 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351		Pos. 0.
			Seite 1
Statische Berechnung		KG-09-037	Seiten 1
			31.08.2009

A-Hozmast-1630.xls

1630 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 1630 DIN 48 351	Pos. 1. Seite 1 Seiten 1
	Statische Berechnung	KG-09-037

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 1630 DIN 48 351		Pos. 2. Seite 1 Seiten 18
	Statische Berechnung	KG-09-037	31.08.2009


A-Hozmast-1630.xls

2. Mastberechnung

2.1 Allgemeine Werte

2.1.1 Mastabmessungen

Gestänge	l	[m]	16
Kurzzeichen des Mastes			1630
Materialnummer			
freie Länge (ca.)	h	[m]	14,00
Eingrabetiefe	t ₁	[m]	2,00
Tiefe bis zur Zange	t ₂	[m]	1,75
Durchmesser (min)			
Zopfdurchmesser	z	[mm]	190
Fußdurchmesser	f	[mm]	300
Durchmesser am Stangenende	$f_u = f + 1,5 * a_n$	[mm]	311
Nenngröße nach DIN 48351			16 x 30
Spreizung der A-Maste			
	b ₁	[m]	3,00
	b ₂	[m]	2,67
Zange			
	Ø i	[cm]	19
	b ₃	[m]	4
Länge (ca.) des Mittelriegels	a _R	[cm]	120
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]	7,59
Durchmesser am Erdaustritt	$f_e = f - 0,5 * a_n$	[mm]	296
Durchmesser in Mitte der freien Mastlänge	$D = f - (0,5 + 0,5 * h) * a_n$	[mm]	243
Durchmesser in halber Eingrabetiefe	$D_e = f_e + 0,5 * t_1 * a_n$	[mm]	304
Knicklänge	$s_k = h - 0,5 + 0,5 * t_1$	[m]	14,50
Durchmesser in Mitte der Knicklänge	$D_m = z + (0,5 + 0,5 * s_k) * a_n$	[mm]	249

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 2
	Statische Berechnung	KG-09-037

Knickdurchmesser	$D_k = z + 0,65 * s_k * a_n$	[mm]	262
Querschnitt einer Stange	$A_1 = \pi * D_e^2 / 4$	[cm ²]	724,5
Widerstandsmoment einer Stange	$W_1 = \pi * D_e^3 / 32$	[cm ³]	2751
Widerstandsmoment einer Stange am Zopf	$W_{Zopf} = \pi * D_{Zopf}^3 / 32$	[cm ³]	673,039375

Gewichtskräfte

	$V = 1,1 * \pi * (z^2 + fu^2) * (h + t_1) / 4$		1,838
Gewicht der Stangen	$G_{St} = V * \gamma_H$	[kN]	11,030
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]	9,015
Gewicht der Zangen	$GZ = 2 * i^2 * \pi / 4 * b_3 * \gamma_H$	[kN]	1,360
Längskraft	$NG, d = 0,5 * FGM * 1,35$	[kN]	6,085
	$\sigma_{NG, d} = NG, d / A_1$	[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]	0,642

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]	49
	$a = a_R + D$	[cm]	144
	C_{Mast}		0,7

Bereich 1: $h \leq 7m$

Windlast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

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

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

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 3
	Statische Berechnung	KG-09-037

h_1	[m]	7,00
$bo_1 = fe - 7 * an$	[m]	0,24
$bu_1 = fe$	[m]	0,30
FW_{11}	[kN]	0,37
FW_{12}	[kN]	0,05
FW_1	[kN]	0,42

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]	7,00
$bo_2 = z$	[m]	0,19
$bu_2 = bo_1$	[m]	0,24
FW_{21}	[kN]	0,90
FW_{22}	[kN]	0,111
FW_2	[kN]	1,01

Gesamtwindlast Mast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt

$$FWM_s = FW_1 + FW_2 \quad [kN] \quad 1,43$$

Wind auf den Riegel:

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

Winf auf die Kopfausrüstung:

