 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351		Pos. 0. Seite 1 Seiten 1
	Statische Berechnung	KG-09-036	31.08.2009

A-Hozmast-1530.xls

1530 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 1530 DIN 48 351	Pos. 1. Seite 1 Seiten 1
	Statische Berechnung	KG-09-036

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 1530 DIN 48 351		Pos. 2. Seite 1 Seiten 18
	Statische Berechnung	KG-09-036	31.08.2009


A-Hozmast-1530.xls

2. Mastberechnung

2.1 Allgemeine Werte

2.1.1 Mastabmessungen

Gestänge	l	[m]	15
Kurzzeichen des Mastes			1530
Materialnummer			
freie Länge (ca.)	h	[m]	13,00
Eingrabetiefe	t ₁	[m]	2,00
Tiefe bis zur Zange	t ₂	[m]	1,75
Durchmesser (min)			
Zopfdurchmesser	z	[mm]	200
Fußdurchmesser	f	[mm]	300
Durchmesser am Stangenende	$f_u = f + 1,5 * a_n$	[mm]	311
Nenngröße nach DIN 48351			15 x 30
Spreizung der A-Maste			
	b ₁	[m]	2,80
	b ₂	[m]	2,47
Zange			
	Ø i	[cm]	20
	b ₃	[m]	3,8
Länge (ca.) des Mittelriegels	a _R	[cm]	110
Länge des Hartholzdübels	m	[cm]	20
Breite des Hartholzdübels	v = ca. z	[cm]	20
Dicke des Hartholzdübels	n	[cm]	8
Abstand der Mastmittellinie	e	[cm]	6
Gewindebolzen M20 x Länge			
	Nr. 1	[mm]	
	Nr. 2	[mm]	
	Nr. 3	[mm]	
	Nr. 4	[mm]	
Nennwert der Abholzigkeit	$a_n = \frac{f_{\min d} - z_{\min d}}{l - 1,5}$	[mm/m]	7,41
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]	248
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]	13,50
Durchmesser in Mitte der Knicklänge	$D_m = z + (0,5 + 0,5 * s_k) * a_n$	[mm]	254

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 2
	Statische Berechnung	KG-09-036

Knickdurchmesser	$D_k = z + 0,65 * s_k * a_n$	[mm]	265
Querschnitt einer Stange	$A_1 = \pi * D_e^2 / 4$	[cm ²]	724,1
Widerstandsmoment einer Stange	$W_1 = \pi * D_e^3 / 32$	[cm ³]	2749
Widerstandsmoment einer Stange am Zopf	$W_{Zopf} = \pi * D_{Zopf}^3 / 32$	[cm ³]	785

Gewichtskräfte

	$V = 1,1 * \pi * (z^2 + fu^2) * (h + t_1) / 4$		1,772
Gewicht der Stangen	$G_{St} = V * \gamma_H$	[kN]	10,631
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]	9,115
Gewicht der Zangen	$GZ = 2 * i^2 * \pi / 4 * b_3 * \gamma_H$	[kN]	1,432
Längskraft	$NG_{,d} = 0,5 * FGM * 1,35$	[kN]	6,153
	$\sigma_{NG,d} = NG_{,d} / A_1$	[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]	0,639

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]	50
	$a = a_R + D$	[cm]	135
	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 1530 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 3
	Statische Berechnung	KG-09-036

h_1	[m]	7,00
$bo_1 = fe - 7 * an$	[m]	0,24
$bu_1 = fe$	[m]	0,30
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]	6,00
$bo_2 = z$	[m]	0,20
$bu_2 = bo_1$	[m]	0,24
FW_{21}	[kN]	0,83
FW_{22}	[kN]	0,083
FW_2	[kN]	0,91

Gesamtwindlast Mast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt

$$FWM_s = FW_1 + FW_2 \quad [kN] \quad 1,37$$

Wind auf den Riegel:

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

Winf auf die Kopfausrüstung:

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

Gesamte Windlast

$$FW_s = FWM_s + FWR_s + FWK_s \quad [kN] \quad 1,77$$

Biegemoment, Wind


$$MWS,d = 0,5 * FW_s * (h + 0,5 * t_1) * 1 \quad [kNcm] \quad 1668,4$$

$$\sigma MWS,d = MWS,d / W_1 \quad [kN/cm^2] \quad 0,607$$

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]	2700
Stab mit veränderlichem Querschnitt			
Mittlerer Trägheitsradius	$i_{mittel} = D_k / 4$	[cm]	6,63

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 4
	Statische Berechnung	KG-09-036

