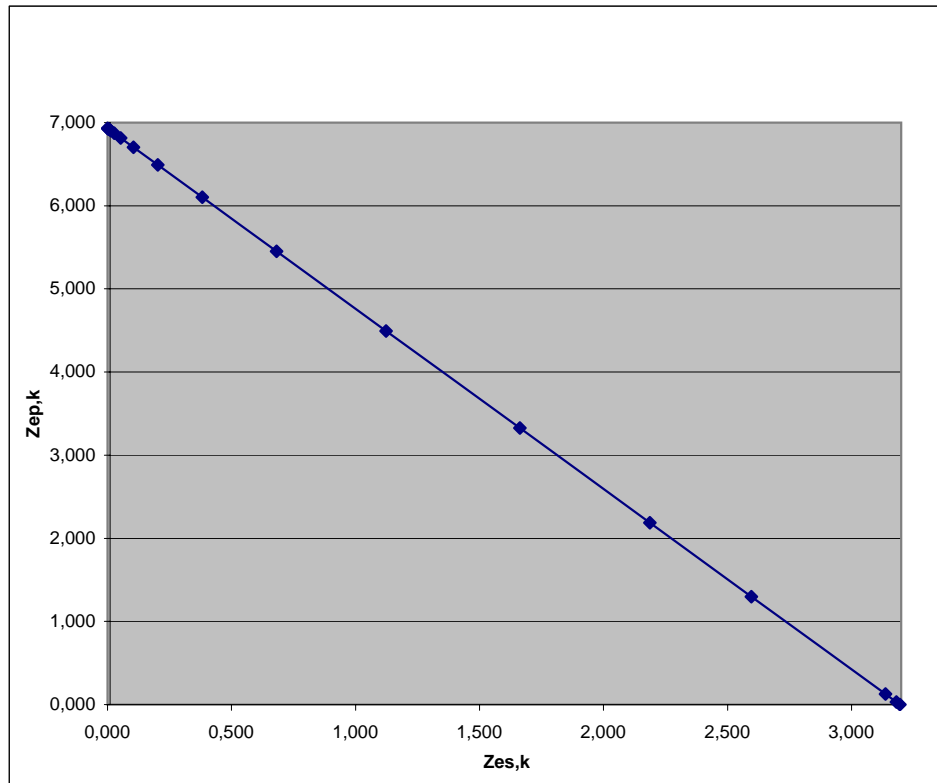
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,145	3,195	0,000
	0,01	0,146	3,180	0,032
	0,04	0,148	3,137	0,125
	0,50	0,179	2,597	1,298
Zp = Zs	1,00	0,212	2,187	2,187
	2,00	0,279	1,662	3,325
	4,00	0,413	1,124	4,494
	8,00	0,681	0,682	5,453
	16,00	1,216	0,382	6,104
	32,00	2,287	0,203	6,492
	64,00	4,428	0,105	6,705
	128,00	8,712	0,053	6,816
	256,00	17,278	0,027	6,874
	512,00	34,411	0,013	6,903
Zs = 0	1024,00	68,676	0,007	6,917
	2048,00	137,207	0,003	6,925
	10000000,00	669249,476	0,000	6,932