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

Gesamte Windlast

$$FW_s = FWM_s + FWR_s + FWK_s \quad [kN] \quad 1,83$$

Biegemoment, Wind

$$MWS,d = 0,5 * FW_s * (h + 0,5 * t_1) * 1 \quad [kNcm] \quad 1854,5$$

$$\sigma MWS,d = MWS,d / W_1 \quad [kN/cm^2] \quad 0,674$$

Bemessungswert einer Festigkeitseigenschaft

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

k_{mod}		1
γ_m		1,5

Elastizitätsmodul

$$E_{0,mean} \quad [kN/cm^2] \quad 1200$$

charakteristische Steifigkeit

$$E_{0,05} = 2/3 * E_{0,mean} \quad [kN/cm^2] \quad 800$$

Druck

$$f_{c,0,k} \quad [kN/cm^2] \quad 2,3$$

$$f_{c,0,d} \quad [kN/cm^2] \quad 1,5$$

Schub

$$f_{v,k} \quad [kN/cm^2] \quad 0,34$$

Hartholz, Festigkeitsklasse mindestens D35

$$f_{v,d} \quad [kN/cm^2] \quad 0,2$$

Biegung

$$f_{m,k} \quad [kN/cm^2] \quad 3,0$$

$$f_{m,d} \quad [kN/cm^2] \quad 2,0$$


Knicklänge

$$l_{ef} = 2 * s_k \quad [cm] \quad 2900$$

Stab mit veränderlichem Querschnitt

Mittlerer Trägheitsradius

$$i_{mittel} = D_k / 4 \quad [cm] \quad 6,54$$

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 4
	Statische Berechnung	KG-09-037

Schlankheitsgrad $\lambda_s = l_{s_{ef}} / i_{mittel}$ 444

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 7,575$$

für Vollholz β_c 0,2

$$k = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] \quad 29,92$$

$$k_c = \min \left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}; 1 \right) \quad kc,s \quad 0,0170$$

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] 49

$6 * D$ [cm] 146

Abstand zwischen zwei Maststangen auf halber Höhe des Stützpunktes $a = a_R + D$ [cm] 144

$C2_{Mast}$ 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] 0,24

$b_{u1} = f_e$ [m] 0,30

FW_{11} [kN] 0,28

FW_{12} [kN] 0,04

FW_1 [kN] 0,32

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 5
	Statische Berechnung	KG-09-037

Bereich 2: $h > 7m$

Windlast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

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

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

$$h_2 = h - h_1 \quad [m] \quad 7,00$$

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

$$b_{u2} = b_{o1} \quad [m] \quad 0,24$$

$$FW_{21} \quad [kN] \quad 0,67$$

$$FW_{22} \quad [kN] \quad 0,167$$

$$FW_2 \quad [kN] \quad 0,84$$

Gesamtwindlast Mast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

$$FWM_p = FW \cdot [kN] \quad 1,16$$

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

$$FW_p = FWM_p + FWR_p + FWK_p \quad [kN] \quad 1,41$$

Längskraft aus Wind

$$NW_{p,d} = FW_p * (h + t_2) / b_1 * 1,35 \quad [kN] \quad 9,974$$

$$\sigma_{NW_{p,d}} = NW_{p,d} / A_1 \quad [kN/cm^2] \quad 0,014$$

Knicklänge

$$l_{p,ef} = s_k \quad [cm] \quad 1450$$

Stab mit veränderlichem Querschnitt

Mittlerer Trägheitsradius

$$i_{mittel} = D_k / 4 \quad [cm] \quad 6,54$$

Schlankheitsgrad

$$\lambda_s = l_{p,ef} / i_{mittel} \quad 222$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 3,787$$

für Vollholz

$$\beta_c \quad 0,2$$


$$k = 0,5 * \left[1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2 \right] \quad 8,02$$

$$k_c = \min \left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}; 1 \right) \quad kc,p \quad 0,0663$$

$$F1 = \sigma_{NG,d} / kc,s / fc,d \quad 0,322$$

$$F2 = \sigma_{MWS,d} / fm,d \quad 0,337$$

$$F3 = \sigma_{NW_{p,d}} / kc,p / fc,d \quad 0,136$$

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 6
	Statische Berechnung	KG-09-037

$$fZ_{s,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / fm,d \quad 0,136307$$

$$fZ_{p,d} = (h + t2) / b1 / A1 / kc,p / fc,d \quad 0,071324$$

$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

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

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

2.2 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	0,322
F2	Wind senkrecht	0,337
F3	Wind parallel	0,000