Schlankheitsgrad $\lambda_s = l_{s_{ef}} / i_{mittel}$ 408

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

6,959

für Vollholz β_c 0,2

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

25,38

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

kc,s 0,0201

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] 50

$6 * D$ [cm] 149

Abstand zwischen zwei Maststangen auf halber Höhe des Stützpunktes $a = a_R + D$ [cm] 135

$C2_{Mast}$ 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] 0,30

FW_{12} [kN] 0,04

FW_1 [kN] 0,34

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 5
	Statische Berechnung	KG-09-036

Bereich 2: $h > 7m$

Windlast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

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

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

$$h_2 = h - h_1 \quad [m] \quad 6,00$$

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

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

$$FW_{21} \quad [kN] \quad 0,62$$

$$FW_{22} \quad [kN] \quad 0,124$$

$$FW_2 \quad [kN] \quad 0,74$$

Gesamtwindlast Mast (bezogen auf die Mastspitze, Momentenbezugspunkt Erdaustritt)

$$FWM_p = FW \cdot [kN] \quad 1,09$$

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

$$FW_p = FWM_p + FWR_p + FWK_p \quad [kN] \quad 1,34$$

Längskraft aus Wind

$$NW_{p,d} = FW_p * (h + t_2) / b_1 * 1,35 \quad [kN] \quad 9,502$$

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

Knicklänge

$$l_{p,ef} = s_k \quad [cm] \quad 1350$$

Stab mit veränderlichem Querschnitt

Mittlerer Trägheitsradius

$$i_{mittel} = D_k / 4 \quad [cm] \quad 6,63$$

Schlankheitsgrad

$$\lambda_s = l_{p,ef} / i_{mittel} \quad 204$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 3,480$$

für Vollholz

$$\beta_c \quad 0,2$$


$$k = 0,5 * \left[1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2 \right] \quad 6,87$$

$$k_c = \min \left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}; 1 \right) \quad kc,p \quad 0,0781$$

$$F1 = \sigma_{NG,d} / kc,s / f_{c,d} \quad 0,276$$

$$F2 = \sigma_{MWS,d} / f_{m,d} \quad 0,303$$

$$F3 = \sigma_{NW_{p,d}} / kc,p / f_{c,d} \quad 0,110$$

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 6
	Statische Berechnung	KG-09-036

$$fZ_{s,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t_1) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,127332$$

$$fZ_{p,d} = (h + t_2) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,060725$$

$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

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

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

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	0,276
F2	Wind senkrecht	0,303
F3	Wind parallel	0,000

$$fZ_{s,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t_1) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,127332$$

$$fZ_{p,d} = (h + t_2) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,060725$$


$$\alpha_z = Z_p / Z_s$$

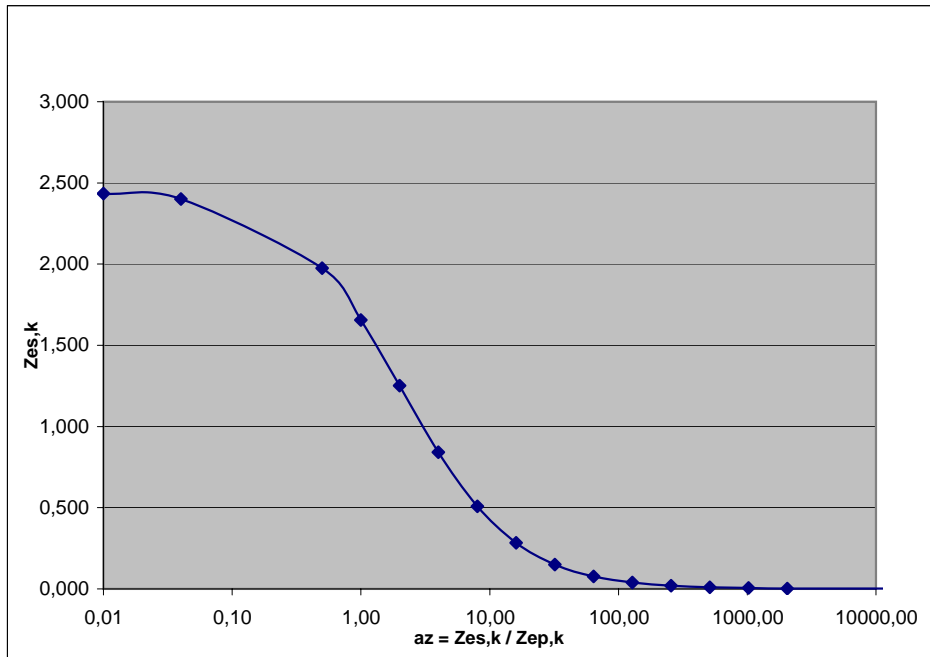
$$fZ_{,d} = fZ_{s,d} + \alpha_z * fZ_{p,d}$$