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-034

$c1 = 6,932 \quad c2 = 2,170$


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



2.3.2 Halber Wind

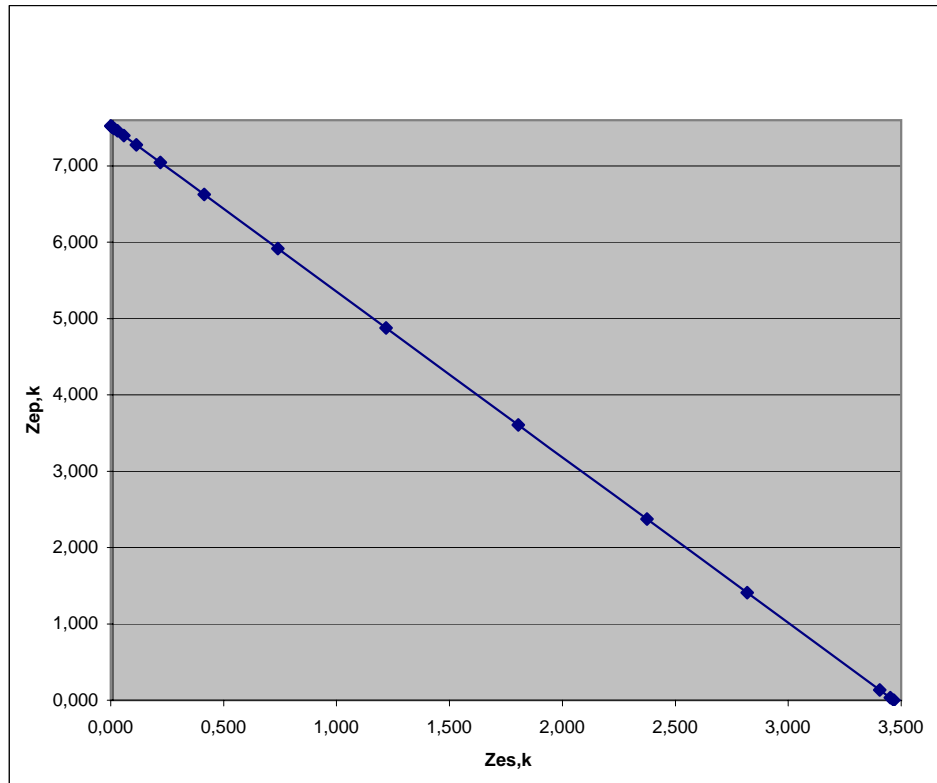
F1	Gewicht		0,267
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * F1$	0,000
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * F3$	0,054

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
$Z_p = 0$	0,00	0,145	3,468	0,000
	0,01	0,146	3,452	0,035
	0,04	0,148	3,405	0,136
	0,50	0,179	2,818	1,409
$Z_p = Z_s$	1,00	0,212	2,374	2,374
	2,00	0,279	1,805	3,609
	4,00	0,413	1,220	4,878
	8,00	0,681	0,740	5,919
	16,00	1,216	0,414	6,626
	32,00	2,287	0,220	7,046
	64,00	4,428	0,114	7,277
	128,00	8,712	0,058	7,399
	256,00	17,278	0,029	7,461
	512,00	34,411	0,015	7,492
$Z_s = 0$	1024,00	68,676	0,007	7,508
	2048,00	137,207	0,004	7,516
	10000000,00	669249,476	0,000	7,524

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-034


$$c1 = 7,524 \quad c2 = 2,170$$

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



Bemessung des Hartholzdübels

	$\max Z_{p,d}$	[kN]	10,158
	$H_d = \max Z_{p,d} + 0,5 * F_{Wp} * 1,35$	[kN]	10,957
	$V_d = H_d * (h + t_2) / b_1$	[kN]	56,854
Schub	$t_d = V_d / v / m$	[kN/cm ²]	0,150
	$t_d / f_{v,d} \leq 1$		0,660

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 12
	Statische Berechnung	KG-09-034

$Z_{p,d} = b_1 \cdot v \cdot m \cdot f_{v,d} / (h + t_2) - 0,5 \cdot FW_p \cdot 1,35$		[kN]	15,801
Dübel wird nicht maßgebend	$Z_{p,k} = Z_d / 1,35$	[kN]	11,704
Druck	$s_d = 2 \cdot V_d / n / v$	[kN/cm ²]	0,748
	$s_d / f_{c,0,d} \leq 1$		0,488

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		0,267
F2	Wind senkrecht	$F_2 = 0,707 \cdot F_1$	0,220
F3	Wind parallel	$F_3 = 0,707 \cdot F_3$	0,076

$$f_{Zs,d} = 0,5 \cdot (h + 0,5 \cdot t_1) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,145206$$

$$f_{Zp,d} = (h + t_2) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,066925$$