$$fZ_{s,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / fm,d \quad 0,136307$$

$$fZ_{p,d} = (h + t2) / b1 / A1 / kc,p / fc,d \quad 0,071324$$


$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

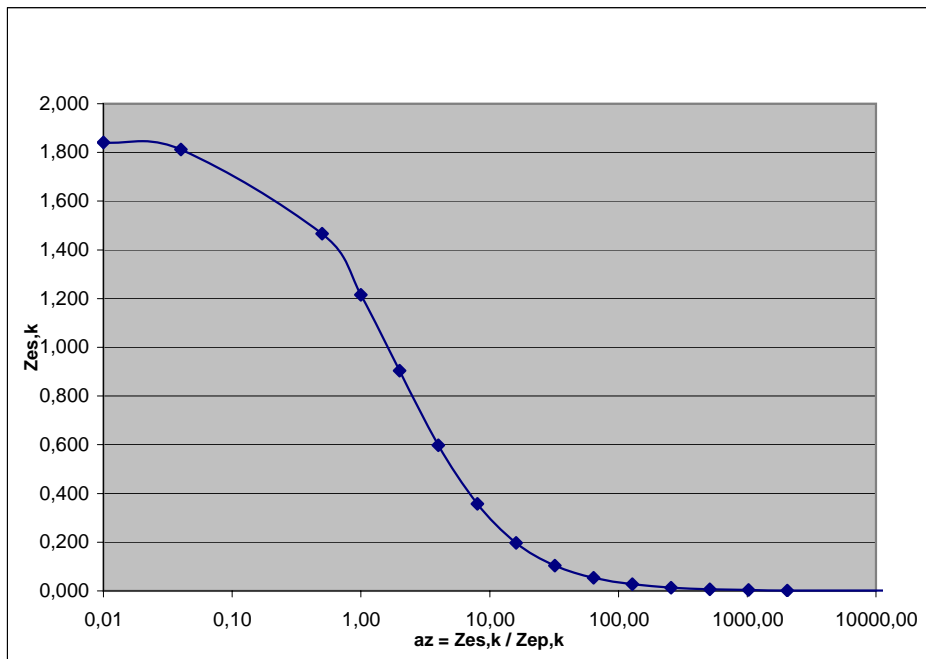
$$fZ_{,d} = fZ_{s,d} + \alpha_z * fZ_{p,d}$$

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

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

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,136	1,851	0,000
	0,01	0,137	1,841	0,018
	0,04	0,139	1,813	0,073
	0,50	0,172	1,467	0,733
	1,00	0,208	1,215	1,215
Zp = Zs	2,00	0,279	0,904	1,809
	4,00	0,422	0,598	2,393
	8,00	0,707	0,357	2,855
	16,00	1,277	0,197	3,159
	32,00	2,419	0,104	3,337
	64,00	4,701	0,054	3,434
	128,00	9,266	0,027	3,485
	256,00	18,395	0,014	3,510
	512,00	36,654	0,007	3,523
	1024,00	73,172	0,003	3,530
Zs = 0	2048,00	146,208	0,002	3,533
	10000000,00	713238,433	0,000	3,537

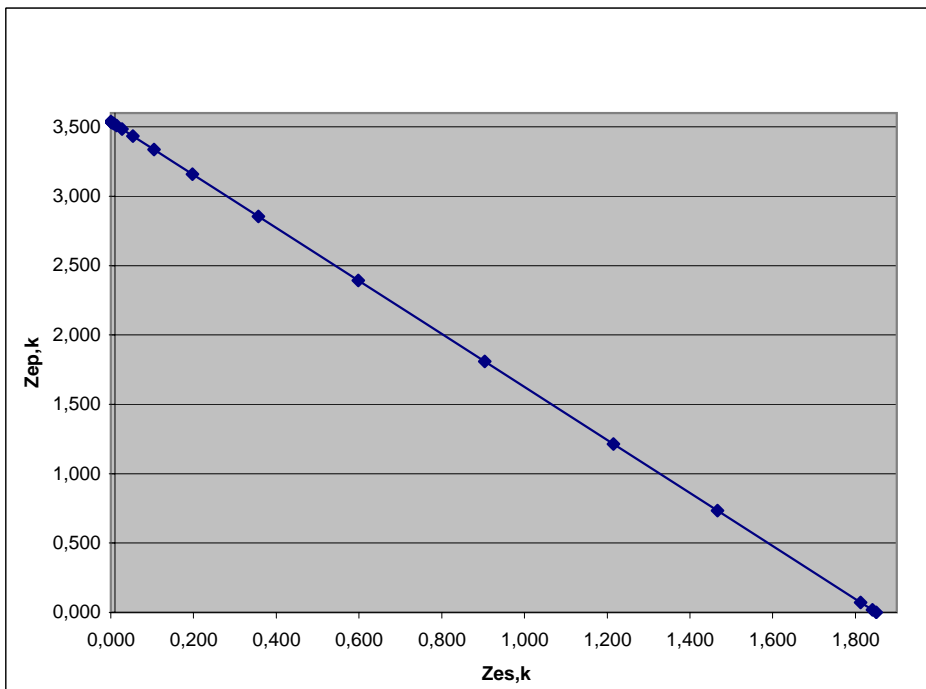
	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-037
		31.08.2009