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

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

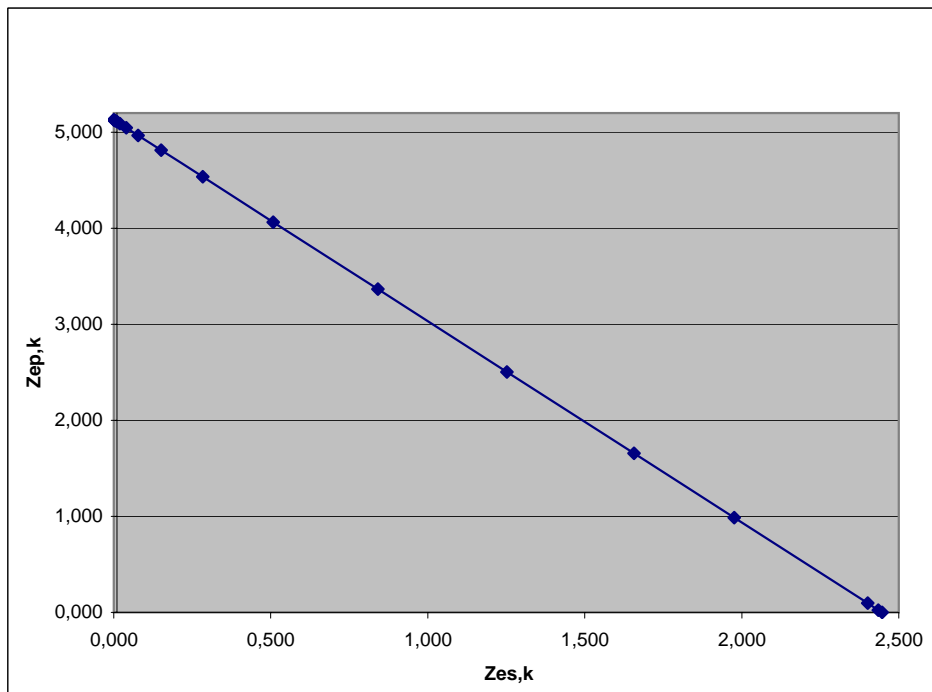
	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,127	2,447	0,000
	0,01	0,128	2,435	0,024
	0,04	0,130	2,401	0,096
	0,50	0,158	1,976	0,988
Zp = Zs	1,00	0,188	1,657	1,657
	2,00	0,249	1,252	2,504
	4,00	0,370	0,841	3,366
	8,00	0,613	0,508	4,065
	16,00	1,099	0,283	4,536
	32,00	2,071	0,150	4,815
	64,00	4,014	0,078	4,967
	128,00	7,900	0,039	5,047
	256,00	15,673	0,020	5,089
	512,00	31,218	0,010	5,109
	1024,00	62,309	0,005	5,120
	2048,00	124,492	0,003	5,125
Zs = 0	10000000,00	607247,840	0,000	5,130


 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2.	
	Statische Berechnung	KG-09-036	Seite 7
			31.08.2009



$$c1 = 5,130 \qquad c2 = 2,097$$

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



	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 8
	Statische Berechnung	KG-09-036

2.2.2 Halber Wind

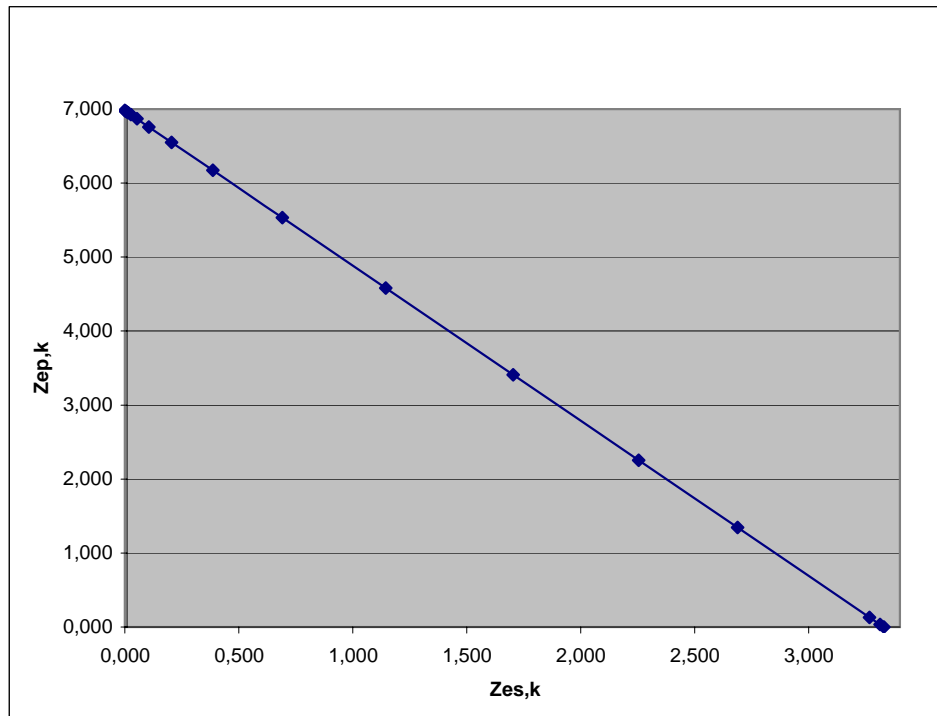
F1	Gewicht		0,276
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * F1$	0,152
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * F3$	0,000