$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

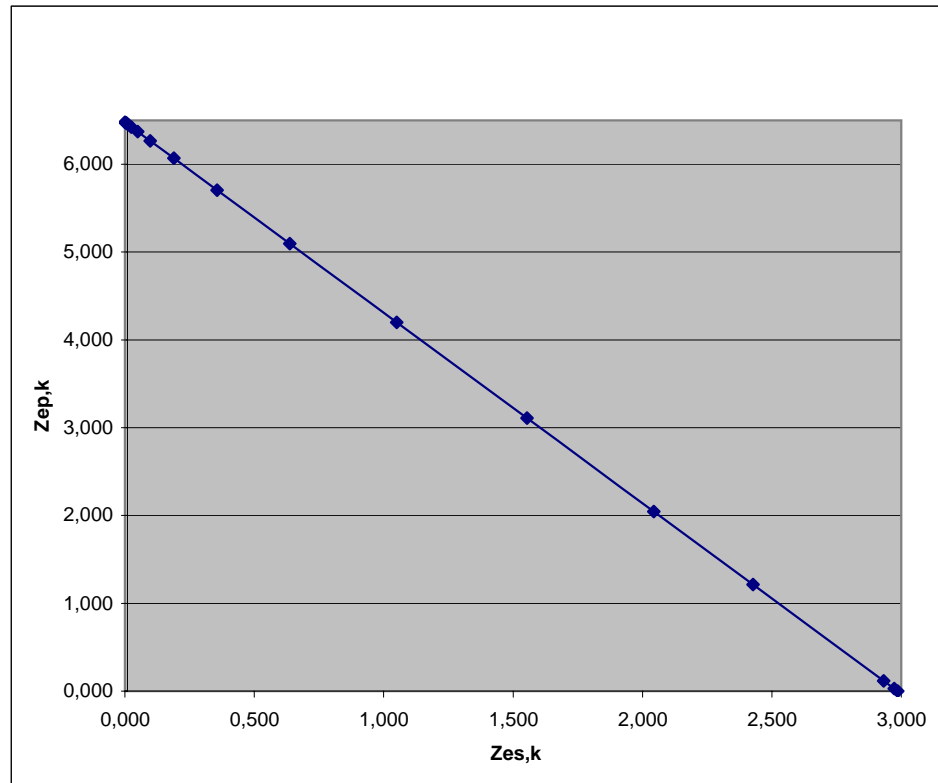
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	fZd	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,145	2,232	0,000
	0,01	0,146	2,222	0,022
	0,04	0,148	2,192	0,088
	0,50	0,179	1,814	0,907
Zp = Zs	1,00	0,212	1,528	1,528
	2,00	0,279	1,161	2,323
	4,00	0,413	0,785	3,140
	8,00	0,681	0,476	3,809
	16,00	1,216	0,267	4,264
	32,00	2,287	0,142	4,535
	64,00	4,428	0,073	4,684
	128,00	8,712	0,037	4,762
	256,00	17,278	0,019	4,802
	512,00	34,411	0,009	4,822
Zs = 0	1024,00	68,676	0,005	4,832
	2048,00	137,207	0,002	4,837
	10000000,00	669249,476	0,000	4,843

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-034

$$c1 = 6,480 \quad c2 = 2,170$$

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



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	0,267
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,000

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / fm,d \quad 0,145206$$


$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / kc,p / fc,d \quad 0,066925$$