c1 = 3,537

c2 = 1,911

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



	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 8
	Statische Berechnung	KG-09-037

2.2.2 Halber Wind

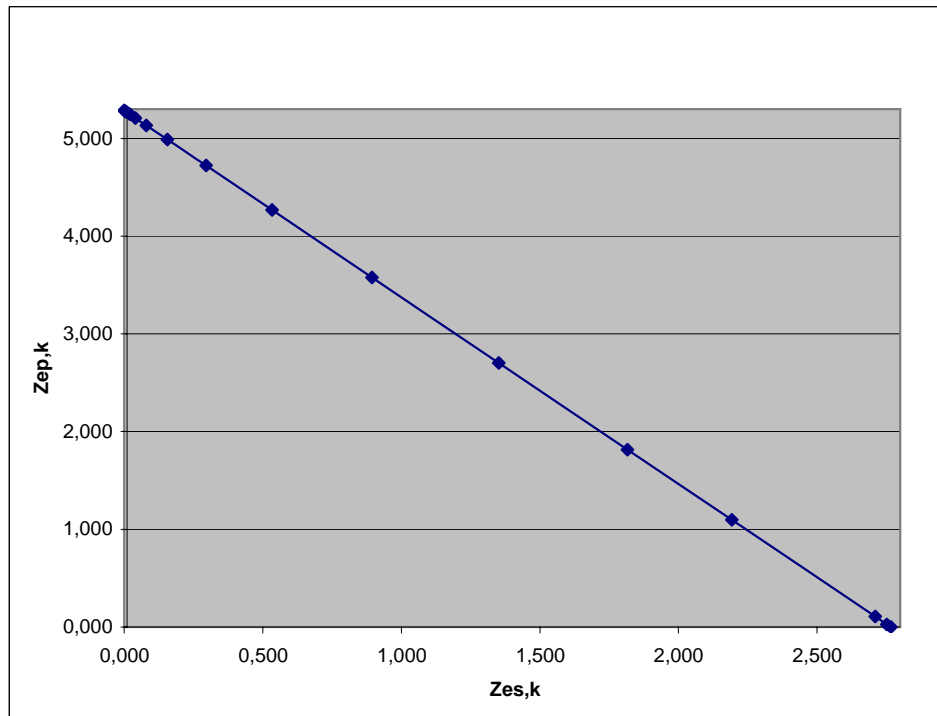
F1	Gewicht		0,322
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * F1$	0,169
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * F3$	0,000


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

	az	f _{Z,d}	Z _{s,k}	Z _{p,k}
Z _p = 0	0,00	0,136	2,766	0,000
	0,01	0,137	2,752	0,028
	0,04	0,139	2,710	0,108
	0,50	0,172	2,193	1,096
Z _p = Z _s	1,00	0,208	1,816	1,816
	2,00	0,279	1,352	2,704
	4,00	0,422	0,894	3,578
	8,00	0,707	0,533	4,267
	16,00	1,277	0,295	4,723
	32,00	2,419	0,156	4,989
	64,00	4,701	0,080	5,134
	128,00	9,266	0,041	5,209
	256,00	18,395	0,020	5,248
	512,00	36,654	0,010	5,267
Z _s = 0	1024,00	73,172	0,005	5,277
	2048,00	146,208	0,003	5,282
	10000000,00	713238,433	0,000	5,287

c1 = 5,287 c2 = 1,911

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



	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 9
	Statische Berechnung	KG-09-037