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

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,127	3,329	0,000
	0,01	0,128	3,314	0,033
	0,04	0,130	3,267	0,131
	0,50	0,158	2,688	1,344
Zp = Zs	1,00	0,188	2,254	2,254
	2,00	0,249	1,704	3,408
	4,00	0,370	1,145	4,580
	8,00	0,613	0,691	5,531
	16,00	1,099	0,386	6,172
	32,00	2,071	0,205	6,552
	64,00	4,014	0,106	6,760
	128,00	7,900	0,054	6,869
	256,00	15,673	0,027	6,924
	512,00	31,218	0,014	6,953
	1024,00	62,309	0,007	6,967
Zs = 0	2048,00	124,492	0,003	6,974
	10000000,00	607247,840	0,000	6,981

c1 = 6,981 c2 = 2,097

Zp,k = c1 - c2 * Zs,k



	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 9
	Statische Berechnung	KG-09-036

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	0,276
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,110

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,127332$$

$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,060725$$


$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

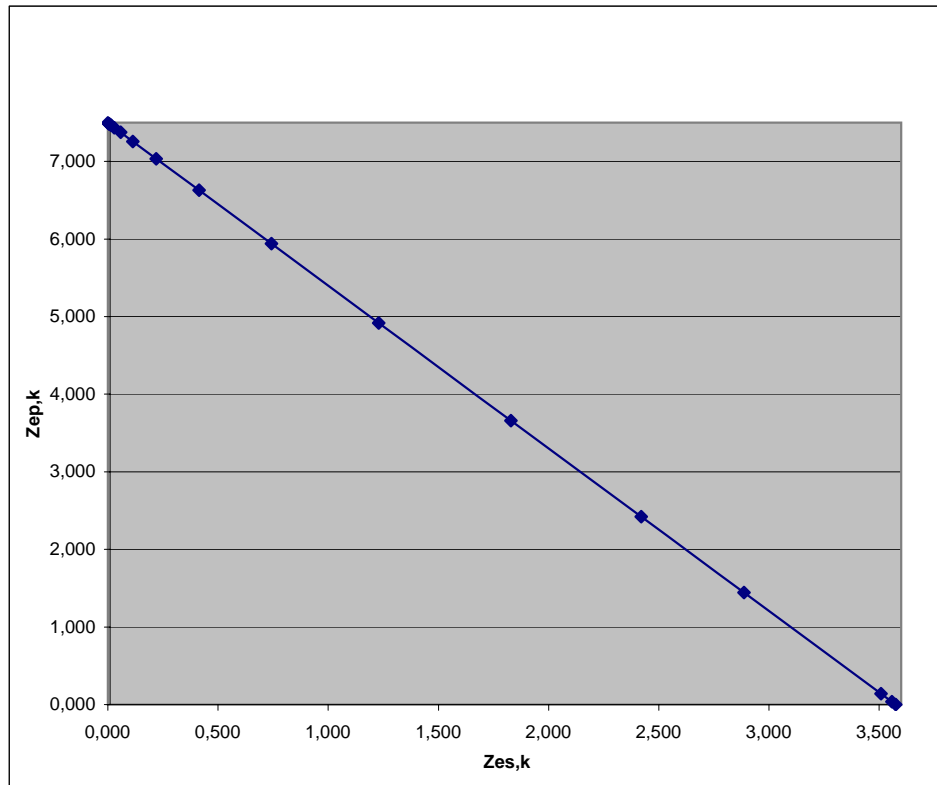
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,127	3,575	0,000
	0,01	0,128	3,558	0,036
	0,04	0,130	3,508	0,140
	0,50	0,158	2,887	1,443
Zp = Zs	1,00	0,188	2,421	2,421
	2,00	0,249	1,830	3,659
	4,00	0,370	1,230	4,918
	8,00	0,613	0,742	5,939
	16,00	1,099	0,414	6,628
	32,00	2,071	0,220	7,035
	64,00	4,014	0,113	7,258
	128,00	7,900	0,058	7,375
	256,00	15,673	0,029	7,435
	512,00	31,218	0,015	7,466
	1024,00	62,309	0,007	7,481
	2048,00	124,492	0,004	7,489
Zs = 0	10000000,00	607247,840	0,000	7,496