$$az = Zp / Zs$$

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

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

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

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-034

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

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


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

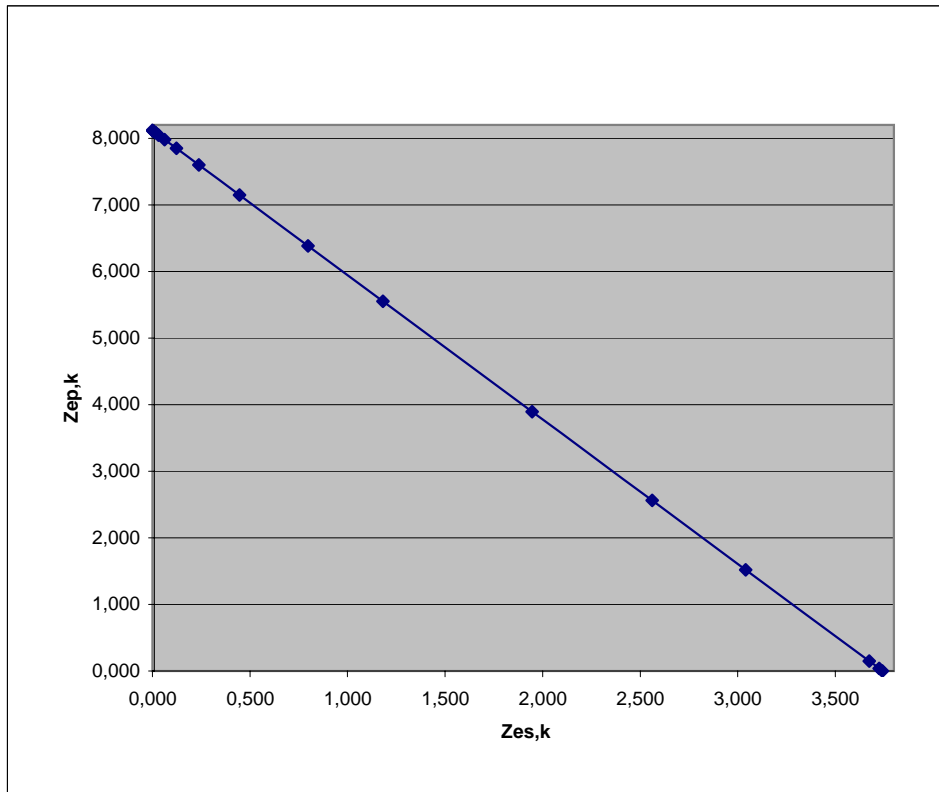
max $Z_p = (1 - F_1) / f_{zd}$ = 5,533 kN


	az	fZ,d	Zes,k	Zep,k
Zp = 0	0,00	0,145	3,741	0,000
	0,01	0,146	3,724	0,037
	0,04	0,148	3,673	0,147
	0,50	0,179	3,040	1,520
	1,00	0,212	2,561	2,561
Zp = Zs	2,00	0,279	1,947	3,893
	4,700	0,460	1,181	5,553
	8,00	0,681	0,798	6,385
	16,00	1,216	0,447	7,147
	32,00	2,287	0,238	7,601
	64,00	4,428	0,123	7,850
	128,00	8,712	0,062	7,981
	256,00	17,278	0,031	8,048
	512,00	34,411	0,016	8,082
	1024,00	68,676	0,008	8,099
Zs = 0	2048,00	137,207	0,004	8,108
	10000000,00	669249,476	0,000	8,117

c1 = 8,117 c2 = 2,170

Zp,k = c1 - c2 * Zs,k

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 16
	Statische Berechnung KG-09-034	



	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 17
	Statische Berechnung	KG-09-034

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

$$\mathbf{ZNp} = \mathbf{c1} - \mathbf{c2} * \mathbf{ZNs} \qquad \text{mit } \mathbf{c2} = \mathbf{2,170}$$

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)	6,932			7,524		
WT, W	⊥	ZNs = ZN (x)		2,153	2,232		2,947	2,986
		ZNp = ZN _⊥ (y) bzw. c1	6,932	4,670	4,843	7,524	6,393	6,480
WA		ZNp = ZN (x) bzw. c1		6,932	4,843		7,524	6,480
		ZNs = ZN _⊥ (y)	2,153		2,232	2,947		2,986
WE		ZNp = ZN (x) bzw. c1	4,670	6,932	4,843	6,393	7,524	6,480
		ZNs = ZN _⊥ (y)	2,153		2,232	2,947		2,986

Masttyp	Richtung der A-Mastebene	Charakteristischer Nutzzug [kN]	Lastfall
			H [kN]
WA		ZNp = ZN (x)	5,553
		ZNs = ZN _⊥ (y)	

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1428 DIN 48 351					Pos. 2. Seite 18
	Statische Berechnung					KG-09-034

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	6,932	7,524	4,670	6,393	4,843	6,480	8,117

c2	2,170
----	-------

Nachweis

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

$$\leq \text{Grenzwert} \geq 0$$

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	6,932	7,524	4,670	6,393	4,843	6,480	5,553
max ZNs für ZNp = 0	3,195	3,468	2,153	2,947	2,232	2,986	2,559