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	0,322
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,136

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,136307$$

$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,071324$$


$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

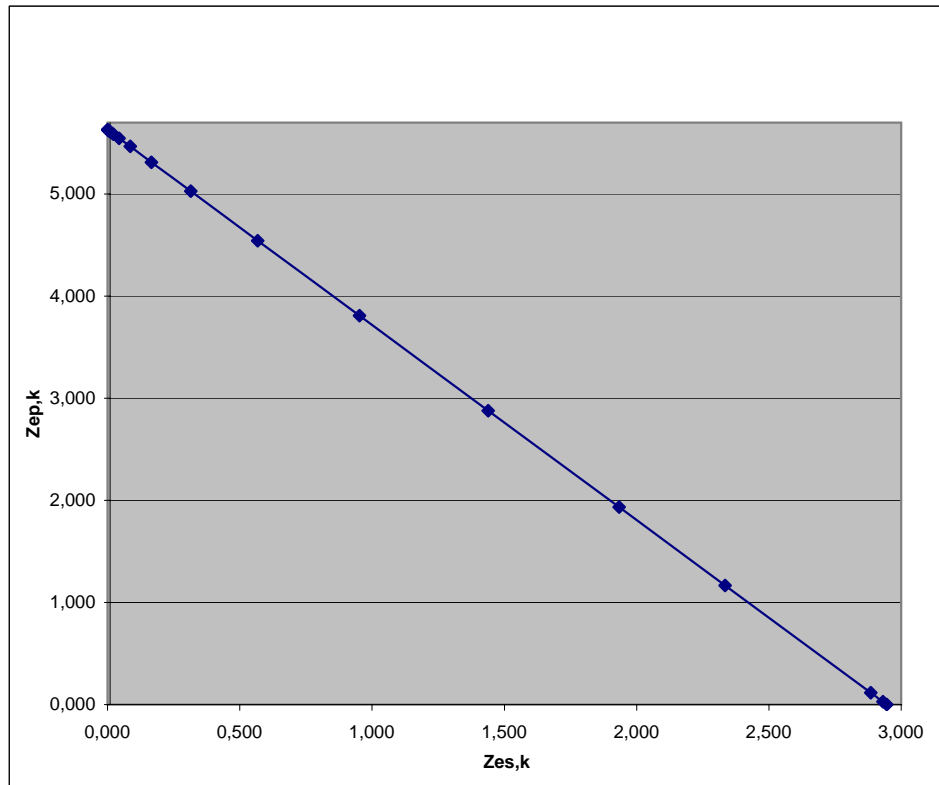
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	f _{Z,d}	Z _{s,k}	Z _{p,k}
Z _p = 0	0,00	0,136	2,946	0,000
	0,01	0,137	2,931	0,029
	0,04	0,139	2,885	0,115
	0,50	0,172	2,335	1,167
Z _p = Z _s	1,00	0,208	1,934	1,934
	2,00	0,279	1,439	2,879
	4,00	0,422	0,952	3,810
	8,00	0,707	0,568	4,544
	16,00	1,277	0,314	5,029
	32,00	2,419	0,166	5,313
	64,00	4,701	0,085	5,467
	128,00	9,266	0,043	5,547
	256,00	18,395	0,022	5,588
	512,00	36,654	0,011	5,609
Z _s = 0	1024,00	73,172	0,005	5,619
	2048,00	146,208	0,003	5,625
	10000000,00	713238,433	0,000	5,630