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351		Pos. 2.
			Seite 10
	Statische Berechnung	KG-09-036	

$$c1 = 7,496 \qquad c2 = 2,097$$


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



2.3.2 Halber Wind

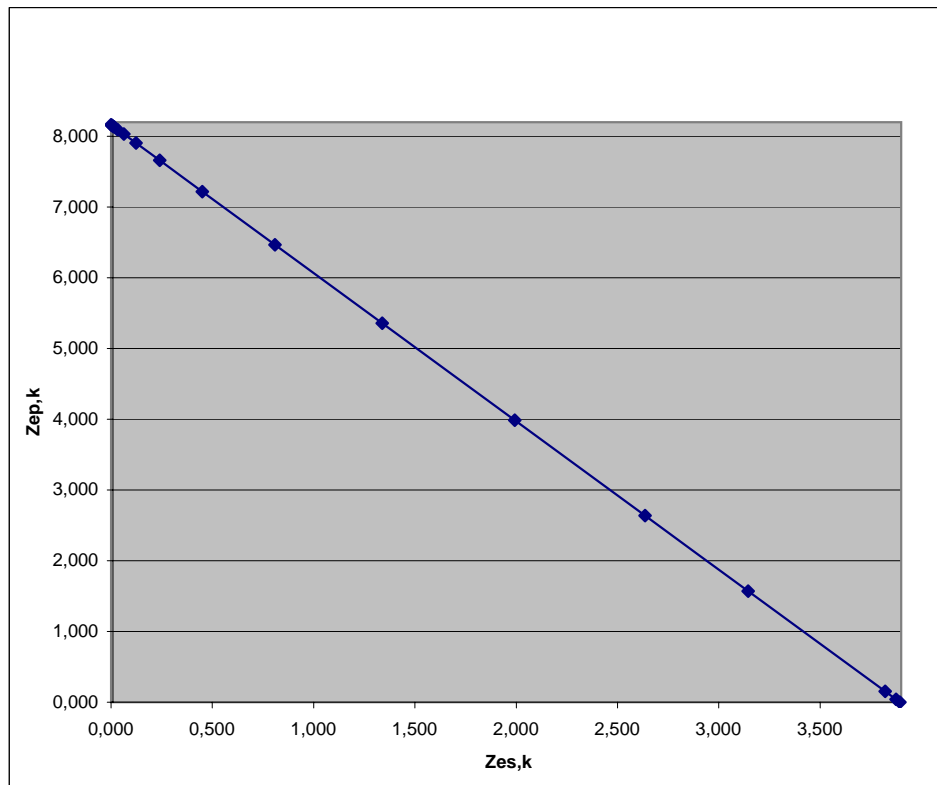
F1	Gewicht		0,276
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * F1$	0,000
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * F3$	0,055

	az	fZ,d	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,127	3,894	0,000
	0,01	0,128	3,875	0,039
	0,04	0,130	3,821	0,153
	0,50	0,158	3,144	1,572
Zp = Zs	1,00	0,188	2,636	2,636
	2,00	0,249	1,993	3,986
	4,00	0,370	1,339	5,356
	8,00	0,613	0,809	6,469
	16,00	1,099	0,451	7,218
	32,00	2,071	0,239	7,662
	64,00	4,014	0,124	7,905
	128,00	7,900	0,063	8,033
	256,00	15,673	0,032	8,098
	512,00	31,218	0,016	8,131
	1024,00	62,309	0,008	8,148
Zs = 0	2048,00	124,492	0,004	8,156
	10000000,00	607247,840	0,000	8,164

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-036


$$c1 = 8,164 \quad c2 = 2,097$$

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



Bemessung des Hartholzdübels

	$\max Z_{p,d}$	[kN]	11,022
	$H_d = \max Z_{p,d} + 0,5 * F_{Wp} * 1,35$	[kN]	11,924
	$V_d = H_d * (h + t_2) / b_1$	[kN]	62,812
Schub	$t_d = V_d / v / m$	[kN/cm ²]	0,157
	$t_d / f_{v,d} \leq 1$		0,693