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 10
	Statische Berechnung	KG-09-037

c1 = 5,630 c2 = 1,911


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



2.3.2 Halber Wind

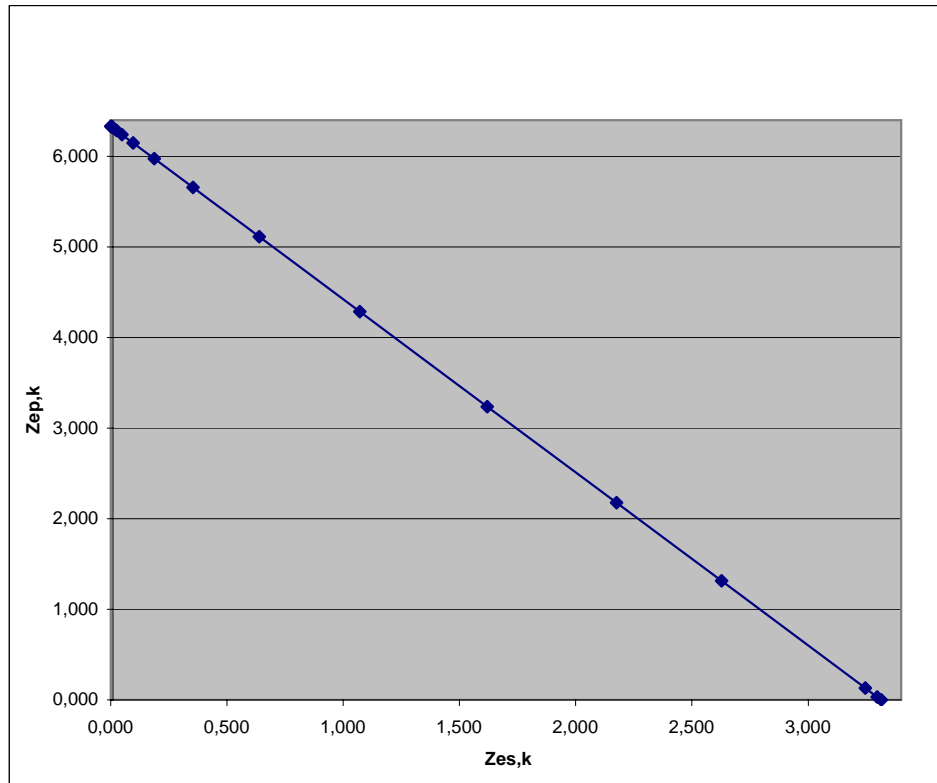
F1	Gewicht		0,322
F2	Wind senkrecht	F2 = 0,5 * F1	0,000
F3	Wind parallel	F3 = 0,5 * F3	0,068

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,136	3,314	0,000
	0,01	0,137	3,297	0,033
	0,04	0,139	3,246	0,130
	0,50	0,172	2,627	1,313
Zp = Zs	1,00	0,208	2,176	2,176
	2,00	0,279	1,619	3,239
	4,00	0,422	1,071	4,286
	8,00	0,707	0,639	5,112
	16,00	1,277	0,354	5,658
	32,00	2,419	0,187	5,977
	64,00	4,701	0,096	6,150
	128,00	9,266	0,049	6,240
	256,00	18,395	0,025	6,287
	512,00	36,654	0,012	6,310
Zs = 0	1024,00	73,172	0,006	6,322
	2048,00	146,208	0,003	6,328
	10000000,00	713238,433	0,000	6,333

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-037


$$c1 = 6,333 \qquad c2 = 1,911$$

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



Bemessung des Hartholzdübels

	$\max Z_{p,d}$	[kN]	8,550
	$H_d = \max Z_{p,d} + 0,5 * F_{Wp} * 1,35$	[kN]	9,500
	$V_d = H_d * (h + t_2) / b_1$	[kN]	49,876
Schub	$t_d = V_d / v / m$	[kN/cm ²]	0,131
	$t_d / f_{v,d} \leq 1$		0,579

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-037

	$Z_{p,d} = b_1 \cdot v \cdot m \cdot f_{v,d} / (h + t_2) - 0,5 \cdot FW_p \cdot 1,35$	[kN]	15,456
Dübel wird nicht maßgebend	$Z_{p,k} = Z_d / 1,35$	[kN]	11,449
Druck	$s_d = 2 \cdot V_d / n / v$	[kN/cm ²]	0,656
	$s_d / f_{c,0,d} \leq 1$		0,428

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		0,322
F2	Wind senkrecht	$F_2 = 0,707 \cdot F_1$	0,238
F3	Wind parallel	$F_3 = 0,707 \cdot F_3$	0,096

$$f_{Zs,d} = 0,5 \cdot (h + 0,5 \cdot t_1) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,136307$$

$$f_{Zp,d} = (h + t_2) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,071324$$


$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

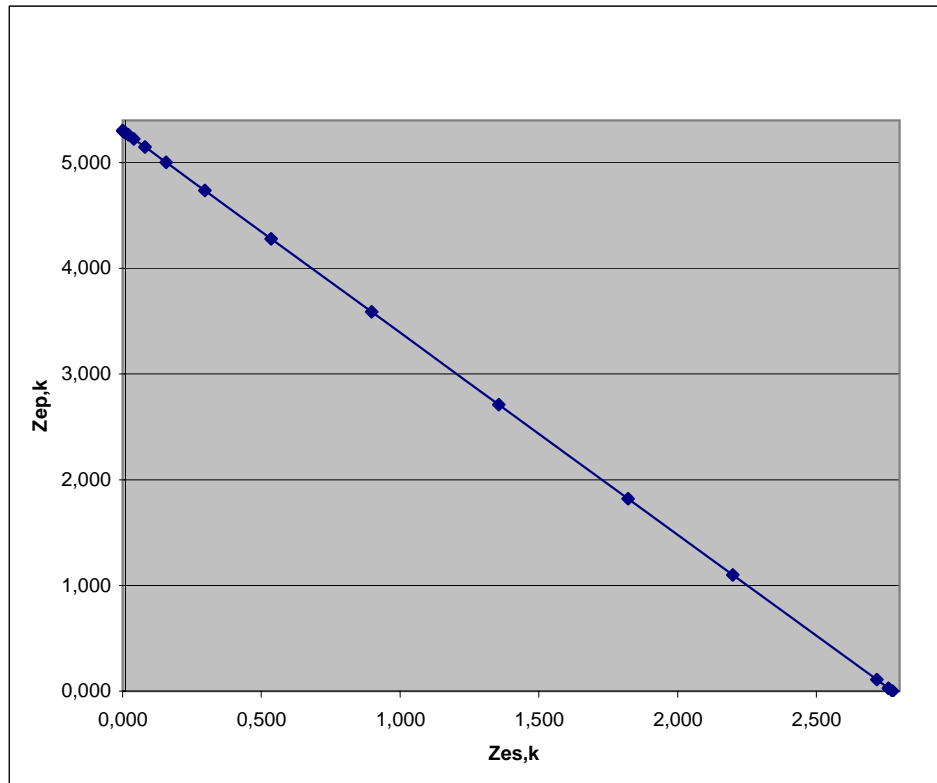
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	fZd	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,136	1,867	0,000
	0,01	0,137	1,857	0,019
	0,04	0,139	1,828	0,073
	0,50	0,172	1,480	0,740
Zp = Zs	1,00	0,208	1,225	1,225
	2,00	0,279	0,912	1,824
	4,00	0,422	0,603	2,414
	8,00	0,707	0,360	2,879
	16,00	1,277	0,199	3,187
	32,00	2,419	0,105	3,366
	64,00	4,701	0,054	3,464
	128,00	9,266	0,027	3,515
	256,00	18,395	0,014	3,541
	512,00	36,654	0,007	3,554
Zs = 0	1024,00	73,172	0,003	3,561
	2048,00	146,208	0,002	3,564
	10000000,00	713238,433	0,000	3,567

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-037

$$c1 = 5,302 \quad c2 = 1,911$$

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



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	0,322
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,000