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 12
	Statische Berechnung	KG-09-036

	$Z_{p,d} = b_1 \cdot v \cdot m \cdot f_{v,d} / (h + t_2) - 0,5 \cdot FW_p \cdot 1,35$	[kN]	16,309
Dübel wird nicht maßgebend	$Z_{p,k} = Z_d / 1,35$	[kN]	12,081
Druck	$s_d = 2 \cdot V_d / n / v$	[kN/cm ²]	0,785
	$s_d / f_{c,0,d} \leq 1$		0,512

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		0,276
F2	Wind senkrecht	$F_2 = 0,707 \cdot F_1$	0,215
F3	Wind parallel	$F_3 = 0,707 \cdot F_3$	0,077

$$f_{Zs,d} = 0,5 \cdot (h + 0,5 \cdot t_1) / W_1 / f_{m,d} \quad 0,127332$$

$$f_{Zp,d} = (h + t_2) / b_1 / A_1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,060725$$


$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

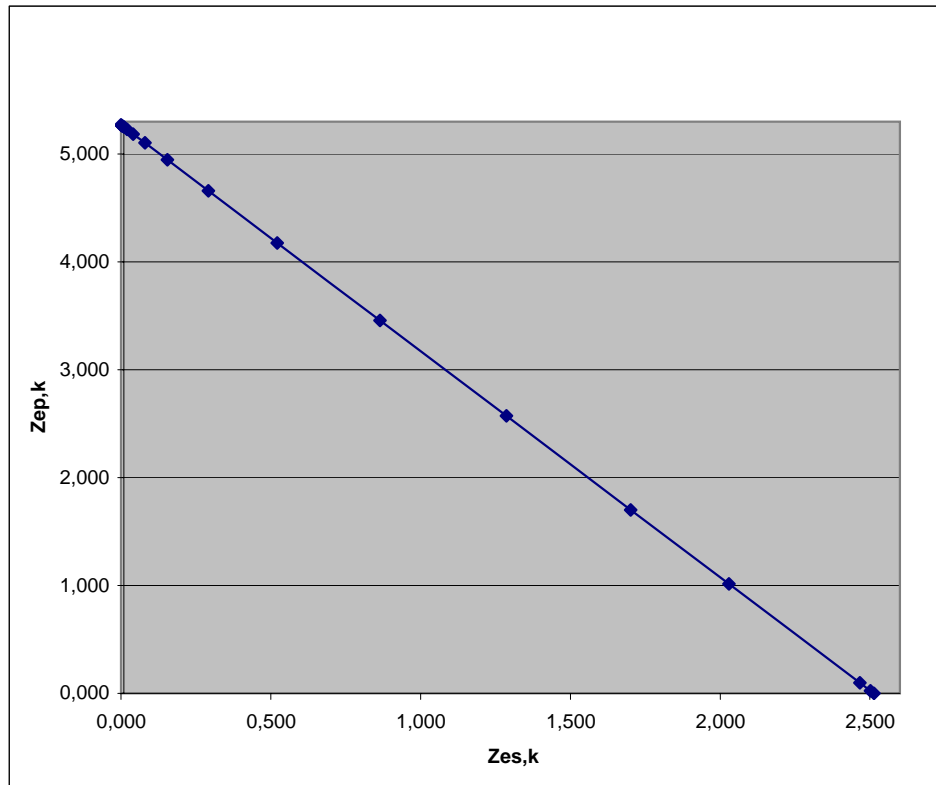
$$Z_{s,k} = Z_{s,d} / 1,35$$

	az	fZd	Zs,k	Zp,k
Zp = 0	0,00	0,127	2,513	0,000
	0,01	0,128	2,501	0,025
	0,04	0,130	2,466	0,099
	0,50	0,158	2,029	1,015
Zp = Zs	1,00	0,188	1,702	1,702
	2,00	0,249	1,286	2,573
	4,00	0,370	0,864	3,458
	8,00	0,613	0,522	4,176
	16,00	1,099	0,291	4,660
	32,00	2,071	0,155	4,946
	64,00	4,014	0,080	5,103
	128,00	7,900	0,041	5,185
	256,00	15,673	0,020	5,227
	512,00	31,218	0,010	5,249
Zs = 0	1024,00	62,309	0,005	5,260
	2048,00	124,492	0,003	5,265
	10000000,00	607247,840	0,000	5,270