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,136307$$


$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,071324$$

$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

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

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung KG-09-037	Seite 15

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

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


$$f_{zd} = \frac{b_t * W_1}{3,5 * b_1 * W_{Zopf}} f_{zs,d} + f_{zp,d} = 0,138$$

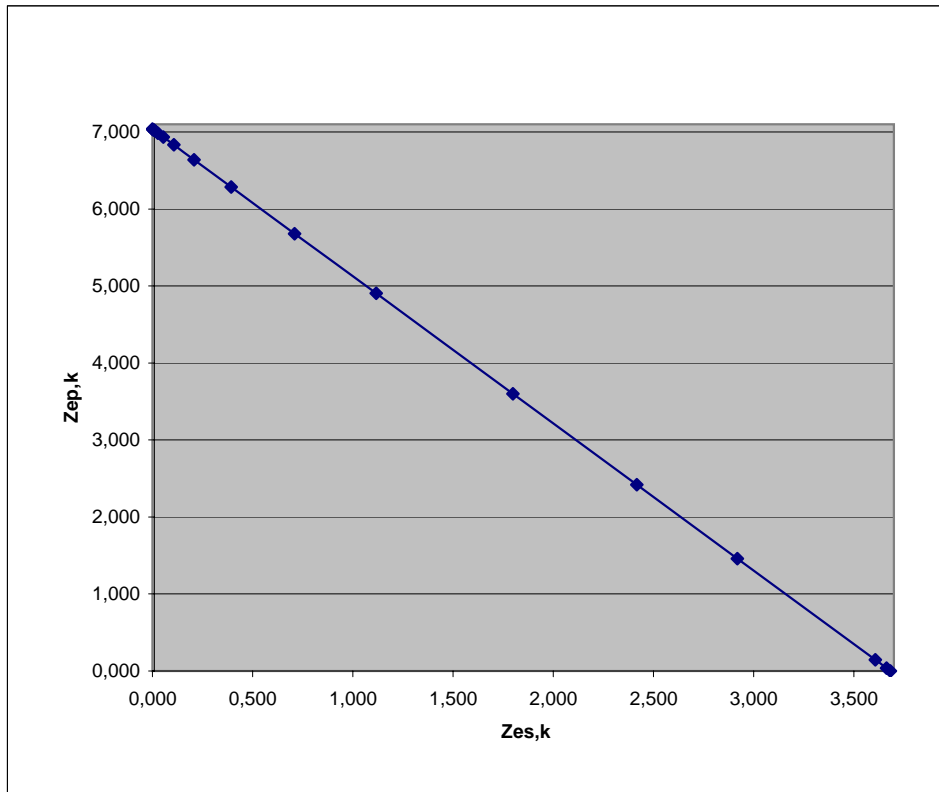
$$max Z_p = (1 - F_1) / f_{zd} = 4,903 \text{ kN}$$


	az	fZ,d	Zes,k	Zep,k
Zp = 0	0,00	0,136	3,682	0,000
	0,01	0,137	3,663	0,037
	0,04	0,139	3,607	0,144
	0,50	0,172	2,919	1,459
	1,00	0,208	2,417	2,417
Zp = Zs	2,00	0,279	1,799	3,599
	4,392	0,450	1,116	4,903
	8,00	0,707	0,710	5,680
	16,00	1,277	0,393	6,286
	32,00	2,419	0,208	6,641
	64,00	4,701	0,107	6,833
	128,00	9,266	0,054	6,934
	256,00	18,395	0,027	6,985
	512,00	36,654	0,014	7,011
	1024,00	73,172	0,007	7,024
Zs = 0	2048,00	146,208	0,003	7,031
	10000000,00	713238,433	0,000	7,037

$$c1 = 7,037 \quad c2 = 1,911$$

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

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 16
	Statische Berechnung KG-09-037	



	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 17
	Statische Berechnung	KG-09-037

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

$$\mathbf{ZNp} = \mathbf{c1} - \mathbf{c2} * \mathbf{ZNs} \qquad \text{mit } \mathbf{c2} = \mathbf{1,911}$$

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)	5,630			6,333		
WT, W	⊥	ZNs = ZN (x)		1,851	1,867		2,766	2,774
		ZNp = ZN _⊥ (y) bzw. c1	5,630	3,537	3,567	6,333	5,287	5,302
WA		ZNp = ZN (x) bzw. c1		5,630	3,567		6,333	5,302
		ZNs = ZN _⊥ (y)	1,851		1,867	2,766		2,774
WE		ZNp = ZN (x) bzw. c1	3,537	5,630	3,567	5,287	6,333	5,302
		ZNs = ZN _⊥ (y)	1,851		1,867	2,766		2,774

Masttyp	Richtung der A-Mastebene	Charakteristischer Nutzzug [kN]	Lastfall
			H [kN]
WA		ZNp = ZN (x)	4,903
		ZNs = ZN _⊥ (y)	

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1630 DIN 48 351					Pos. 2. Seite 18
	Statische Berechnung					KG-09-037

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	5,630	6,333	3,537	5,287	3,567	5,302	7,037

c2	1,911
----	-------

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	5,630	6,333	3,537	5,287	3,567	5,302	4,903
max ZNs für ZNp = 0	2,946	3,314	1,851	2,766	1,867	2,774	2,566