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 13
	Statische Berechnung	KG-09-036

$$c1 = 5,270 \qquad c2 = 2,097$$


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



2.4.2 Halber Wind, Lastfall F

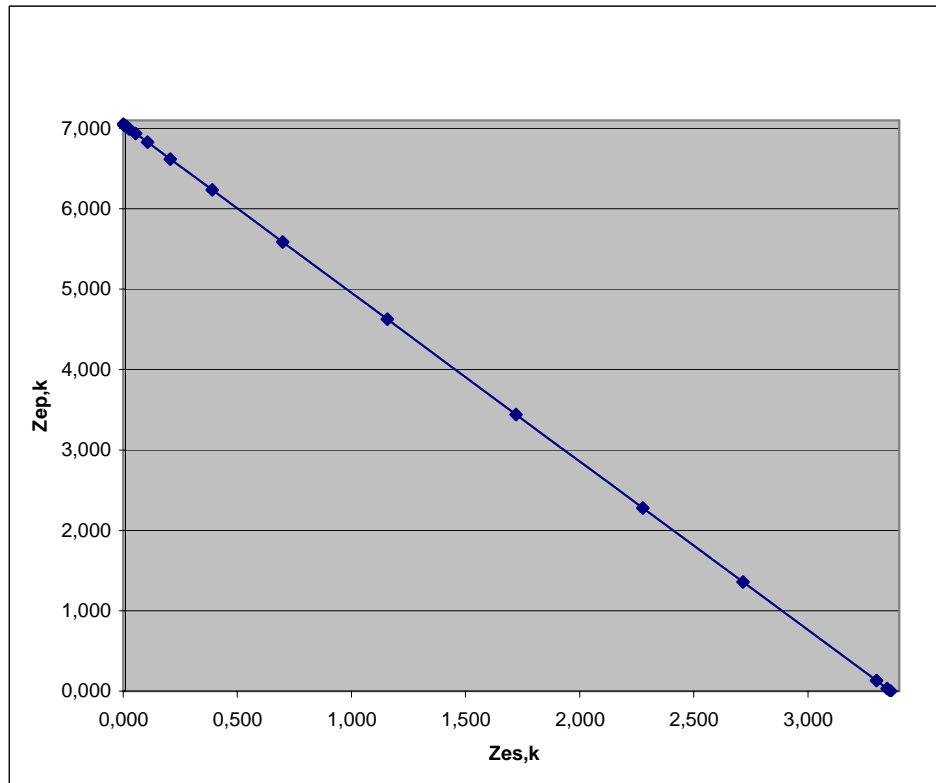
F1	Gewicht		0,276
F2	Wind senkrecht	$F2 = 0,5 * 0,707 * F1$	0,107
F3	Wind parallel	$F3 = 0,5 * 0,707 * F3$	0,039

	az	fZe	Zes,k	Zep,k
Zp = 0	0,00	0,127	3,363	0,000
	0,01	0,128	3,347	0,033
	0,04	0,130	3,300	0,132
	0,50	0,158	2,715	1,358
Zp = Zs	1,00	0,188	2,277	2,277
	2,00	0,249	1,721	3,442
	4,00	0,370	1,157	4,626
	8,00	0,613	0,698	5,587
	16,00	1,099	0,390	6,234
	32,00	2,071	0,207	6,618
	64,00	4,014	0,107	6,828
	128,00	7,900	0,054	6,938
	256,00	15,673	0,027	6,994
	512,00	31,218	0,014	7,023
	1024,00	62,309	0,007	7,037
Zs = 0	2048,00	124,492	0,003	7,044
	10000000,00	607247,840	0,000	7,051

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2.
	Statische Berechnung	KG-09-036

$$c1 = 7,051 \quad c2 = 2,097$$

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



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	0,276
F2	Wind senkrecht	0,000
F3	Wind parallel	0,000

$$f_{Zs,d} = 0,5 * (h + 0,5 * t1) / W1 / f_{m,d} \quad 0,127332$$


$$f_{Zp,d} = (h + t2) / b1 / A1 / k_{c,p} / f_{c,d} \quad 0,060725$$

$$a_z = Z_p / Z_s$$

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

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

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

	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 15
	Statische Berechnung	KG-09-036

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

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


$$f_{zd} = \frac{b_t * W_1}{3,5 * b_1 * W_{Zopf}} f_{zs,d} + f_{zp,d} = 0,118$$

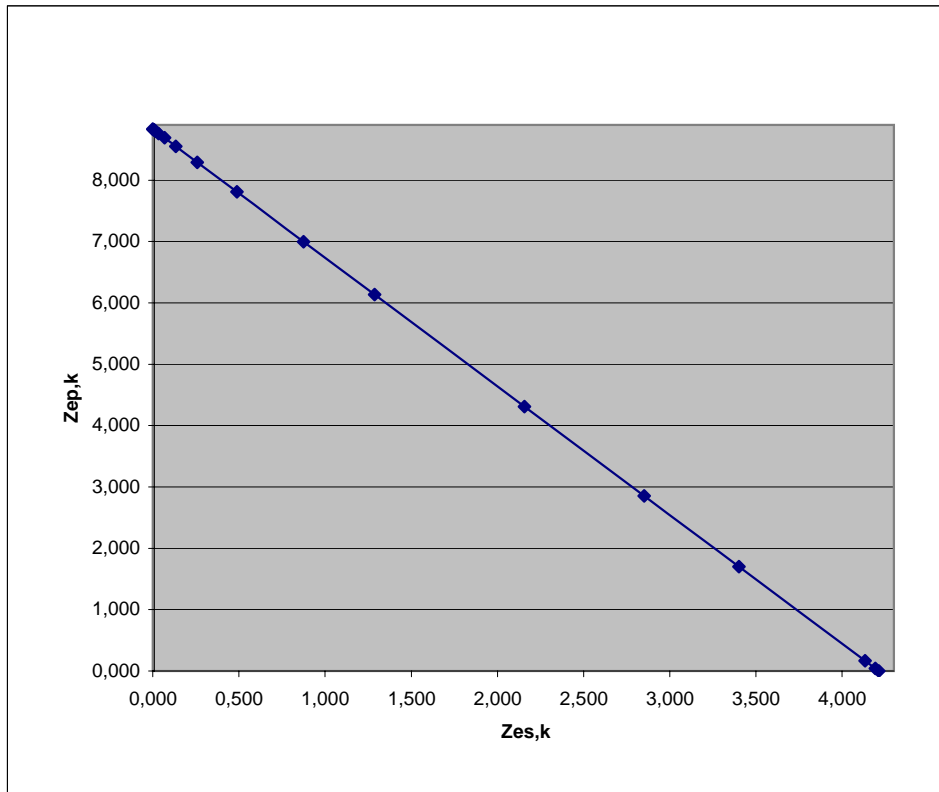
max Z_p = (1 - F₁) / f_{zd} = 6,133 kN


	az	fZ,d	Zes,k	Zep,k
Z _p = 0	0,00	0,127	4,212	0,000
	0,01	0,128	4,192	0,042
	0,04	0,130	4,133	0,165
	0,50	0,158	3,401	1,701
	1,00	0,188	2,852	2,852
Z _p = Z _s	2,00	0,249	2,156	4,312
	4,765	0,417	1,287	6,133
	8,00	0,613	0,875	6,998
	16,00	1,099	0,488	7,809
	32,00	2,071	0,259	8,289
	64,00	4,014	0,134	8,552
	128,00	7,900	0,068	8,690
	256,00	15,673	0,034	8,760
	512,00	31,218	0,017	8,796
	1024,00	62,309	0,009	8,814
2048,00	124,492	0,004	8,823	
Z _s = 0	10000000,00	607247,840	0,000	8,832

c1 = 8,832 c2 = 2,097

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

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 16
	Statische Berechnung KG-09-036	



	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351	Pos. 2. Seite 17
	Statische Berechnung	KG-09-036

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

$$\mathbf{ZNp} = \mathbf{c1} - \mathbf{c2} * \mathbf{ZNs} \qquad \text{mit } \mathbf{c2} = \mathbf{2,097}$$

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)	7,496			8,164		
WT, W	⊥	ZNs = ZN (x)		2,447	2,513		3,329	3,363
		ZNp = ZN _⊥ (y) bzw. c1	7,496	5,130	5,270	8,164	6,981	7,051
WA		ZNp = ZN (x) bzw. c1		7,496	5,270		8,164	7,051
		ZNs = ZN _⊥ (y)	2,447		2,513	3,329		3,363
WE		ZNp = ZN (x) bzw. c1	5,130	7,496	5,270	6,981	8,164	7,051
		ZNs = ZN _⊥ (y)	2,447		2,513	3,329		3,363

Masttyp	Richtung der A-Mastebene	Charakteristischer Nutzzug [kN]	Lastfall
			H [kN]
WA		ZNp = ZN (x)	6,133
		ZNs = ZN _⊥ (y)	

 Statikbüro	20 - kV - Mittelspannungsmaste Ermittlung der Nutzzüge für A-Maste (Holz) A-Mast 1530 DIN 48 351					Pos. 2. Seite 18
	Statische Berechnung					KG-09-036

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	7,496	8,164	5,130	6,981	5,270	7,051	8,832

c2	2,097
----	-------

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	7,496	8,164	5,130	6,981	5,270	7,051	6,133
max ZNs für ZNp = 0	3,575	3,894	2,447	3,329	2,513	3,363	2,925